

AKUSTIK IN LEBENS-RÄUMEN FÜR ERZIEHUNG UND BILDUNG



Aus Gründen der Lesbarkeit wurde auf die gleichzeitige und durchgängige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für alle Geschlechter.

RICHTLINIE

AKUSTIK IN LEBENSÄÄUMEN FÜR ERZIEHUNG UND BILDUNG

Vorwort	4
Fünf Minuten für richtige Akustik	6
Argumente und Motive	8
Gebrauchsanleitung	11
Anforderungen	13
Gestaltungshinweise für Neubau und Sanierung	28
Möglichkeiten zur Umsetzung	34
Preis und Wert guter Raumakustik	47
Zusammenfassung und Ausblick	50
Quellen und Literaturhinweise	52
Impressum	54

VORWORT

Wer aufgrund von Lärm schlecht schläft, sich nicht konzentrieren kann oder sein Gegenüber schlecht versteht, spürt direkt, wie Lärm den eigenen Alltag beeinträchtigt. Die Auswirkungen, die Lärm auf lange Sicht hat, sind dagegen nicht direkt spürbar. Meist lassen sie sich nicht mehr ursächlich auf Lärm zurückführen.

Doch Lärm wirkt als unbewusstes Alarm-signal auf den Körper, der darauf mit Stress reagiert. Wer dauerhaft Lärm ausgesetzt ist, kann deshalb nicht nur schwerhörig werden, sondern auch an Bluthochdruck, chronischen Kopfschmerzen oder Depressionen erkranken.

Um dem Lärm im Land etwas entgegenzusetzen, hat die baden-württembergische Landesregierung im Jahr 2011 Dr. Gisela Splett als bundesweit erste Lärmschutzbeauftragte berufen. Seit September 2016 nehme ich diese Aufgabe wahr und setze mich dafür ein, dass dem Lärmschutz im Land auch in Zukunft eine hohe Bedeutung beigemessen wird.

Der meiste Lärm ist in Deutschland auf den Straßen-, Schienen und Luftverkehr zurückzuführen. Aber auch Baulärm und der Lärm von Industrieanlagen können sehr belastend sein. Außerdem darf nicht vergessen werden, dass auch von Menschen ein beträchtlicher Schallpegel ausgehen kann, besonders von größeren Gruppen in geschlossenen Räumen. So kann es in Mensen, Kitas oder Schulen sehr laut werden, wenn die Akustik des Gebäudes dem nicht entgegenwirkt. Zusätzlich kann – je nach Standort – von außen weiterer Lärm in die Gebäude eindringen. Dabei müssen gerade Kinder, Jugendliche und Studierende besonders vor Lärm geschützt werden. Sie nehmen jeden Tag viel Neues auf und brauchen

dafür eine ruhige, lernfördernde Umgebung. Die negativen Auswirkungen von Lärm in diesem Bereich sind vielfältig: Kleinkinder können Sprachprobleme entwickeln, wenn die Akustik schlecht ist. In der Schule kann das soziale Klima innerhalb einer Klasse durch die Akustik des Klassenraums beeinflusst werden. Lehrer*innen, die in lautereren Klassenräumen unterrichten, sind häufiger krank als ihre Kolleg*innen in besserer akustischer Umgebung. Und selbst erwachsene Studierende können sich bei zu viel Lärm schlechter an Gelerntes erinnern und sich weniger gut konzentrieren.

Deshalb ist es essenziell, dass Gebäude, in denen unterrichtet, gespielt und studiert wird, eine gute Akustik haben. Sie müssen so gestaltet werden, dass sie Lärm minimieren, statt ihn zu verstärken. Dies sollte bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Dafür wurde diese Richtlinie des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP entwickelt. Sie bietet einen Überblick über die Anforderungen an den Lärmschutz im Erziehungs- und Bildungsbe-

reich. Darüber hinaus enthält sie wertvolle Hinweise wie der Schutz vor Lärm bei Sanierung und Neubau kosten- und zeitoptimiert umgesetzt werden können.

Als Lärmschutzbeauftragter appelliere ich an alle Verantwortlichen: Kinder und Jugendliche sind die Zukunft unserer Gesellschaft. Nutzen Sie die Erkenntnisse der akustischen Forschung in ihrem Sinne, für einen besseren Lärmschutz, mehr Lebensqualität und eine gesunde Entwicklung.

***Thomas Marwein MdL Lärmschutz-
beauftragter der Landesregierung
von Baden-Württemberg***

FÜNF MINUTEN FÜR RICHTIGE AKUSTIK

Es ist eine häufig gemachte Erfahrung, dass bei Bauprojekten von Kitas, Schulen und Hochschulen die Entscheidung über gute oder schlechte Akustik in wenigen Minuten fällt. Für diese Fälle wird den Beteiligten die Lektüre dieser Seite empfohlen, um nach fünf Minuten informiert und fundiert die richtige Entscheidung treffen zu können.

• Gründe

Die Bedeutung der akustischen Umgebungsbedingungen für das Lehren, Lernen und Leben ist wissenschaftlich und praktisch bewiesen. Schlechte Akustik beeinträchtigt Gesundheit und Wohlbefinden, Leistungsfähigkeit und Sicherheit und sogar sozial-emotionale Faktoren in Kitas, Schulen und Hochschulen. Natürlich sind Kleinkinder, Jugendliche und Erwachsene in unterschiedlichem Maße betroffen, aber akute, chronische und kumulative Wirkungen betreffen alle zusammen und jeden einzelnen.

• Ziele

Die zentralen Ziele akustischer Gestaltung der Lebensräume für Erziehung und Bildung sind Vermeidung von Lärm, Minimierung von Störungen und Gewährleistung von Sprachverständlichkeit. Die wesentlichen Gestaltungskategorien umfassen baulichen und technischen Schutz vor Lärmquellen außerhalb und innerhalb des Gebäudes, Reduzierung der eigenen, nutzungsbedingten Geräusche und Gewährleistung guter Kommunikation in den Räumen. Die konkreten Anforderungen zu den Kategorien enthält diese Richtlinie.

• Aufgaben

Gute Akustik beginnt mit der partizipativen Analyse der Nutzung und des zugehörigen Bedarfs. Anschließend ist sie Teil der ganzheitlichen Bauplanung unter Berücksichtigung des baulichen und technischen, organisatorischen und pädagogischen Spielraumes. Allein die Wirtschaftlichkeit gebietet diesen integralen Ansatz für gute Akustik im Kontext anderer baulicher Belange, wie z. B. Brand-, Wärme- und Feuchteschutz, Beleuchtung und Belüftung, Hygiene und Energieeffizienz. Dies gilt für Neubau, Umbau und Sanierung gleichermaßen.

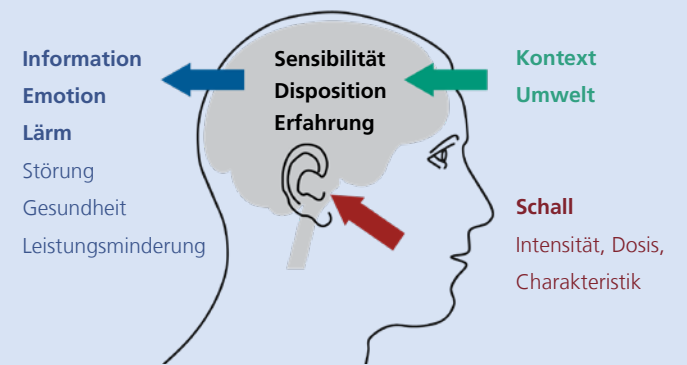
• Lösungen

Das verfügbare Planungs- und Gestaltungswissen sowie das Angebot an Bauteilen und Bausystemen reichen aus, um gute Akustik in Kitas, Schulen und Hochschulen auch praktisch umzusetzen. Außen- und Innenwände, Fenster und Türen, Decken und Böden, technische Anlagen

und auch schallabsorbierende Elemente bieten Vielfalt und Spielraum für individuelle und intelligente Lösungen, um alle Anforderungen zu erfüllen. Wichtig sind dafür eine qualitätssichere Ausführung und die Beachtung der typischen baulichen Defizite.

• Kosten

Gute Akustik kostet Geld, genauso wie gute Luft und gutes Licht. Bei Neubauten und umfassenden Sanierungen liegen die Zusatzkosten für nutzungsgerechte Akustik bei einem Prozent der Bausumme. Besserer Schallschutz ist z. B. bei Leichtbauwänden ca. zehn Euro pro Quadratmeter teurer als die einfachste Version und pro Tür kostet eine Absenkungsdichtung etwa 30 bis 100 Euro. Für die Raumakustik gilt: Ein Quadratmeter Raum kostet so viel wie die Akustikdecke für ein ganzes Klassenzimmer. Natürlich ist aber weder Fläche durch gute Akustik ersetzbar, noch umgekehrt.



ARGUMENTE UND MOTIVE

Wirkung von Lärm und Nachhall auf Kleinkinder und Grundschüler

Lärm beeinträchtigt das Lernen von Kindern auf vielfältige Weise. Aufmerksamkeits-, Gedächtnis- und Sprachverstehensprozesse, die für eine normale kindliche Entwicklung wesentlich sind, werden nachweislich gestört. Betroffen sind vor allem jüngere Kinder in Kitas und Grundschulen, weil im Vergleich zu Jugendlichen und Erwachsenen der Sprachentwicklungsprozess noch nicht abgeschlossen ist.

Die Sprachwahrnehmungskategorien sind noch nicht vollständig ausgebildet, so dass es ihnen schwerfällt, Hintergrundgeräusche auszublenden und fehlende Elemente der sprachlichen Information anhand des Kontextes zu ergänzen. Die Wirkung raumakustischer Maßnahmen zeigt einen signifikanten Zusammenhang

mit den sprachlichen Fähigkeiten der in der Einrichtung betreuten Kinder. [8]

Optimale akustische Bedingungen sind insbesondere dann erforderlich, wenn Kinder wegen Lern-, Aufmerksamkeits- oder Sprachentwicklungsstörungen bzw. nichtdeutscher Muttersprache eine höhere Empfindlichkeit bezüglich Lärmwirkungen aufweisen. Das Sprachverstehen dieser Kinder wird im Vergleich zu anderen durch Lärm und Nachhall noch stärker beeinträchtigt. Es fällt ihnen schwerer, aktiv am Gruppengeschehen teilzunehmen. Zu viel Lärm wirkt sich also auch negativ auf Inklusion und Integration benachteiligter Kinder aus.

Schlechte Umgebungsakustik beeinflusst aber nicht nur kognitive Leistungen, sondern auch das emotionale Erleben und Sozialverhalten. Lärm setzt z. B. die Bereitschaft zu prosozialem Verhalten herab

und das soziale Miteinander wird beeinträchtigt. So bewerten Kinder in Klassenräumen mit mangelhafter Akustik das soziale Klima in der Klasse weniger positiv als Schüler*innen, die in akustisch guten Klassenräumen unterrichtet werden. Nicht nur Kinder sind durch die Akustik der Räume beeinflusst, sondern auch die Unterrichtenden. Die Freundlichkeit und Geduld des Erziehungs- und Lehrpersonals nimmt in Räumen mit schlechter Akustik schneller ab als in solchen mit passenden akustischen Bedingungen. Angesichts der Bedeutung eines sensiblen und vertrauensvollen Umgangs der Betreuungspersonen mit Kindern für deren Entwicklung sollte Lärm als dominierende Kraft unter den beruflichen Belastungsfaktoren anerkannt werden.

Wirkung von Lärm und Nachhall auf ältere Schüler, Studenten und Erwachsene

Trotz gewachsener Routine sind auch Jugendliche und Erwachsene von Lärm und

Abb. Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen Schall und seinen Wirkungen unter dem Einfluss von Randbedingungen und Begleitfaktoren.

Nachhall in Räumen betroffen. Mit lärmbedingt beeinträchtigter Wahrnehmung und Aufmerksamkeit werden Informationsaufnahme und -verarbeitung gestört, Gedächtnis- und Entscheidungsprozesse beeinträchtigt. In Klassenzimmern und Vorlesungsräumen ist eine gute Sprachverständlichkeit von enormer Bedeutung. Sind Störgeräuschpegel zu hoch und Nachhallzeiten zu lang, werden Sprachsignale verzerrt und falsch oder gar nicht verstanden.

Durch die erworbene Sprachkompetenz gelingt es Erwachsenen zwar auch unter schwierigen Hörbedingungen Informationen zu extrahieren, die erhöhte Höranstrengung führt aber zu deutlich schnellerer Ermüdung. Zudem verringern sich die Ressourcen, die für das Behalten und Verarbeiten der gehörten Information zur Verfügung stehen.

Werden z. B. Erwachsenen Silbenfolgen bei höherem Umgebungsrauschen oder in Ruhe präsentiert, dann ist das Erinnern der Silbenfolgen unter Rauschbedingungen Rauschbedingung signifikant verschlechtert, auch wenn die Identifizierung einzeln präsentierter Silben unter beiden Bedingungen gleich gut gelingt.

Am Arbeitsplatz Schule ist Lärm eine der Hauptursachen für Stress [10,11]. Es ist davon auszugehen, dass dauerhafte Lärmexposition zu Störungen der zentralen Hörverarbeitung und der Aufmerksamkeitskontrolle führt [12]. Dies gilt auch, wenn der Lärm keine extremen, sondern nur mittlere Schallpegel aufweist. Darüber hinaus besteht ein Zusammenhang zwischen der Nachhallzeit in Klassenräumen und den Fehlzeiten der Lehrer*innen [13].

Bei langer Nachhallzeit ergeben sich im Vergleich zu Klassenräumen mit kurzen Nachhallzeiten höhere Absentismusraten bei den am Unterricht Beteiligten. Gehörschäden bzw. -verlust, Schwindel, chroni-

scher Bluthochdruck, Kopfschmerzen und Angstgefühle sind zudem nicht nur medizinisch relevant, sie beeinträchtigen auch das Sozialleben von Lehrer*innen, ihren Familien und Menschen in ihrer Umgebung [14].

Fazit

Akustische Störungen und Lärm haben akute, chronische und kumulative Folgen für alle Betroffenen in Kitas, Schulen und Hochschulen. Sie wirken sich auf Gesundheit, Wohlbefinden, die kognitive Entwicklung und das sozial-emotionale Verhalten aus. Auch Sicherheitsaspekte sind direkt berührt, wenn Signale überhört oder nicht richtig verstanden werden können. Die Argumente für gute, geeignete akustische Lehr-, Lern- und Lebensbedingungen sind daher klar und fundiert. Aus der bislang viel zu oft unzulänglichen Umsetzung dieser Bedingungen in der Praxis erwächst die Motivation dieser Richtlinie.

GEBRAUCHSANLEITUNG

Diese Richtlinie bietet notwendige Informationen zur Umsetzung funktionaler, nutzungsabhängiger und wirtschaftlicher Akustik in Bildungsstätten. Dazu werden mit Bezug auf Normen und Richtlinien, z. B. [1 bis 6] an die Raumnutzung in Kindertageseinrichtungen, Schulen und Hochschulen Anforderungen an die Raumakustik, den baulichen und technischen Schallschutz sowie an den Schutz gegen Außenlärm formuliert. Sie betreffen also die Räume und Räumlichkeiten sowie die umfassenden Bauteile.

Diese Richtlinie wendet sich an Architekten und Fachplaner, Träger und Behörden sowie an produzierende und ausführende Unternehmen die, in unterschiedlicher Form und Funktion, Einfluss auf die Planung und Gestaltung richtiger Akustik nehmen können. Sie ist so aufgebaut und formuliert, dass auch Nutzer von Bildungsstätten die Möglichkeit erhalten, Lösungsbedarf zu identifizieren, akustische Maßstäbe anzulegen und sich bei Lösungsvorschlägen einbringen zu können.

Die Struktur der Anforderungen verbindet die Art und Nutzung der Bildungsstätten mit den akustischen Kategorien. Zu diesen Kategorien sind jeweils Kenngrößen und -werte zugeordnet sowie Konstruktionen und Bauteile genannt, um im Detail als auch im Gesamten ein geeignetes akustisches Niveau zu erreichen.



Kitas



Schulen



Hochschulen



Schutz vor Außenlärm

Der Schutz vor Außenlärm richtet sich nach der Lage eines Gebäudes (Lärmsituation) und ist jeweils gesondert festzulegen.



baulicher Schallschutz

Der bauliche Schallschutz wird nach Nutzungsart und Störanfälligkeit unterschieden.



technischer Schallschutz

Geräusche von technischen Anlagen dürfen nur in Sport- und Schwimmhallen etwas höher sein.



Raumakustik

Die Nachhallzeit als Maß für die Raumakustik ist nutzungsabhängig zu unterscheiden.

ANFORDERUNGEN

Die hier genannten Anforderungen berücksichtigen die relevanten akustischen Eigenschaften für die jeweiligen Gebäude- und Raumnutzungen. Dazu werden bekannte und gebräuchliche Kenngrößen verwendet, die in Normen definiert und nachfolgende erläutert werden. Zuvor jedoch sei auf einige Anwendungshinweise grundsätzlicher Art eingegangen.

Die Anforderungen gelten für Neubauten und für bestehende Gebäude.

Es gibt viele gute Gründe, akustische Maßnahmen mit einer substanziellen oder energetischen Sanierung zu verknüpfen. Auch eine zeitlich gestaffelten Vorgehensweise, die z. B. mit den offenkundigen Schwachstellen beginnt, ist sinnvoll und nachvollziehbar. Wichtig ist für größere Sanierungsvorhaben, dass gerade Baulärm eine drastische Lärmstörung darstellt und provisorische Räume bei längerer Nutzung akustische Mindeststandards erfüllen müssen.

Gründe für einen Bestandsschutz für schlechte Akustik gibt es nicht.

Bei nutzungsbezogenen akustischen Anforderungen bieten der Grundriss und die Orientierung des Gebäudes und der jeweiligen Räume wesentliche Möglichkeiten, den baulichen Aufwand z. B. für den Schallschutz zu minimieren. Ein weiterer Schritt in diesem Sinne ist die Verwendung standardisierter baulicher Elemente. Allein aus baupraktischen Gründen sollten nicht jede Wand, jede Tür oder die schallabsorbierenden Elemente für jeden Raum anders dimensioniert werden. Die mögliche Einsparung von Ausführungskosten ist

meist geringer zu bewerten als das provizierte Fehlerrisiko. Vor diesem Hintergrund werden in dieser Richtlinie die Räume mit ähnlicher Nutzung in einem Anforderungsniveau zusammengefasst.

Bei Mehrfachnutzung von Räumen gilt die Anforderung für die häufigste Nutzung.

Unabhängig von Raumtypen deren Nutzung können Kinder und Jugendliche mit besonderen Förderschwerpunkten empfindlicher auf schlechte Akustik, Störungen und Lärm reagieren. Inklusion und Integration, aber auch Kinder mit nicht-deutscher Muttersprache profitieren daher von erhöhter akustischer Qualität der Gebäude und Räume.

Inklusion verlangt auch bei der akustischen Gestaltung nach besonderer Sorgfalt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass unter bestimmten Umständen die Anforderungen gemeinsam mit spezialisierten Planern festzulegen sind. Dies wird sich auf seltene Fälle beschränken. Bei der Planung und Umsetzung guter Akustik ist die Einbindung bau- und raumakustischer Expertise jedoch grundsätzlich empfehlenswert.

Für eine sichere Akustikplanung ist fachspezifische Expertise wertvoll.

Kenngrößen und Werte

Begriff	Bedeutung
Schallpegel L in dB	Umgangssprachliche Bezeichnung für verschiedene akustische Größen wie z. B. Schalldruckpegel, Schallleistungspegel, usw.
Schallpegel L_{A,F,eq} in dB(A)	Über die gesamte Messzeit (mit der Zeitkonstante 125 ms, abgekürzt »F« für »Fast«) gemittelter Schalldruckpegel am Messort mit Anpassung an die menschliche Hörkurve (A-Bewertung). Er wird für Geräusche von haustechnischen Anlagen und dergleichen in Gebäuden verwendet und ist frequenzabhängig.
Nachhallzeit T in s	Die Zeit zwischen dem Abschalten der Schallquelle im Raum und dem Abfallen des Schalldruckpegels um 60 dB. Sie hängt vorwiegend vom Raumvolumen sowie vom zusammengefassten Schallabsorptionsvermögen der einzelnen Raumboflächen ab.
Schallabsorptionsgrad α	Anteil der auf eine Oberfläche auftreffenden Schallenergie, die nicht zurück in den Raum reflektiert wird. Die Schallabsorption ist frequenzabhängig und beeinflusst die Schallausbreitung innerhalb von Räumen, wenn diese schallabsorbierende Oberflächen enthalten (Decke, Wände, Einrichtung).

Kenngrößen und Werte

Begriff	Bedeutung
Schalldämm-Maß (Luftschalldämmung) R in dB	Widerstand eines Bauteils gegen das Durchdringen (Transmission) von Schallenergie. Das Schalldämm-Maß ist frequenzabhängig. Je höher die Werte, desto höher der Schallschutz.
bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R' _w in dB	Zu Planungs- und Vergleichszwecken wird ein zusammengefasster Einzahlwert der Schalldämmung R eines Bauteils, mit allen Nebenwegen ermittelt. Am Bau wird die Größe R' _w («R-Strich-w») verwendet und bei Anforderungen kommt ein »erf« (erforderlich) hinzu.
Trittschallpegel L _n in dB	Körperschall- und Schwingungsanregung, z. B. durch gehende Personen auf einer Geschosdecke, so dass Luftschall in den Raum darunter oder daneben abgestrahlt wird. Der Trittschallpegel ist frequenzabhängig und die Anregung (Messung) erfolgt mit einem Normhammerwerk. Je niedriger die Werte, desto höher der (Tritt-) Schallschutz.
bewerteter Norm-Trittschallpegel L' _{n,w} in dB	Zu Planungs- und Vergleichszwecken wird ein zusammengefasster Einzahlwert des Trittschallpegels L _n durch ein Bauteil, mit allen Nebenwegen ermittelt. Am Bau wird die Größe L' _{n,w} («L-Strich-nw») verwendet und bei Anforderungen kommt ein »erf« (erforderlich) hinzu.

Nutzungs- bzw. Raumkategorien und Anforderungen



Kitas



Raumakustik

Gruppenräume, Ruhe- und Schlafräume, Essräume, Büros und Besprechungsräume, Bewegungsräume < 300 m³	Nachhallzeit $T \leq 0,6$ s oder Schallabsorber mit $\alpha > 0,85$ auf freien Decken- und Wandflächen, die der Grundfläche entsprechen
Eingangsbereiche, angrenzende Flure	Nachhallzeit $T \leq 1,0$ s oder Schallabsorber mit $\alpha > 0,6$ auf freien Decken- und Wandflächen, die der Grundfläche entsprechen

Ergänzende Hinweise

Die Anforderungen an Nachhallzeit und Schallabsorptionsgrad sind Mittelwerte. Sie sollten jedoch gleichmäßig im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5000 Hz erreicht werden. Der für diese Werte akzeptable Toleranzbereich bei der Planung beträgt zehn Prozent. Bei der Nachhallzeit gilt die Anforderung im unbesetzten Zustand des Raumes. Der Fall einer zu kurzen Nachhallzeit ist bislang noch nicht bekannt geworden.

Einteilung der Räume nach Schutzbedürfnis und Lärmemissionspotenzial



Kitas



baulicher Schallschutz

- 1 hohes Schutzbedürfnis Ruhe-, Schlaf- und Gruppenräume
- 2 mittleres Schutzbedürfnis Musik-, Ess-, Eingangs-, Büro-, Besprechungsräume
- 3 geringes Schutzbedürfnis Bewegungs- und Werkräume, Treppenhäuser, Flure
- A geringes Emissionspotenzial Ruhe-, Schlaf-, Büro- und Besprechungsräume,
- B mittleres Emissionspotenzial Gruppen- und Essräume, Treppenhäuser, Flure
- C hohes Emissionspotenzial Musik-, Bewegungs-, Werk- und Eingangsräume

Erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß R'_{w} von Wänden und Decken sowie maximaler bewerteter Normtrittschallpegel $L'_{n,w}$ von Decken jeweils in dB.

Schutzbedürfnis	1			2			3		
	Wand	Decke		Wand	Decke		Wand	Decke	
Emissionspotenzial	R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$
A	47	55	53	47	55	53	47	55	53
B	52	55	53	47	55	53	47	55	53
C	55	55	46	52	55	53	47	55	53

Der erforderliche bewertete Schalldämm-Maß R_w von Türen beträgt 32 dB. Zwischen Räumen mit hohem Schutzbedürfnis und benachbarten Räumen mit hohem Emissionspotenzial sollte der Wert 42 dB betragen.

Ergänzende Hinweise

Bei bestehenden Gebäuden kann insbesondere die Ertüchtigung von Geschossdecken sehr schwierig sein, wenn z.B. zusätzliche Schichten deren Tragfähigkeit überschreiten. Hier empfiehlt sich die Verwendung wirksamer leichter Bodenbeläge, um zumindest den Trittschallpegel zu reduzieren.

Nutzungs- bzw. Raumkategorien und Anforderungen



Schulen



Raumakustik

Klassen-, Musik-, Fach- und Laborräume	Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V abhängig. V bis 200 m ³ $T \leq 0,5$ s 200 m ³ V 400 m ³ $T \leq 0,6$ s
Lernlandschaften	Anforderungen wie für Klassenräume; zusätzlich müssen einzelne Lernzonen voneinander mit mobilen Schallschirmen getrennt werden. Deren Höhe soll 1,6 m nicht unterschreiten.
Lehrerzimmer, Büros, Besprechungsräume, Bibliotheken	Nachhallzeit $T \leq 0,6$ s
Mensen, Cafeterien	Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V abhängig. V bis 500 m ³ $T \leq 0,8$ s 500 m ³ ≤ V < 2000 m ³ $T \leq 1,0$ s V über 2000 m ³ $T \leq 1,2$ s

Nutzungs- bzw. Raumkategorien und Anforderungen

Sport- und Schwimmhallen	Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V abhängig. Bei Sporthallen gilt die Anforderung für jedes Teissegment der Halle.
	1000 m³ ≤ V < 2000 m³ T ≤ 1,3 s
	2000 m³ ≤ V < 5000 m³ T ≤ 1,6 s
	5000 m³ ≤ V < 10000 m³ T ≤ 1,8 s
Aulen	Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V und der hauptsächlichen Nutzung abhängig.
	Sprachnutzung / Musik- und Sprachnutzung:
	500 m³ V < 1000 m³ T ≤ 0,9 s / 1,1 s
	1000 m³ ≤ V < 2000 m³ T ≤ 1,1 s / 1,3 s
	2000 m³ ≤ V < 5000 m³ T ≤ 1,2 s / 1,4 s
Foyers, Pausenhallen, angrenzende Flure und Treppenhäuser	Nachhallzeit T ≤ 1,0 s
	oder Schallabsorber mit α > 0,6 auf freien Decken- und Wandflächen, die der Grundfläche entsprechen. Hohe Räume sollten mehr Schallabsorptionsfläche aufweisen.

Ergänzende Hinweise

Die Anforderungen an Nachhallzeit und Schallabsorptionsgrad sind Mittelwerte. Sie sollten jedoch möglichst gleichmäßig im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5000 Hz erreicht werden. Der für diese Werte akzeptable Toleranzbereich bei der Planung beträgt max. zehn Prozent. Bei der Nachhallzeit gilt die Anforderung im unbesetzten Zustand des Raumes. Bibliotheken weisen durch die Bücherregale eine hohe Raumdämpfung in horizontaler Richtung auf; so muss vorwiegend die Decke behandelt werden. Für denkmalgeschützte Gebäude und große, nicht quaderförmige Räume sind Akustikfachleute einzubeziehen.

Einteilung der Räume nach Schutzbedürfnis und Lärmemissionspotenzial



Schulen



baulicher Schallschutz

1 hohes Schutzbedürfnis	Klassen-, Musik-, Fach- und Laborräume, Bibliotheken, Lernlandschaften
2 mittleres Schutzbedürfnis	Lehrerzimmer, Büros, Besprechungsräume, Aula
3 geringes Schutzbedürfnis	Mensa, Cafeteria, Sport- und Schwimmhallen, Foyer, Pausenhallen, Flure, Treppenhäuser, Werkstätten
A geringes Emissionspotenzial	Klassen-, Fach-, Laborräume, Bibliotheken, Lehrerzimmer, Büros, Besprechungsräume, Lernlandschaften
B mittleres Emissionspotenzial	Aulen, Treppenhäuser, Flure
C hohes Emissionspotenzial	Musikräume, Mensa, Cafeteria, Sport-, Schwimm-, und Pausenhallen, Foyers, Werkstätten

Einteilung der Räume nach Schutzbedürfnis und Lärmemissionspotenzial



Schulen



baulicher Schallschutz

Erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß R'_{w} von Wänden und Decken sowie maximaler bewerteter Normtrittschallpegel $L'_{n,w}$ von Decken jeweils in dB.

Schutzbedürfnis	1			2			3		
	Wand	Decke		Wand	Decke		Wand	Decke	
Emissionspotenzial	R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$	R'_{w}	R'_{w}	$L'_{n,w}$
A	47	55	53	47	55	53	47	55	53
B	52	55	53	47	55	53	47	55	53
C	58	58	46	52	55	53	47	55	53

Der erforderliche bewertete Schalldämm-Maß R_{w} von Türen beträgt 32 dB. Lassen sich gleichzeitige Nutzungen von Räumen mit hohem Schutzbedürfnis und benachbarten Räumen mit hohem Emissionspotenzial nicht vermeiden, sollte der Wert 42 dB betragen.

Ergänzende Hinweise

In Musikschulen sind erhöhte bewertete Schalldämm-Maße R'_{w} um 3 dB für Wände und Decken sowie um 5 dB für Türen gerechtfertigt. Trennvorhänge in Sporthallen müssen eine Schallpegeldifferenz ΔL von mindestens 18 dB aufweisen.

Nutzungs- bzw. Raumkategorien und Anforderungen



Hochschulen



Raumakustik

Seminarräume und Arbeitsräume für Studierende	Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V abhängig. V bis 200 m ³ T ≤ 0,5 s 200 m ³ V 400 m ³ T ≤ 0,6 s Wenn in Räumen gleichzeitig verschiedene Nutzungen stattfinden, sind die einzelnen Zonen mittels mobiler Schallschirme voneinander abzugrenzen. Diese sollen mindestens 1,6 m hoch sein.
Büros und Besprechungsräume, Bibliotheken	Nachhallzeit T ≤ 0,6 s
Hörsäle	Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V abhängig. V bis 500 m ³ T ≤ 0,6 s 500 m ³ ≤ V < 2000 m ³ T ≤ 0,8 s 2000 m ³ ≤ V < 5000 m ³ T ≤ 1,0 s
Mensen, Cafeterien	Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V abhängig. V bis 500 m ³ T ≤ 0,8 s 500 m ³ ≤ V < 2000 m ³ T ≤ 1,0 s V über 2000 m ³ T ≤ 1,2 s

Nutzungs- bzw. Raumkategorien und Anforderungen



Hochschulen



Raumakustik

Sport- und Schwimmhallen

Die Anforderung an die Nachhallzeit T ist vom Volumen V abhängig. Bei Sporthallen gilt die Anforderung für jedes Teilsegment der Halle.

$$1000 \text{ m}^3 \leq V < 2000 \text{ m}^3 \quad T \leq 1,3 \text{ s}$$

$$2000 \text{ m}^3 \leq V < 5000 \text{ m}^3 \quad T \leq 1,6 \text{ s}$$

$$5000 \text{ m}^3 \leq V < 10000 \text{ m}^3 \quad T \leq 1,8 \text{ s}$$

Foyers, offene Bereiche, angrenzende Flure und Treppenhäuser

Nachhallzeit $T \leq 1,0 \text{ s}$

oder

Schallabsorber mit $\alpha > 0,6$ auf freien Decken- und Wandflächen, die der Grundfläche entsprechen. Hohe Räume sollten mehr Schallabsorptionsfläche aufweisen

Ergänzende Hinweise

Die Anforderungen an Nachhallzeit und Schallabsorptionsgrad sind Mittelwerte. Sie sollten jedoch möglichst gleichmäßig im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5000 Hz erreicht werden. Der für diese Werte akzeptable Toleranzbereich bei der Planung beträgt maximal zehn Prozent. Große Hörsäle (> 100 Personen) werden üblicherweise mit einer elektroakustischen Anlage betrieben. Hier gilt, je kürzer die Nachhallzeit, desto besser funktioniert die Anlage. Zusätzlich müssen Größe und Lage reflektierender Flächen berücksichtigt werden. Bibliotheken weisen durch die Bücherregale eine hohe Raumdämpfung in horizontaler Richtung auf. So muss vorwiegend die Decke behandelt werden. Für denkmalgeschützte Gebäude und große, nicht quaderförmige Räume sind Akustikfachleute einzubeziehen.

Einteilung der Räume nach Schutzbedürfnis und Lärmemissionspotenzial



Hochschulen



baulicher Schallschutz

1 hohes Schutzbedürfnis	Seminar- und Arbeitsräume für Studierende, Hörsäle
2 mittleres Schutzbedürfnis	Büros und Besprechungsräume
3 geringes Schutzbedürfnis	Mensen, Cafeterien, Sport- und Schwimmhallen, Foyers, Flure, Treppenhäuser, Labore
A geringes Emissionspotenzial	Seminar- und Arbeitsräume für Studierende, Hörsäle, Büros und Besprechungsräume
B mittleres Emissionspotenzial	Treppenhäuser, Flure
C hohes Emissionspotenzial	Mensen, Cafeterien, Sport-, Schwimm-, und Pausenhallen, Foyers, Werkstätten, Labore

Erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß R'_w von Wänden und Decken sowie maximaler bewerteter Normtrittschallpegel $L'_{n,w}$ von Decken jeweils in dB.

Schutzbedürfnis	1			2			3		
	Wand	Decke		Wand	Decke		Wand	Decke	
Emissionspotenzial	R'_w	R'_w	$L'_{n,w}$	R'_w	R'_w	$L'_{n,w}$	R'_w	R'_w	$L'_{n,w}$
A	47	55	53	47	55	53	47	55	53
B	52	55	53	47	55	53	47	55	53
C	58	58	46	52	55	53	47	55	53

Das erforderliche bewertete Schalldämm-Maß R'_w von Türen beträgt 32 dB. Zwischen Räumen mit hohem Schutzbedürfnis und benachbarten Räumen mit hohem Emissionspotenzial sollte der Wert 42 dB betragen.

Ergänzende Hinweise

In Musikhochschulen sind erhöhte bewertete Schalldämm- Maße R'_{w} um 3 dB für Wände und Decken sowie um 5 dB für Türen gerechtfertigt. Trennvorhänge in Sporthallen müssen eine Schallpegeldifferenz ΔL von mindestens 18 dB aufweisen. Laustarke Labore (z. B. in natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten) bedürfen einer individuellen Planung.

 <p>technischer Schallschutz</p>	 <p>Kitas</p>	 <p>Schulen</p>	 <p>Hochschulen</p>
<p>Räume mit geringem Schutzbedürfnis</p>	<p>$L_{A,F,eq} \leq 35$ dB(A) im Raum für Geräusche von haustechnischen Anlagen, Installationen und dauerhaft betriebenen Geräten</p>		

Ergänzende Hinweise

Besonderes Augenmerk gilt kurzzeitigen Geräuschspitzen in Räumen für Ruhe und Kommunikation. In Werkstätten ist auf möglichst leise Maschinen und Werkzeuge zu achten. In Mensen, Kantinen und Cafeterien sollen leise Geräte für Theken, Kühlregale und Küchengeräte verwendet werden. Deren Schalleistungspegel soll 40 dB(A) nicht überschreiten. In Versammlungsräumen sollen Mediengeräte (wie z. B. Projektoren) einen Schalleistungspegel von höchstens 35 dB(A) aufweisen. In Laboren von natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten sind individuelle, nutzungsspezifische Maßnahmen zur Geräuschreduktion durchzuführen.



Schutz vor Außenlärm



Kitas



Schulen



Hochschulen

Die Anforderungen an den Schutz vor Außenlärm richten sich nach der Lage und umgebenden Lärmsituation des Gebäudes. Außerhalb von Wohngebieten und insbesondere an Hauptstraßen und Schienenwegen sowie in der Nähe von Flughäfen sowie Industrie- und Gewerbebetrieben ist die professionelle Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels erforderlich. Dieser berücksichtigt alle Lärmquellen, wobei in der Regel die lauteste und häufigste Lärmquelle entscheidet.

Das sich daraus ergebende resultierende Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ gilt für die Außenbauteile, die aus mehreren unterschiedlichen Elementen zusammengesetzt sein können. Hier entscheidet das schwächste Element über das Ergebnis. In der Regel sind dies die Fenster.

In ruhigen Wohngebieten liegt das resultierende Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ bei etwa 35 dB. Bei einer Außenwand mit einem Schalldämm-Maß von 50 dB und 50 Prozent (60 Prozent Fensterflächenanteil) müssen diese Fenster ein Schalldämm-Maß von mindestens 30 dB (32 dB) aufweisen.

GESTALTUNGSHINWEISE FÜR NEUBAU UND SANIERUNG

Bei der akustischen Gestaltung von Kitas, Schulen und Hochschulen sind auch Aspekte wie hohe Personendichte, das Altersspektrum und die typische Fluktuation der Nutzer zu beachten. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, für gute akustische Lehr- und Lernbedingungen nicht nur bauliche und technische Anforderungen umzusetzen, sondern auch organisatorische und pädagogische Maßnahmen zu entwickeln und zu praktizieren.

Für die Lehrkräfte in Bildungseinrichtungen sind z. B. Bewusstseinsbildung und Regelsetzung, Methodik und Hilfsmittel vielfach vertraut und alltäglich. So gilt schließlich auch hier der integrale Ansatz, mit dem letztlich alle Rahmenbedingungen und Maßnahmen in gut abgestimmter Form zum besten und wirtschaftlichsten Ergebnis führen.

Sowohl beim Neubau als auch bei der Teil- und Komplettsanierung sind die inneren und äußeren Schallquellen sowie die gesamte Gebäudestruktur zu berücksichtigen.

Bei schrittweiser Sanierung ist zudem nutzungsabhängig zu entscheiden, welche Akustikmaßnahme das höchste Verbesserungspotenzial hat. In diesem Sinne folgen Hinweise für einige typische Fälle.

Kindertageseinrichtungen

Hier sind hörbare und mitunter laute Lebensäußerungen der Kinder, mit oder ohne »Hilfsmittel«, ein akustisches Merkmal. Daraus entsteht eine hohe Belastung

nicht nur in Aufenthalts- und Bewegungsräumen. Im üblichen Parallelbetrieb mit meist offenen Türen stören sich die Gruppen gegenseitig.

Den größten Nutzen bei geringem Aufwand bieten Maßnahmen, die den Raumschall dämpfen und leicht nachträglich eingebaut werden können. Das können absorbierende Unterdecken oder Schallabsorber-Elemente sein, die außer Reichweite und ballwurfsicher installiert werden.

Ein Zuviel an absorbierenden Maßnahmen ist in Kindertagesstätten kaum vorstellbar. Ruhe- und Schlafräume können wie Aufenthaltsräume behandelt werden. In der Regel sind Türen die Schwachstellen, über die Schall von Aufenthaltsräumen übertragen wird. Die Justierung vorhandener Türen oder eine Investition in neue Türen oder Türdichtungen ist akustisch sehr wirkungsvoll.

Schulen

Der zentrale Arbeitsbereich und Lebensraum in Schulen ist das Klassenzimmer. Hier gilt es, die Sprachverständlichkeit zu erhöhen und selbst erzeugte sowie externe Störpegel zu minimieren. Dazu müssen passende Schallabsorber an der Decke und eventuell auch an Wänden, vorzugsweise an der Rückwand, installiert werden. Hinsichtlich Störungsarmut von außen stehen auch hier die Schalldämmung der Türen zum Flur und benachbarten Klassenräumen im Fokus. Eine Herausforderung in älteren Schulen sind Trittschall und Gehgeräusche aus Fluren und Treppenhäusern, die als Schwingungen über die Baustruktur Klassenräume erreichen und dort abgestrahlt werden. Ohne Eingriffe in die Bausubstanz können diese nur an der Quelle, also mittels Bodenaufgaben gemindert werden. Die akustische Schwachstelle nach außen sind Fenster. Dies gilt meist auch für deren Wärmedämmung, so dass sie z. B. im Rahmen einer energetischen Sanierung

ausgetauscht werden. Schulen an Hauptstraßen oder mit anderen lautstarken Nachbarn sollten auf Schallschutzfenster und schallgedämmte Lüftungseinrichtungen achten.

Übrigens ist es ein verbreiteter Trugschluss, dass moderne, wärmedämmende Dreifachverglasungen auch automatisch bessere Schallschutzwerte aufweisen. Bei gleicher Größe und gleichem Gewicht gilt das Gegenteil, sie sind akustisch schlechter. Ein weiterer Hinweis zu Fenstern betrifft deren Öffnungsautomatik z. B. bei schlechter Luftqualität. Derartige Systeme sind heute verfügbar und sinnvoll. Allerdings sollten sie nicht gerade öffnen, wenn an der Straße vor dem Gebäude die Ampel auf Grün schaltet. Lärm und schlechte Luft im Raum wären das Ergebnis. Künftige Automatik-Fenster werden aber auch diese Aspekte bei der Regelung berücksichtigen.

Die Akustik von Musikräumen wird oft und gern vorrangig berücksichtigt. Das ist richtig, da der Raum akustisch mitspielt. Auch hier sind Absorber an Decke und

Wänden die erste Wahl, um die Raumakustik passend einzustellen. In größeren Musikräumen gilt es, zusätzlich für Reflexionen von Decke und Wänden zu sorgen. Weil die Nutzung in Musikräumen laut ist, sollten sie, wie andere laute Fachräume auch, möglichst fernab ruhebedürftiger Unterrichtsräume positioniert werden.

Das ist nicht immer möglich, so dass für die Schalldämmung der Wände und Decken zu anderen Räumen und auch zu Verkehrsflächen erhöhte Anforderungen gelten. Im Bestand lässt sich mit passenden Türen und Vorsatzschalen auf den Wänden die Schalldämmung verbessern.

Die Aula ist normalerweise ein Mehrzweckraum für Sprach- und Musikveranstaltungen. Entsprechend gut müssen Verständlichkeit und Hörsamkeit sein. Beides wird in erster Linie durch passende Schallabsorber an Decke und Wänden realisiert. Oft werden diese Räume mit Beschallungsanlagen betrieben, wobei eine geringere Nachhallzeit anzustreben ist. Diese ist jedoch für Musikdarbietung we-

niger geeignet und es gilt, eine nutzungsbezogene Balance zu finden. Ab einer gewissen Größe werden Aulen mechanisch belüftet, so dass die Lüftungsgeräusche zu beachten und gegebenenfalls mit Schalldämpfern entlang der Lüftungstrecke reduziert werden müssen.

Die Cafeteria oder Mensa ist hauptsächlich durch viele Nutzer und laute Nutzergeräusche gekennzeichnet. Dennoch ist ein akustisches Klima der lokalen Verständlichkeit herzustellen, damit die Sprechanstrengung gering bleibt. Dies lässt sich auch nachträglich und wirtschaftlich mit Schallabsorbern an der Decke realisieren. Eine drastische Lärmbelastung gerade in diesen Räumen mit ständigem Setzen und Aufstehen sind Geräusche durch Stühlerücken. Dagegen hilft auch gute Raumakustik nicht, sondern nur die richtigen Stuhlgleiter für den vorhandenen Bodenbelag. Filz ist hier aus hygienischen Gründen nicht die beste Wahl. Eine andere, nachhaltigere Lösung ist die Anschaffung von Stühlen, die weniger Schall erzeugen.

Der Lärmdruck in Sport- und Schwimmhallen ist hoch, sowohl in der einzelnen Unterrichtsstunde als auch auf Dauer [7]. Die akustischen Herausforderungen sind vielfältig, wobei der vorwiegende Parallelbetrieb in Mehrfeldhallen die Problematik noch steigert. Aber auch zur akustischen Behandlung von Sporthallen besteht Spielraum.

Schallabsorber an der Decke und hinter Prallwänden sind hilfreich und auch schallabsorbierende Trennvorhänge können zur Dämpfung beitragen. Ihre akustisch trennende Wirkung zwischen den Hallenfeldern funktioniert nur, wenn die Anschlüsse zur Decke und zu den Seitenwänden dicht sind oder zumindest nur sehr schmale Lücken verbleiben. Ein Spalt von nur wenigen Zentimetern reduziert diese Wirkung schon deutlich.

Schwimmhallen sind bekannt für ihre sozusagen »natürliche Halligkeit«. Doch auch hierfür gibt es Schallabsorber, um die Nachhallzeit zu reduzieren. Diese müssen den besonderen Bedingungen stand-

halten, also der erhöhten Luftfeuchtigkeit und dem erhöhten Chlorgehalt in der Raumluft.

Hochschulen

Es gibt eine Reihe von Ähnlichkeiten zu Schulen, aber auch einige Unterschiede. Vorlesungssäle von Hochschulen rangieren von Klassenraumgröße bis zu großen Auditorien für mehrere hundert Personen. Für kleinere Vorlesungs- und Seminarräume gilt gleichermaßen die Akustik von Klassenräumen. Große Auditorien nutzen heute nahezu durchgehend Beschallungsanlagen, die im Abgleich mit der Raumakustik auf gute Sprachverständlichkeit einzustellen sind. Erneut helfen dabei Schallabsorber an der Decke, der Rückwand und je nach Ausführung auch an den Seitenwänden. Laute Projektoren sollten genauso verbannt werden wie knarrendes Mobiliar. Je nach Studienrichtung unterscheiden sich Arbeitsräume und Labore an Hochschulen erheblich. Computerlabore sind leise und stellen in

der Regel keine akustische Herausforderung dar. Andere natur- und ingenieurwissenschaftliche Labore können durchaus laute Geräte beinhalten. Diese Labore und all die anderen lärmintensiven Räume sind üblicherweise so zu positionieren, dass sie keine Störung für ruhebedürftige Räume bedeuten.

Die Universitätsmensa ist zwar in der Regel größer als ihr Pendant in der Schule, dennoch sind die gleichen Anforderungen anzulegen. Ein ebenso zentraler Hochschulraum wie die Mensa ist die Bibliothek. Durch die neuen Medien und Kommunikationsmöglichkeiten ist hier mehr und mehr ein gewisser Wandel bezüglich des Charakters und der Nutzung festzustellen. Allerdings bleibt der Hauptanspruch, akustische Randbedingungen für konzentrierte, geistige Arbeit zu bieten. Eine geeignete Raumstruktur mit abschirmenden Elementen sowie eine ruhefördernde Raumakustik sind dafür die richtigen Maßnahmen.

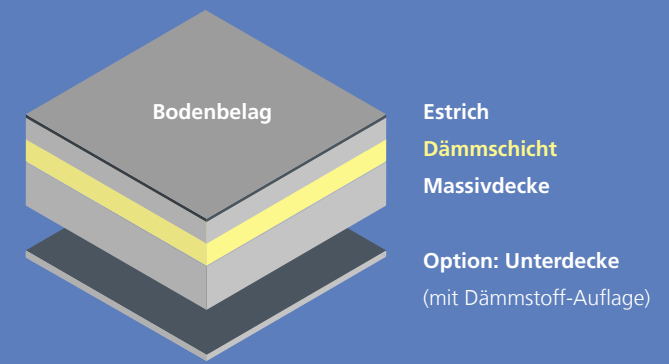
Inklusion

Inklusion gehörbehinderter Menschen betrifft alle Arten von Bildungsstätten. Für alle Gehörgeschädigten sind eine gute Sprachverständlichkeit und ein geringer Störgeräuschpegel unverzichtbar, um teilhaben zu können. Um beides herzustellen, müssen die Nachhallzeit mit schallabsorbierenden Flächen stärker reduziert und die äußeren Störgeräusche weiter minimiert werden als es für normal Hörende notwendig ist. Hoch und breitbandig wirksame Schallabsorber sowie funktionale Türen und Fenster sind Maßnahmen in diesem Sinne. Gute Akustik für Inklusion darf sich nicht nur auf Aufenthaltsräume beschränken, sondern ist auch in Verkehrsflächen und Sporthallen erforderlich. Als sinnvolle technische Maßnahmen sind darüber hinaus z. B. elektroakustische Anlagen einzubeziehen, an die Hörgeräte per Fernübertragung angeschlossen werden können.

Sicherheit

Das Gehör gilt als das Alarmorgan des Menschen. Diese Eigenschaft wird einerseits durch irrelevante und überflüssige Störgeräusche strapaziert.

Andererseits ist sie für zahlreiche kleine und große Alarmierungsszenarien die Grundvoraussetzung. Die meisten technischen Notfallsysteme setzen auf akustische Wahrnehmung. Aber auch beim Sportunterricht stellen Stimme oder Trillerpfeife akustische Hilfsmittel dar, mit denen sich Aufmerksamkeit auf unmittelbare oder potenzielle Gefahren lenken lässt. Für diese Sicherheitsaspekte müssen passende akustische Bedingungen in Räumen und Hallen, Fluren und Fluchtwegen hergestellt werden. Ausreichend laute Alarmierungs- und Beschallungssysteme sowie geeignete Raumakustik sind daher die Voraussetzungen für hörbare und verständliche Signale und Informationen.



MÖGLICHKEITEN ZUR UMSETZUNG

Im Folgenden werden einige Hinweise zu Konstruktionen gegeben, mit denen die genannten Anforderungen erreicht werden können. Im Falle eines Neubaus können diese oder vergleichbare Konstruktionen übernommen werden und im Sanierungsfalle die zusätzlich notwendigen Maßnahmen (z. B. Trittschallaufgagen oder Fenster) zu vorhandenen Bauteilen ausgewählt werden.

Grundsätzlich sei auf die hier sehr verkürzte und beispielhafte Darstellung der Bauteile und Konstruktionen hingewiesen. Fachleute werden bei einer konkreten Planung und Auslegung deutlich detaillierter vorgehen und mitunter auch noch andere Kenngrößen für einzelne Elemente und für die Gesamtkonstellation verwenden. So sind z. B. nicht nur die Trennbauteile zu beachten, da auch anschließende und angrenzende Wände, Decken und Böden den letztlich erreichbaren Schallschutz zwischen zwei Räumen mitbestimmen.

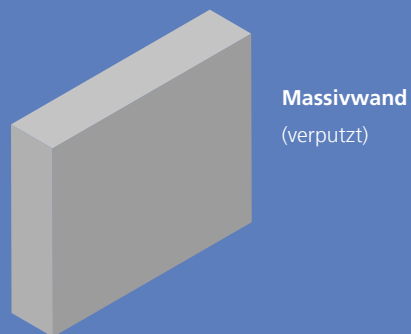
In diesem Kapitel der Richtlinie geht es aber um eine Orientierung und Einordnung von Konstruktionen und deren Schallschutz- oder Schallabsorptionsvermögen, mit der die Erreichbarkeit der angegebenen Anforderungen eingeschätzt werden kann.

Abb. Massivdecke mit schwimmendem Estrich und Bodenbelag.

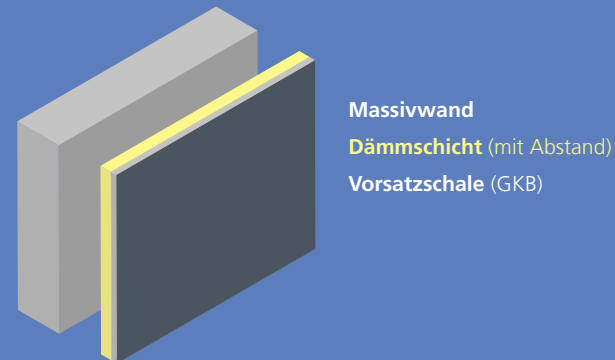
Decken			
R' _w	L' _{n,w}	Konstruktion	Aufbau, z. B. Dicke, Material
55 dB	53 dB	Schwimmender Estrich auf Massivdecke	170 mm Betondecke, Estrich mit der Flächenmasse (Dichte · Dicke) ≥ 70 kg/m ² auf einer Trittschall-Dämmplatte mit der dynamischen Steifigkeit ≤ 50 MN/m ³
58 dB	46 dB	Schwimmender Estrich auf Massivdecke	240 mm Betondecke, Estrich mit der Flächenmasse (Dichte · Dicke) ≥ 70 kg/m ² auf einer Trittschall-Dämmplatte mit der dynamischen Steifigkeit ≤ 50 MN/m ³

Ergänzende Hinweise

In bestehenden Gebäuden sind auch andere Deckentypen aus Beton oder Holz vorzufinden, deren Belastbarkeitsgrenze bereits erreicht ist. Hier sind zusätzliche Schallschutzmaßnahmen, z. B. Bodenbeläge, Estrich-Schichten und Unterdecken, bei Bedarf besonders sorgfältig abzuwägen.



Massivwand
(verputzt)



Massivwand
Dämmschicht (mit Abstand)
Vorsatzschale (GKB)

Abb. Unterschiedliche Wandkonstruktionen

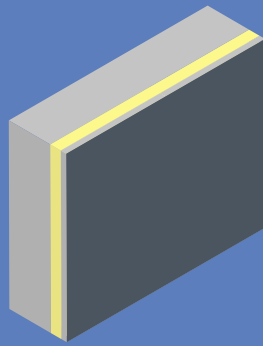
Wände

R' _w	Konstruktion	Aufbau, z. B. Dicke, Material
47 dB	Massivwand	110 mm Beton oder 175 mm Mauerwerk (Kalksandstein)
	Massivwand mit Vorsatzschale aus Gipskartonbauplatten (GKB)	90 mm Beton oder 140 mm Mauerwerk (Kalksandstein), Vorsatzschale aus GKB einfach beplankt (12,5 mm), Dämmschichtdicke ≥ 60 mm, frei stehend mit Abstand ≥ 20 mm vor der Wand
	Montagewände aus Gipskartonbauplatten (GKB) in Ständerbauart (DIN 18183)	100 mm Beton oder 160 mm Mauerwerk (Kalksandstein), Vorsatzschale aus GKB einfach beplankt (12,5 mm), Dämmschichtdicke ≥ 60 mm, an der Wand befestigt
	Montagewände aus Gipskartonbauplatten (GKB) in Ständerbauart (DIN 18183)	beidseitig GKB doppelt beplankt (2·12,5 mm), Schalenabstand ≥ 100 mm, Dämmschichtdicke ≥ 40 mm

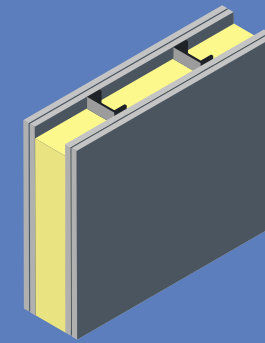
Wände

R' _w	Konstruktion	Aufbau, z. B. Dicke, Material
52 dB	Massivwand	110 mm Beton oder 240 mm Mauerwerk (Kalksandstein)
	Massivwand mit Vorsatzschale aus Gipskartonbauplatten (GKB)	110 mm Beton oder 180 mm Mauerwerk (Kalksandstein), Vorsatzschale aus GKB einfach beplankt (12,5 mm), Dämmschichtdicke ≥ 60 mm, frei stehend mit Abstand ≥ 20 mm vor der Wand 120 mm Beton oder 200 mm Mauerwerk (Kalksandstein), Vorsatzschale aus GKB einfach beplankt (12,5 mm), Dämmschichtdicke ≥ 60 mm, an der Wand befestigt
	Montagewände aus Gipskartonbauplatten (GKB) in Ständerbauart (DIN 18183)	beidseitig GKB doppelt beplankt (2·12,5 mm), Schalenabstand ≥ 105 mm, Dämmschichtdicke ≥ 80 mm, getrennte Ständer zwischen den Schalen (Körperschall-Entkopplung)

UMSETZUNG



Massivwand
Dämmschicht (befestigt)
Vorsatzschale (GKB)



GKB (doppelt beplankt)
Dämmschicht (Ständer)
GKB (doppelt beplankt)

Wände

R'_w	Konstruktion	Aufbau, z. B. Dicke, Material
55 dB	Massivwand	220 mm Beton oder 365 mm Mauerwerk (Kalksandstein)
	Massivwand mit Vorsatzschale	160 mm Beton oder 250 mm Mauerwerk (Kalksandstein), Vorsatzschale aus GKB einfach be- plankt (12,5 mm), Dämmschichtdicke ≥ 60 mm, frei stehend mit Abstand ≥ 20 mm vor der Wand 180 mm Beton oder 290 mm Mauerwerk (Kalksandstein), Vorsatzschale aus GKB einfach be- plankt (12,5 mm), Dämmschichtdicke ≥ 60 mm, an der Wand befestigt
	Montagewände aus Gipskarton- bauplatten (GKB) in Ständerbau- art (DIN 18183)	beidseitig GKB doppelt beplankt (2·12,5 mm), Schalenabstand ≥ 105 mm, Dämmschichtdicke ≥ 80 mm, getrennte Ständer zwischen den Schalen (Körperschall- Entkopplung)

Wände

R'_w	Konstruktion	Aufbau, z. B. Dicke, Material
58 dB	Massivwand mit Vorsatzschale	220 mm Beton oder 365 mm Mauerwerk (Kalksandstein) 220 mm Beton oder 360 mm Mauerwerk (Kalksandstein), Vorsatzschale aus GKB einfach be- plankt (12,5 mm), Dämmschichtdicke ≥ 60 mm, frei stehend mit Abstand ≥ 20 mm vor der Wand
	Montagewände aus Gipskarton- bauplatten (GKB) in Ständerbau- art (DIN 18183)	beidseitig GKB doppelt beplankt (2·12,5 mm), Schalenabstand ≥ 105 mm, Dämmschichtdicke ≥ 80 mm, getrennte Ständer zwischen den Schalen (Körperschall- Entkopplung)



Abb. Für den Schallschutz relevante Eigenschaften eingebauter Türen.

Türen

Es sind zur Nutzung passende Lösungen auszuwählen und dabei viele Details zu beachten, wie sie in speziellen Empfehlungen, z. B. VDI-Richtlinie 3728, enthalten sind.

Türblatt	Art des Werkstoffes, Aufbau mehrschichtig oder sogar zweischalig, Maßgenauigkeit
Falzgeometrie	Einfachfalz oder bei höheren Anforderungen Doppelfalz
Türzarge	Holz oder Metall, Einfach- oder Doppelfalz, Block- oder Blendrahmen
Beschläge	Anzahl, Art und Justierbarkeit von Bändern und Verriegelungen, einfache Wartungsmöglichkeiten
Dichtungen	in der Bewegungsfuge – Elastische Dichtungen zwischen Türblatt und Zarge oder im Falzüberschlag (für hohe Anforderungen 2 bis 4 Dichtungen)
Bodenspalt	geringe Spalthöhe, grundsätzlich mit automatischer Absenkdichtung
Fußboden	Ebenheit der Bodenoberfläche, ggf. mit Bodenschiene, schwimmender Estrich und dergleichen mit Trennfuge
Einbaufugen	zwischen Zarge und Wand – vollständige Hinterfüllung (Mineralwolle, Dämmschaum) und zweiseitige dauerelastische Abdichtung

An (Innen-) Türen werden zum Teil gegen-
sätzliche Anforderungen gestellt. Schall-
schutz bedarf einer bestimmten Masse,
aber die Türen dürfen nicht zu schwer
sein. Schallschutz erfordert dauerhafte
Dichtigkeit, die Türen müssen sich aber
häufig und leicht öffnen und schließen
lassen. Im Vergleich zu Decken und Wän-
den im Gebäude erweist sich der Schall-
schutz von Türen in der Praxis häufiger als

unzureichend, obgleich sie an sich das er-
forderliche und geplante Schallschutzpo-
tenzial aufweisen. Meist liegen die
Ursachen für unzureichende Wirkung im
Einbau und anschließend in der zu selte-
nen Pflege und Wartung trotz starker Be-
anspruchung.

Die Vielfalt an Fenstern und Fassaden ist
sehr groß, auch in punkto Schallschutz
gegenüber Außenlärm. Beim Neubau be-
steht daher kein Problem, auch hohe An-
forderungen zu erfüllen. Im Bestand sind
die Fenster oftmals der akustische
Schwachpunkt einer Fassade, so dass ihr
Austausch als erster Schritt einer Schall-
schutzverbesserung anzusehen ist.

Natürlich empfiehlt es sich, akustische und
energetische Aspekte gemeinsam zu be-
rücksichtigen. Moderne Dreifachverglä-
sungen bieten schließlich einen deutlich
besseren Wärmeschutz. Aus Sicht des
Schallschutzes ist jedoch zu beachten,
dass z. B. das Schalldämm-Maß einer
Dreifachverglasung systematisch niedriger
ist als das einer gleichschweren Doppel-
verglasung. Dennoch lassen sich natürlich
Schall- und Wärmeschutz auf hohem
Niveau erreichen, wenn bei der Auswahl
beide Werte geprüft werden.

Dies gilt auch für alle anderen Elemente
von Fassadenkonstruktionen, wie Dämm-
systeme (außen, innen) und Lüftungsein-
richtungen. Dabei gilt, dass bereits ein

einzigster Schwachpunkt den resultieren-
den Schallschutz des Gesamtsystems be-
einträchtigen kann. Neben der
Schalldämmung sollte aber bei Fassaden
noch ein anderer akustischer Aspekt be-
achtet werden: die Schallentstehung
durch mechanische Einrichtungen. So hat
z. B. das geräuschvolle Knirschen automa-
tisch gesteuerter Sonnenschutzeinrichtun-
gen ein beachtliches Störpotenzial.

Schallabsorber

Die Wahl der passenden Schallabsorber ist
nicht nur eine akustische Entscheidung,
sondern sie besteht in der passenden
Kombination der Gebrauchseigenschaften
je nach Nutzungsprofil und Raumeigen-
schaften. Bei Räumen mit überwiegend
massiven Wänden (Mauerwerk, Beton)
und Decken (Beton) sollten z. B. Schallab-
sorber eingesetzt werden, die breitbandig
auch bei tiefen Frequenzen wirksam sind.
So lässt sich störendes Dröhnen der Räume
vermeiden. Auch aus gestalterischen Grün-
den gibt es nicht den Schall absorbieren-
den Allrounder.

Fenster und Fassaden		
R' _w	Aufbau (Prinzip)	Aufbau (Beispiel)
32 dB	Einfachfenster mit Mehr- scheiben-Isolierglas	Gesamtglasdicke ≥ 6 mm, Scheibenzwischenraum ≥ 12 mm, mindestens eine umlaufende elastische Dichtung
34 dB	Einfachfenster mit Mehr- scheiben-Isolierglas	Gesamtglasdicke ≥ 8 mm, Glasaufbau: ≥ 4 mm und 4 mm, Scheibenzwischenraum ≥ 16 mm, mindestens eine umlaufende elastische Dichtung

UMSETZUNG

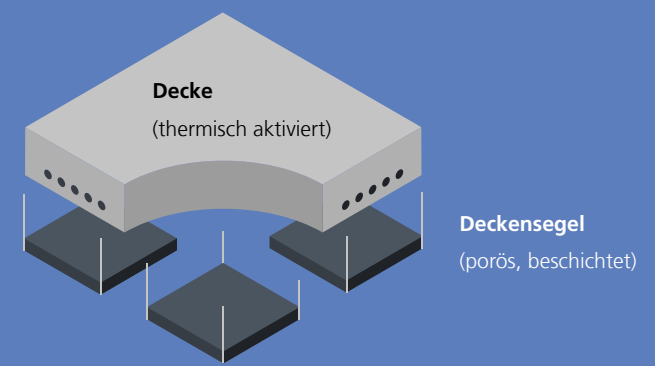
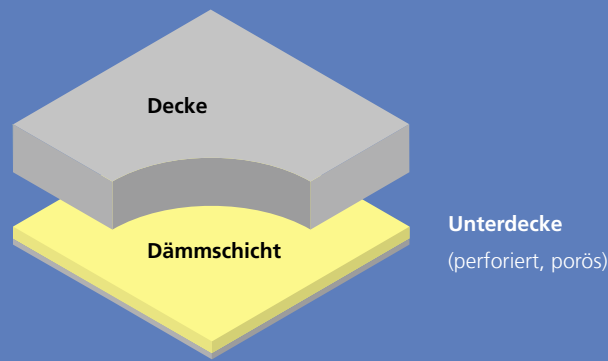


Abb. Unterschiedliche schallabsorbierende Deckenkonstruktionen

Vielmehr ist ein breites Angebot technologisch ausgereifter, funktional integrierbarer und architektonisch gestaltbarer Lösungen gefragt. Das Repertoire der Materialien ist daher breit gefächert. Verfügbare Produkte bestehen aus einzelnen porösen Schichten, aus kombinierten vor Flächengebilden sowie aus vorwiegend geometrisch bestimmten Elementen.

Bei der richtigen Wahl der Stoffeigenschaften können an sich alle porösen Schichten gleichermaßen breitbandig Schall absorbieren. Lediglich die Dicke begrenzt in der Praxis die akustische Leistungsfähigkeit. Die wesentlichen Unterschiede resultieren daher aus Gesichtspunkten wie Brandschutz und Hygiene, Gewicht und natürlich Kosten.

Die akustische Wirkung von Flächengebilden mit Decken- oder Wandabstand, d. h. voll- und teilflächige abgehängte Unterdecken, ist meist auf einen Frequenzbereich beschränkt, der vom gewählten Wandabstand abhängt. Darüber hinaus eröffnen Flächengebilde zusätzliche Gestaltungs-

möglichkeiten, z. B. in puncto räumlicher Formenvielfalt, Lichtdurchlässigkeit und Hygiene.

Die Schallabsorption von geometrisch bestimmten Akustik-Bauteilen bleibt meist gering. Ihre Funktion besteht überwiegend in der Schalllenkung, wie z. B. in Konzert- oder Vortragssälen. Die gezielte Reflexion oder diffuse Streuung der Schallwellen ist jedoch immer mit Schall absorbierender Wirkung verbunden. Der »Sonderfall« des offenen Fensters veranschaulicht, dass geringe Schallreflexion auch mit geringer Schalldämmung einhergehen kann. In großflächig verglasten Räumen und bei Leichtbauwänden prägen sich daher z. B. tieffrequente Resonanzeffekte (Dröhnen) weniger deutlich aus. Die Folge sind natürlich eindringende Störgeräusche, ob von außen oder vom Nachbarn.

Schallabsorber

Poröse Schichten	gebundene Fasern Faservliese (nonwoven) offenzellige Schäume gebundene Granulate Abstandsgewirke	Mineralfasern, Hanffasern Polyesterfasern PU-Schaum, Melaminharzschäum diverse Granulate, verklebt, gesintert diverse Ausgangsstoffe und Techniken
Flächengebilde (mit Wandabstand)	Faservliese (nonwoven) textile Gewebe Lochplatten mikroperforierte Elemente geschlossene Folien, Platten	Glasfasern, Polyesterfasern diverse Materialien, Garne, Bändchen Metall, Holz, Gips, Kunststoff Metall, Kunststoff, Holz, Folien, Platten Metall, Kunststoff
Geometrische Bauteile	offene Hohlkammern Schattenfugen Formkörper Reflektoren, Diffusoren »offenes Fenster«	halb offene Zylinder, div. Materialien div. Materialien und Konstruktionen harte od. poröse Materialien, Mobiliar harte Oberflächen, div. Materialien keine Reflexion (aber Störgeräusche)
Kombinierte Bauteile	mehrere Schichten mehrere Flächengebilde Schicht mit Flächengebilde geformte Schichten geformte Flächengebilde	unterschiedliche Eigenschaften Schutz, Stabilität, Gestaltung Schutz, Gestaltung Funktionssteigerung, Gestaltung Funktionssteigerung, Gestaltung

Steht im Raum nur begrenzt Oberfläche zur akustischen Verfügung, so bieten sich hochabsorbierende, im gesamten Frequenzspektrum wirkende Schallabsorber an. Dieser Anspruch lässt sich praktisch nur mit kombinierten Bauteilen erfüllen, die üblicherweise den Spielraum hinsichtlich Gestaltung, Dicke und Material einschränken. Umgekehrt sind bei ausreichender Fläche Abstriche beim Absorptionsvermögen akzeptabel.

Ausführung und Platzierung der Schallabsorber sollten unter verschiedenen Gesichtspunkten bewertet werden. So können z. B. Befestigungsmöglichkeiten in denkmalgeschützten Gebäuden, thermisch aktive Betondecken, die nicht vollständig verdeckt werden dürfen, und andere Randbedingungen eine geschlossene Akustikdecke ausschließen. In diesen Fällen sind schallabsorbierende Segel oder Baffeln und andere Einzelelemente an verschiedenen Raumflächen realisierbar. Schließlich können in Lernlandschaften oder anderen offenen Arbeitsbereichen auch Stell- bzw. Schirmwände sowie das

Mobiliar gezielt zur Schallabsorption beitragen.

Letztlich entscheidet sich die gute Akustik im Raum und nicht im Messlabor. Erst der Bezug zur Nutzung und die darauf abgestimmte Gesamtschau aller wirksamen Elemente führen zum Ziel. Daher sind in der Praxis ganzheitlich tragfähige Lösungen gefragt und nur selten Schallabsorber mit Rekordwerten.

PREIS UND WERT GUTER RAUMAKUSTIK

Insbesondere die Raumakustik ist in vielen Unterrichtsräumen unzureichend. Die Betroffenen beklagen sich darüber und auch die für den Bau Verantwortlichen sind unzufrieden, wenn Akustik-Budgets dem Sparzwang »geopfert« werden. Unsicherheit bei Kosten und Zeiten für Umbau und Einbau führen gerade bei strapazierten Haushalten und unterbesetzten Behörden zum Sparen an der falschen Stelle. Aus diesem Grund wurden dazu im Rahmen einer Studie Informationen systematisch zusammengetragen und aufbereitet.

Die Datengrundlage bildeten Produkt- und Marktdaten, kalkulierte und abgerechnete Projekte sowie einschlägige Baukostenindizes, jeweils zu verfügbaren schallabsorbierenden Elementen und Systemen. Deren Einsatz hängt von der Raumgeometrie, der Oberflächenbeschaffenheit und der Einrichtung ab, so dass zahlreiche Kombinationen möglich sind. Da die Raumakustik wegen ähnlicher Raumtypologie und Nutzung in vielen Schulen und Kitas vergleichbar ist, können aber ähnliche Maßnahmenpa-

kete angewendet werden. Daher wurden für einen besonders häufig vorkommenden Beispielraum (quaderförmig) sechs raumakustische Ausstattungsvarianten betrachtet.

Die verwendeten Eckdaten für den Variantenvergleich sind:

- Raumvolumen 250 m³ im ausgebauten Zustand.
- Nachhallzeit 0,5 s (Toleranz ± 0,1 s, Frequenzbereich 100 bis 5000 Hz)
- Unbesetzter Raum, schallabsorbierende Decke und teilweise Wandflächen.

Die Varianten beruhen auf Deckenelementen (75 m²) aus

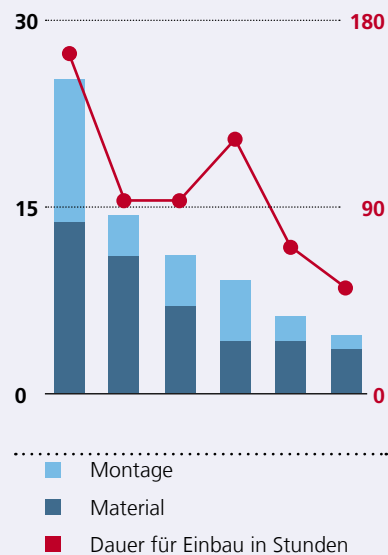
- Mineralwolle-Platten,
- Metallkassetten,
- Gipskarton-Lochplatten,
- Holzwolle-Platten,
- Baffles (Formkörper) und
- Deckenputzsystemen,

jeweils mit zusätzlichen Schallabsorbieren auf Wandflächen (ca. 20 m² bis 50 m²).

Die folgende Grafik veranschaulicht die aus den analysierten Daten resultierenden mittleren Kosten und Umsetzungszeiten der Varianten.

Einbauzeiten und Kosten verschiedener Akustik-Systeme im Beispielraum (250 m³), ausgeführt im Jahr 2020 in Stuttgart.

Kosten in 1.000 EURO



Natürlich sind diese Kosten- und Zeitanlagen als Anhaltswerte zu verstehen, aber Sie geben einen realistischen und durchaus übertragbaren Wertebereich wider. Darüber hinaus können Faktoren zur Anpassung einzelner Einflüsse verwendet werden, wie z. B. die Baupreise je nach Ausführungsort und -zeit. Mit Blick auf die Größe des Beispielraumes lassen sich die Kostenangaben in guter Näherung mit dem Faktor Raumvolumen/250 m³ auf kleinere Räume bis etwa 150 m³ umrechnen. Die Genauigkeit dieser Rechnung liegt je nach Variante bei ca. 10 bis 15 Prozent.

Es gibt viele passende Produkte und Systeme, um Kita- und Schulräume mit guter Akustik auszustatten. Die Kosten sind abhängig vom Bestand, insbesondere vom Raumvolumen. Das günstigste System für einen 150 m³ großen Raum lässt sich heute in Stuttgart für rund 3.000 € und an einem Tag realisieren. Aber es gibt dafür auch Lösungen für 14.000 € und mehr. In einigen Spezialfällen mag dies

gerechtfertigt sein, für die breite Masse ist das weder notwendig noch wirtschaftlich.

Mit diesen Informationen lassen sich Kosten akustischer Sanierungen abschätzen und Anhaltspunkte definieren, um Angebote zu prüfen. Dafür können z. B. Varianten in Ausschreibungstexte einfließen, um standardisierte Angebote einholen zu können. Eine ausführliche Akustikplanung, einschließlich messtechnischer Bestandsaufnahme ist nur in Sonderfällen notwendig. Meist ist der Raumeindruck ein verlässlicher Ratgeber.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Gute Akustik in Lebensräumen für Erziehung und Bildung ist eine Grundvoraussetzung für deren Nutzbarkeit. Ihre Wirkung ist vielfältig spürbar und alle Betroffene profitieren davon. Von ihrer praktischen Umsetzbarkeit zeugen zahlreiche Kindertageseinrichtungen, Schulen und Hochschulen sowie andere Bildungsgebäude. In der Praxis hat sich ein Zusammenspiel von organisatorischen und pädagogischen, von baulichen und technischen Maßnahmen bewährt. Dazu bedarf es von Anfang an der Berücksichtigung aller Aspekte, Wünsche und Ansprüche sowie des Austausches aller Akteure, d. h. der Nutzer und Träger, der Planer und Ausführenden.

Bei diesem Prozess bietet die Richtlinie zur Akustik eine zusammenhängende Orientierung und konkrete Hilfestellung. In der entscheidenden Phase vor dem Entschluss zu einem Neubau oder einer Modernisierung sollten wenigstens fünf Minuten der akustischen Qualität gewidmet werden. Dafür hält diese Richtlinie wesentliche Argumente bereit. Darüber hinaus enthält sie die während der an-

schließenden Planungsschritte zu beachtende akustische Anforderungen, eine Reihe von Gestaltungshinweisen und schließlich auch beispielhafte Anregungen zur praktischen Umsetzung.

Natürlich ließen sich noch viele Erklärungen und Details hinzufügen. Auch die Einbeziehung erfahrener akustischer Fachleute lohnt sich nach wie vor. Insgesamt

ist diese Richtlinie in erster Linie als ein Überblick und eine Bewertungsmöglichkeit zu verstehen. Mit ihrer Hilfe können alle Beteiligten die ganzheitliche Balance von Investition und Wert, von Qualität und Kosten in Kitas, Schulen und Hochschulen mitgestalten.

Gute Akustik in Lebensräumen für Erziehung und Bildung wird auch künftig von der Information über praktizierte Lösungen und gute, bewährte Beispiele belebt.

Sie sind es wert, verbreitet und übertragen zu werden. Mit diesem Ziel wird die Richtlinie fortgeschrieben und sich den akustischen Erfahrungen und Erkenntnissen aus Projekten und Objekten widmen.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR VERKEHR

Danksagung

Die Verfasser danken dem Ministerium für Verkehr des Landes Baden-Württemberg für die wertvolle und kompetente Unterstützung.

QUELLEN UND LITERATURHINWEISE

- [1] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise. 1989.
- [2] DIN 18041: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung, 2016.
- [3] Technische Regeln für Arbeitsstätten – Lärm ASR A3.7. 2018
- [4] 18. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. 2006.
- [5] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV), 2010.
- [6] DIN 18032: Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung.
- [7] Lärmschutz für kleine Ohren – Leitfaden zur akustischen Gestaltung von Kindertagesstätten. Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 2009.
- [8] Leistner, P., Liebl, A., Kittel, M.: Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen. *Lärmbekämpfung* 10 (2015), H. 4.
- [9] Maxwell, L., Evans, G.: The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. *Journal of Environmental Psychology* 20 (2000), pp. 91-97.
- Surprenant, A.: The effect of noise on memory for spoken syllables. *International Journal of Psychology* 34 (1999), pp. 328-333.
- [10] Schönwälder, H.-G.: Die Arbeitslast der Lehrerinnen und Lehrer. Essen: Neue Deutsche Schule, 2001.
- [11] Evans, G., Hygge, S.: Noise and cognitive performance in children and adults. In: Luxon, L.M., Prasher, D. (Eds.), *Noise and its Effects*, pp. 549-566. New York: Wiley, 2007.
- [12] Kujala, T., Shtyrov, Y., Winkler, I., Saher, M., Tervaniemi, M.: Long-term exposure to noise impairs cortical sound processing and attention control. *Psychophysiology* 41 (2004), pp.875-881.
- [13] MacKenzie, D.J., Airey, S.: *Classroom Acoustics. A Research Projekt. Summary Report.* Heriot-Watt University, Edinburgh, 1999.
- [14] Hadzi-Nikolova, M., Mirakovski, D., Zdravkovska, M., Angelovska, B., Doneva, N.: Noise Exposure of School Teachers – Exposure Levels and Health Effects. *Archives of Acoustics*, Vol. 38 (2013), No. 2, pp. 259-264

IMPRESSUM

RICHTLINIE | Akustik in Lebensräumen
für Erziehung und Bildung

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP,
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
www.ibp.fraunhofer.de

3. Auflage – März 2021

Verfasser: Philip Leistner, Horst Drotleff,
Michael Leistner, Fraunhofer IBP

Bildquellen:

Umschlag pandapaw/shutterstock

Druck: Fraunhofer IRB, Stuttgart

© Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP,
Stuttgart 2021

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen
Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen
Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie),
der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen
sowie das der Übersetzung vorbehalten.

