

Bau- und Raumakustik

_ von Hans Goydke

Instandsetzungen und Sanierungen sind gerade bei denkmalgeschützten Gebäuden und deren Innenräumen häufig für anspruchsvolle Nutzungen zu planen. Qualitätsansprüche beziehen sich hierbei in der Regel auch auf die bau- und raumakustischen Verhältnisse. Für eine gute Raumakustik gelten für Wohnräume, Unterrichtsräume, Kinderbetreuungsstätten, Vorlesungssäle, Sprechtheater, Kammermusik- und Konzertsäle, Räume für Gesangsdarbietungen bis hin zu Opernaufführungen sowie für sakrale Räume unterschiedliche Voraussetzungen.

I. Bau- und raumakustische Orientierung

I.1. Lärm

Schallereignisse mit negativer Beurteilung werden allgemein als Lärm bezeichnet. Lärm belästigt und stört Bewohner und Nutzer von Gebäuden, sei es durch Beeinträchtigungen in der sprachlichen Kommunikation, beim Zuhören, im Musikgenuss, in der Konzentration, beim Schlaf. Damit ergeben sich bei Instandsetzungen von Gebäuden Aspekte der Lärmabwehr im Rahmen eines erforderlichen bzw. wünschenswerten Schallschutzes aber auch bezüglich einer Verringerung von Lärmentstehung. Das Ziel besteht in der Einhaltung bzw. Unterschreitung von Grenzwerten des Störgeräuschpegels, die in Abhängigkeit von der vorgesehen Nutzung der Gebäude und der verschiedenen Innenräume vorgegeben sind.

Beim Lärm, der unerwünscht in ein Gebäude dringt, handelt es sich insbesondere um Verkehrslärm. Bei den Gebäude- bzw. Bauteileigenschaften, die sich auf die Absenkung der außerhalb des Gebäudes herrschenden Lärmpegel auf die Störgeräuschpegel im Gebäude beziehen, spricht man von Schalldämmung, ebenso bei den Lautstärkeverhältnissen zwischen Räumen, in denen Lärm entsteht, und

den zu schützenden benachbarten Räumen. Der Abwehr des Lärms, der unmittelbar als Luftschall entsteht, z.B. als Straßenverkehrslärm, sind Luftschalldämm-Maße zugeordnet, bezüglich der Schalldämmung von Lärm, der z.B. beim Gehen im Obergeschoss eines Gebäudes entsteht und unmittelbar in den darunter liegenden Räumen hörbar wird, gelten Trittschalldämm-Maße. Insbesondere bei Schwerlaststraßenverkehr oder Straßenbahnbetrieb in der Nähe von Gebäuden kommt es auch zur Erregung von Körperschall und unmittelbarer Übertragung in Gebäude. Dort wird diese Art Lärm als lästige Erschütterung des Gebäudes wahrgenommen oder aber sie trägt nach Abstrahlung als Luftschall zum Störgeräuschpegel bei.

I.2. Nutzscha

Bei Aufenthaltsräumen sind entsprechend der vorgesehenen Nutzung die Nutzschaallverhältnisse zu optimieren, wie sie bei sprachliche Kommunikation, von Vortragsveranstaltungen bis hin zum Zwiegespräch, sowie bei Musikdarbietung und beim Musikhören unterschiedlichster Art zu Tage treten. Die wichtigsten allgemeinen akustischen Parameter sind die Lautstärkeverhältnisse und die Halligkeit. Bei Sprache ist zusätzlich die Sprachverständlichkeit von Bedeutung. Bei Musik sind es Parameter, die die verschiedenartigen Schallausbreitungen im Raum kennzeichnen und zueinander ins Verhältnis setzen, nämlich einmal die Versorgung von Zuhörern mit Direktschall, gemeint ist die Schallausbreitung auf direktem Wege von der Quelle unmittelbar zum Hörer, andererseits ist die Ausbreitung von Schallanteilen desselben Schallereignisses im Raum zu berücksichtigen, die zeitlich verzögert nach Reflexion an den Raumbegrenzungsflächen, also auf Umwegen beim Hörer eintreffen. Neben der Reflexion von Schall (es gelten die prinzipiell gleichen physikalischen Gesetze wie bei Lichtreflexion) ist eine weitere physikalische Größe von großer Bedeutung, nämlich die der Schallabsorption. Hierbei wird die Schallausbreitung einer starken Dämpfung unterworfen, wobei Schall in Wärme umgewandelt wird.

Stoffe, die schallabsorbierende Eigenschaften besitzen, nennt man Schallschluckstoffe. Diese können für Luftschalldämpfung sowohl aus homogenem als auch aus porösem Material (mit offenen Poren) bestehen. Bei homogenen Schallschluckstoffen erfolgt die Umwandlung in Wärme durch innere Reibung infolge von Deformation des Materials und bei porösen Schallschluckstoffen durch äußere Reibung, d. h. durch Reibung zwischen den schwingenden Partikeln des Schallausbreitungsmediums, also der Luftmoleküle bei Luftschall, und den Skelettelementen des porösen Materials.

I.3. Die raum- und bauakustischen Parameter

Eine umfassende Darlegung raum- und bauakustischer Begriffe findet sich in im Anhang A zu DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau [1]. Nachfolgend werden die wichtigsten kurz erläutert. Bei dem vom menschlichen Ohr wahrgenommenen Luftschall handelt es sich um winzig kleine Luftdruckschwankungen, die dem statischen Luftdruck überlagert sind. Die Amplitude dieser Schwankungen, die für die empfundene Lautstärke verantwortlich ist, wird in einem logarithmischen Verhältnis zu der Amplitude angegeben, die das menschliche Ohr gerade eben als Schallereignis wahrnehmen kann (Hörschwelle). Derartig logarithmierte Schalldruckwerte heißen Schallpegel und werden in dB (deziBel) angegeben. Die Skala der Lautstärkeempfindungen reicht von 0 dB, der Hörschwelle, bis zu etwa 140 dB, der Schmerzgrenze.

Schall setzt sich in der Regel aus einem Gemisch verschieden tiefer und hoher Töne zusammen. Es handelt sich um Schwingungen unterschiedlicher Frequenz. Entsprechend müssen die akustischen Eigenschaften von Gebäuden und Innenräumen häufig auch hinsichtlich einer meist vorhandenen Frequenzabhängigkeit betrachtet werden. Die tiefsten hörbaren Töne besitzen eine Frequenz (= Schwingungen pro Sekunde) von 20 Hz (Hertz), zu hohen Tönen hin endet das Hörvermögen bei ca. 16 000 Hz. Für die Raum- und Bauakustik relevant ist der „bauakustische Normfrequenzbereich“ von 100 Hz bis 3150 Hz, aufgeteilt

in so genannte Terzbänder, von denen die jeweiligen Mittenfrequenzen angegeben werden. Von 100 Hz bis 3150 Hz werden 16 Terzbänder umfasst, ein zunehmend angewendeter erweiterter Frequenzbereich umfasst zusätzlich drei tieffrequente Terzbereiche (mit 50, 63 und 80 Hz Terzmittenfrequenz) sowie 2 hochfrequente Bereiche (mit 4000 und 5000 Hz Terzmittenfrequenz). Für eine weniger aufwändige aber gröbere Betrachtung werden jeweils drei Terzbänder zu einem Oktavband zusammengefasst. Akustische Eigenschaften werden dann angegeben für die Oktavband-Frequenzen (63 Hz) – 125 Hz – 250 Hz – 500 Hz – 1000 Hz – 2000 Hz - (4000 Hz), wobei die eingeklammerten Werte bei einer Betrachtung des erweiterten Frequenzbereiches zu den 5 Werten des normalen Bereichs hinzukommen.

Das menschliche Gehör ist für tiefe Frequenzen (z.B. bei 125 Hz) und für hohe Frequenzen (z.B. bei 4000 Hz) wesentlich unempfindlicher als für mittlere Frequenzen des Hörbereichs (z.B. bei 1000 Hz und 2000 Hz). Daher werden Schallereignisse, die sich unmittelbar auf ein „Gehörtwerden“ beziehen, mit der Frequenzbewertungskurve A gehörriechtig aufbereitet und dann als dB(A)-Werte angegeben. Schallpegeldifferenzen, auch von dB(A)-Pegeln, werden stets in dB angegeben. Pegeldifferenzen von 1 dB können gerade eben wahrgenommen werden. Eine Pegeländerung um 3 dB ist deutlich merklich, bei 6 dB wird diese als erheblich eingestuft. Eine Schallpegeländerung um 10 dB wird wie eine Verdoppelung bzw. wie eine Halbierung der Lautstärke empfunden.

Die Schalldämmung gegen Außenlärm sowie zwischen Räumen in Gebäuden kennzeichnet das Bauschalldämm-Maß R' für die oben genannten Terz- oder Oktavbänder. Es entsteht aus der Differenz der Schallpegel auf den beiden Seiten des trennenden Bauteils, z.B. aus dem Verkehrslärmpegel vor einer Fassade und den Lärmpegeln im Innenraum unter Berücksichtigung der Größe der Trennwand und der Absorption (repräsentiert durch die weiter unten erläuterte Nachhallzeit) im Empfangsraum. Aus der Schalldämm-Kurve, der Kurve der Schalldämm-

Maße aufgetragen über der Frequenz der Terz- oder Oktavbänder, wird nach einem international genormten Verfahren eine Einzahlangabe durch Vergleich der Schalldämmkurve mit einer Bezugskurve ermittelt. Es entsteht dann das bewertete Bauschalldämm-Maß $R'w$. Durch die Vorsilbe „Bau“ und das Apostroph bei R' wird ausgesagt, dass man Bau- und nicht Laborsituationen beurteilt und hierbei berücksichtigt, dass Schall z.B. bei der Betrachtung einer Außenfassade und eines dahinter liegenden Raumes, nicht nur über die Fassadenwand (wie bei Labormessungen) in den Raum übertragen wird, sondern auch über die flankierenden Bauteile, wie z.B. über die sonstigen an die Fassade angeschlossenen Wände, durch die Decke und die Bodenplatte.

Bei der Trittschalldämmung wird messtechnisch der Normtrittschallpegel $L'n$ betrachtet, der in den Terz- oder Oktavbändern im Raum unter einer Trenndecke entsteht, wenn auf der Decke ein Norm-Hammerwerk betrieben wird und die Absorption im Empfangsraum durch Einbeziehung der Nachhallzeit berücksichtigt wird. Als Einzahlangabe entsteht wiederum mit Hilfe einer Bezugskurve ein bewerteter Normtrittschallpegel $L'n,w$.

Die Einzahlangaben $R'w$ und $L'n,w$ berücksichtigen jedoch nur den bauakustischen Normfrequenzbereich. Bei höheren akustischen Ansprüchen sollte unbedingt die inzwischen mögliche detaillierte Frequenzbeurteilung der Schalldämmung berücksichtigt werden. Hierzu dienen die so genannten Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} , die zunehmend als Bauteilkennzeichnungen international verfügbar sind. Die entsprechende Angabe der Schalldämmeigenschaft z.B. einer Verglasung lautet dann $R_w(C, C_{tr}) = 35 (-1, -5)$ dB. Der Spektrum-Anpassungswert C bezieht sich auf ein Lärmspektrum mit Frequenzen vorwiegend im mittleren und höheren Hörbereich, C_{tr} dagegen bezieht sich auf überwiegend tieffrequenten Lärm.

Die Nachhallzeit T zur Kennzeichnung der Halligkeit von Räumen wird in Sekunden angegeben und ist definiert als die Zeitspanne, während der nach Abschalten der Schallquelle der Schalldruckpegel im Raum um 60 dB

sinkt. Die Nachhallzeit hängt ab vom Raumvolumen und von der im Raum vorhandenen Absorption in Form der so genannten äquivalenten Absorptionsfläche. Es gilt die Formel $T = 0,163 \times V/A$, dabei ist T die Nachhallzeit in s, V das gesamte Raumvolumen in m³ und A die äquivalente Absorptionsfläche in m². Sie ist in einem Raum eine gedachte Fläche mit vollständiger Absorption (Schallabsorptionsgrad $\alpha = 1$), die den gleichen Teil der Schallenergie absorbieren würde wie die gesamte Oberfläche des Raumes. Man kann A durch Messung der Nachhallzeit bestimmen oder aber zu $A = \sum \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$ berechnen, wenn die Schallabsorptionsgrade α der einzelnen Teilflächen S der Raumbegrenzungen bekannt sind. Wenn absorbierende Gegenstände im Raum zu berücksichtigen sind und auch die Luftabsorption berücksichtigt werden soll, was bei großen Räumen und bei der Betrachtung vorherrschend hoher Frequenzen empfehlenswert ist, so erweitert sich die Berechnungsformel zu $A = \sum \alpha_n S_n + \sum A_k + 4 mV$ wobei A_k die äquivalenten Absorptionsflächen der Gegenstände, m die Dämpfungskonstante der Luft in m⁻¹ und V das Raumvolumen in m³ darstellen (s. hierzu [4]).

Ein weiterer wichtiger raumakustischer Parameter ist das Deutlichkeitsmaß C50 für Sprache zur Beschreibung der Verständlichkeit von Sprache oder auch von Gesang. Es wird gebildet aus dem logarithmischen Verhältnis der an einem Hörerplatz eintreffen Schallenergie bis zu einer Verzögerungszeit von 50 ms nach Eintreffen des Direktschalls zu der später eintreffenden Energie. Ein anderes Prinzip zu einem Sprachverständlichkeitsmaß zu kommen wird beim Speech Transmission Index STI verfolgt. Mit speziellen Messgeräten wird die Verringerung einer Signalmodulation bestimmt, die zwischen der Signalquelle und einem Hörerplatz nicht nur durch Nachhall sondern u.a. auch durch Störgeräusche auftritt. Eine Entsprechung zum Deutlichkeitsmaß bei Sprache bildet das Klarheitsmaß C80 bei Musik, wobei die am Hörerplatz eintreffende Energie bis zu 80 ms nach dem Direktschall zu dem nachfolgenden Energieanteil in ein (logarithmiertes) Verhältnis gesetzt wird.

In einem gravierenden Aspekt unterscheiden sich Nachhallzeiten einerseits und die Maße für, Deutlichkeit, Sprachverständlichkeit und Klarheit andererseits. Nachhallzeiten geben Auskunft über die mittlere Halligkeit in einem Raum unter der Voraussetzung weitgehend gleichmäßiger diffuser Schallverteilung im Raum. Sie können also durchaus z.B. zur Kennzeichnung einer mittleren Sprachverständlichkeit. z.B. in einem Vortragsraum herangezogen werden, wobei jedoch der Störgeräuschpegel separat zusätzlich betrachtet werden muss. Die genannten anderen Maße dagegen beurteilen die Verhältnisse an bestimmten Plätzen in einem Raum im Verhältnis zu einem bestimmten Ort einer Schallquelle. Sie können z.B. herangezogen werden um festzustellen, ob in einem Vortragsraum sich ein Vortragender an einem Rednerpult für einen Zuhörerplatz in einer Ecke eines Vortragsraumes oder z.B. auf einer Empore noch hinreichend akustisch verständlich machen kann.

II.

Sollwerte und die Ermittlung von vorhandenen Zahlenwerten raum- und bauakustischer Parameter

Als Grundlagen jeglicher Betrachtung des baulichen Schallschutzes und raumakustischer Verhältnisse empfehlen sich DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau [1], VDI 4100 – Schallschutz von Wohnungen [2] sowie DIN 18041 – Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen [4]. DIN 4109 kommt besondere Bedeutung zu, da diese Norm von den obersten Baubehörden der Bundesländer eingeführte Anforderungen eines Mindestschallschutzes in Gebäuden umfasst, die baurechtlich immer einzuhalten sind und damit auch bei umfassenden Gebäuderenovierungen zum Tragen kommen. Darüber hinaus werden Empfehlungen und Hinweise für höhere Anforderungsniveaus gegeben. Zur rechtlichen Bedeutung und Vorgehensweise bei der vertraglichen Vereinbarung höherer Anforderungen als gesetzlich gefordert hat die Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. im August 2005 ein ausführliches Memorandum erstellt [10].

II.1. Schallschutz gegen Außenlärm

Besondere Bedeutung bei der Sanierung und Modernisierung von Bauten kommt dem Schallschutz gegen Außenlärm zu, da hiermit die Grundlage für die Erreichung hinreichend niedriger Störgeräuschpegel im Gebäude gelegt wird, wie sie eine maßgebliche Voraussetzung für die Optimierung von raumakustischen Parametern entsprechend einer vorgesehenen Nutzung von Räumen bilden. Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen finden sich in Tabelle 8 von DIN 4109:1989-11 [1] in Abhängigkeit von Pegel des Außenlärms. Es sind für 7 Bereiche bezüglich des „maßgeblichen Außenlärmpegels“ von 55 dB(A) im Lärmpegelbereich I bis zu > 80 dB(A) im Lärmpegelbereich VII Mindestwerte des erforderlichen resultierenden bewerteten Schalldämm-Maßes (erf. $R'_{w, res}$) des Außenbauteils festgelegt. Es ergibt sich z.B. bei der Planung der Nutzung eines Raumes für Unterrichtszwecke als Anforderung an eine Außenwand, die von Lärm im Lärmpegelbereich V mit 71 -75 dB(A) beaufschlagt wird, ein erf. $R'_{w, res}$ von 45 dB. Der Index „res.“ besagt, dass ggf. bei Teilflächen mit unterschiedlichen Schalldämm-Maßen (z. B. eine Wand mit Fensteröffnungen) die gesamte resultierende Schalldämmung entsprechend dem Flächenverhältnis der Teilflächen zu berechnen ist. Hierzu ist die Vorgehensweise aufgezeigt (Entlogarithmierung der Dämm-Maße, flächenanteilsprechendes Aufsummieren und nachfolgende Logarithmierung). Es ist ebenfalls Hilfestellung in Form tabellierter Werte enthalten. Gleiches gilt für eine Berechnung des maßgeblichen Außenlärmpegels. Darüber hinaus wird im Anhang B von DIN 4109:1989-11 die Ermittlung des „maßgeblichen Außenlärmpegels“ durch Messung erläutert.

Zu beachten ist, dass DIN 4109 Mindestanforderungen vorgibt, die in jedem Fall einzuhalten sind. Es muss also bei Sanierungsmaßnahmen geprüft werden, wie die vorhandene Bausubstanz z.B. entsprechend den in der Norm aufgelisteten Beispielen einzuordnen ist, und ob bei der gegebenen oder prognostizierten Außenlärmsituation die Schalldämm-Maße für die vorgesehene Nutzung ausreichen. Zum Beispiel ist es häufig

auf diesem Weg erforderlich, die notwendige Schalldämmung von in der Regel notwendigen neuen Fenstern und Türen zu ermitteln.

Stets sollte geprüft werden, ob über die Mindestanforderungen hinausgegangen werden kann, um ein Optimum an Schallschutz anzustreben, da dies in der Regel auch ökonomisch durchaus vertretbar ist. In diesen Fällen empfiehlt sich die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise: Wenn auch in Deutschland noch nicht eingeführt, so werden bei aktuellen Angaben von Schalldämmeigenschaften von Bauprodukten entsprechend europäischer Norm nicht nur die R_w -Werte sondern auch die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} mitgeteilt. Die neuen Werte der Schalldämmung $RA_{1} = R_w + C$ und $RA_{2} = R_w + C_{tr}$ ermöglichen unmittelbar die Bestimmung der anzustrebenden Schalldämmung aus der Differenz des $dB(A)$ -Außenpegels zum $dB(A)$ -Innen-Störgeräuschpegel. Die RA -Werte stellen ja die A -bewertete Schallpegeldifferenz dar, die ein Bauteil verursacht, wenn es mit einem Geräusch mit bestimmtem Spektrum beaufschlagt wird. Der Spektrum-Anpassungswert C bezieht sich auf ein Lärmspektrum, wie es in Gebäuden aber auch bei Kinderspielflächen, Eisenbahn- und Autobahnverkehr höherer Geschwindigkeit, Düsenflugzeugbetrieb im näheren Bereich sowie bei Fabriken mit Geräuschabstrahlung hauptsächlich im mittleren und höheren Frequenzbereich auftritt. C_{tr} dagegen ist relevant bei innerstädtischem Straßenverkehr, bei Eisenbahnverkehr mit niedriger Geschwindigkeit, bei Propellerflugzeugbetrieb und Düsenflugzeuglärm aus größerer Entfernung, bei Discothekenlärm und bei tieffrequentem Lärm aus Fabriken. Entsprechend lässt sich individuell eine Planung mit optimaler Anpassung an die Außenlärmsituation durchführen. Wenn z.B. neue Fenster zu konzipieren sind für eine Fassade, die innerstädtischem Lärm ausgesetzt ist, so ist ein Produkt mit einem kleinen (stets negativem) C_{tr} -Wert wesentlich besser geeignet als ein anderes mit zwar gleichem R_w und möglicherweise gleichem C -Wert, aber großem (negativem) C_{tr} , denn die Summe ($R_w + C_{tr}$) kommt in der Praxis zur Auswirkung.

Die schalltechnischen Anforderungen bezüglich des zulässigen Störgeräuschpegels in Abhängigkeit von der Raumnutzung sind in der aus DIN 18041 [4] entnommenen nachfolgenden Tabelle vorgegeben.

Schalltechnische Anforderungen an die Raumnutzung	Störgeräuschpegel L_{NA} dB	Eignung ^a für eine Entfernung: Sprecher – Hörer		Eignung ^a für Personen mit Hörverlusten	Eignung ^a für die Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachiger Texte
		mittlere ^{b,c}	grössere ^b		
I (mindest)	≤ 40 (laut)	+	-	-	-
II (mittlere)	≤ 35 (mittel)	+	o	o	o
III (hohe)	≤ 30 (leise)	+	+	+	+
^a) "+" geeignet, "o" bedingt geeignet, "-" nicht geeignet ^b) Für eine mittlere Entfernung zwischen Sprecher und Hörer kann üblicherweise ein Abstand von 5 m bis 8 m, für grössere Entfernungen > 8 m, angenommen werden. ^c) Auch geeignet für geringere Entfernungen zwischen Sprecher und Hörer bis etwa 5 m.					

Tabelle 1, Einstufung der zulässigen Störgeräuschpegel gemäss DIN 18041

Bezüglich der Trittschalldämmung entspricht die Vorgehensweise den Verhältnissen bei der Luftschalldämmung. Auch hier ergeben sich die Anforderungen und sowie die Möglichkeiten der Abschätzung der Leistungsfähigkeit vorhandener Konstruktionen sowie von Verbesserungsmöglichkeiten anhand einer umfangreichen Beispielsammlung in DIN 4109:1989-11 [1]. Auf Möglichkeiten der Verbesserung der Schallschutzverhältnisse wird nachfolgend eingegangen.

II.2. Anzustrebende raumakustische Verhältnisse

II.2.1. Störgeräuschpegel

Neben den Störgeräuschen, die durch den Außenlärm sowie durch Geräusche aus benachbarten Räumen verursacht werden und zu denen die Schalldämmung der raumumschließenden Bauteile abzustimmen ist, spielen Geräuschkomponenten eine Rolle, die auf im Raum erzeugten Störschall zurückzuführen sind durch haustechnische Anlagen, Sanitärinstallationen, fest installierte medientechnische Geräte, aber auch durch Publikum bzw. die Nutzer der Räume. Grundsätzlich gilt, dass die Werte nach Tabelle 1 stets die „Gesamtstörgeräuschgrenzwerte“ darstellen. Die zu erwartenden Schalldruckpegel lassen sich aus den A-bewerteten Schalleistungspegeln LWA der einzelnen Komponenten nach einschlägigen Normen und Richtlinien, z.B. VDI 3760: 1996-02 – Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen [3], errechnen und es müssen entsprechend leise Geräte vorgesehen werden. DIN 18041 folgend sind die durch das Publikum erzeugten Geräusche möglichst gering zu halten. Es sollten Teppichböden und Bodenaufbauten mit hoher innerer Dämpfung benutzt werden. Der Fußbodenkontakt der mobilen Möblierung sollte geräuscharm gestaltet werden, z.B. durch Gummiunterlagen, Filzgleiter und Ähnliches.

II.2.2. Nachhallzeiten sowie die Verteilung schallabsorbierender Flächen

Die Nachhallzeit in Räumen verschiedenster Nutzung wird in der Regel als das wichtigste raumakustische Kriterium angesehen und ist entsprechend bei Gebäudesanierungen von herausragender Bedeutung. Nach neuesten Erkenntnissen werden in DIN 18041:2004-05 [4] folgende Sollwerte der raumnutzungs- und raumvolumenabhängigen Nachhallzeiten T (in Sekunden) mit dem Raumvolumen V (in m³) genannt:

Raumnutzung	Musik:	$T_{\text{soll}} = (0,45 \lg (V/m^3) - 0,07) \text{ s}$
	Sprache:	$T_{\text{soll}} = (0,37 \lg (V/m^3) - 0,14) \text{ s}$
	Unterricht:	$T_{\text{soll}} = (0,32 \lg (V/m^3) - 0,17) \text{ s}$

Folgende Zuordnung der Nutzungsarten zu den Sollwerten der Nachhallzeiten ist vorgesehen:

- Musik: Musikunterrichtsraum mit aktivem Musizieren und Gesang, Rats- und Festsaal mit Musikdarbietungen
- Sprache: Gerichts- und Ratssaal, Gemeindesaal, Versammlungsraum, Musikproberaum
- Unterricht: Unterrichtsraum, auch Musikunterrichtsraum mit audiovisueller Darbietung, Gruppenräume in Kindergärten und Kindertagesstätten, Seniorentagesstätten, Seminarraum, Interaktionsraum, Hörsaal, Raum für Tele-Teaching, Tagungsraum, Konferenzraum, Darbietungsraum für elektroakustische Nutzung.

Toleranzbereiche der Sollwerte für Sprache und Musik in Abhängigkeit von der Frequenz zeigen die nachfolgenden grafischen Darstellungen in Bild 1 entsprechend DIN 18041:2004-05, Bild 2 und 3 [4].

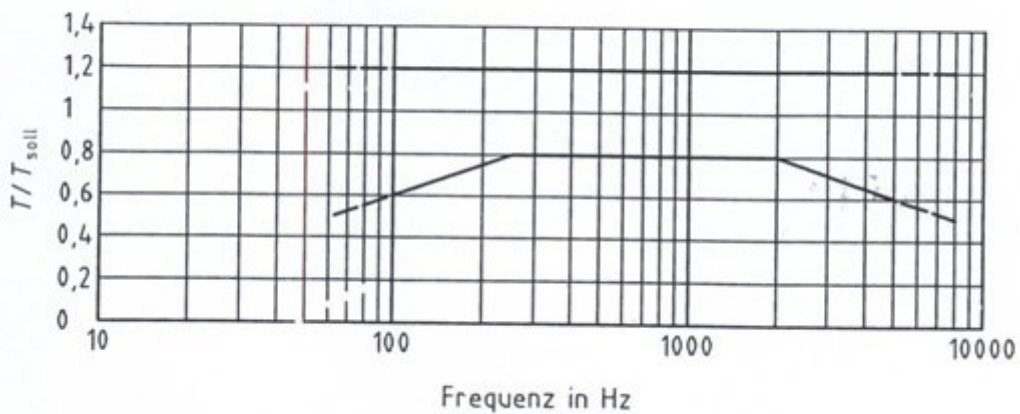
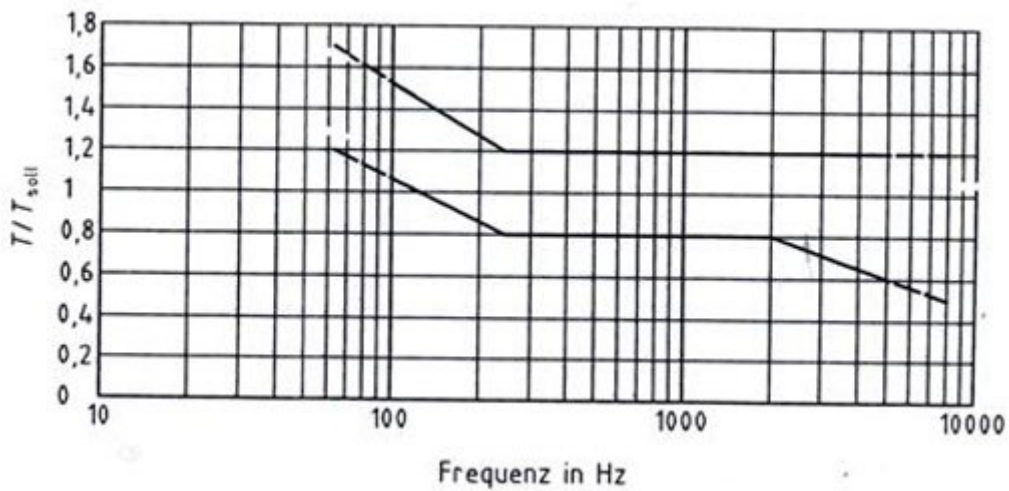


Bild 1 Toleranzbereiche der Nachhallzeiten T_{soll} für Musik (oberes Diagramm) und für Sprache (unteres Diagramm)

Die Anwendung der Formeln erläutert folgendes Beispiel: Für einen Raum mit einem Volumen von 50 m^3 ergibt sich T_{soll} gerundet für Musikdarbietung zu $0,7 \text{ s}$, für Sprache ist $T_{soll} = 0,5 \text{ s}$ und für Unterricht = $0,4 \text{ s}$. Mit Anwendung der bereits oben genannten Formel für die Nachhallzeit $T = (0,163 V/A) \text{ s}$ errechnet sich, dass der Musikraum mit dem Bedarf von $11,6 \text{ m}^2$ äquivalenter Absorptionsfläche als Vortragsraum zusätzlich $4,6 \text{ m}^2$ und als Unterrichtsraum sogar zusätzlich $8,7 \text{ m}^2$ äquivalenter Absorptionsfläche erfordert. Die tatsächlichen absorbierenden Flächen sind entsprechend dem jeweiligen Absorptionsgrad α_S zu dimensionieren. Beispiele liefert Anhang A von DIN 18041:2004-05 [4]. Im Hauptteil dieser Norm werden auch detailliert Hinweise zur sinnvollen Verteilung schallabsorbierender Flächen in Räumen gegeben. Die

Grundprinzipien gehen aus den Darstellungen in Bild 2 hervor, die aus dieser Norm stammen.

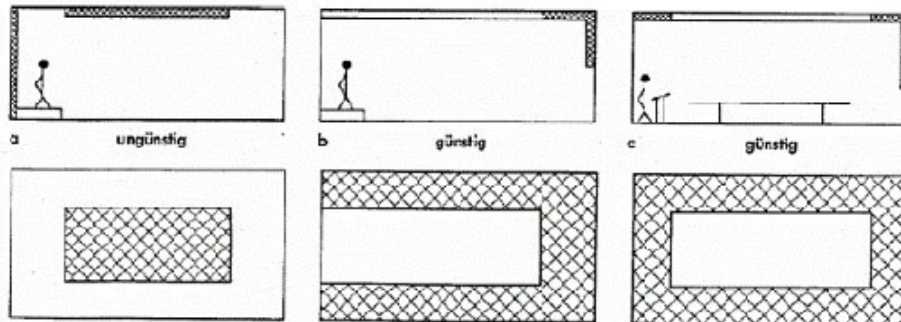


Abbildung 3 Variationen von Schallschluckflächen für Räume kleiner bis mittlerer Raumgröße, z. B. Unterrichts- und Sitzungsräume gemäss DIN 18041 (Bild 5). Oben Langschnitt, unten Deckenuntersicht.

Bild 2 entsprechend Abbildung 3 in [4]

Ein Beispiel für die Variationsbreite der Möglichkeiten, den Absorptionsgrad in Abhängigkeit von der Frequenz auf das erforderliche Maß einzustellen, zeigt eine absorbierende Wand- und/oder Deckengestaltung, in diesem Fall mit absorbierendem Mineralfaserfilz hinter einer Holzstabverkleidung, in Bild 3.

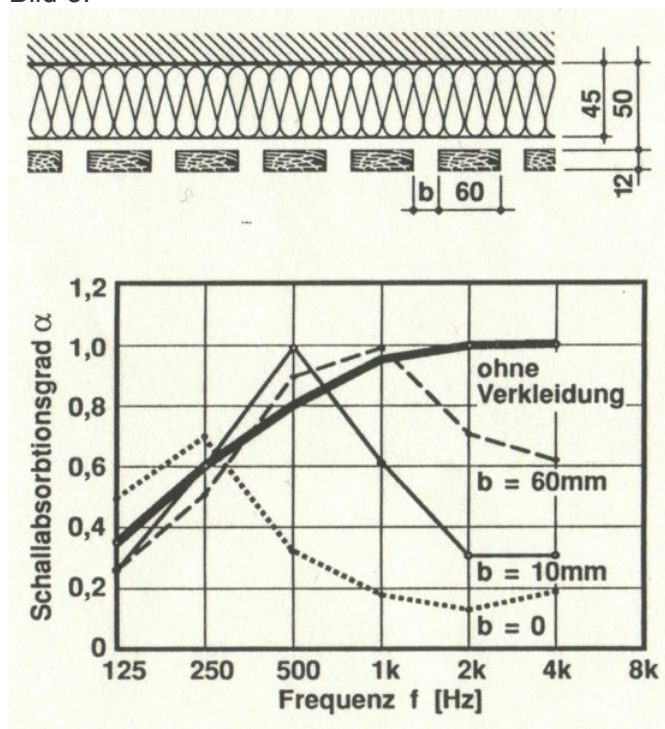


Bild 3 Schallabsorptionsgrade in Abhängigkeit von der Frequenz für einen Wand- oder Deckenabsorber verschiedenartiger Ausführung

II.2.3. Deutlichkeitsmaß und Sprachverständlichkeitsindex sowie die Behandlung und gegebenenfalls die Ausrichtung reflektierender Flächen

Für das Deutlichkeitsmaß C50 wird für kleine Auditorien, Hörsäle und Unterrichtsräume ein Wert ≥ 0 dB gefordert, für den Sprachverständlichkeitsindex STI soll der entsprechende Wert $\geq 0,56$ betragen. C50 = 0 dB bedeutet für Schalllenkungsmaßnahmen, dass etwa im gleichen Maße so genannte frühe Reflexionen, z.B. aus dem unmittelbaren Umfeld eines Redners zu den Zuhörern gelenkt werden sollen, wie diffuse spätere Reflexionen des eigentlichen Nachhallvorgangs.

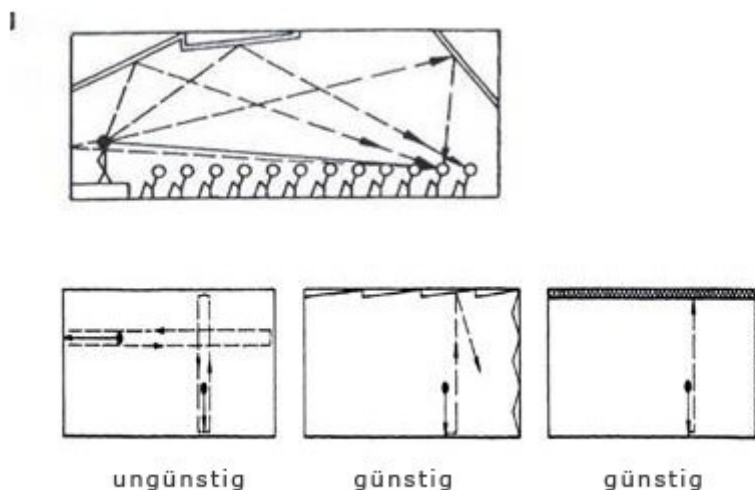


Bild 4 Akustisch ungünstige und günstige Raumgestaltung (oben Aufriss einer günstigen Anordnung, unten Grundrisse)

Bild 4, ebenfalls aus DIN 18041:2004-05 [4], zeigt beispielhaft ungünstige und günstige Raumgestaltung bezüglich der Lenkung von Decken-, Seitenwand- und Rückwandreflexionen. Zu vermeiden sind unbedingt größere zueinander parallel verlaufende Reflexionsflächen wegen der Gefahr des Auftretens von Flatterechos. Ist ein solcher Fall vorgegeben, so muss eine der beiden Wände schallabsorbierend gestaltet werden oder aber durch Gliederung mit schräg gestellten Flächen (mindestens 5°) für die Vermeidung von Schallrückwürfen in die gleiche Richtung wie der auftreffende Schall gesorgt werden.

Durch den Einbau schräg gestellter oder gar gekrümmter Reflektoren lässt sich Schall in gewünschtem Maße lenken. Das Konstruktionsprinzip ist aus Bild 5 leicht erkennbar. Ausgehend vom Ort der Schallquelle wird ein erster Reflexionspunkt A für den Nahbereich P gewählt, ab dem Deckenreflexionen gewünscht werden. Dann erfolgt senkrecht zu der Reflektorfläche auf der anderen Seite im gleichen Abstand wie zur Schallquelle der Eintrag einer Spiegelschallquelle I1 bzw. Q', ihre Verbindung mit dem entferntesten, noch zu versorgenden Sitzplatz T liefert Punkt B des Reflektors. Der Prozess wird wiederholt durch Zeichnen von QB, BX, Eintrag von I2 usw.

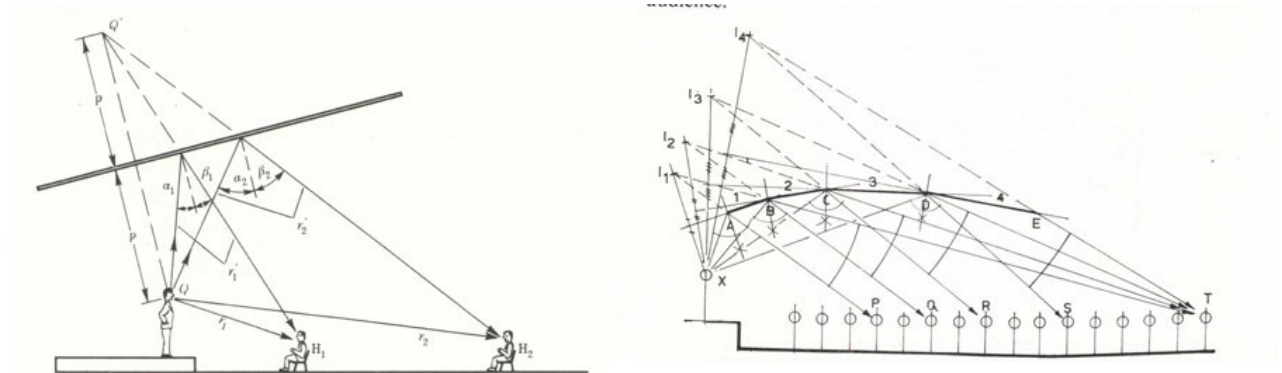


Bild 5 Konstruktionsprinzip für Deckenreflektoren

III.

Maßnahmen zur Sanierung unzureichender akustischer Verhältnisse

Bei unzureichenden Werten der Schalldämmung gegen Lärmeinwirkung ist in der Regel die Erhöhung der Schalldämmung von Fenstern und Türen das Mittel der Wahl. Mit speziellen Schallschutzverglasungen lassen sich inzwischen bewertete Schalldämm-Maße von bis zu 52 dB erreichen [6]. Von herausragender Bedeutung ist bei hohen Schallschutzwerten derartiger Bauteile stets die Prüfung auf einwandfreie Funktion der Dichtungen.

Ist die Schalldämmung von Wänden zu erhöhen, sind in der Regel Vorsatzschalen das Mittel der Wahl, ggf. kann aber auch Verputzen von Mauerwerk bereits zum Ziel führen. Ausführliches Zahlenmaterial und eine umfangreiche Beispielsammlung findet sich in DIN 4109:1989-11 [1]. Einer Wandvorsatzschale entspricht bei Trittschallproblemen der Einbau eines schwimmenden Estrichs, es sei auch hier auf DIN 4109:1989-11 [1] verwiesen, wo ausführlich auch zu den bei Sanierungsmaßnahmen häufig anzutreffenden Problemen von Holzbalkendecken Stellung genommen wird.

Häufig tritt die Notwendigkeit auf, Zwischenwände und Raumteilungen vorzunehmen, wobei stets der Schallschutz Beachtung finden sollte. Systeme des akustischen „Trockenbaus“ können heute als ausgereift gelten und können bei entsprechendem Aufbau den Anforderungen der Praxis weitgehend uneingeschränkt gerecht werden. Grundsätzlich ist zu beachten, dass bei den praktisch immer mehrschaligen Aufbauten mit weitgehender gegenseitiger Entkopplung der Schalen und Bedämpfung des Zwischenraums stets höchste Sorgfalt der Ausführung und damit entsprechende Bauüberwachung unerlässlich ist.

Bezüglich der Möglichkeiten des Einbaus von Absorptionsflächen bietet eine Aufzählung von Jürgen Meyer [8] einen guten Ein- und Überblick. Sie ist speziell im Hinblick auf die Sanierung sakraler Räume aufgestellt worden. Eine allgemeingültige umfassende Darstellung bietet Peter Schulz:

Schallschutz, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Brandschutz im Innenausbau [9].

wirksamer Frequenzbereich:	tief	mittel	hoch
fugenlose poröse Wandverkleidung		x	x
Gipskartonplatten vor Hohlraum	x		
Holzvertäfelung vor Hohlraum	x		
Holzboden mit Hohlraum unter Bänken	x		
Schlitzabsorber an Bankunterseiten	x	x	
Basaltlava-Platten als Fußboden		x	x
Helmholtzabsorber im Gewölbe	x	x	
mikrogelochete Glasplatten vor Fenstern		x	

Tabelle 2 Ästhetisch vertretbare Möglichkeiten für fest eingebaute Absorptionsflächen

IV.

Beispiele erfolgreich durchgeführter akustischer Sanierung

Mit der nur kleinen Auswahl von drei Beispielen seien erfolgreich erprobte Möglichkeiten der Berücksichtigung akustischer Belange bei Gebäudesanierungen im denkmalgeschützten Bereich zur Prinzipveranschaulichung dargelegt.

IV.1. Einbau variabler Nachhallzeitjustierung im großen Saal der Moses-Mendelssohn-Akademie Halberstadt (Architekten: Burkhardt/Schumacher, akustische Beratung: Goydke)

Im ehemaligen Synagogenraum hatten sich in Folge sehr behutsamer Restaurierung der vorhandenen Bausubstanz, bei der auch Kriegsschäden bewusst sichtbar belassen wurden, eine Nachhallzeiten von über 3 Sekunden in dem für Sprachdarbietungen besonders wichtigen Frequenzbereich um 800 Hz ergeben. Durch den Einbau von Rollos, die drahtlos fernbedient vom Deckenraum bis nahezu auf den Fußboden heruntergefahren werden können, gelang eine Absenkung in diesem Frequenzbereich bis auf 1,2 s im leeren Raum, wobei sich ca. 60 m² eines

hinsichtlich des relevanten Strömungswiderstandes speziell ausgesuchten Vorhangstoffes entfalten. Von großer Wichtigkeit ist, dass ein Wandabstand von 15 cm eingehalten wurde, die entsprechenden Absorptionsgrade solch eines Vorhanges erreichen oberhalb 400 Hz ca. 0,8. Bild 6 zeigt, dass diese Vorhänge Sonnenschutzfunktionen mitübernehmen. Nur teilweises Herunterfahren der Vorhänge ermöglicht eine optimale Anpassung der Nachhallzeitverhältnisse an den Besetzungsgrad und den Charakter der jeweiligen Veranstaltung.



Bild 6 Vorhänge als Absorber in einem ehemaligen Synagogenraum

IV.2. Akustik im Plenarsaal des Abgeordnetenhauses von Berlin (Akustikingenieurbüro Moll)

Ein historisch bedingtes sehr großes Raumvolumen führte zu wesentlich zu langen Nachhallzeiten bezüglich einer Raumnutzung als Parlamentssaal. Das geforderte Glasdach und das erwünschte „Sichtbarbleiben“ des historischen Mauerwerks schränkten die Möglichkeiten der Einbringung absorbierender Flächen stark ein. Die erfolgreiche Lösung besteht insbesondere im Einbau eines breitbandig absorbierenden „Quelllüftungsbodens“ aus gelochtem Blech mit einem Teppichbelag, der einen für Schallabsorption und ebenso für Lüftung günstigen Strömungswiderstand aufweist. Hinzu kamen unterschiedlich abgestimmte Lochresonatoren im unteren und mittleren Wandbereich. Dabei handelt es sich um drehbare Aluminiumelemente mit zylinderförmig gekrümmter (reflektierender) Oberfläche und absorbierender Rückseite, die einerseits die Sicht auf die alten Ziegelwände zuließen, andererseits aber Absorption lieferten und so eingestellt wurden, dass schädliche Reflexionen vermieden wurden. Ferner wurden absorbierend ausgebildete Tragprofile der Glasdecke ergänzt.

IV.3. Absenkung der Nachhallzeiten in Kirchenräumen (akustische Bratung: Jürgen Meyer)

In Kirchen ist der feste Einbau von Absorptionsflächen aus denkmalpflegerischen Gründen oft schwierig oder nicht im hinreichenden Maße möglich. Wenn auch flächenmäßig häufig nicht sehr erheblich, so kann mit textilem Wandschmuck erheblich zur breitbandigen Absenkung der Nachhallzeiten beigetragen werden. Insbesondere Wandteppiche können andere, bewusst und ausschließlich aus akustischen Gründen eingesetzte Elemente, wie Stellwände oder/und Akustiksegel (s. Bild 7), sinnvoll ergänzen. Hierbei kommt es wiederum wesentlich auf einen hinreichenden Wandabstand an, damit auch tiefere Frequenzen absorbiert werden können. Gesteigert werden kann die Absorberleistungsfähigkeit noch weiter, wenn ein mit Mineralwolle gefüllter offener Kasten hinter dem Wandteppich angeordnet wird (s. Bild 8, ebenso wie Bild 7 [8] entnommen).

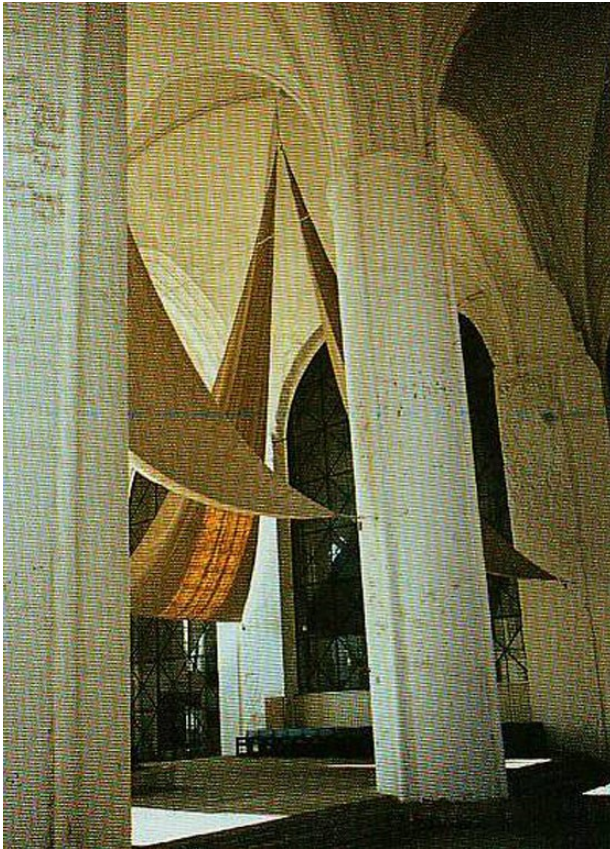


Bild 7 Akustiksegel in einem Kirchenraum



Bild 8 Mit Mineralwolle gefüllter Kasten hinter einem Wandteppich

Vorschriften, Richtlinien und weiterführende Literatur:

[1] DIN 4109:1989-11 - Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise

[2] VDI 4100:1994-09 – Schallschutz von Wohnungen

[3] VDI 3760: 1996-02 – Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen

[4] DIN 18041:2004-05 - Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen

[5] Fasold, W. und Veres, V.: Schallschutz + Raumakustik in der Praxis, Verlag für Bauwesen, Berlin 1998

[6] MEMENTO – Glashandbuch, SAINT-GOBAIN GLASS DEUTSCHLAND GmbH, Aachen 2006

[8] Meyer, Jürgen: Kirchenakustik, Verlag Erich Brochinsky GmbH und Co. KG, Frankfurt am Main 2003

[9] Schulz, Peter: Schallschutz – Wärmeschutz – Feuchteschutz – Brandschutz im Innenausbau, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart 1993

[10] Memorandum – Die DIN 4109 und die allgemein anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., FA Bau- und Raumakustik, DEGA BR 0101, Berlin 2005