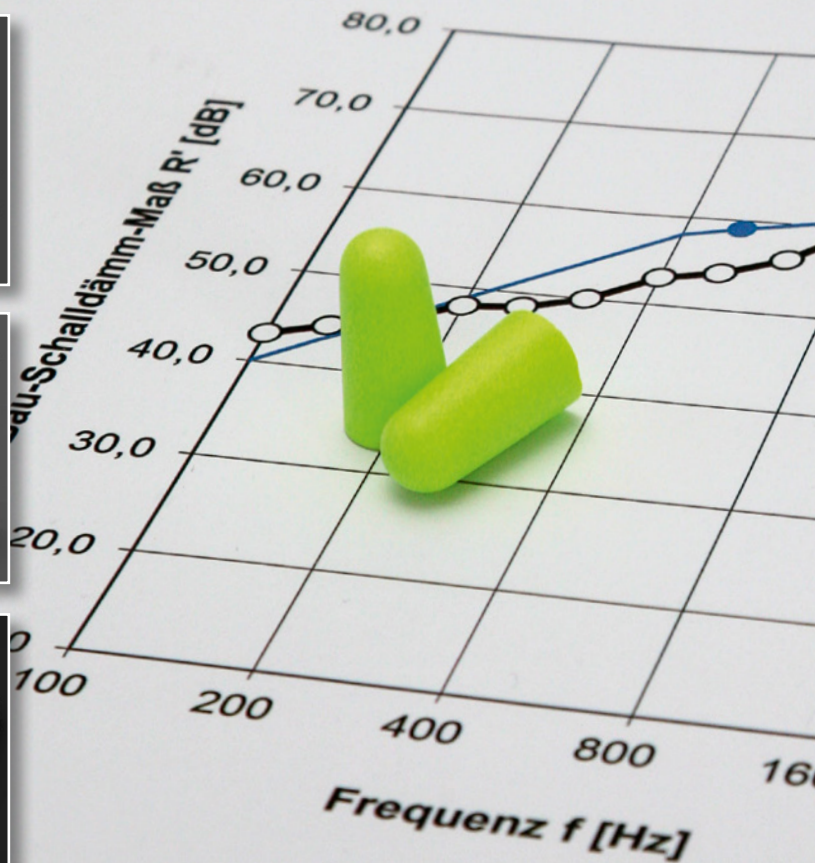
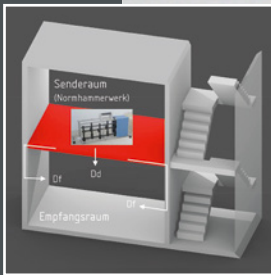
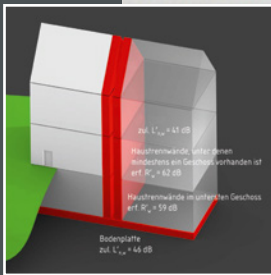



Birger Gigla

Schallschutz

Immissionsschutz, Bau- und Raumakustik
verstehen – planen – nachweisen



Fraunhofer IRB  Verlag

Birger Gigla

Schallschutz

Immissionsschutz, Bau- und Raumakustik
verstehen – planen – nachweisen

Birger Gigla

Schallschutz

Immissionsschutz, Bau- und Raumakustik
verstehen – planen – nachweisen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0047-0

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0048-7

Lektorat: Claudia Neuwald-Burg

Redaktion: Roger Takács

Satz · Layout · Herstellung: Gabriele Wicker

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Druck: Offizin Scheufele Druck und Medien GmbH & Co. KG, Stuttgart

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2018

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

Telefax +49 711 970-2508

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Einleitung	11
2 Physikalische und audilogische Grundlagen	13
2.1 Physikalische Größen	13
2.2 Schallausbreitung: Schwingungen und Wellen	17
2.3 Bau- und raumakustische Größen	26
2.3.1 Pegel	26
2.3.2 Schallleistungspegel L_W	28
2.3.3 Schallintensitätspegel L_I	28
2.3.4 Schalldruckpegel L	29
2.3.5 Pegelrechnung	30
2.3.6 Umrechnung zwischen Schallleistung und Schalldruck	35
2.3.7 Berechnung der Entfernungsabnahme	38
2.4 Hörwahrnehmung des Menschen	41
3 Raumakustik	45
3.1 Überblick	45
3.2 Geschichtliche Entwicklung	47
3.3 Planungsgrößen	49
3.3.1 Diffuses Schallfeld und Nachhallzeit T	49
3.3.2 Absorber und Schallabsorptionsgrad α	51
3.3.3 Äquivalente Schallabsorptionsfläche A	54
3.3.4 Sprachverständlichkeit und Sprachübertragungsindex STI	59
3.4 Anforderungen und Nachweise	61
3.4.1 Anwendungsbereich	61
3.4.2 Raumgruppe A (Vortragssituation)	65
3.4.3 Raumgruppe B (Gesprächssituation)	70
3.5 Unterrichtsräume	72
3.5.1 Einführung	72
3.5.2 Unterrichtsräume ohne Schallabsorber	73
3.5.3 Unterrichtsräume mit Schallabsorbern	77
3.5.4 Kursräume und Flure	78

3.6	Mehrpersonenbüros	80
3.6.1	Planungsgrundlagen	80
3.6.2	Planung auf Grundlage von Richtlinie VDI 2569:1990	84
3.6.3	Planung auf Grundlage von Richtlinie VDI 2569:2016	85
3.6.4	Mitarbeiterbefragung	89
3.6.5	Raumakustische Messungen in Großraumbüros	90
3.7	Akustische Barrierefreiheit und Inklusion	91
4	Bauakustik	93
4.1	Überblick	93
4.2	Messung der Schalldämmung in Gebäuden	95
4.2.1	Vorbemerkung	95
4.2.2	Luft- und Trittschalldämmung	95
4.2.3	Fassadenschalldämmung	103
4.2.4	Schall von gebäudetechnischen Anlagen	105
4.2.5	Tieffrequente Geräuschimmissionen	106
4.2.6	Kennzeichnende Größen für bauakustische Anforderungen	112
4.3	Mindestschallschutz	115
4.3.1	Einführung	115
4.3.2	Luft- und Trittschalldämmung in Gebäuden	121
4.3.3	Luftschalldämmung von Außenbauteilen	128
4.3.4	Besonders laute Räume	128
4.3.5	Gebäudetechnische Anlagen und Gewerbebetriebe	130
4.3.6	Raumlufttechnische Anlagen im eigenen Wohnbereich	132
4.4	Erhöhter Schallschutz von Wohnräumen	132
4.5	Physikalische Grundlagen der Schalldämmung	140
4.5.1	Vorbemerkung	140
4.5.2	Luftschalldämmung einschaliger Bauteile	141
4.5.3	Luftschalldämmung mehrschaliger Bauteile	143
4.5.4	Trittschalldämmung	146
4.5.5	Rechnerisches Nachweiskonzept der DIN 4109-2:2018	149
4.6	Rechnerische Nachweise	156
4.6.1	Vorbemerkung	156
4.6.2	Luftschalldämmung	158
4.6.3	Trittschalldämmung	172
4.7	Treppen, Treppenpodeste und Treppenräume	182
4.7.1	Schalldämmende Konstruktion	182
4.7.2	Rechnerischer Nachweis	185
4.7.3	Nachweisbeispiel	187

4.8	Aufzugsanlagen für Wohngebäude	188
4.8.1	Grundsätzliche Anforderungen und Normen	188
4.8.2	Technische Bestandteile von Aufzugsanlagen	190
4.8.3	Abmessungen und Eigenschaften von Aufzugsanlagen	192
4.8.4	Geräusche beim Betrieb von Aufzugsanlagen	194
4.8.5	Bauakustische Anforderungen	196
4.8.6	Überprüfung des Schallschutzes durch Messung	196
4.8.7	Lärmminderung	197
4.8.8	Hinweise zur Planung	198
4.9	Luftschalldämmung von Außenbauteilen	199
4.9.1	Einführung	199
4.9.2	Außenlärmquellen	205
4.9.3	Überlagerung mehrerer Außenlärmquellen	210
4.9.4	Mindestschallschutz	214
4.9.5	Erhöhter Schallschutz	221
4.9.6	Hinweise für die Planung	223
5	Schallimmissionsschutz	233
5.1	Einführung	233
5.1.1	Emission und Immission	233
5.1.2	Beurteilungsgrößen	237
5.1.3	Soundscape	240
5.2	Rechtliche Grundlagen	242
5.2.1	Bundes-Immissionsschutzgesetz	242
5.2.2	4. BImSchV (genehmigungsbedürftige Anlagen)	244
5.2.3	16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung)	245
5.2.4	18. BImSchV (Sportanlagenlärmschutzverordnung)	249
5.2.5	34. BImSchV (Verordnung über die Lärmkartierung)	252
5.3	Gewerbelärm (TA Lärm)	253
5.3.1	Anwendungsbereich	253
5.3.2	Richtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden	255
5.3.3	Richtwerte für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden	257
5.3.4	Rechnerische Ermittlung des Beurteilungspegels	257
5.3.5	Prognoseverfahren	259
5.3.6	Rechenbeispiele	263
5.4	Weitere Richtlinien zum Schallimmissionsschutz	269
5.4.1	Freizeitlärmrichtlinien	269
5.4.2	Nichtöffentliche Parkplätze (Parkplatzlärmstudie)	273
5.4.3	Baulärm	280
5.4.4	Geräuschkontingentierung	282

5.5	Tieffrequente Geräuscheinwirkungen	283
5.5.1	Einführung	283
5.5.2	Anforderungen	285
5.5.3	Hinweise für die Objektplanung	288
6	Verzeichnis der verwendeten bau- und raumakustischen Größen	293
7	Literatur	297
8	Stichwortverzeichnis	309

Vorwort

Die Bauakustik hat in der jüngeren Zeit einen intensiven Änderungsprozess durchlaufen. Die »alte Schallschutz-Norm« DIN 4109 mit ihrem Beiblatt 1 aus dem Jahr 1989 war auf Grundlage der Landesbauordnungen noch bis in das Jahr 2018 zum Nachweis des Mindestschallschutzes im Hochbau anzuwenden. Aufgrund ihres hohen Alters wurde in der Praxis häufig die unzutreffende Vermutung geäußert, die DIN 4109:1989 würde nicht mehr gelten. Nach jahrzehntelanger Diskussion ist erst im Juli 2016 eine neue Fassung der Norm in insgesamt neun Teilen erschienen.

Parallel wird das bauaufsichtliche Konzept in Deutschland umgestellt: Die bisherigen länderweisen Listen der Technischen Baubestimmungen werden durch die neue Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) ersetzt. In der Entwurfsfassung der Verwaltungsvorschrift (E VVTB Juli 2016) wurde vollständig auf die Anforderungen und das Rechenverfahren der neuen Normenreihe DIN 4109:2016 umgestellt.

Die veröffentlichte erste Fassung der Muster-Verwaltungsvorschrift (August 2017) führt jedoch nur die neuen Mindestanforderungen der DIN 4109-1:2016 verbindlich ein. Der schalltechnische Nachweis wird freigestellt: Er darf nach DIN 4109-2:2016 erfolgen. Für Bauteile im Massivbau kann weiterhin das alte Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989 herangezogen werden. Die europäischen Rechenverfahren zur Schalldämmung (DIN EN ISO 12354-1 bis -4:2017), an denen sich die DIN 4109-2:2016 orientiert, wären in Deutschland damit nicht verbindlich. Die Vorgabe der Muster-Verwaltungsvorschrift hat zu kritischen Reaktionen einiger Bundesländer geführt und es ist nicht ausgeschlossen, dass weitere Überarbeitungen erfolgen.

Unbeeindruckt vom Hin und Her bei der Einführung als technische Regeln sind die DIN 4109-1 und DIN 4109-2 im Januar 2018 kurzfristig in nochmals überarbeiteter Fassung erschienen. Anlass war die Berücksichtigung von Anpassungen der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV). Der beschriebene Änderungsprozess betrifft nur den Mindestschallschutz. Die Frage des »erhöhten« Schallschutzes sorgt für zusätzliche Diskussionen.

Das vorliegende Buch geht auf den aktuellen Stand der Entwicklungen ein und ermöglicht Planerinnen und Planern die sachgerechte Entwicklung bauakustischer Konzepte entsprechend dem gegenwärtigen Stand der Technik.

1 Einleitung

Die akustischen Eigenschaften sind ein wichtiges Qualitätsmerkmal für Gebäude. Derzeit werden die ihnen zugrunde liegenden Planungs- bzw. Beratungsleistungen in die fachlichen Bereiche Bauakustik und Raumakustik unterteilt:

Die BAUAKUSTIK beschreibt den Schallschutz von Gebäuden. Aufgabenstellung ist der Schutz von Aufenthaltsräumen gegen Geräusche aus fremden Räumen, von gebäudetechnischen Anlagen und gegen Außenlärm. Aufenthaltsräume sind z. B. Wohnräume, Wohnküchen, Schlafräume, Bettenräume in Krankenhäusern, Unterrichtsräume in Schulen, Büroräume, Praxisräume, Sitzungsräume oder Arbeitsräume [DIN 4109-1:2018]. Ob es sich bei einem Raum um einen Aufenthaltsraum handelt, ergibt sich durch die Nutzung und wird im Regelfall bei der Planung festgelegt. Planungsleistungen zum Schallschutz werden unter dem Begriff Bauakustik zusammengefasst [HOAI 2013].

Ziel der RAUMAKUSTIK ist die Sicherstellung der gewünschten akustischen Qualität für die geplante Nutzung. Im Vordergrund steht die einwandfreie Sprachkommunikation, die eine Begrenzung der »Halligkeit« erfordert. Hierzu werden nutzungs- und frequenzabhängige Grenzwerte für die Nachhallzeit definiert. Unterschieden werden Kommunikation über mittlere und größere Entfernung (»Vortragssituation«), z. B. in Unterrichtsräumen, und Kommunikation über geringe Entfernung (»Gesprächssituation«), wie in Pausenräumen, an Auskunftsschaltern oder in Operationssälen. In Mehrpersonenbüros sind zusätzliche Anforderungen zu beachten, da eine gute Sprachverständlichkeit hier störend wirken kann. Die raumakustische Gestaltung von Konzertsälen ist ein besonderes Fachgebiet.

Für bauliche Planungsmaßnahmen ist darüber hinaus auch der SCHALLIMMISSIONSCHUTZ von Bedeutung. Er beschreibt den Schutz der Umgebung vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch nutzungsbedingten Lärm (Bild 1).

Das vorliegende Buch beschreibt die fachlichen Grundlagen für Planungsleistungen in der Bau- und Raumakustik und geht auf die aktuellen Anforderungen und die anzuwendenden Technischen Regeln ein. Besonderer Wert wird auf eine praxisnahe, verständliche Gesamtdarstellung des Fachgebietes, einschließlich der physikalischen Grundlagen, gelegt. Das Buch richtet sich an Planerinnen und Planer, die ihr eigenes Verständnis verbessern wollen, und an Studierende. Es ist auch eine Hilfe für interessierte Kreise, die sich fundiert in die Thematik einarbeiten wollen.

Zur Übersicht werden die drei genannten Teilgebiete der Akustik und ihre Berücksichtigung in der Planung in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Bauakustik (Schallschutz)	Raumakustik (Technische Akustik)	Schallimmissionsschutz (Lärmschutz)
Landesbauordnungen	Gebäude müssen einen ihrer Nutzung entsprechenden Schallschutz haben.		Erschütterungen oder Schwingungen, die von ortsfesten Einrichtungen in baulichen Anlagen oder auf Baugrundstücken ausgehen, sind so zu dämmen, dass Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen.
Planungsleistungen (HOAI)	<ul style="list-style-type: none">▪ regelgerechter Luft- und Trittschallschutz▪ Begrenzung der von außen einwirkenden Geräusche▪ Begrenzung der Geräusche von Anlagen der Technischen Ausrüstung	besondere raumakustische Anforderungen	Schutz der Umgebung vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Lärm
Systemgrenze	<ul style="list-style-type: none">▪ zwischen fremden Aufenthaltsräumen▪ zwischen Aufenthaltsräumen und Außenbereichen oder Erschließungsbereichen	innerhalb von Räumen	außerhalb von Räumen

Tabelle 1 Teilgebiete der Akustik und ihre Berücksichtigung in der Planung

Bild 1 Warnung vor Baustellenlärm



2 Physikalische und audilogische Grundlagen

2.1 Physikalische Größen

Was ist Schall? Die individuelle Schallerfahrung ist eng an das eigene Hörvermögen geknüpft. Sie umfasst Kommunikation, Töne und Lärm. Wir können hören, ob wir uns in einem Raum oder im Freien befinden. Tiefer Frequenzen werden manchmal sogar körperlich durch Resonanzen im Bauchraum wahrgenommen, z. B. bei einem Orgelkonzert.

Die Schallempfindung wird durch die Audiologie beschrieben. Hierbei handelt es sich um ein wissenschaftliches Arbeitsfeld, in dem Physiker, Mediziner, Biologen und Ingenieure interdisziplinär zusammenarbeiten. Da bei der Planung und Errichtung baulicher Anlagen das Wohl des Menschen im Vordergrund steht, wird die auditive Wahrnehmung in der Bau- und Raumakustik berücksichtigt. Schallereignisse können jedoch nur gehört werden, wenn sie das Ohr des Hörers oder der Hörerin erreichen. Die physikalische Beschreibung der Schallübertragung bildet daher die Grundlage des Schallschutzes.

Baupraktisch von Bedeutung ist die Schallausbreitung in der Luft (Luftschall) und in Bauteilen (Körperschall). Luftschall wird durch Druckschwingungen der Luft übertragen, z. B. bei Sprachkommunikation. Körperschall breitet sich durch Schwingungen in festen Körpern aus, z. B. beim Einschlagen eines Nagels in eine Hauswand. Körperschall wird auch als Luftschall abgestrahlt, etwa bei Trittschall auf einer Wohnungstrennendecke (Trittschall). Luftschall kann als Körperschall in Decken oder Wänden weiterübertragen und an anderer Stelle als Luftschall abgestrahlt werden, wie z. B. elektronische Musik aus einer entfernten Nachbarwohnung. Man spricht hier von Schalllängsleitung über die flankierenden Bauteile. Geräusche mit tieferen Frequenzen breiten sich über Schalllängsleitung gut aus und sind schwierig zu dämmen. Schall wird auch in Flüssigkeiten übertragen und kann unter Wasser z. B. durch Hydrophone gemessen werden.

Zur physikalischen Beschreibung der Schallausbreitung werden die Größen Druck, Energie und Leistung benötigt. Druck p (von engl. »pressure«) ist definiert als Quotient aus der Normalkraft F_N , die auf eine Fläche wirkt, und der Fläche A (Gl. 1). Die international übliche Einheit des Drucks ist das Pascal (Einheitenzeichen: Pa), entsprechend einem Newton je Quadratmeter [DIN 1314].

$$p = \frac{F_N}{A}, \quad \text{Einheit: } 1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2} = \frac{1 \text{ kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}} \quad (1)$$

Beim Schalldruck in der Luft handelt es sich um einen Überdruck im Vergleich zum vorhandenen Atmosphärendruck. Diese sogenannte atmosphärische Druckdifferenz weist bei Schallereignissen sehr geringe Werte auf und beträgt bei normaler Unterhaltung in einem Meter Abstand 0,01 Pa. Die Schmerzschwelle am Ohr wird bei einer Druckdifferenz von etwa 100 Pa erreicht. Als mittlerer Atmosphärendruck werden 101325 Pa angesehen, zurückgehend auf die früher übliche Druckeinheit atm («physikalische Atmosphäre»). Der Atmosphärendruck ist damit zehn Millionen Mal größer als die Schalldruckdifferenz bei Gesprächen. Die Einheit atm wurde im Jahr 1977 mit Einführung der DIN 1314:1977 durch die Einheit Pascal abgelöst.

Der Sprecher in Bild 2 kann als punktförmige Schallquelle aufgefasst werden. Vereinfacht betrachtet breitet sich der Schall in kugelförmigen Schallwellenfronten durch Luftverdichtungen in Richtung des Hörers aus. Hierbei handelt es sich um eine modellhafte Beschreibung: Aufgrund der Richtwirkung des menschlichen Sprechens ist die Schallausstrahlung nicht perfekt kugelförmig, denn der Schall wird vorwiegend in Sprechrichtung abgestrahlt. Die hervorgerufenen Schalldruckdifferenzen sind sehr viel geringer als der im Bild blau dargestellte Atmosphärendruck. Der Luftdruck ist als Medium Voraussetzung für die Schallübertragung: Im Vakuum kann sich kein Schall ausbreiten.

Die Energie W ist eine grundlegende Größe zur Beschreibung physikalischer Vorgänge. Sie wird in der Mechanik definiert als Produkt aus Kraft F mal Weg s (Gl. 2) und in der Einheit Joule (J) angegeben. Für die mechanische Energie kann auch das Formelzeichen E verwendet werden [DIN 1304-1].

$$W = F \cdot s, \quad \text{Einheit: } 1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} \quad (2)$$

Physikalisch ist eine Vielzahl von Energieformen gebräuchlich. Die mechanische Energie wird unterschieden in potenzielle und kinetische Energie. Eine bedeutende bauphysikalische Energiegröße ist die Wärme. In der Thermodynamik wird der Begriff der »inneren Energie« U verwendet, die durch Zufuhr von Wärme verändert werden kann. Für den Stromfluss oder für Elektromagnetismus ist elektrische Energie erforderlich. Andere Energieformen sind die elektromagnetische Strahlungsenergie oder die kernphysikalische Reaktionsenergie.

Energie kann nicht »verbraucht« werden, sondern wird in andere Energieformen umgewandelt. Sie ist erforderlich, um physikalische Vorgänge auszulösen. Zum Beispiel kann einem Körper Wärme zugeführt werden, um dessen Temperatur zu erhöhen.

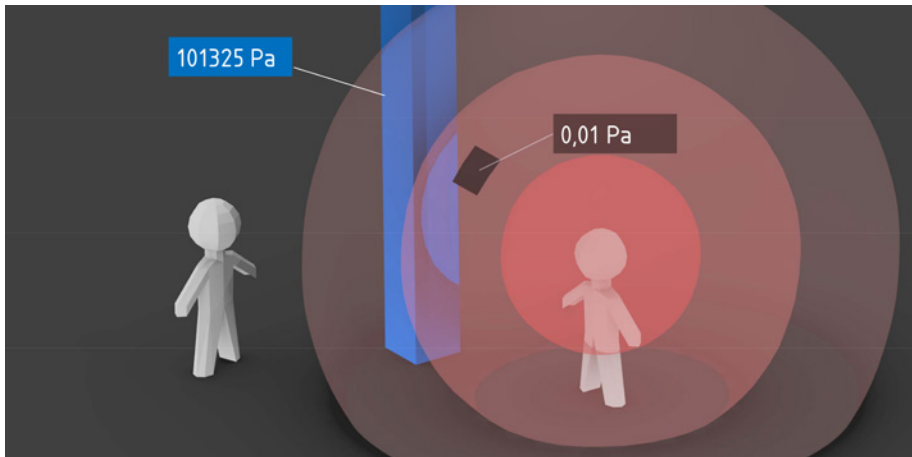


Bild 2 Der Luftschalldruck bei einer Unterhaltung überlagert sich mit dem sehr viel größeren Atmosphärendruck. Gehört werden Druckdifferenzen.

Zur Veranschaulichung des Energiebegriffes wird in Schulen das physikalische System eines Fadenpendels verwendet. Es besteht aus einer Kugel, die an einem ausreichend langen Faden befestigt wird und frei schwingen kann. Um das Pendel in Schwingung zu versetzen, muss die Kugel zunächst angehoben werden. Beim Anheben zum Auslösen der Pendelbewegung wird Energie zugeführt. Während der Pendelbewegung werden fortlaufend potenzielle Energie und kinetische Energie umgewandelt. Am Punkt der größten Auslenkung ist die Geschwindigkeit und damit die kinetische Energie gleich Null und die potenzielle Energie maximal. Am Punkt der geringsten Auslenkung bzw. Höhe ist die potenzielle Energie gleich Null. Dafür ist hier die Geschwindigkeit am höchsten und die kinetische Energie maximal. Durch Energieumwandlung wird die nachfolgende Auslenkung ermöglicht.

Für die physikalische Beschreibung der Schallausbreitung ist von Bedeutung, dass auch zur Komprimierung von Luft Energie erforderlich ist. Dies ist aus dem Alltag vom Aufpumpen eines Fahrradreifens mit Luftpumpe anschaulich bekannt. Hierbei wird zugeführte mechanische Energie auch in Wärme umgewandelt. Die zur Luftverdichtung erforderliche Energie wird durch das Produkt aus Druck und Volumen beschrieben.

Analog zum Fadenpendel kann auch der Energietransport bei der Schallausbreitung in der Luft durch fortwährende Umwandlung von potenzieller und kinetischer Energie beschrieben werden. Bei größter Luftverdichtung ist die lokale Geschwindigkeit der Luftmasse gleich Null und die potenzielle Energie maximal. Am Punkt der geringsten Verdichtung ist die Geschwindigkeit der Luftmasse und damit die kinetische Energie am größten. Möser [Möser, 2012] gibt bezogen auf ein Volumenelement

dV mit der Dicke dx und der Querschnittsfläche S die potenzielle und kinetische Energie folgendermaßen an (Gl. 3):

$$E = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \frac{p^2}{\rho_0 c^2} \cdot \Delta V + \frac{1}{2} \rho_0 u^2 \cdot \Delta V \quad (3)$$

- E: in einem Luftvolumenelement bei Schallausbreitung momentan gespeicherte Energie als Summe aus potenzieller Energie E_{pot} und kinetischer Energie E_{kin}
 p: Schalldruck (Pa)
 ρ_0 : Dichte der unbewegten Luft
 c: Schallausbreitungsgeschwindigkeit in der Luft (m/s), näherungsweise wird angesetzt: $c = 340$ m/s
 u: Schallschnelle (m/s), beschreibt die Schwinggeschwindigkeit der Luftmasse
 V: Volumen des betrachteten Luftelementes

Die potenzielle Energie ist proportional zum Quadrat des Schalldruckes, mit dem die Luftmasse verdichtet wird. Die kinetische Energie ist proportional zum Quadrat der Schallschnelle, also der Geschwindigkeit, mit der die Luftmasse schwingt. Die Schallschnelle nimmt mit steigender Frequenz zu und darf nicht mit der Schallausbreitungsgeschwindigkeit verwechselt werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit gibt an, mit welcher Geschwindigkeit sich die angenommenen kugelförmigen Schallwellenfronten im Raum bewegen. Die Schallschnelle hat in der Bauakustik keine praktische Bedeutung. Bei der sehr kleinen Auslenkung der schwingenden Luftmasse beträgt sie typischerweise weniger als 1 mm/s.

Die Leistung P ist eine Erweiterung des Energiebegriffes und ist definiert als Quotient aus Energie und Zeiteinheit (Gl. 4). Sie beschreibt den Energiefluss als Zeitabhängigkeit der physikalischen Umwandlung der jeweils zugrunde liegenden Energieform und wird in der Einheit Watt (W) angegeben [DIN 1304-1].

$$P = \frac{W}{t}, \quad \text{Einheit: } 1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{\text{s}} \quad (4)$$

Durch Umstellung dieser Formel kann Energie auch als Produkt aus Leistung und Zeiteinheit beschrieben werden (Gl. 5):

$$W = P \cdot t, \quad \text{Einheit: } 1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} \quad (5)$$

Diese Schreibweise ist typisch für die Elektrotechnik: Beispielsweise wird in Stromrechnungen die bezogene elektrische Energie typischerweise nicht in Joule, sondern in der Einheit Watt mal Sekunde ($\text{W} \cdot \text{s}$) bzw. kWh angegeben. Physikalisch unzutreffend wird hierbei von »Verbrauch« gesprochen. Die Einheit kWh wird auch in der Wärmelehre für Energie verwendet, z. B. als Wärmestromdichte $q = 281 \text{ kWh/m}^2$.

Der menschliche Körper generiert Leistungen zwischen etwa 100 W bei ruhender Tätigkeit und über 500 W bei schwerer körperlicher Arbeit [DIN EN ISO 8996].

In der Akustik wird die Schallleistung P bei der Luftschallausbreitung als zeitlich gemittelte Energieflussdichte auf eine angenommene Ausbreitungsfläche A der Wellenfront bezogen. Die resultierende physikalische Größe wird als Schallintensität I bezeichnet und in W/m^2 angegeben (Gl. 6). Es handelt sich um eine vektorielle Größe. Der Schallintensitätsvektor steht normal auf der angenommenen Fläche und zeigt in Richtung der Schallausbreitung.

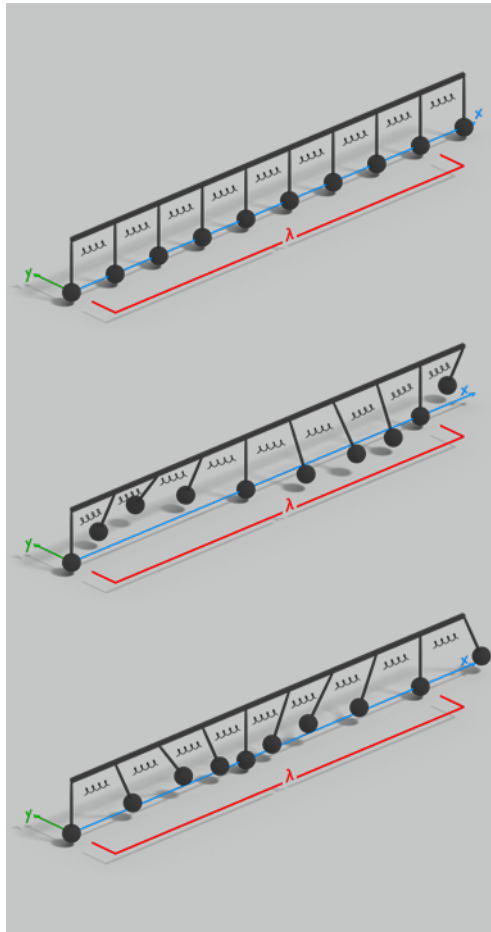
$$I = \frac{P}{A}, \quad \text{Einheit: } \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (6)$$

2.2 Schallausbreitung: Schwingungen und Wellen

Luftschall wird durch Druckdifferenzen übertragen, die sich in der Luft als periodische Luftverdichtungen räumlich ausbreiten. Wie jedoch wird die Luftmasse in Schwingungen versetzt, sodass ein Schalldruck entsteht? Ein physikalischer Versuch zur Demonstration ist die Erzeugung eines Tones durch ein vibrierendes Stahl-Lineal: Wird das Lineal langsam durch den Raum bewegt, entsteht zunächst kein Geräusch. Ein Ton wird erst hervorgerufen, wenn das Lineal am Ende ausgelenkt und in schnelle Schwingungen versetzt wird. Die Luft kann dann das Lineal nicht mehr umströmen und wird lokal verdichtet. In der Schulphysik werden für diesen Versuch biegesteife Blechstreifen als sogenannte »Blattfedern« auf Holzständern verwendet. In Abhängigkeit von Länge und Biegesteifigkeit der Blattfeder werden unterschiedliche Töne (Frequenzen) als Druckschwingungen abgestrahlt.

Ein physikalisches Modell für die Wellenausbreitung sind gekoppelte Pendel (Bild 3, oben). Hierbei handelt es sich um mehrere Fadenpendel, die z. B. durch Spiralfedern miteinander verbunden sind. Die Verbindung überträgt als »Koppelung« die Schwingung des ersten Pendels auf die benachbarten Pendel, wodurch eine Wellenbewegung entsteht. Die Wellenbewegung breitet sich in Richtung der x-Achse aus. Schwingen die Pendel senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle, entsteht eine Transversalwelle (Bild 3, Mitte). Wasserwellen sind ein typisches Beispiel für Transversalwellen. Luftschallwellen hingegen sind Longitudinalwellen, da die Luftmasse in Ausbreitungsrichtung verdichtet und verdünnt wird. Im Falle der gekoppelten Pendel entsteht eine Longitudinalwelle, wenn die Fadenpendel in der Ausbreitungsrichtung schwingen (Bild 3, unten).

Bild 3 Die Wellenausbreitung wird physikalisch durch gekoppelte Fadenpendel beschrieben.
 Oben: Ruhelage, Mitte: Transversalwelle, unten: Longitudinalwelle
 λ : Wellenlänge



Zu beachten ist, dass durch die Wellenausbreitung nur Energie übertragen wird. Die jeweils durch den Schalldruck angeregte Luftmasse schwingt um ihre Ausgangslage hin und her und bewegt sich selbst nicht fort. Auch im Umfeld leistungsstarker Lautsprecher entsteht daher keine Luftströmung, die als Zugluft wahrnehmbar wäre. Dieser Zusammenhang lässt sich bei Wasserwellen anschaulich beobachten. Diese bewegen sich scheinbar vorwärts, z. B. als Wellenfront in Richtung Meeresstrand, oder in Kreisen, nach dem Eintauchen eines Gegenstandes in eine ruhige Wasseroberfläche. Der Blick auf ein Stück Treibholz oder ein schwimmendes Blatt zeigt aber, dass sich die Wasserteilchen tatsächlich nur auf und ab bewegen und Gegenstände an der Wasseroberfläche lotrecht um eine Ruhelage schwingen, ohne ihre Position zu verändern. Analog einem Fadenpendel werden dabei fortwährend potenzielle und kinetische Energie ineinander umgewandelt.

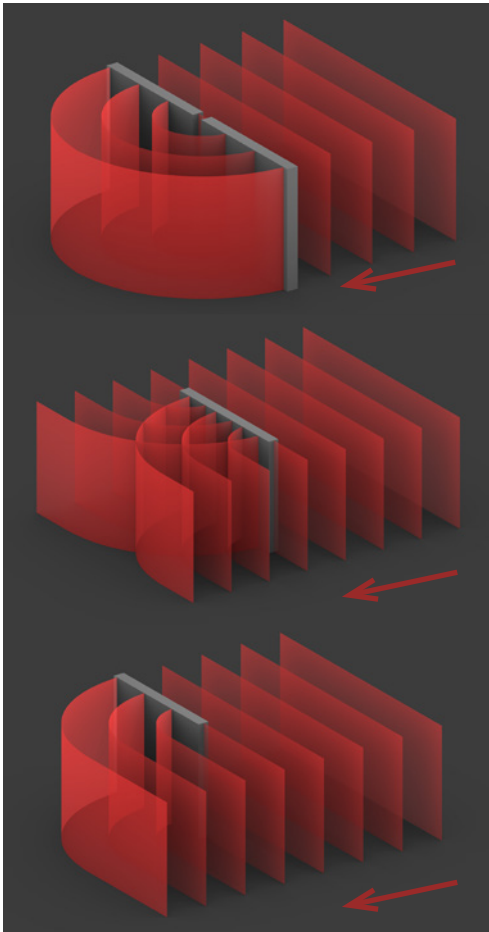


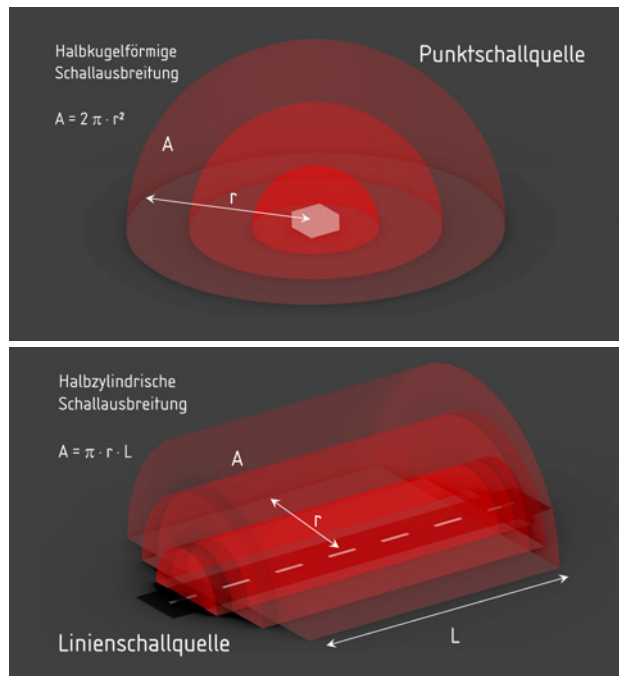
Bild 4 Beugung bei der Wellenausbreitung nach dem Huygensschen Prinzip

Wegen der zugrunde liegenden Wellencharakteristik sind bei der Luftschallausbreitung Entfernungsabnahme, Beugung, Reflexion und Absorption zu berücksichtigen (Bild 4). Dieses betrifft insbesondere den Schallschutz im Städtebau, z. B. bei der Planung der Abschirmwirkung von Lärmschutzwänden. Entsprechend dem Huygensschen Prinzip entstehen an Spalten zwischen Lärmschutzwänden oder an deren Kanten neue Elementarwellen, s. Bild 4, oben. Wahrnehmbare Beugungseffekte sind z. B. bei Schallschutzwänden bekannt: Der Lärm einer hinter der Wand befindlichen Straße ist nicht unhörbar, sondern wird abhängig vom Abstand zur Wand scheinbar von der Wandkrone abgestrahlt, obwohl sie in Wirklichkeit auf gleichem Höhenniveau liegt (Bild 4, Mitte). Reflexionen an Schallschutzwänden führen dazu, dass der Lärm an einem gegenüberliegenden Immissionsort verstärkt wird. Durch Beugungseffekte ist die Abschirmung einer kurzen Lärmschutzwand oftmals gering (Bild 4, unten).

Zur Beschreibung der Schallausbreitung im Freien werden in Abhängigkeit von der Art der Geräuschquelle, ihren Abmessungen und ihrem Abstand vom Immissionsort Punktschallquellen, linienförmige Schallquellen und Flächenschallquellen unterschieden. Schallausbreitungsrechnungen erfolgen zur Vereinfachung typischerweise auf Grundlage von Punktschallquellen.

Punktschallquellen strahlen im Modell kugel- oder halbkugelförmige Schallwellenfronten aus (vgl. Bild 5, oben). Beispiele sind einzelne Geräuschquellen, wie Rasenmäher oder Laubgebläse, sowie geräuscherzeugende betriebliche Anlagen in ausreichender Entfernung. Nach der Norm DIN 18005-1 [DIN 18005-1] kann für Schallausbreitungsrechnungen jede Schallquelle, deren größte Ausdehnung weniger als die Hälfte des Abstands ihres Mittelpunkts von dem betrachteten Immissionsort beträgt, durch eine Punktschallquelle in ihrem Mittelpunkt ersetzt werden, s. Bild 6. Bei ausreichender Entfernung können daher auch Gewerbehallen als Punktschallquellen betrachtet werden.

Bild 5 Halbkugelförmiges Schallausbreitungsmodell (oben) und halbzylindrisches Schallausbreitungsmodell (unten). Da sich die Schallquelle auf dem Boden befindet, erfolgt die Schallausbreitung hier jeweils nur in den oberen Halbraum.



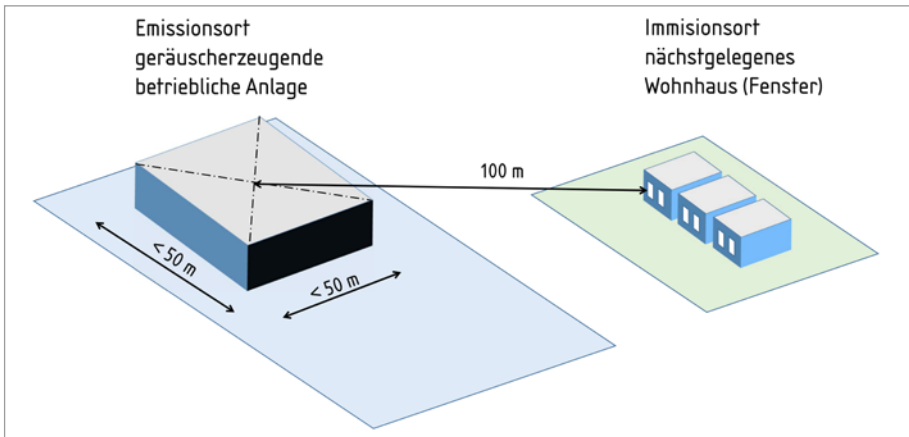


Bild 6 Entfernungabhängigkeit von Punktschallquellen: Jede Schallquelle, deren größte Ausdehnung weniger als die Hälfte des Abstands ihres Mittelpunkts vom betrachteten Immissionsort beträgt, darf durch eine Punktschallquelle in ihrem Mittelpunkt ersetzt werden (Norm DIN 18005-1).

Zu den Linienschallquellen zählen insbesondere Straßenverkehrslärm und Schienenverkehrslärm. Die Schallabstrahlung erfolgt zylindrisch bzw. halb-zylindrisch (vgl. Bild 5, unten). Für die vereinfachte Schallausbreitungsrechnung werden Straßen und Schienenwege in kleine, gerade Teilstücke unterteilt, die als Punktschallquellen abstrahlen.

Wenn der erforderliche Mindestabstand zwischen Emissions- und Immissionsort unterschritten wird, sodass nicht von einer Punktschallquelle ausgegangen werden kann, liegt eine Flächenschallquelle vor. Beispiele sind Fassadenflächen, Parkplätze oder Gewerbegebiete. Zur vereinfachten Schallausbreitungsrechnung werden auch Flächenschallquellen wiederum in einzelne Punktschallquellen aufgeteilt.

Bei der Schallausbreitung im Freien versetzt die Geräuschquelle die umgebende Luft in Druckschwingungen. Die eingesetzte Schallleistung verteilt sich auf die jeweils angenommene Kugel- oder Zylinderoberfläche. Dieser Zusammenhang ist für das Verständnis der Entfernungsabnahme bedeutsam. Da die Druckschwingungen auf immer größere Flächen übertragen werden, nimmt der Schalldruck mit zunehmendem Abstand von der Geräuschquelle ab. Abhängig vom Schallausbreitungsmodell ist hierbei ein geometrischer Effekt zu beachten, vgl. Bild 5:

- Punktschallquelle: Die Kugel- oder Halbkugelfläche nimmt quadratisch mit dem Radius zu. Der Radius entspricht dem Abstand zur Geräuschquelle.
- Linienschallquelle: Die Mantelfläche eines Zylinders bzw. Halbzylinders wächst linear mit dem Radius bzw. Abstand.

Bei gleicher Entfernung verteilt sich die Schallenergie einer Punktschallquelle daher auf eine größere Fläche als die Schallenergie einer Linienschallquelle. Hieraus folgt, dass der Schalldruck bei einer Punktschallquelle mit zunehmendem Abstand stärker abnimmt als bei einer Linienschallquelle.

Die geringere Entfernungsabnahme des Schalldrucks einer Linienschallquelle nutzt man in der Veranstaltungstechnik durch sogenannte Line Arrays aus. Hierbei handelt es sich um eine Zusammenschaltung von Lautsprecherboxen in einer Reihe. Durch Kopplung mehrerer Punktschallquellen entsteht eine Linienschallquelle (Bild 7). Durch diese wird eine deutlich bessere Beschallung erreicht als beim Betrieb einzelner Lautsprecher. Die Tontechnik muss sicherstellen, dass hierdurch in Anlagen keine Gehörgefährdung des Publikums entsteht, vgl. z. B. DIN 15905-5 [DIN 15905-5]. Line Arrays werden auch bei großen Versammlungsstätten im Freien, zum Beispiel in Sportstadien, eingesetzt, um die Sprachverständlichkeit von Sicherheitsdurchsagen zu erhöhen.

Bild 7 In der Veranstaltungstechnik werden mehrere Lautsprecher zu einem »Line Array« zusammengefasst. Als Linienschallquelle wird dann eine zylindrische Schallabstrahlung erreicht. Bei der abgebildeten Musikbühne werden zwei Line Arrays aus jeweils sechs Lautsprecherboxen verwendet.



Wie beschrieben, breiten sich Schallwellen in der Luft als Druckschwingungen aus. Die Schwingungsabnahme mit der Entfernung wird physikalisch als Dämpfung bezeichnet [DIN 1311-2].

Die Schallausbreitung im Freien wird durch die Abnahme des Schalldrucks mit der Entfernung und durch die Topografie sowie durch Beugung und Reflexion der Schallwellen an Hindernissen beeinflusst. Prognosen zur Schallausbreitung für Planungszwecke werden heute überwiegend softwarebasiert erstellt. Ihre Genauigkeit wird

durch die Präzision der Eingangswerte bestimmt. Das geometrische Modell (Lage der Baukörper, Topografie) lässt sich zumeist ausreichend genau beschreiben. In innerstädtischen Bereichen ist jedoch insbesondere die Schallabsorption und Reflexion an Fassadenflächen nur näherungsweise bekannt. Außerhalb von Städten wird die Schallausbreitung durch die jahreszeitliche Vegetation oder den Zustand des Bodens (trocken, feucht, gefroren, schneebedeckt, grasbewachsen) unterschiedlich beeinflusst. Häufig lassen sich daher auch durch Handrechnung mit vereinfachten Grenzbetrachtungen zufriedenstellende Ergebnisse erzielen. (Weiterführende Hinweise zur Dämpfung der Schallausbreitung im Freien finden sich in der Norm DIN ISO 9613-2 [DIN ISO 9613-2].)

Grundsätzliche physikalische Größen zur Beschreibung von Schallwellen sind Frequenz und Wellenlänge:

- Die Schallfrequenz f (auch »Schwingungszahl« oder »Tonhöhe«) gibt die Anzahl der Druckschwingungen je Sekunde an. Für die Frequenz wird die Einheit Hz (Hertz) verwendet. 1 Hz bedeutet eine Schwingung pro Sekunde.
- In unmittelbarem Zusammenhang mit der Frequenz steht die Schallwellenlänge λ . Die Schallwellenlänge λ ist der Abstand der Luftverdichtungen zweier aufeinanderfolgender Wellen und wird in Metern angegeben, vgl. Bild 3.

Bild 8 zeigt die der Bau- und Raumakustik zugrunde liegenden Frequenzbereiche in schematischer Darstellung. Der Hörbereich des menschlichen Ohrs liegt maximal zwischen 16 und 20 000 Hz. Bei kontinuierlicher Lärmexposition sinkt die obere Hörgrenze mit zunehmendem Lebensalter. Unterhalb von 60 Hz ist das Tonhöhenempfinden individuell unterschiedlich ausgeprägt. Töne werden als indifferentes Dröhnen wahrgenommen, unterschiedliche Tonhöhen sind kaum zu unterscheiden. Zwischen 16 und 60 Hz können abhängig von der individuellen Disposition bei betroffenen Personen zusätzliche Dröhn-, Schwingungs- oder Druckgefühle im Kopf auftreten. Vielfach werden auch »Schwebungen« wahrgenommen, die auf Körperresonanzen zurückzuführen sind. Ein ähnlicher Effekt wird beispielsweise bei Pkw-Fahrten über Pflasterbeläge durch Resonanzen hervorgerufen.

Der Frequenzbereich der Sprache umfasst etwa 100 bis 8 000 Hz, wobei das Maximum der Schallintensität bei 300 bis 500 Hz liegt.

Bei der Messung der Schalldämmung von Bauteilen in der Bauakustik werden die Frequenzen zwischen 100 und 3 150 Hz erfasst. Zum Vergleich mit Anforderungswerten wird durch eine normierte Bewertung aus den frequenzweisen Messungen ein repräsentativer Einzahlwert ermittelt. Die Raumakustik erfasst einen etwas größeren Frequenzbereich von 100 bis 5 000 Hz. Unterhalb von 100 Hz beginnt der Bereich der tiefen Frequenzen. Die Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräusche ist aufgrund der zugrunde liegenden großen Wellenlängen,

der besonderen Belästigungswirkung und der zu berücksichtigenden Resonanzeffekte ein besonderes Fachgebiet innerhalb der Akustik.

Unterhalb der Hörgrenze von etwa 16 Hz beginnt der Bereich der Erschütterungen und Schwingungen (Infraschall), auf den Menschen unterschiedlich sensibel reagieren. Erschütterungen und Schwingungen werden z. B. durch Schienenverkehr oder Gasturbinen hervorgerufen. Belästigungswirkungen innerhalb von Gebäuden sind ein Teilgebiet der Baudynamik und können durch Schwingungsübertragung auf die Tragstruktur des Gebäudes entstehen, z. B. beim Gläserklirren in Schränken.

In der Praxis treten Belästigungen jedoch häufiger durch Sekundärschall auf. Dieser entsteht, wenn die zu Schwingungen angeregte Tragstruktur des Gebäudes selbst Schall im hörbaren Bereich abstrahlt. Hierbei entstehen typischerweise tief-frequente Geräusche. Betroffene Personen beklagen häufig Brummtöne und Vibrationen unterschiedlicher Intensität zu verschiedenen Zeiten an mehreren Orten ihrer Wohnung.

Auch Schwingungen im Frequenzbereich unterhalb von 1 Hz sind durch den Menschen wahrnehmbar, haben in der Akustik jedoch keine Bedeutung. Sie treten beispielsweise bei Seereisen (Seekrankheit), oder beim Führen von Transportmaschinen auf.

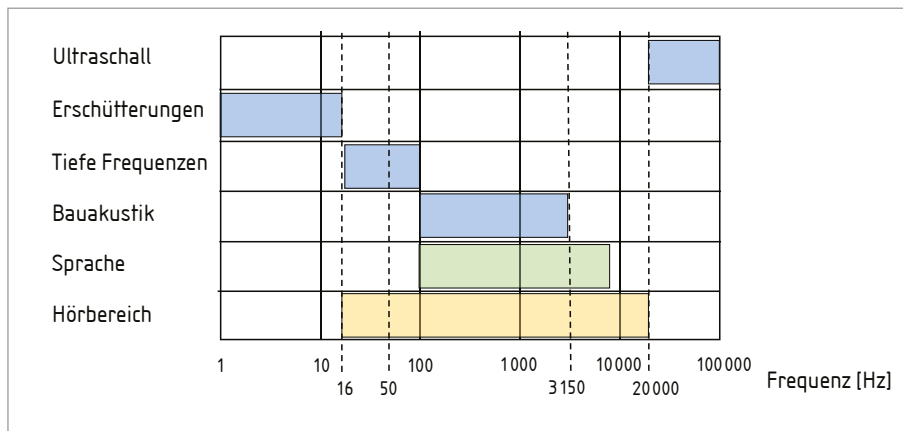


Bild 8 Unterteilung akustischer Frequenzbereiche

Der Zusammenhang zwischen Frequenz f und Wellenlänge λ der Schallwellen wird durch Gleichung 7 beschrieben:

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ [Hz]} \quad (7)$$

Hierbei ist c die Schallgeschwindigkeit in der Luft. Für rechnerische Nachweise in der Bauakustik wird angenommen: $c = 340 \text{ m/s}$.

Aus Gleichung 7 ergibt sich für die Akustik ein großer Bereich von Wellenlängen, der in Tabelle 2 in Abhängigkeit der Frequenzen zwischen 100 und 5 000 Hz dargestellt wird. Die Frequenzen werden in der Tabelle (wie in der Akustik üblich) nicht linear, sondern in »Terzen« angegeben. Beginnend bei 100 Hz stehen nachfolgende Frequenzen im Verhältnis 5/4. Die angegebenen »Terzen« sind die mittleren Frequenzen eines terzbreiten Frequenzbandes. Vereinfachend wird in der Akustik auch die Darstellung in »Oktaven« verwendet, wobei aufeinanderfolgende Frequenzen im Verhältnis 2/1 stehen.

Zwischen 100 Hz und 3 150 Hz ergeben sich insgesamt 16 Terzen oder 6 Oktaven. Die Oktaven sind in Tabelle 2 fett hervorgehoben. Beugung und Reflexionen bei der Ausbreitung von Schallwellen hängen von der Wellenlänge ab. Das Frequenzspektrum der Geräuschquelle ist daher bei der Schallmessung, Schallausbreitung und der Anordnung abschirmender Bauteile von besonderer Bedeutung.

Frequenz f [Hz]	Wellenlänge λ [m]	Frequenz f [Hz]	Wellenlänge λ [m]	Frequenz f [Hz]	Wellenlänge λ [m]
100	3,40	400	0,85	1600	0,21
125	2,72	500	0,68	2000	0,17
160	2,13	630	0,54	2500	0,14
200	1,70	800	0,43	3150	0,11
250	1,36	1000	0,34	4000	0,09
315	1,08	1250	0,27	5000	0,07

Tabelle 2 Die in der Bauakustik betrachteten Schallwellenlängen liegen zwischen 3,40 m bei 100 Hz und 0,07 m bei 5 000 Hz. Die Frequenzen werden als »Terzen« (mittlere Frequenz eines Terzintervalls) angegeben.

Beispiel 2.2 a)

Bei der Messung der Schalldämmung zwischen Räumen soll das Mikrofon etwa ein Viertel der Wellenlänge von den Wänden entfernt stehen. Wie groß ist dieses Maß bei einer Frequenz von 125 Hz?

Lösung:

$$\lambda \cdot f = c \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{340}{125} = 2,72 \text{ m} \rightarrow d = \frac{2,72}{4} = 0,68 \text{ m}$$

2.3 Bau- und raumakustische Größen

2.3.1 Pegel

Für Schalldruck, Schallenergie und Schallleistung ergeben sich in der Praxis sehr große Wertebereiche. Als Hörschwelle wurde ein Schalldruck am menschlichen Ohr von 20 µPa ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa) definiert. Sehr laute Geräusche erreichen Schalldrücke über 600 Pa, z. B. Strahltriebwerke eines Flugzeuges auf einem Rollfeld in etwa 30 m Entfernung. Zwischen diesen beiden Werten liegen sieben Zehnerpotenzen. Aufgrund möglicher Rechen- oder Übertragungsfehler werden für Planungszwecke ungerne halblogarithmische wissenschaftliche Zahlenformate verwendet. Für akustische Größen wurden daher Pegel in Dezibel (dB) eingeführt.

Pegel sind eine Bezugsgröße, wie z. B. auch Prozentangaben. Bekanntermaßen beziehen sich Prozentangaben auf völlig unterschiedliche Größen, wie bspw. eine Ausgangslänge, eine Massenänderung, ein Volumen oder einen finanziellen Gewinn. Die Einheit % ersetzt nicht die physikalische Einheit der jeweils zugrunde liegenden Größe Meter, Kilogramm, Liter oder die Währungseinheit. In gleicher Weise beschreibt die Einheit dB keine neue akustische Größe, sondern einen Verhältniswert der akustischen Größen Schalldruck, Schallenergie oder Schallleistung. Im Unterschied zu Prozentangaben, bei denen der Bezugswert frei wählbar ist, werden die Bezugsgrößen in der Akustik durch die DIN EN ISO 1683 [DIN EN ISO 1683] fest vorgegeben. Die Bezugswerte für Luftschall sind in Tabelle 3 zusammengefasst:

Größe	Symbol	Bezugswert
Schalldruck	p_0	20 µPa ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa)
Schallleistung	P_0	1 pW ($1 \cdot 10^{-12}$ W)
Schallenergie	W_0	1 pJ ($1 \cdot 10^{-12}$ J)
Schallintensität	I_0	1 pW/m ² ($1 \cdot 10^{-12}$ W/m ²)

Tabelle 3 Bezugswerte für verschiedene Schallgrößen in Luft nach der DIN EN ISO 1683

Der Bezugswert für den Schalldruck entspricht der Hörschwelle am menschlichen Ohr. Da sich bau- und raumakustische Planungsaufgaben am Hörvermögen des Menschen orientieren, werden mit diesem Bezugswert negative Pegelwerte vermieden. Zur Berechnung des Pegelwertes in Dezibel wird die jeweilige Größe im zehnfachen dekadischen Logarithmus durch den definierten Bezugswert dividiert. Als Beispiel wird in Gleichung 8 die Berechnung des Schallleistungspegels angegeben:

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} [\text{dB}]$$

(8)

Pegel werden in der Akustik sehr häufig verwendet. Daher ist ein grundsätzliches Verständnis der Logarithmus-Rechenregeln von Vorteil. Benötigt wird ausschließlich der dekadische Logarithmus: $\log_{10}x$ (sprich: Logarithmus von x zur Basis 10). Dieser wird abgekürzt zu $\lg x$. Das mathematische Ausgangsproblem bei der Anwendung des dekadischen Logarithmus ist die Suche eines unbekannten Exponenten zur Basis 10, s. Beispiel (Gl. 9):

$$10^x = 1000 \cdot \lg 1000 = 3 \quad (9)$$

Anders ausgedrückt: Wie oft muss die Zahl 10 mit sich selbst multipliziert werden, um 1000 zu erhalten? Antwort: dreimal, denn $10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3 = 1000$.

Die Kenntnis der folgenden Rechenregeln (Gl. 10 bis Gl. 12) ist hilfreich:

$$\lg(a \cdot b) = \lg(a) + \lg(b) \quad (10)$$

Beispiel 2.3 a)

$$\lg(100 \cdot 10) = \lg 100 + \lg 10 = 2 + 1 = 3$$

$$\lg\left(\frac{a}{b}\right) = \lg(a) - \lg(b) \quad (11)$$

Beispiel 2.3 b)

$$\lg \frac{100}{10} = \lg 100 - \lg 10 = 2 - 1 = 1$$

$$\lg(a^n) = n \cdot \lg(a) \quad (12)$$

Beispiel 2.3 c)

$$10 \cdot \lg\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 = 20 \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

Beispiel 2.3 d)

$$\lg(10^{-4}) = -4 \cdot \lg(10^1) = -4 \cdot 1 = -4$$

Es gilt:

$$\lg(10) = 1, \text{ da } 10^1 = 10$$

$$\lg(1) = 0, \text{ da } 10^0 = 1$$

Die mathematische Umkehroperation des Logarithmus ist das Potenzieren zur Basis 10 (Gl. 13). Sie wird zum Umformen logarithmischer Gleichungssysteme benötigt.

$$y = \lg(x) \Leftrightarrow x = 10^y \quad (13)$$

Beispiel 2.3 e)

$$10^{\lg(7)} = 7$$

2.3.2 Schallleistungspegel L_W

Der Schallleistungspegel beschreibt die Leistung, mit der eine Geräuschquelle die umgebende Luft zu Druckschwingungen anregt. Der Schallleistungspegel hängt ausschließlich von den Eigenschaften der Geräuschquelle ab und ist von der Entfernung oder äußeren Einflussgrößen der Luft unabhängig. Bei technischen Geräten wird der Schallleistungspegel als zeitlich gemittelte Gerätekonstante angegeben, wobei typischerweise unterschiedliche Betriebsarten zu berücksichtigen sind.

Die Berechnung des Schallleistungspegels erfolgt wie in Gleichung 8 angegeben. Die definierte Bezugsschallleistung beträgt $P_0 = 1 \text{ pW} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W}$, vgl. Tabelle 3.

Beispiel 2.3 f)

Man berechne den Schallleistungspegel für einen Lautsprecher, der eine Schallleistung von 1 W abstrahlt.

$$L_W = 10 \cdot \lg\left(\frac{1 \text{ W}}{1 \cdot 10^{-12} \text{ W}}\right) = 10 \cdot \lg(10^{12}) = 120 \text{ dB}$$

Bei Pegeln wird maximal eine Nachkommastelle angegeben.

Wenn die abgestrahlte Schallleistung der Bezugsschallleistung entspricht, folgt für den Schallleistungspegel (Gl. 14):

$$L_W = 10 \cdot \lg\left(\frac{1 \cdot 10^{-12} \text{ W}}{1 \cdot 10^{-12} \text{ W}}\right) = 10 \cdot \lg(10^0) = 10 \cdot \lg(1) = 0 \text{ dB} \quad (14)$$

In der Praxis liegen die Werte für den Schallleistungspegel zwischen 0 und 150 dB. Der im Beispiel 2.3 f) ermittelte Schallleistungspegel von 120 dB ist bereits ein relativ hoher Wert. Zum Vergleich: Die Schallleistungspegel von Motorkettensägen betragen typischerweise etwa 110 dB. Für Lautsprecher werden häufig deutlich höhere »Musikleistungen« angegeben als 1 W. Von der Schallleistung, die ein Lautsprecher bei der Musikwiedergabe in Wohnräumen zur Druckschwingungsanregung der Luft zur Verfügung stellt, weichen diese Angaben offensichtlich ab. Begriffe wie »Musikleistung« sind daher mit Vorsicht zu verwenden.

2.3.3 Schallintensitätspegel L_I

Der Schallintensitätspegel beschreibt die flächenbezogene Leistung, mit der eine Geräuschquelle die umgebende Luft zu Druckschwingungen anregt. Die Bezugsfläche folgt häufig dem zugrunde liegenden Schallausbreitungsmodell, vgl. Kapitel 2.2. Bei einer punktförmigen Geräuschquelle verteilt sich die abgegebene Schallleistung auf Kugeloberflächen, die mit zunehmendem Abstand zur Geräuschquelle größer werden. Die Schallleistung linienförmiger Geräuschquellen verteilt sich auf

zylindrische Flächen. Der Schallintensitätspegel ist daher vom Schallausbreitungsmodell und der angenommenen Entfernung der Geräuschquelle abhängig und keine unabhängige Gerätekonstante. In der Praxis wird üblicherweise mit zeitlich gemittelten Werten gearbeitet.

Die Berechnung des Schallintensitätspegels wird in der Gleichung 15 angegeben. Sie ergibt sich aus dem zehnfachen dekadischen Logarithmus des Quotienten der vorhandenen Schallintensität und der Bezugsschallintensität. Die Bezugsschallintensität beträgt $I_0 = 1 \text{ pW/m}^2 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$, vgl. Tabelle 3. Praktische Werte für den Schallleistungspegel liegen zwischen 0 und 140 dB.

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} \text{ [dB]} \quad (15)$$

2.3.4 Schalldruckpegel L

Der Schalldruckpegel ist die bedeutendste bauakustische Größe und beschreibt die lokale Wirkung eines sich ausbreitenden Luftschallfeldes. Er wird durch das menschliche Ohr wahrgenommen oder mit Mikrofonen gemessen. Da der Schalldruckpegel im Freien und in großen Räumen entfernungsabhängig ist, wird zur Bewertung einer Geräuschquelle eine Abstandsangabe benötigt.

Wie im Kapitel 2.1 beschrieben, ist die potenzielle Energie einer Schallwelle proportional zum Quadrat des Schalldruckes. Zur Vereinfachung von Umrechnungen zwischen den als Pegel angegebenen akustischen Größen wurde der Schalldruckpegel als zehnfacher Logarithmus des Quotienten des Quadrates von Schalldruck und Bezugsschalldruck definiert (Gl. 16). Durch das Quadrieren des Schalldrucks wird der Schalldruckpegel zu einer Größe, die mit dem Schallleistungspegel und dem Schallintensitätspegel verglichen werden kann. Da alle drei Pegelgrößen Energieverhältnisse beschreiben, werden sie in der Praxis auch als »energetische« Größen bezeichnet. Für den Schalldruckpegel trifft dieses nur durch das Quadrieren zu, da der Schalldruck selbst eine Schallfeldgröße ist.

Der Bezugsschalldruck beträgt $p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ (Tabelle 3).

$$L = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ [dB]} \quad (16)$$

In der Praxis wird die Schreibweise $20 \cdot \lg(p/p_0)$ bevorzugt, um das Quadrieren im Logarithmus zu vermeiden. Der Schalldruckpegel liegt in der Praxis zwischen 0 und 140 dB. Ein Schalldruckpegel von 0 dB bedeutet nicht, dass kein Schall vorhanden ist. Er beschreibt ein sehr leises Geräusch im Bereich der Hörschwelle des menschlichen Ohrs. Bei einem Schalldruckpegel von 120 dB, entsprechend einem

Schalldruck von 20 Pa, wird die Schmerzgrenze des menschlichen Ohrs erreicht. Bei regelmäßig einwirkenden Schalldruckpegeln von mehr als 80 dB kann es zu Beeinträchtigungen des Hörvermögens kommen.

In der Praxis wird der Begriff Schalldruckpegel häufig als »Schallpegel« abgekürzt, z. B. auch in der DIN 45641 Mittelung von Schallpegeln [DIN 45641]. Das Symbol L für den Schalldruckpegel wird in der Normung überwiegend einheitlich verwendet.

2.3.5 Pegelrechnung

Die Pegel mehrerer unabhängiger Schallquellen können nicht als arithmetische Summe addiert werden. Die Pegelsumme von n Schallquellen ergibt sich definitionsgemäß durch Addition der Schalldrücke im Logarithmus (Gl. 17).

$$L_{\text{ges}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} + \frac{p_2^2}{p_0^2} + \dots + \frac{p_n^2}{p_0^2} \right) \quad (17)$$

Durch Umformung der Definition des Schalldruckpegels (Gl. 17) und Einsetzen in die Gleichung 18 ergibt sich die Formel für die Pegeladdition (Gl. 19):

$$L_n = 10 \cdot \lg \left(\frac{p_n^2}{p_0^2} \right) \rightarrow 10^{\frac{L_n}{10}} = \frac{p_n^2}{p_0^2} \rightarrow p_n^2 = p_0^2 \cdot 10^{\frac{L_n}{10}} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} L_{\text{ges}} &= 10 \cdot \lg \left(\frac{p_0^2 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}}}{p_0^2} + \frac{p_0^2 \cdot 10^{\frac{L_2}{10}}}{p_0^2} + \dots + \frac{p_0^2 \cdot 10^{\frac{L_n}{10}}}{p_0^2} \right) \\ &= 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \\ &= 10 \cdot \lg \left[\sum 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \end{aligned} \quad (19)$$

Gleichung 19 wird auch als »energetische« Pegeladdition bezeichnet. Ergebnisse von Pegelrechnungen werden typischerweise in ganzen dB oder maximal auf eine Nachkommastelle genau angegeben.

Beispiel 2.3 f)

Man addiere die Schalldruckpegel $L_1 = 60$ dB und $L_2 = 55$ dB.

$$L_{\text{ges}} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{60}{10}} + 10^{\frac{55}{10}} \right) = 61,3 \text{ dB}$$

Beispiel 2.3 g)

Man addiere die Schalldruckpegel $L_1 = 0$ dB und $L_2 = 0$ dB

$$L_{\text{ges}} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{0}{10}} + 10^{\frac{0}{10}} \right) = 3 \text{ dB}$$

Aufgrund ihres logarithmischen Charakters wirken Pegeladditionen zunächst etwas ungewohnt. Durch Anwendung der Logarithmus-Rechenregeln (vgl. Kapitel 2.3.1) lassen sich Multiplikationen und Divisionen bei mehreren unterschiedlichen Schallquellen vereinfachen:

Beispiel 2.3 h)

10 Geräte strahlen einen Schalldruckpegel von jeweils 62 dB aus. Wie groß ist der Schalldruckpegel insgesamt?

$$L_{\text{ges}} = 10 \cdot \lg \left(10 \cdot 10^{\frac{62}{10}} \right) = 10 \cdot \lg(10) + 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{62}{10}} \right) = 10 + 62 = 72 \text{ dB}$$

Beispiel 2.3 i)

10 Geräte strahlen insgesamt einen Schalldruckpegel von 72 dB aus. Wie groß ist der Schalldruckpegel eines Gerätes bei gleicher Schallausstrahlung?

$$L = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{10} \cdot 10^{\frac{72}{10}} \right) = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{72}{10}} \right) - 10 \cdot \lg(10) = 72 - 10 = 62 \text{ dB}$$

Pegel lassen sich auch subtrahieren:

Beispiel 2.3 j)

Eine Schallmessung ergibt für den gleichzeitigen Betrieb eines Rasenmähers und eines Häckslers in gewisser Entfernung $L_{\text{ges}} = 71$ dB. Nach Ausschalten des Häckslers werden für den Rasenmäher alleine $L = 63$ dB gemessen. Wie groß ist der Schalldruckpegel des Häckslers alleine?

$$L_{\text{Häcksler}} = 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{71}{10}} - 10^{\frac{63}{10}} \right) = 70,3 \text{ dB}$$

Auch die Mittelung von Schalldruckpegeln muss logarithmisch erfolgen (Gl. 20), vgl. [DIN 45641].

$$L_m = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \quad (20)$$

Beispiel 2.3 k)

Vier unterschiedliche Messungen ergeben nacheinander folgende Schalldruckpegel: $L_1 = 60$ dB, $L_2 = 57$ dB, $L_3 = 58$ dB, $L_4 = 61$ dB. Wie groß ist der mittlere Schalldruckpegel L_m ?

Lösung:

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{4} \left(10^{\frac{60}{10}} + 10^{\frac{57}{10}} + 10^{\frac{58}{10}} + 10^{\frac{61}{10}} \right) \right] = 59,3 \text{ dB}$$

Im Schallimmissionsschutz werden häufig zeitliche Mittelungen von Schalldruckpegeln benötigt. Hierbei wird analog zur Gleichung 20 vorgegangen. Die Schallereignisse werden mit ihrer Einwirkzeit T_j multipliziert (»gewichtet«) und auf eine Bezugszeit T_r bezogen (Gl. 21). Für Einwirk- und Bezugszeiten ist die gleiche Einheit zu wählen.

$$L_r = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_r} \sum T_j \cdot 10^{\frac{L_j}{10}} \right) \quad (21)$$

Beispiel 2.3 l)

Man berechne bezogen auf eine Zeitdauer von 1 Stunde den zeitlich gemittelten Schalldruckpegel für folgendes Schallereignis:

$L_1 = 60$ dB (Einwirkzeit: 15 Minuten)

Lösung:

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{1} \left(0,25 \cdot 10^{\frac{60}{10}} \right) \right] = 54 \text{ dB}$$

Zur Lösung dieses Beispiels sind 15 Minuten in 0,25 Stunden umzurechnen. Alternativ hätte auch mit 60 und 15 Minuten gerechnet werden können.

Beispiel 2.3 m)

Man berechne bezogen auf eine Zeitdauer von 8 Stunden den zeitlich gemittelten Schalldruckpegel für folgende Schallereignisse:

$$L_1 = 60 \text{ dB (Einwirkzeit: 8 Stunden)}$$

$$L_2 = 80 \text{ dB (Einwirkzeit: 8 Stunden)}$$

$$L_3 = 75 \text{ dB (Einwirkzeit: 8 Stunden)}$$

Lösung:

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{8} \left(8 \cdot 10^{\frac{60}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{80}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{75}{10}} \right) \right] = 81,2 \text{ dB}$$

Da die Einwirkzeiten hier gleich der Bezugszeit sind, entspricht die Lösung dieses Beispiels einer einfachen Pegeladdition ohne zeitliche Mittelung. Einwirk- und Bezugszeiten können gekürzt werden.

Beispiel 2.3 n)

Man berechne bezogen auf eine Zeitdauer von 8 Stunden den zeitlich gemittelten Schalldruckpegel für folgende Schallereignisse:

$$L_1 = 60 \text{ dB (Einwirkzeit: 3 Stunden)}$$

$$L_2 = 80 \text{ dB (Einwirkzeit: 1 Stunde)}$$

$$L_3 = 75 \text{ dB (Einwirkzeit: 2,5 Stunden)}$$

Lösung:

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{8} \left(3 \cdot 10^{\frac{60}{10}} + 1 \cdot 10^{\frac{80}{10}} + 2,5 \cdot 10^{\frac{75}{10}} \right) \right] = 73,6 \text{ dB}$$

Beispiel 2.3 o)

Man berechne bezogen auf eine Zeitdauer von 16 Stunden den zeitlich gemittelten Schalldruckpegel für folgende Schallereignisse:

$$L_1 = 60 \text{ dB (Einwirkzeit: 3 Stunden)}$$

$$L_2 = 80 \text{ dB (Einwirkzeit: 1 Stunde)}$$

$$L_3 = 75 \text{ dB (Einwirkzeit: 2,5 Stunden)}$$

Lösung:

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{16} \left(3 \cdot 10^{\frac{60}{10}} + 1 \cdot 10^{\frac{80}{10}} + 2,5 \cdot 10^{\frac{75}{10}} \right) \right] = 70,6 \text{ dB}$$

An den letzten beiden Beispielen ist zu erkennen, dass eine doppelte Bezugszeit bei gleichen Schalldruckpegeln und gleichen Einwirkzeiten rechnerisch zu einer Halbierung des zeitlich gemittelten Schalldruckpegels führt (Schalldruckpegeldifferenz: $\Delta L = 3 \text{ dB}$).

In manchen Fällen stellt sich die Frage nach maximal möglichen Betriebszeiten.

Beispiel 2.3 p)

Wie lang darf die Einwirkzeit von $L_3 = 75 \text{ dB}$ im vorangehenden Beispiel sein, damit ein zeitlich gemittelter Schalldruckpegel L_r von 70 dB bezogen auf 16 Stunden nicht überschritten wird?

Lösung:

$$\begin{aligned}
 70 \text{ dB} &\leq 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{16} \left(3 \cdot 10^{\frac{60}{10}} + 1 \cdot 10^{\frac{80}{10}} + t_{j,3} \cdot 10^{\frac{75}{10}} \right) \right] \\
 \rightarrow 10^{\frac{70}{10}} &\leq \left[\frac{1}{16} \left(3 \cdot 10^{\frac{60}{10}} + 1 \cdot 10^{\frac{80}{10}} + t_{j,3} \cdot 10^{\frac{75}{10}} \right) \right] \\
 \rightarrow t_{j,3} \cdot 10^{\frac{75}{10}} &\leq 16 \cdot 10^{\frac{70}{10}} - 3 \cdot 10^{\frac{60}{10}} - 1 \cdot 10^{\frac{80}{10}} \\
 \rightarrow t_{j,3} &\leq 1,8 \text{ h}
 \end{aligned}$$

Die maximale Einwirkzeit beträgt $1,8 \text{ h}$.

Kontrolle:

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{16} \left(3 \cdot 10^{\frac{60}{10}} + 1 \cdot 10^{\frac{80}{10}} + 1,8 \cdot 10^{\frac{75}{10}} \right) \right] = 70,0 \text{ dB}$$

Die energieäquivalente Mittelung, Addition und Subtraktion des Schalldruckpegels («unter dem Logarithmus») ist in folgenden Fällen erforderlich:

- bei mehreren unabhängigen Schallquellen,
- bei der Mittelung eines zeitlich veränderlichen Schalldruckpegels einer Schallquelle,
- bei der örtlichen Mittelung des Schalldruckpegels einer Schallquelle entlang von Flächen oder Linien.

Ein zeitlich gemittelter Schalldruckpegel wird als energieäquivalenter Dauerschall- druckpegel L_{eq} bezeichnet, alle anderen Mittelwerte als L_m . Analog werden Rechnungen mit Schallleistungs- oder Schallintensitätspegeln durchgeführt.

Die arithmetische Schalldruckpegeldifferenz $L_1 - L_2$ (ohne Logarithmus) darf ausschließlich bei konstantem Schalldruckpegel einer einzelnen Geräuschquelle gebildet werden. Hierbei handelt es sich um eine Ausnahme, die in der Praxis tatsächlich nur bei normgemäßer Messung der Schalldämmung von Trennbauteilen

auftritt. Hierbei wird ein genormtes zeitlich konstantes Schallsignal verwendet, z. B. das sogenannte »rosa Rauschen«. Im Schallimmissionsschutz wird häufig näherungsweise von einem konstanten Schalldruckpegel ausgegangen, um Schallausbreitungsrechnungen zu vereinfachen.

2.3.6 Umrechnung zwischen Schalleistung und Schalldruck

Schalleistung und Schalldruck sind unterschiedliche physikalische Größen. Die Schalleistung kennzeichnet die von einer Geräuschquelle je Zeiteinheit zur Schwingungsanregung der Luft eingesetzte Schallenergie als Schallursache. Der Schalldruckpegel beschreibt den Wechseldruck der sich ausbreitenden Schallwellen und ist als technische Schallwirkung maßgeblich für die Bau- und Raumakustik.

Die Umrechnung zwischen Schalleistung und Schalldruck wird insbesondere im Schallimmissionsschutz benötigt. Es sind dazu typischerweise die Entfernung zwischen Schallquelle und Bezugsort und ein Schallausbreitungsmodell erforderlich. Ausgehend von einer Freifeldsituation und unter Vernachlässigung von Ausbreitungshindernissen, Reflexionen, Bodeneinflüssen oder meteorologischen Randbedingungen lässt sich der Zusammenhang unter Zuhilfenahme der Schallintensität I vereinfachend wie folgt definieren (Gl. 22):

$$p = \sqrt{I \cdot \rho \cdot c} \text{ [Pa]} \quad (22)$$

- I : Schallintensität (W/m^2)
- p : Schalldruck (Pa)
- ρ : Dichte der unbewegten Luft
- c : Schallausbreitungsgeschwindigkeit in der Luft in m/s

Das Produkt $\rho \cdot c$ wird als »Schallkennimpedanz« bezeichnet. Näherungsweise wird angesetzt: $\rho \cdot c = 1,18 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 340 \text{ m}/\text{s} = 400 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Hierbei wird von ebenen Wellenfronten ausgegangen, die mindestens einen Abstand der dreifachen Schallwellenlänge von der Schallquelle voraussetzen. Die Schallintensität ist zeitlich gemittelt. Löst man (Gl. 22) nach der Schallintensität I auf, ergibt sich (Gl. 23):

$$I = \frac{P}{A} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = \frac{p^2}{400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (23)$$

Diese Umrechnung hat ebenfalls näherungsweisen Charakter. Sie folgt aus den definierten Bezugsgrößen für den quadrierten Schalldruck p_0^2 und die Schallintensität I_0 , die sich um den Faktor $400 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ unterscheiden (vgl. Tabelle 3 und Gl. 24). Die Fläche A ergibt sich aus dem angenommenen Schallausbreitungsmodell, vgl. Bild 5.

$$\frac{p_0^2}{I_0} = \frac{(2 \cdot 10^{-5})^2}{1 \cdot 10^{-12}} = \frac{4 \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10^{-12}} = 400 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] \quad (24)$$

Die resultierenden Pegel werden jeweils aus ihrer Definition nach Gleichung 8, Gleichung 11 und Gleichung 16 berechnet. Eine Überprüfung der Einheitenrechnung (Gl. 25) zeigt, dass die Schallkennimpedanz auch als Produkt aus Energie $\text{N} \cdot \text{m}$ und einem Faktor s/m^4 ausgedrückt werden kann. Sie wird auch zur Beschreibung der Schallschnelle herangezogen, worauf hier nicht weiter eingegangen wird.

$$\frac{\text{Pa}^2}{\frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = \frac{\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)^2}{\frac{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{\text{m}^2}} = \text{N} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^4} = \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} = \frac{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (25)$$

Beispiel 2.3 q)

Eine Punktschallquelle strahlt eine Schallleistung $P = 1 \text{ W}$ kugelförmig ab. Man berechne (näherungsweise) den Schalldruckpegel in 10 m Entfernung.

Lösung:

1. Schallintensität I in 10 m Entfernung (A : Kugeloberfläche):

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{1 \text{ W}}{4 \cdot \pi \cdot 10^2 \text{ m}^2} = 796 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

2. Schalldruck p in 10 m Entfernung:

$$p = \sqrt{796 \cdot 10^{-6} \cdot 400} = 0,564 \text{ [Pa]}$$

3. Schalldruckpegel L in 10 m Entfernung:

$$L = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 10 \cdot \lg \frac{0,564^2}{(2 \cdot 10^{-5})^2} = 89,0 \text{ [dB]}$$

Der Schalldruckpegel entspricht vom Betrag dem Schallintensitätspegel L_I . Dies ist aufgrund der Pegeldefinitionen und der Bezugswerte für p_0 und I_0 immer der Fall, vgl. (Gl. 22) und (Gl. 26). Wie beschrieben, handelt es sich bei p_0 und I_0 jedoch um unterschiedliche physikalische Größen, die nicht miteinander verwechselt werden dürfen.

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \lg \frac{796 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-12}} = 89,0 \text{ [dB]} \quad (26)$$

Durch Anwendung dieses Zusammenhanges lässt sich für die Umrechnung zwischen Schalldruckpegel und Schallleistungspegel vereinfachend angeben (Gl. 27):

$$L_W = L + 10 \cdot \lg \frac{A}{1 \text{ m}^2} \text{ [dB]} \quad (27)$$

Dabei wird die Fläche A in m^2 eingesetzt. Sie ergibt sich aus dem angenommenen Schallausbreitungsmodell. Die Einheitsdefinition erfolgt in der Akustik häufig durch eine Einheitsgröße im Nenner.

Umrechnungen zwischen Schalldruckpegel L_W und Schallleistungspegel L werden beispielsweise zur Beschreibung der Schallemissionen von Maschinen benötigt. Häufig wird der Schalldruckpegel auf einer Messfläche in einem Meter Entfernung gemessen. Die Messfläche ist eine gedachte Hüllfläche der Schallausbreitung, vorzugsweise ein Quader oder eine Halbkugel [DIN EN ISO 3746]. Für den Schallleistungspegel von Punktschallquellen L_W folgt aus Gleichung 27 bei halbkugelförmiger Messfläche:

$$L_W = L + 10 \cdot \lg \frac{2 \cdot \pi \cdot r^2}{1 \text{ m}^2} = L + 10 \cdot \lg \frac{2 \cdot \pi \cdot 1^2}{1 \text{ m}^2} = L + 8 \text{ [dB]} \quad (28)$$

Bei kugelförmiger Schallausbreitung folgt allgemein:

$$L_W = L + 10 \cdot \lg \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2}{1 \text{ m}^2} = L + 10 \cdot \lg \frac{4 \cdot \pi \cdot 1^2}{1 \text{ m}^2} = L + 11 \text{ [dB]} \quad (29)$$

Der Abstandsradius r bezieht sich auf die Entfernung zum geometrischen Mittelpunkt der Punktschallquelle.

Nach der Maschinenlärmverordnung (32. BImSchV) dürfen die in der Verordnung definierten Geräte und Maschinen nur bei Angabe des Schallleistungspegels in Betrieb genommen werden (Bild 9).



Bild 9 Rasenmäher benötigen nach der Maschinenlärmverordnung (32. BImSchV) die Angabe des Schallleistungspegels. Für das abgebildete Gerät werden 96 dB angegeben.

Beispiel 2.3 r)

Der Schalldruckpegel des Rasenmähers in Bild 9 ($L_W = 96$ dB) beträgt in einem Meter Abstand bei halbkugelförmiger Schallausbreitung näherungsweise (Umformung von Gl. 28):

$$L = L_W - 8 = 96 - 8 = 88 \text{ dB}$$

In 40 m Abstand beträgt er:

$$L = L_W - 10 \cdot \lg \frac{2 \cdot \pi \cdot 40^2}{1 \text{ m}^2} = 56 \text{ dB}$$

2.3.7 Berechnung der Entfernungsabnahme

Die Entfernungsabnahme des Schalldruckpegels kann unter Annahme eines zeitlich konstanten Schalldrucks einer kugelförmig abstrahlenden Punktschallquelle vereinfachend mithilfe von Gleichung 27 wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_1 - L_2 = L_{l,1} - L_{l,2} \\ &= 10 \cdot \lg \frac{\frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r_1^2}}{\frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r_2^2}} = 10 \cdot \lg \left[\left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 \right] = 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} \text{ [dB]} \end{aligned} \quad (30)$$

L_1 : Schalldruckpegel in der Entfernung r_1 zur Punktschallquelle in Pa

L_2 : Schalldruckpegel in der Entfernung r_2 zur Punktschallquelle in Pa

In der Gleichung 30 werden die Beträge von Schalldruckpegel und Schallintensitätspegel gleichgesetzt, vgl. Abschnitt 2.3.6. Es wird davon ausgegangen, dass sich die abgestrahlte Schallleistung P gleichmäßig auf eine kugelförmige Ausbreitungsfläche der Schallwellen verteilt. Die Kugeloberfläche berechnet sich zu $A = 4\pi \cdot r^2$. Da sich die Faktoren 4π oder 2π kürzen, gilt die Gleichung 27 auch bei halbkugelförmiger Schallausbreitung, vgl. (Gl. 31) und Bild 5:

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r_1^2}}{\frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r_2^2}} = 10 \cdot \lg \left[\left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 \right] = 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} \text{ [dB]} \quad (31)$$

Bei zylindrischer oder halbzylindrischer Schallausbreitung gilt (vgl. Bild 5):

$$\Delta L = L_1 - L_2 = L_{l,1} - L_{l,2} = 10 \cdot \lg \frac{\frac{P}{l \cdot 4 \cdot \pi \cdot r_1}}{\frac{P}{l \cdot 4 \cdot \pi \cdot r_2}} = 10 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} \left[\frac{\text{dB}}{\text{m}} \right] \quad (32)$$

L_1 : Schalldruckpegel in der Entfernung r_1 zur Linienschallquelle in dB

L_2 : Schalldruckpegel in der Entfernung r_2 zur Linienschallquelle in dB

l : Länge der Linienschallquelle

Aus den Gleichungen 31 und 32 ist ersichtlich, dass der Schalldruckpegel bei einer Punktschallquelle mit dem Quadrat des Abstandes abnimmt, während er bei einer Linienschallquelle linear zurückgeht. Hierdurch breitet sich der Schall von Linienschallquellen besser aus, vgl. Abschnitt 2.2. Zum Schutz gegenüber Straßenverkehrslärm sind daher größere Abstände erforderlich als bei punktförmig durch Gewerbebetrieb abgestrahltem Schall.

Beispiel 2.3 s)

In 15 m Entfernung von einer kugelförmig ausstrahlenden Schallquelle wird ein Schalldruckpegel $L = 73$ dB gemessen. Wie hoch ist der Schalldruckpegel in 50 m und in 7 m Entfernung?

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} = 20 \cdot \lg \frac{50 \text{ m}}{15 \text{ m}} = 10,5 \text{ dB}$$

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} = 20 \cdot \lg \frac{7 \text{ m}}{15 \text{ m}} = -6,6 \text{ dB}$$

Lösung:

Der Schalldruckpegel in 50 m Entfernung beträgt $73 - 10,5 = 62,5$ dB.

Der Schalldruckpegel in 7 m Entfernung beträgt $73 - (-6,6) = 79,6$ dB.

Übungsbeispiel 2.3 t):

In einem Vergnügungspark wird in 35 m Entfernung vom Rundfahrgeschäft »XXL-Overdrive« ein Schalldruckpegel $L = 63$ dB gemessen. Man berechne unter Annahme kugelförmiger Schallausbreitung:

- den Schalldruck p ,
- den Schallleistungspegel L_W ,
- die Schallintensität I ,
- den Schallintensitätspegel L_I ,
- den Schalldruckpegel L in 75 m Entfernung.

Lösung:

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \rightarrow p = p_0 \cdot 10^{\frac{L}{20}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{\frac{63}{20}} = 0,028 \text{ Pa}$$

$$L_W = L + 10 \cdot \lg \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2}{1 \text{ m}^2} = 63 + 10 \cdot \lg \frac{4 \cdot \pi \cdot 35^2}{1 \text{ m}^2} = 104,9 \text{ [dB]}$$

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} \rightarrow P = 1 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{\frac{L_W}{10}} = 1 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{\frac{104,9}{10}} = 30,9 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

$$I = \frac{P}{A} = \frac{30,9 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 35^2} = 2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Alternativ (Gl. 23):

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = \frac{0,028^2}{400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}}} = 2 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$L_I = L = 63 \text{ dB}$$

Zur Kontrolle:

$$L_I = 10 \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{1 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) = 10 \cdot \lg(10^{12}) = 63 \text{ dB}$$

$$L_{75 \text{ m}} = 63 - 20 \cdot \lg \frac{75 \text{ m}}{35 \text{ m}} = 63 - 6,6 = 56,4 \text{ dB}$$

2.4 Hörwahrnehmung des Menschen

Der Beurteilung von Geräuschen liegt das Lautstärkeempfinden des menschlichen Ohrs zugrunde. Gleiche Schalldruckpegel unterschiedlicher Frequenz werden als unterschiedlich laut empfunden. Beispielsweise empfinden Versuchspersonen einen Ton mit einem Schalldruckpegel von 60 dB und einer Frequenz von 1000 Hz genauso laut wie einen Ton mit einem Schalldruckpegel von 75 dB bei 125 Hz. Das individuelle Lautstärkeempfinden lässt sich nicht physikalisch messen. Es kann nur durch Befragung einer ausreichend signifikanten Probandengruppe in einem geeigneten Hörversuch ermittelt werden. In der Probandengruppe müssen alle Alters- und Berufsgruppen repräsentativ vertreten sein. Da das Hörempfinden auch generationsabhängig ist und Änderungen unterliegt (Kriegsgeneration, lärmreiche Nachkriegszeit, 70er-Jahre: Rockkonzerte, 80er-Jahre: Diskotheken, 90er-Jahre: Kopfhörer, Zuwanderer mit abweichender Lärmerfahrung usw.), sollten Erhebungen zum menschlichen Hörvermögen in regelmäßigen Intervallen wiederholt werden.

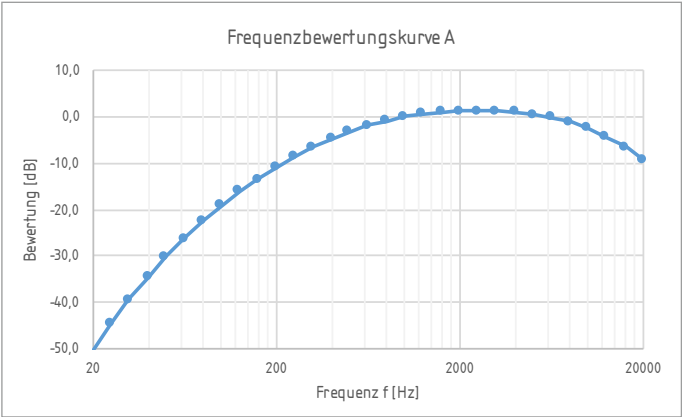
Die Frequenzabhängigkeit des menschlichen Ohrs ist in der Bauakustik von großer Bedeutung: Wenn das Gehör bei bestimmten Frequenzen weniger lautstärkeempfindlich ist, können in diesen Frequenzbereichen höhere Pegel toleriert werden.

Zur Beschreibung des Lautstärkeempfindens wurde in der Akustik der Lautstärkepegel eingeführt [DIN ISO 226]. Der Lautstärkepegel wird in der Einheit phon angegeben und ist der Wert für ein Geräusch, der zahlenmäßig dem in dB angegebenen Schalldruckpegel eines Referenzschalls mit der Frequenz 1000 Hz entspricht, der als gleich laut wie das Geräusch empfunden wird. Zur Beschreibung des Zusammenhangs wurden Normalkurven gleicher Lautstärkepegel entwickelt, die den Frequenzbereich zwischen 20 und 12 500 Hz erfassen, jedoch in der Bauakustik keine große Rolle spielen.

In der Bauakustik und im Schallimmissionsschutz wird das menschliche Hörempfinden durch die A-Bewertung näherungsweise berücksichtigt. Diese wird in der DIN EN 61672-1 definiert [DIN EN 61672-1]. Es handelt sich im Prinzip um eine Abstraktion der Normalkurven aus der DIN ISO 226 für einen erweiterten Frequenzbereich von 10 bis 20 000 Hz. Die Bewertung erfolgt während der Schallmessung durch einen frequenzbezogenen Abschlag bzw. Zuschlag zu dem gemessenen Schalldruckpegel. A-bewertete Schalldruckpegel werden in der Einheit dB(A) angegeben.

In der DIN EN 61672-1 werden die frequenzabhängigen Zuschläge tabellarisch und als Funktion definiert, s. Bild 10 und Tabelle 4. Aus der Bewertungskurve in Bild 10 ist erkennbar, dass die A-Bewertung bis 800 Hz ein Abschlag, zwischen 1250 und 5000 Hz ein geringer Zuschlag und oberhalb 5000 Hz ein Abschlag zum unbewerteten Schalldruckpegel ist. Die Referenzfrequenz 1000 Hz verbleibt ohne Zu- oder Abschlag.

Bild 10 Frequenzbewertungskurve A nach DIN EN 61672-1, dargestellt von 20 bis 20 000 Hz im logarithmischen Frequenzmaßstab



Frequenz f [Hz]	Frequenzbewertung A [dB]	Frequenz f [Hz]	Frequenzbewertung A [dB]	Frequenz f [Hz]	Frequenzbewertung A [dB]
10	-70,4	100	-19,1	4 000	+1,0
12,5	-63,4	125	-16,1	5 000	+0,5
16	-56,7	160	-13,4	6 300	-0,1
20	-50,5	200	-10,9	8 000	-1,1
25	-44,7	250	-8,6	10 000	-2,5
31,5	-39,4	315	-6,6	12 500	-4,3
40	-34,6	400	-4,8	16 000	-6,6
50	-30,2	500	-3,2	20 000	-9,3
63	-26,2	630	-1,9		
80	-22,5	800	-0,8		
		1000	0		
		1250	+0,6		
		1600	+1,0		
		2 000	+1,2		
		2 500	+1,3		
		3 150	+1,2		

Tabelle 4 Frequenzbewertung A nach DIN EN 61672-1 für tiefe Frequenzen (links), den Frequenzbereich der Bauakustik (Mitte) und hohe Frequenzen (rechts). Die Frequenzbewertung A ist ein frequenzabhängiger Abschlag bzw. Zuschlag zum gemessenen Schalldruckpegel.

Beispiel 2.4 a)

Für einen Ton mit einer Frequenz von 200 Hz wurde ein Schalldruckpegel $L_{200\text{ Hz}} = 65\text{ dB}$ gemessen. Man berechne $L_{A, 200\text{ Hz}}$.

Lösung:

Für den A-bewerteten Schalldruckpegel ergibt sich aus Tabelle 4:

$$L_{A, 200\text{ Hz}} = 65 - 10,9 = 54,1\text{ dB(A)}.$$

Die rechnerische Ermittlung der A-Bewertung ist nur bei der manuellen Auswertung von Messergebnissen erforderlich. Die Umrechnung zwischen dB und dB(A) setzt die Kenntnis der enthaltenen terzweisen Schalldruckpegel voraus. Die terzweisen Pegel sind dann mit ihrem Zu- bzw. Abschlag nach Tabelle 4 entsprechend Gleichung 19 »energetisch« im Logarithmus zu addieren, es darf nicht gemittelt werden.

In DIN EN 61672-1 wird auch eine Frequenzbewertung C angegeben, die zur Beurteilung tieffrequenter Geräusche angewendet wird [DIN 45680]. Die Hörwahrnehmung des Menschen ist Gegenstand weiterer wissenschaftlicher Fachgebiete, insbesondere der Psychoakustik (Erforschung der Schallempfindung) und der Audiometrie (Erforschung der menschlichen Hörleistung).

Die Psychoakustik ist in der Bau- und Raumakustik und im Schallimmissionsschutz bei der Beschreibung der Störwirkung von Geräuschen von Bedeutung. Beispielsweise werden ton- oder informationshaltige Geräusche als störender empfunden als gleichmäßige Geräuschspektren. Auch die »Beeinflussbarkeit« und die Art der Geräuschquelle spielen eine Rolle. Bei gleichem Schalldruckpegel werden z. B. fremde Rasenmähergeräusche als störender empfunden als die Wiedergabe eigener Musik. Die Störwirkung nachbarschaftlicher Geräusche wird von noch weiter gehenden psychoakustischen Faktoren beeinflusst: Bei »guter« bzw. »rücksichtsvoller« Nachbarschaft ist sie häufig geringer, bei Erkrankung individuell höher.

3 Raumakustik

3.1 Überblick

Ziel der Raumakustik ist die Sicherstellung der akustischen Qualität von Räumen. Im Vordergrund steht zumeist eine einwandfreie Sprachkommunikation durch Begrenzung der »Halligkeit«. Die für Planungszwecke am häufigsten verwendete Quelle ist die DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung [DIN 18041:2016]. Der Begriff »Hörsamkeit« ist im Bauwesen wenig verbreitet. Die Norm selbst versteht darunter die »Eignung eines Raumes für bestimmte Schalldarbietungen, insbesondere für angemessene sprachliche Kommunikation und musikalische Darbietung« [DIN 18041:2016]. Der englische Begriff »acoustic quality in rooms« ist verständlicher.

Das Bewusstsein für die Bedeutung der Raumakustik ist in den zurückliegenden zehn Jahren deutlich gestiegen. In der Vergangenheit wurde die Raumakustik selbst in Vortrags- oder Sitzungsräumen als eine Frage angemessener Raumeinrichtung und -ausstattung aufgefasst und den Nutzern überlassen. Überwiegend schallreflektierende Oberflächen, wie Glasflächen, Sichtbeton oder versiegelte Parkettflächen, begünstigen einen »halligen« Raumeindruck, der als unangenehm empfunden wird und die Nutzung durch unzureichende Sprachverständlichkeit beeinträchtigt. Für eine einwandfreie Nutzung der Räume sind dann oftmals nachträgliche Maßnahmen zur Erhöhung der Schallabsorption erforderlich.

Die raumakustische Auswirkung der Beschaffenheit der Raumbooberflächen wird daher bei allen Innenraumtypen zunehmend bereits bei der Planung berücksichtigt. Diese Entwicklung wird durch Innovationen im Bereich akustisch absorbierender Bauteile (Schallabsorber) gefördert. Inzwischen sind nicht mehr ausschließlich die von Architekten und Architektinnen gestalterisch als langweilig empfundenen »Lochplatten« verfügbar, sondern vielfältige Lösungen bis hin zu schallabsorbierenden Kunstobjekten (Bild 11).

Bild 11 Individuelle Druckgrafik auf schallabsorbierendem Untergrund



Der erste Gebäudetypus, bei dem raumakustische Anforderungen zu beachten waren, ohne dass eine akustisch geprägte Nutzung wie in Konzertsälen vorlag, waren Gymnastik-, Turn- und Sporthallen (Bild 12). Bereits in der Fassung der Norm DIN 18032 »Gymnastik-, Turn- und Sporthallen – Richtlinien für den Bau« vom April 1965 wurde gefordert, dass die Nachhallzeit in Sporthallen 1,8 Sekunden nicht überschreiten darf. Das Ziel war hierbei, die Sprachverständlichkeit beim Sportunterricht und beim Training sicherzustellen und die Lärmbelastung für Sportler, Trainer, Sportlehrer und Zuschauer gering zu halten. In der Ausgabe DIN 18032-1 vom Juli 1975 wurde weiter präzisiert: Sporthallen sollten eine möglichst kurze Nachhallzeit aufweisen, die oberhalb von 500 Hz nicht größer als 1,8 Sekunden sein durfte (Messung bei unbesetzter Halle). Bei Decken mit geringem Schallabsorptionsgrad war zusätzlich die Anordnung von absorbierenden Konstruktionen an den Wänden erforderlich. Nach den Anforderungen der Fassung vom April 1989 sollte die Nachhallzeit bei Frequenzen oberhalb 500 Hz in unbesetzten Hallen 2,5 Sekunden und bei teilbaren Hallen 3 Sekunden nicht überschreiten. Schallabsorbierende Bauteile in Sporthallen müssen ballwurfsicher sein [DIN 18032-3].



Bild 12 Raumakustische Anforderungen an Sport-hallen bestehen seit 1965. Diese betreffen die Reduzierung der Lärmbelastung bei der Sportausübung selbst, nicht die Sprachverständlichkeit in Zuschauerrängen.

Die aktuelle Ausgabe der DIN 18032-1 »Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung – Teil 1: Grundsätze für die Planung« vom November 2014 [DIN 18032-1] verweist zur Raumakustik auf die »Hörsamkeits«-Norm DIN 18041 aus dem Jahr 2004 [DIN 18041:2004]: In Abhängigkeit von der Raumnutzungsart und vom Raumvolumen soll die Nachhallzeit 1,4 bis 2,5 Sekunden betragen. Die Norm DIN 18041 ist im Jahr 2016 neu erschienen, wobei die Anforderungen an Sport- und Schwimmhallen weiter erhöht wurden [DIN 18041:2016]. Inzwischen nehmen weitere Planungsnormen, wie z. B. DIN 15906 Tagungsstätten [DIN 15906] oder DIN 18040-1 Barrierefreies Bauen [DIN 18040-1] Bezug auf die Anforderungen der Norm DIN 18041.

3.2 Geschichtliche Entwicklung

Die Raumakustik ist traditionell für das Bauwesen ein eher unbekanntes Fachgebiet. Manche Planer oder Planerinnen vertreten die Meinung, dass die Raumakustik überwiegend keine Rolle spiele und nur als Fachplanung in besonderen Fällen, wie Konzertsälen, Theatern, Opernhäusern oder Tonaufnahmerräumen, erforderlich ist.

Tatsächlich aber ist die Raumakustik bereits historisch von zentraler Bedeutung für die architektonische Gestaltung von baulichen Anlagen. Anforderungen an eine möglichst gute Sprachverständlichkeit führten z. B. im 4. Jh. v. Chr. zur Entwicklung des offenen, in halbkreisförmigen Ringen stufenartig in einen Hang gebauten Theaters in Epidauros, Griechenland (Bild 13). Hier folgt die Anordnung von mehr als 10 000 Hörern der horizontalen und vertikalen Richtungsabhängigkeit des menschlichen Sprechpegels.

Bild 13 Das offene Theater in Epidauros, Griechenland, wurde im 4. Jh. v. Chr. für 10 000 Hörer unter dem Aspekt der optimalen Sprachverständlichkeit gestaltet.



Im weiteren Verlauf der Architekturgeschichte hat die Raumakustik romanischer und gotischer Kirchen mit ihrer charakteristisch hohen Nachhallzeit einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung von Musikstücken (Gesang) und Musikinstrumenten in Europa. Der Chorgesang wurde klanglich an die Räume angepasst, in denen er vorgetragen wurde. Bereits im Mittelalter wurde auch versucht, die Sprachverständlichkeit in Räumen mit hoher Nachhallzeit zu verbessern, z. B. durch Kanzelhauben als Reflektoren zur Verbesserung der Richtcharakteristik der Sprache bei der Predigt (Bild 14).

Die Wechselwirkung zwischen Architektur, Raumakustik und kultureller Nutzung setzt sich bei Theaterbauten der Renaissance (z. B. Teatro Olimpico, Vicenza, 1585) und des Barocks (z. B. Teatro San Cassiano, Venedig, 1637) fort. Seit dem 18. Jh. werden Gebäude für Musik- und Theateraufführungen unter Berücksichtigung raumakustischer Randbedingungen entworfen, z. B. das Alte Gewandhaus, Leipzig, 1781. Zur geschichtlichen Entwicklung der Raumakustik berichtet weiterführend [Long 2006].

Bild 14 Innenraum des Doms zu Meißen. Gotische Hallenkirche mit sehr hoher Nachhallzeit. Zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei der Predigt wurde über der Kanzel eine Haube als Reflektor angeordnet.



3.3 Planungsgrößen

3.3.1 Diffuses Schallfeld und Nachhallzeit T

Im Unterschied zur Schallausbreitung im Freien bildet sich in Räumen durch Reflexion des Direktschalls an den Raumboberflächen ein sogenanntes »diffuses Schallfeld«. Reflektierte Schallanteile überlagern sich mit dem Direktschall, sodass der Schall aus allen Richtungen mit annähernd gleicher Intensität einwirkt (Bild 15). Gelingt es, die Reflexionen an den Raumbegrenzungen zu reduzieren, wird es im Raum leiser. Der Direktschallanteil wird durch Änderungen des Reflexionsanteils nicht beeinflusst und bleibt unverändert. Die Ausbildung des diffusen Schallfeldes ist insbesondere in größeren Räumen zeitabhängig, was bei der raumakustischen Planung von Konzertsälen zu berücksichtigen ist.

Das diffuse Schallfeld beeinflusst unmittelbar die Sprachverständlichkeit: In einem »halligen, lauten« Raum mit überwiegend schallreflektierenden Oberflächen und längerer Nachhallzeit nimmt die Sprachverständlichkeit ab. Dieses führt dazu, dass unbewusst »lauter« gesprochen wird und die Sprachverständlichkeit durch erhöhten Störschall noch weiter reduziert wird. Dieser Zusammenhang wird »Lombard-Effekt« genannt und ist darauf zurückzuführen, dass alle Sprecher ihre Sprachleistung intuitiv auf das Hören ihrer eigenen Stimme einstellen. Der Effekt lässt sich im alltäglichen Leben an Personen beobachten, die bei aufgesetztem Kopfhörer mit Musik oder beim Tragen eines Gehörschützers lauter sprechen als eigentlich zur Verständigung erforderlich. Bei einer Vielzahl paralleler Gespräche, z. B. in Pausensituationen in Foyers, steigt der Störgeräuschkalldruckpegel infolge des Lombard-Effektes durch das Anheben der Stimmen kontinuierlich an, wobei die Sprachverständlichkeit abnimmt. Raumakustisch wird diese Situation durch eine Reduzierung der Nachhallzeit verbessert.

Die Nachhallzeit T ist eine Planungsgröße zur Beschreibung des im Raum vorhandenen Reflexionsanteils. Sie wird in Sekunden gemessen und typischerweise für jedes Terzband erfasst. Definiert ist sie als Zeit für das Abklingen eines mittleren Schalldruckpegels in einem Raum um 60 dB nach Ausschalten einer genormten Schallquelle. Ihre Bestimmung erfolgt durch Messungen nach der Normenreihe DIN EN ISO 3382 [DIN EN ISO 3382-2]. Während der Messung sollten sich keine Personen im Raum aufhalten. Bild 16 zeigt das Auswertungsprinzip der Messung: Im Raum wurde ein mittlerer Schalldruckpegel von 90 dB erzeugt. Um den Messaufwand zu reduzieren, wird ein Breitbandrauschen verwendet, in dem alle benötigten Frequenzanteile enthalten sind (sog. »Verfahren mit abgeschaltetem Rauschen«). Nach Ausschalten der Schallquelle und Pegelabfall um 5 dB beginnt die Auswertung.

Bei üblichen Messungen wird die Nachhallzeit aus Abklingvorgängen von 20 oder 30 dB extrapoliert, da sonst zu hohe Schalldruckpegel erforderlich wären. Zur Kenn-

zeichnung des zugrunde liegenden Abklingvorgangs wird die Bezeichnung T_{20} oder T_{30} angegeben. In beiden Fällen wird auf eine Schalldruckpegeldifferenz von 60 dB extrapoliert (Bild 16), sodass auch T_{20} oder T_{30} das Abklingen um 60 dB beschreiben. Bei der Auswertung der Abklingkurven aus Messungen wird die Nachhallzeit T_{20} vorzugsweise zugrunde gelegt [DIN 18041:2016]. Im Standardmessverfahren wird der Frequenzbereich von 100 bis 5000 Hz in Terzbändern erfasst. Als Mittelwert T_{mid} kann das arithmetische Mittel der Nachhallzeiten der sechs Terzen von 400 bis 1250 Hz angegeben werden [DIN EN ISO 3382-1], [DIN EN ISO 3382:2000]. Dieser Frequenzbereich wird als signifikant für die Sprachverständlichkeit angesehen. Zum Vergleich wird auch über den gesamten Messbereich von 100 Hz bis 5000 Hz gemittelt.

Bild 15 In Räumen bildet sich ein diffuses Schallfeld aus. Hierbei überlagert sich der Direktschall mit reflektierten Schallanteilen die nach kurzer Zeit am Ohr des Hörers eintreffen. Der Schall wirkt aus allen Richtungen mit annähernd gleicher Intensität. Wenn es gelingt, den reflektierten Schall durch Absorption zu reduzieren, wird es im Raum leiser.

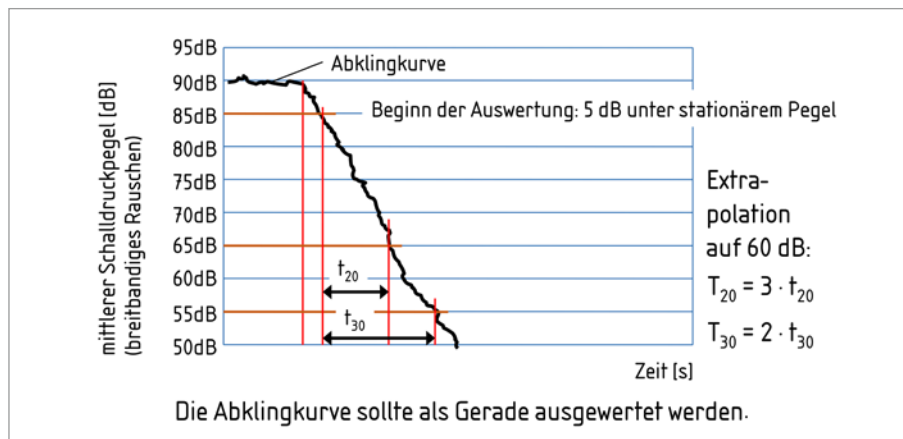
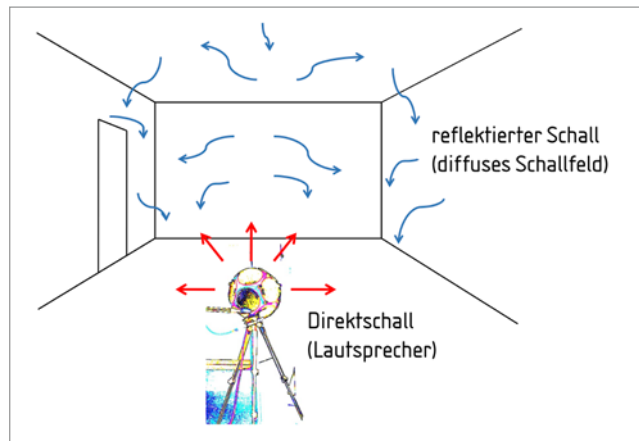


Bild 16 Bestimmung der Nachhallzeit durch Auswertung einer »Abklingkurve«. Die Nachhallzeit T [s] ist diejenige Zeitspanne, in welcher der Schallpegel in einem Raum nach Abschalten einer genormten Schallquelle um 60 dB absinkt. Sie wird durch Aufzeichnung und Auswertung für jede Terz ermittelt.

Um die Halligkeit zu reduzieren, werden in der Praxis eher zu kurze als zu lange Nachhallzeiten angestrebt. Extrem stark gedämpfte Räume mit sehr kurzer Nachhallzeit können jedoch ebenfalls Unwohlsein hervorrufen. Ein Beispiel hierfür sind reflexionsarme Laborräume (sog. schalltote Räume), in denen sich die Mehrzahl der Besucher unbehaglich fühlt.

Die raumakustischen Bedingungen wirken sich unbewusst auf das menschliche Verhalten aus: Typischerweise verhalten sich Menschen beim Betreten eines stark gedämpften Raumes selbst auch leiser als Personen in einem halligen Raum.

3.3.2 Absorber und Schallabsorptionsgrad α

Die Nachhallzeit kann durch geeignete Schallabsorber reduziert werden. In der Raumakustik werden zwei Absorptionsarten unterschieden:

- Poröse Absorber wie Teppiche, Dämmstoffe, Holzfaserplatten oder Vorhänge weisen eine offenporige oder strukturierte Oberfläche auf. Bei ausreichender Dicke (Anhaltswert: Dicke $\geq \frac{1}{4}$ der Schallwellenlänge) bzw. geeigneter Oberflächenstruktur absorbieren sie insbesondere Schall mittlerer und höherer Frequenzen.
- Resonanzabsorber bzw. Plattenabsorber wie Gipskartonplatten, Holzpaneele oder auch Spiegel vor einer Wand werden als schwingungsfähige Systeme durch den Schall angeregt. Hierdurch wird insbesondere Schall tieferer Frequenzen absorbiert.

Alternativ lässt sich auch die Luftmasse in offenen Schlitzen oder Löchern geeigneter Systeme anregen, wodurch der auftreffende Schall absorbiert wird (Helmholtz-Resonatoren bzw. mikroperforierte Absorber)

Die beiden Resonanzprinzipien werden abhängig vom Einsatzzweck auch in Kombination als sogenannte Breitbandabsorber verwendet. Auf die physikalische Funktionsweise und die Konstruktion von Schallabsorbern kann hier nicht weiter eingegangen werden, s. hierzu z. B. [Fuchs 2017].

Die Wirksamkeit eines Schallabsorbers wird vereinfachend durch den Schallabsorptionsgrad α beschrieben. Der Schallabsorptionsgrad wurde früher einprägsam als »Schallschluckgrad« bezeichnet. Er gibt als einheitenloser Faktor das Verhältnis zwischen der von einer Oberfläche absorbierten Schallenergie zur senkrecht auftreffenden Schallenergie an (Gl. 33).

$$\alpha = \frac{\text{absorbierte Schallenergie}}{\text{auftreffende Schallenergie}} [-] \quad (33)$$

Ein Schallabsorptionsgrad von $\alpha = 1,00$ bedeutet vollständige Schallabsorption, ein Schallabsorptionsgrad von $\alpha = 0,00$ steht für vollständige Reflexion. Je höher der Schallabsorptionsgrad, desto besser die absorbierende Wirkung des Materials. Die Schallabsorption weist eine ausgeprägte Frequenzabhängigkeit auf, die bei der Planung zu berücksichtigen ist. Bild 17 zeigt die Frequenzabhängigkeit beispielhaft für poröse Absorber (links) und Resonanzabsorber (rechts).

Die Wirksamkeit poröser Absorber steigt mit zunehmender Frequenz. Ihre Schallabsorption nimmt mit der Dicke der schalloffenen porösen Schicht zu. Dies wird in Bild 17 durch den Vergleich zwischen 7 mm starkem Nadelfilz, Teppichboden bis 10 mm Florhöhe und 40 mm Mineralwollmatte deutlich. Alle drei absorbierenden Schichten sind hierbei auf massivem Untergrund eingebaut. Die absorbierende Wirkung von Fasermaterialien wird in Bild 17 im linken Diagramm am Beispiel von 35 mm starken Holzwolle-Leichtbauplatten dargestellt.

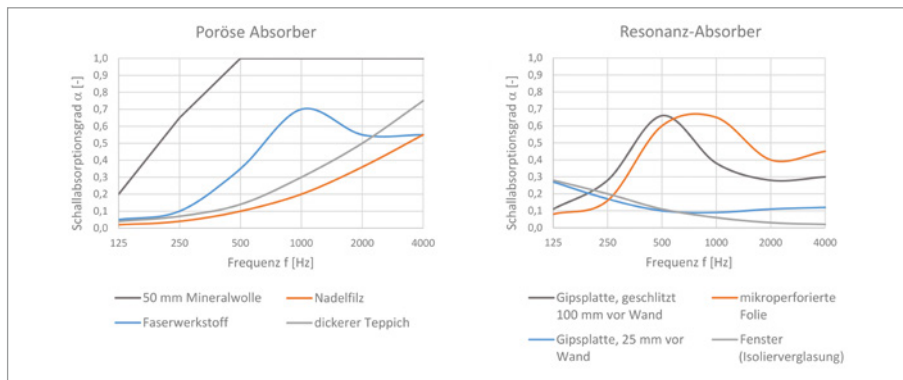


Bild 17 Prinzipieller Verlauf des Schallabsorptionsgrades als Funktion der Frequenz für poröse Absorber (links) und Resonanzabsorber (rechts). Die Schallabsorption weist eine ausgeprägte Frequenzabhängigkeit auf, die bei der Planung zu berücksichtigen ist (nach [DIN 18041:2016] vgl. Tabelle 5).

Als Anhaltswert für Planungszwecke wird häufig angegeben, dass die Stärke eines porösen Absorbers bzw. der Abstand von der reflektierenden Fläche mindestens 25 % der Schallwellenlänge betragen soll. Dieser Zusammenhang geht physikalisch auf den Schallschnelleverlauf reflektierter Wellen zurück. Ein Vergleich zwischen Bild 17 und der frequenzabhängigen Schallwellenlänge in Tabelle 5 zeigt, dass es sich hierbei um eine interpretationsbedürftige Näherung handelt. Die 40 mm starke Mineralwollschicht erreicht bereits bei 1000 Hz einen Schallabsorptionsgrad von 0,9. Die Schallwellenlänge bei 1000 Hz beträgt 34 cm (vgl. Tabelle 2) und ist damit deutlich größer als die vierfache Materialstärke.

Klassische Resonanzabsorber, wie Fensterverglasungen oder vor einer Wand montierte Gipsplatten, wirken bei tiefen Frequenzen besser (vgl. Bild 17, rechts). Der tat-

sächliche Schallabsorptionsgrad hängt von der Bauweise ab (Materialien, Lochung, Profilierung, Konstruktionstiefe, Dämpfung von Hohlräumen, Befestigung usw.). Systeme wie geschlitzte und mit Faservlies hinterlegte Gipsplatten oder mikroperforierte Spanndecken, jeweils im Abstand von 100 mm vor massivem Untergrund, weisen ein Absorptionsmaximum im mittleren Frequenzbereich auf (Bild 17, rechts).

Allgemeine Werte für den Schallabsorptionsgrad häufig verwendeter Oberflächen werden den Normen DIN 18041 [DIN 18041:2016] und DIN EN 12354-6 [DIN EN 12354-6] entnommen. Eine Zusammenstellung der Schallabsorptionsgrade ausgewählter Materialien für die jeweils mittleren Oktavfrequenzen von 125 bis 4 000 Hz findet sich in Tabelle 5.

Schallabsorber	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
Kalkzementputz	0,03	0,03	0,02	0,04	0,05	0,05
Tapete auf Kalkzementputz	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
»Glattputz« (Gipsputz)	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
Spiegel, vor der Wand	0,12	0,10	0,05	0,04	0,02	0,02
Tür, Holz, lackiert	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
Fenster (Isolierverglasung)	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02
Parkettfußboden, aufgeklebt	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
Teppichboden, bis 6 mm Florhöhe, auf massivem Untergrund	0,02	0,04	0,07	0,19	0,29	0,35
Teppichboden, 7 mm bis 10 mm Florhöhe, auf massivem Untergrund	0,04	0,07	0,14	0,30	0,51	0,78
Nadelfilz 7 mm, auf massivem Untergrund	0,02	0,04	0,12	0,20	0,36	0,57
PVC-Fußbodenbelag, 2,5 mm, auf Betonboden	0,01	0,02	0,01	0,03	0,05	0,05
Gipsplatte, 9,5 mm stark, Wandabstand 25 mm	0,27	0,17	0,10	0,09	0,11	0,12
Spanndecke, mikroperforiert, 100 mm Luftschicht, kein Akustikvlies im Hohlraum	0,09	0,25	0,65	0,80	0,61	0,60
Gipsplatten-Rasterdecke 8/18 Rundlochung, 15,5 % Lochflächenanteil, 200 mm zur Rohdecke, Akustikvlies	0,45	0,60	0,70	0,60	0,55	0,65
Gipsplatte, geschlitz, 8,8 % offene Fläche, mit Faservlies, Abstand 100 mm	0,11	0,28	0,66	0,38	0,28	0,30
Holzwohle-Leichtbauplatten 35 mm, direkt auf Wand	0,08	0,17	0,70	0,71	0,64	0,64
40 mm Mineralwollmatte (20 kg/m ³), ohne Lochblechabdeckung	0,11	0,36	0,68	0,88	0,89	0,97
Vorhang, <0,2 kg/m ² ; 0 bis 200 mm vor einer harten Oberfläche; typischer Mindestwert	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
Beton	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
große Öffnungen	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 5 Beispiele für den Schallabsorptionsgrad α unterschiedlicher Oberflächen für Frequenzen von 125 Hz bis 4 000 Hz in Oktavbändern. Aus [DIN 18041:2016] und [DIN EN 12354-6].

3.3.3 Äquivalente Schallabsorptionsfläche A

Der Begriff der Nachhallzeit geht auf Forschungen des amerikanischen Physikers Wallace Clement Sabine (1868–1919) zurück. Der Zusammenhang zwischen Nachhallzeit T und Raumgeometrie wird durch die nach Sabine benannte Formel beschrieben, die diffuse Schallfelder voraussetzt:

$$T = 0,163 \cdot \frac{V}{A} \text{ [s]} \quad (34)$$

- T: Nachhallzeit in s
 V: Raumvolumen in m³
 A: äquivalente Schallabsorptionsfläche in m²

Die Sabinesche Formel und die äquivalente Schallabsorptionsfläche A eines Raumes werden häufig für Planungszwecke benötigt. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche beschreibt die rechnerische Raumbooberfläche in Quadratmetern, die den Schall vollständig absorbiert, ähnlich wie eine große Öffnung in der Wand (Schallabsorptionsgrad $\alpha = 1$). Hierbei wird angenommen, dass die übrige Raumbooberfläche den Schall vollständig reflektiert ($\alpha = 0$). Der dimensionsbehaftete Faktor 0,163 s/m wurde von Sabine in Versuchen bestimmt. Die vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche A kann nach Messung der Nachhallzeit T aus (Gl. 34) ermittelt werden.

Beispiel 3.3 a)

In einem Unterrichtsraum (Volumen 215 m³) wurde eine Nachhallzeit von 1,73 s gemessen. Man berechne die äquivalente Schallabsorptionsfläche.

Lösung:

$$A = 0,163 \cdot \frac{V}{T} = 0,163 \cdot \frac{215}{1,73} = 20,3 \text{ m}^2$$

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche ist im Verhältnis zum vorhandenen Volumen des Unterrichtsraumes relativ gering.

In der Planung wird die äquivalente Schallabsorptionsfläche rechnerisch durch Aufsummieren der Schallabsorptionsanteile der Raumbooberflächen und der Raumausstattung aus Tabellenwerten ermittelt [DIN 18041] und [DIN EN 12354-6]. Die Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche eines Bauteils erfolgt nach Gleichung 35, das Prinzip wird in Bild 18 dargestellt.

$$A = \alpha \cdot S \text{ [m}^2\text{]} \quad (35)$$

- A: äquivalente Schallabsorptionsfläche in m²
 α : Schallabsorptionsgrad (dimensionslos)
 S: Bauteilfläche in m²

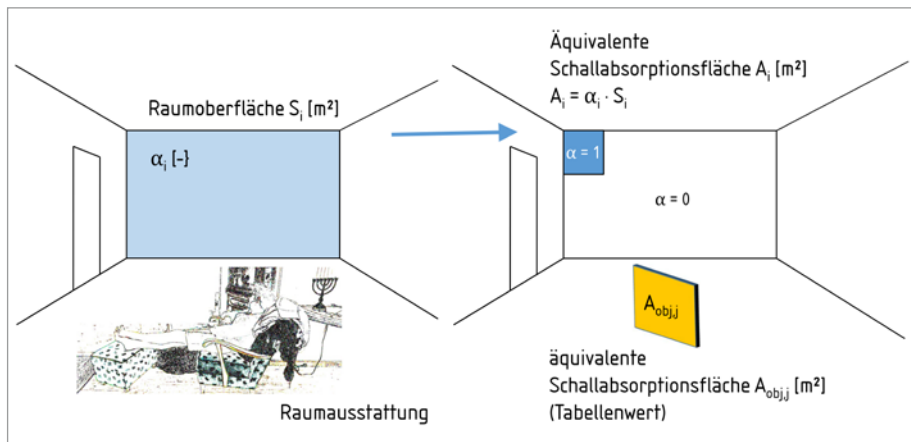


Bild 18 Geometrisches Grundprinzip der raumakustischen Planung: Aus dem Produkt von Bauteilfläche S_i und Schallabsorptionsgrad α_i wird die äquivalente Schallabsorptionsfläche A_i der Raumboflächen ermittelt (Gl. 35). Hierbei handelt es sich um eine Fläche in Quadratmetern, die den Schall rechnerisch vollständig absorbiert. Raumausstattung und Objekte werden durch eine äquivalente Schallabsorptionsfläche A_{obj} idealisiert, vgl. Tabelle 6. Die Summe aller äquivalenten Schallabsorptionsflächen A beschreibt die akustische Grundsituation im Raum. Für üblich ausgestattete Wohnräume wird beispielsweise insgesamt angenommen: $A = 10 \text{ m}^2$.

Beispiel 3.3 b)

Man berechne die äquivalente Schallabsorptionsfläche einer massiven Wand (Länge $L = 4,99 \text{ m}$, Höhe $H = 2,625 \text{ m}$) mit Kalkzementputz bei 1000 Hz.

Lösung:

$$S = L \cdot H = 4,99 \cdot 2,625 = 13,0 \text{ m}^2$$

$$A = \alpha \cdot S = 0,04 \cdot 13,0 = 0,5 \text{ m}^2$$

Der Schallabsorptionsgrad α für Kalkzementputz bei 1000 Hz wurde Tabelle 5 entnommen. Der Schallabsorptionsgrad ist gering. Daher ergibt sich eine kleine äquivalente Schallabsorptionsfläche von $0,5 \text{ m}^2$. Sie beschreibt die Fläche der Wand, die den auftreffenden Schall vollständig absorbiert, während die restlichen $12,5 \text{ m}^2$ Wandfläche den auftreffenden Schall vollständig reflektieren.

Im Raum vorhandene Ausstattung oder Personen werden rechnerisch durch ihre jeweilige äquivalente Schallabsorptionsfläche A_{obj} berücksichtigt. Für typische Objekte und Objektanordnungen geben die Normen DIN 18041 und DIN EN 12354-6 frequenzabhängige Werte an [DIN 18041, DIN EN 12354-6], die auszugsweise in Tabelle 6 zusammengefasst werden.

Beispielobjekt	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
einfacher Stuhl, Holz	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
einfacher Stuhl, gepolstert	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35
männliche Person im Anzug, sitzend	0,15	0,25	0,55	0,80	0,90	0,90
weibliche Person im Sommerkleid, sitzend	0,05	0,10	0,15	0,35	0,45	0,60
einzelne Person in einer Gruppe, sitzend oder stehend, 1 je 6 m ² Fläche; typischer Mindestwert	0,05	0,10	0,20	0,35	0,50	0,65
einzelne Person in einer Gruppe, sitzend, 1 je 6 m ² Fläche; typischer Höchstwert	0,12	0,45	0,80	0,90	0,95	1,00
einzelne Person in einer Gruppe, stehend, 1 je 6 m ² Fläche; typischer Höchstwert	0,12	0,45	0,80	1,20	1,30	1,40
Kind in Vorschuleinrichtungen (je Person)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,25
Schüler Primarstufe (bis 11 Jahre), sitzend an Tischen (je Person)	0,05	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45
Schüler Sekundarstufe, sitzend an Tischen (je Person)	0,10	0,15	0,35	0,50	0,50	0,55

Tabelle 6 Beispielhafte Werte der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A_{obj} üblicher Objekte in Quadratmetern für die Frequenzen von 125 Hz bis 4 000 Hz in Oktavbändern. Aus [DIN 18041:2016] und [DIN EN 12354-6].

Gleichung 36 beschreibt die Ermittlung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche eines Raumes auf Grundlage von [DIN 18041:2016]. Die Norm erfasst zusätzlich die Luftabsorption, deren Einfluss in der Praxis im Allgemeinen vernachlässigt wird. Die Berechnung erfolgt typischerweise unter Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit in tabellarischer Form, vgl. Beispiel 3.3 c).

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^k A_{\text{obj},j} \quad [\text{m}^2] \quad (36)$$

A: äquivalente Schallabsorptionsfläche in m²

α_i : Schallabsorptionsgrad der i-ten Raumbofläche (dimensionslos)

S_i : i-te Bauteilfläche in m²

$A_{\text{obj},j}$: äquivalente Schallabsorptionsfläche A_{obj} des j-ten Objekts im Raum (Ausstattung und Personen)

n: Anzahl der Oberflächen

k: Anzahl der Objekte

Beispiel 3.3 c)

Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche und der Nachhallzeit eines Unterrichtsraumes für die Frequenzen von 250 bis 4 000 Hz. Raumabmessungen: Länge 7,02 m, Breite 8,13 m, Höhe 3,0 m. Die Lösung erfolgt auf Grundlage der Gleichungen 36 und 38 sowie der Tabelle 5 und Tabelle 6. Sie wird in Tabelle 7 zusammengefasst.

Das Raumvolumen beträgt $V = 171 \text{ m}^3$, die Grundfläche $S_B = 57,1 \text{ m}^2$.

a) Berechnung der Bauteilabmessungen					
Bauteil	Länge [m]		Breite [m]	Fläche S _i [m]	
Wand, Gipsputz	13,17		3,00	39,5	
Fenster (Isolierverglasung)	11,00		3,00	33,0	
Boden, Nadelfilz	7,02		8,13	57,1	
Stahlbetondecke	7,02		8,13	57,1	
b) Schallabsorptionsgrad α _i [-]					
Bauteil	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
Wand, Gipsputz	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
Fenster (Isolierverglasung)	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02
Boden, Nadelfilz	0,04	0,12	0,20	0,36	0,57
Stahlbetondecke	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
c) Äquivalente Schallabsorptionsfläche A _{obj} der Objekte im Raum [m²]					
Schüler Primarstufe (bis 11 Jahre), sitzend an Tischen (je Person)	0,10	0,20	0,35	0,40	0,45
d) Frequenzbezogene äquivalente Schallabsorptionsfläche A und rechnerische Nachhallzeit					
Äquivalente Schallabsorptionsfläche A [m²]					
Wand, Gipsputz	0,8	1,2	1,2	1,6	2,4
Fenster (Isolierverglasung)	6,6	3,6	2,0	1,0	0,7
Boden, Nadelfilz	2,3	6,8	11,4	20,5	32,5
Stahlbetondecke	0,6	0,6	1,1	1,1	1,7
20 Schüler Primarstufe (bis 11 Jahre), sitzend an Tischen (je Person)	2,0	4,0	7,0	8,0	9,0
Summe	12,3	16,2	22,7	32,2	46,3
Nachhallzeit [s]					
T = 0,163 · V/A [s]	2,3	1,7	1,2	0,9	0,6

Tabelle 7 Lösung zu Beispiel 3.3 c)

Da nicht alle Ausstattungsobjekte berücksichtigt wurden, die typischerweise in Unterrichtsräumen vorhanden sind (Möbiliar, Pinnwände, Tafel, Vorhänge, Tür usw.), handelt es sich um eine näherungsweise Betrachtung, die aber auf der sicheren Seite liegt. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raumes bei 1000 Hz beträgt beispielsweise 22,7 m². Diese Fläche innerhalb des Raumes absorbiert den insgesamt auftreffenden Schall rechnerisch vollständig.

Tabelle 7 verdeutlicht die Frequenzabhängigkeit der Ergebnisse. Die Nachhallzeiten sind insbesondere in den tiefen Frequenzen relativ hoch, sodass der zusätzliche Einbau geeigneter Schallabsorber erforderlich ist. In der Praxis wird typischerweise ein konstanter Verlauf der Nachhallzeit über alle Frequenzen angestrebt.

Der Schallabsorptionsgrad von Bauteilen oder Absorbern wird nach der DIN EN ISO 354 [DIN EN ISO 354] in Hallräumen gemessen. Der Messung liegen Nachhallzeiten zugrunde. Durch Streueffekte im Hallraum können sich für ein Prüfobjekt bei einzelnen Frequenzen rechnerisch höhere Schallabsorptionsgrade als 1,0 ergeben. Dies widerspricht der Annahme, dass die Schallenergie bei $\alpha = 1,0$ und senkrecht auftreffenden Wellen vollständig absorbiert wird, sodass der Schallabsorptionsgrad physikalisch keine Werte größer als 1,0 annehmen kann. Zur Unterscheidung werden durch Nachhallzeiten in Prüfräumen ermittelte Schallabsorptionsgrade daher mit α_s bezeichnet.

Zur Ermittlung eines repräsentativen Einzahlwertes werden die teilweise gemessenen Schallabsorptionsgrade α_s nach der DIN EN ISO 11654 [DIN EN ISO 11654:1997] bewertet. Zu dieser Norm liegt ein Neuentwurf vor [DIN EN ISO 11654:2017]. Bei der Bewertung werden die Messwerte α_s auf Oktaven umgerechnet und mit einer Bezugskurve verglichen. Hierbei wird mit zwei Nachkommastellen gerechnet und in Schritten von 0,05 gerundet. Der Einzahlwert wird als bewerteter Schallabsorptionsgrad α_w bezeichnet und für Planungszwecke verwendet. Für raumakustische Planungen ist dringend zu empfehlen, die frequenzabhängige Wirkung von Raumbooberflächen, Objekten und Absorbern zu berücksichtigen und nicht ausschließlich den Einzahlwert anzuwenden. Je nach Bauart kann die absorbierende Wirkung in einzelnen Frequenzen deutlich vom α_w -Wert abweichen.

Zur praxisgerechten Übersicht wurden Schallabsorber bislang auf Grundlage ihres α_w -Wertes klassifiziert (Tabelle 8). Die Klassifizierung ist in der aktuellen Entwurfsfassung der DIN EN ISO 11654 [DIN EN ISO 11654:2017] entfallen.

Schallabsorberklasse	α_w -Werte
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
nicht klassifiziert	0,10; 0,05; 0,00

Tabelle 8 Schallabsorberklassen nach der DIN EN ISO 11654 [DIN EN ISO 11654:1997]. Die Klassifizierung ist in der aktuellen Entwurfsfassung der Norm entfallen [DIN EN ISO 11654:2017].

3.3.4 Sprachverständlichkeit und Sprachübertragungsindex STI

Sprachverständlichkeit bezeichnet den korrekt verstandenen Prozentsatz einer Mitteilung [DIN EN ISO 9921]. Längere Nachhallzeiten und hohe Störgeräuschpegel reduzieren die Sprachverständlichkeit. Zu den Störgeräuschen zählen Außenlärm, der in den Raum eindringt, oder Geräusche, die nutzungsbedingt innerhalb des Raums entstehen.

Wesentliche Einflussgröße für die Sprachverständlichkeit ist die Differenz zwischen dem Schalldruckpegel der Sprache und dem Schalldruckpegel der Störgeräusche am Ort des Hörens. Diese Differenz wird als Sprach-Gesamtstör Schalldruckpegel-Abstand bezeichnet. Eine weitgehend einwandfreie Sprachkommunikation ist zu erwarten, wenn der Sprachschalldruckpegel mindestens um 10 bis 20 dB(A) über dem Störgeräuschschalldruckpegel liegt. Die Sprachverständlichkeit wird umso besser, je größer der Sprach-Gesamtstör Schalldruckpegel-Abstand wird und je kleiner die Nachhallzeit im Raum ist. Bei fremdsprachiger Kommunikation, Fachtexten oder verminderter Hörfähigkeit ist ein Abstand von 15 bis 30 dB(A) zu empfehlen. Zusätzliche Anforderungen sind bei Beschallungsanlagen zu berücksichtigen [DIN 18041:2016].

Zur Reduzierung des Störgeräuschpegels ist eine ausreichende Schalldämmung der Außenbauteile bzw. der Trennbauteile zu den Nachbarräumen erforderlich. Außerdem ist der Lärm von technischen Anlagen oder Geräten im Raum zu begrenzen, der z. B. durch medientechnische Geräte, Büroausstattung, Lüftungsanlagen, Sanitärinstallationen usw. entsteht. Planerisch zählen Störgeräusche aus angrenzenden Räumen zur Bauakustik und Störgeräusche durch Personen und technische Anlagen im Raum selbst zu den Betriebsgeräuschen.

Grenzwerte für Störgeräusche wurden z.B. für Tagungsstätten festgelegt [DIN 15906]. In Tagungsräumen darf der A-bewertete Stör Schalldruckpegel 40 dB(A) insgesamt nicht überschreiten, um eine gute Sprachverständlichkeit zu erreichen.

Die Wechselwirkung zwischen Raumakustik und Deutlichkeit von Sprache ist komplex und Gegenstand andauernder wissenschaftlicher Diskussion. Zur näherungsweise Beschreibung der Sprachverständlichkeit stehen weitere Kenngrößen wie Deutlichkeit und Klarheitsmaß zur Verfügung, vgl. z.B. DIN EN ISO 3382-1 [DIN EN ISO 3382-1]. Deutlichkeit und Klarheitsmaß beschreiben über die wahrgenommene Halligkeit hinaus die subjektiv empfundene Schalltransparenz. In größeren Räumen kann hierzu die zeitliche Verteilung des Schalleintreffens ausgewertet werden. Diese wird benötigt, um die raumakustische Situation durch Ausrichtung von Bauteilen oder Anordnung zusätzlicher Schallreflektoren und Schalldiffusoren bzw. durch Abschirmung gezielt zu optimieren.

In der Praxis hat der Sprachübertragungsindex (STI; von engl. »speech transmission index«) [DIN EN 60268-16] eine gewisse Bedeutung erlangt. Der STI wird durch ein speziell modulierte Prüfsignal (z. B. STIPA) gemessen und ist ein Wert zwischen 0 und 1, der die Übertragungsqualität von Sprache im Hinblick auf die Verständlichkeit beschreibt. Hierbei werden Silben-, Wort- und Satzverständlichkeit unterschieden. Bei einem $STI \geq 0,66$ ist von hoher Sprachverständlichkeit auszugehen. In Tagungsräumen ist ein $STI > 0,55$ einzuhalten [DIN 15906]. Zum Verständnis einfacher Nachrichten ist mindestens ein STI von 0,42 erforderlich. Für nicht-muttersprachliche Hörer, Personen mit Hörbeeinträchtigungen und bei fremdsprachigem Unterricht sind erhöhte STI anzustreben.

Im umgekehrten Fall wird bei Anforderungen an die Vertraulichkeit eine möglichst geringe Sprachverständlichkeit gewünscht. Bei einem $STI < 0,2$ wird von »akustischer Privatheit« ausgegangen (VDI 2569:2016). Die Einstufung der Verständlichkeit nach DIN EN ISO 9921 wird auszugsweise in Tabelle 9 gegeben:

Einstufung der Sprachverständlichkeit	einfache Sätze [%]	sinnlose Worte [%]	STI [-]
ausgezeichnet	100	>81	>0,75
gut	100	70 bis 81	0,60 bis 0,75
angemessen	100	53 bis 70	0,45 bis 0,60
schwach	70 bis 100	31 bis 53	0,30 bis 0,45
schlecht	<70	<31	<0,30

Tabelle 9 Einstufung der Sprachverständlichkeit und STI in Anlehnung an die DIN EN ISO 9921 [DIN EN ISO 9921]

Der STI ist zu berücksichtigen, wenn Anforderungen an die Sprachverständlichkeit gestellt werden, insbesondere dann, wenn Beschallungsanlagen zum Einsatz kommen. Das betrifft z. B.

- Tagungsstätten,
- Brandfalldurchsagen durch die Feuerwehr im Alarmfall,
- Flughäfen und Bahnhöfe,
- Versammlungsstätten, abhängig von ihrer Größe.

In der raumakustischen Planung steht auch hierbei die Begrenzung der Nachhallzeit und des Störgeräuschpegels im Vordergrund, da der STI bei zunehmender Nachhallzeit und steigendem Störgeräuschpegel abnimmt. Als Anhaltswert kann davon ausgegangen werden, dass die Planung von Beschallungsanlagen bis $T = 1,3$ s und Pegeln bis max. 85 dB(A) vergleichsweise unkritisch ist [Schmitz, 2014]. Bei höheren Nachhallzeiten und/oder größerem Störschalldruckpegel können zum Erreichen eines vorgegebenen STI aufwendige elektroakustische Lautsprechersysteme erforderlich werden. Dieser Zusammenhang ist insbesondere von Bedeutung, wenn Durchsage- und Alarmierungs-Anlagen erforderlich sind. Beispielsweise müssen Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen von insgesamt mehr als 1000 m² Grundfläche Alarmierungs- und Lautsprecheranlagen haben, mit denen im Gefahrenfall Besucherinnen oder Besucher sowie Mitwirkende und Betriebsangehörige alarmiert werden können [VStättVO-SH 2014]. Gleiches gilt für Versammlungsstätten im Freien und Sportstadien ab einer bestimmten Größe.

Weiterführende Informationen zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit und zu Aspekten der Audiologie finden sich bei [Lazarus et al. 2007].

3.4 Anforderungen und Nachweise

3.4.1 Anwendungsbereich

Die DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise [DIN 18041:2016] legt raumakustische Anforderungen, Empfehlungen und Planungsrichtlinien zur Sicherung der Hörsamkeit vorrangig für die Sprachkommunikation fest. Die Norm gilt für Räume mit einem Volumen bis etwa 5000 m³, für Sport- und Schwimmhallen bis 30000 m³. Sie behandelt nicht die Hörsamkeit in Räumen mit sogenannten »speziellen Anforderungen« (Theater, Konzertsäle, Kinos, Sakralräume, Ton- oder Fernsehstudios, Regieräume usw.) und keine Wohnräume. Zusätzlich werden die akustischen Bedingungen der Barrierefreiheit beschrieben.

Für Planungszwecke werden zwei Anwendungsfälle (Raumgruppen) unterschieden:

- Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernungen (Räume der Gruppe A, »Vortragssituation«, z. B. Bild 19)
- Hörsamkeit über geringe Entfernungen (Räume der Gruppe B, »Gesprächssituation«, z. B. Bild 20)

Die beiden Raumgruppen (Tabelle 10) werden für Planungszwecke in jeweils fünf Nutzungsarten differenziert. Diese werden in Tabelle 11 und Tabelle 12 beschrieben.

Bild 19 In Unterrichtsräumen (Raumgruppe A) ist eine gute Sprachverständlichkeit von grundsätzlicher Bedeutung für den Lernerfolg und die Arbeitsbedingungen der Lehrerinnen und Lehrer. Erhöhte Anforderungen sind bei inklusiver Nutzung zu berücksichtigen.



Bild 20 Tresenbereiche von Verkaufsräumen zählen zur Raumgruppe B. Hier steht die Gesprächssituation im Vordergrund. Mangelnde Sprachverständlichkeit führt zu Missverständnissen und Rückfragen. In sensiblen Umgebungen kann unzureichende Sprachverständlichkeit sogar sicherheitsrelevant sein, z. B. in medizinischen Operationssälen.



Raumgruppe	A	B
Anforderung Hörsamkeit	über mittlere und größere Entfernung (Vorträge)	über geringe Entfernung (Gespräche)
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterrichtsräume in Schulen ▪ Gruppenräume in Kindertageseinrichtungen ▪ Konferenzräume ▪ Gerichts- und Ratssäle ▪ Seminarräume ▪ Hörsäle ▪ Tagungsräume ▪ Räume in Seniorentagesstätten ▪ Sport- und Schwimmhallen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Büros ▪ Schalterhallen ▪ Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität ▪ Speiseräume ▪ Kantinen ▪ Spielfläure und Umkleiden in Schulen und Kindertageseinrichtungen ▪ Ausstellungsräume ▪ Eingangshallen

Tabelle 10 Anwendungsfälle nach DIN 18041: Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernung (Raumgruppe A) und über geringe Entfernung (Raumgruppe B).

Nutzungsart	Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsart	Beispiele
A1	Musik <ul style="list-style-type: none"> ▪ vorwiegend musikalische Darbietungen 	Musikraum mit aktivem Musizieren und Gesang
A2	Sprache/Vortrag <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sprachliche Darbietungen stehen im Vordergrund, in der Regel von einer (frontalen) Position. ▪ Gleichzeitige Kommunikation zwischen mehreren Personen an verschiedenen Stellen im Raum wird selten durchgeführt. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gerichts- und Ratssaal ▪ Gemeindesaal ▪ Hörsaal ▪ Versammlungsraum ▪ Schulaula
A3	Sprache/Vortrag inklusiv <ul style="list-style-type: none"> ▪ Räume der Nutzungsart A2 für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind. ▪ erforderlich für inklusive Nutzung Unterricht/Kommunikation <ul style="list-style-type: none"> ▪ kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gerichts- und Ratssaal ▪ Gemeindesaal ▪ Hörsaal ▪ Versammlungsraum ▪ Schulaula ▪ Unterrichtsraum ▪ Differenzierungsraum ▪ Tagungsraum ▪ Besprechungsraum ▪ Konferenzraum ▪ Seminarraum ▪ Gruppenraum in Kindertageseinrichtungen, Pflegeeinrichtungen und Seniorenheimen

Nutzungsart	Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsart	Beispiele
A4	Unterricht/Kommunikation inklusiv <ul style="list-style-type: none"> ▪ kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum entsprechend Nutzungsart A3, jedoch für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind ▪ Für Räume größer als 500 m³ und für musikalische Nutzungen ist diese Nutzungsart nicht geeignet. ▪ erforderlich für inklusive Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterrichtsraum ▪ Differenzierungsraum ▪ Tagungsraum ▪ Besprechungsraum ▪ Konferenzraum ▪ Seminarraum ▪ Gruppenraum in Kindertageseinrichtungen, Pflegeeinrichtungen und Seniorenheimen ▪ Video-Konferenzraum
A5	Sport <ul style="list-style-type: none"> ▪ In Sport- und Schwimmhallen kommunizieren mehrere Gruppen (auch gleichzeitig) mit unterschiedlichen Inhalten. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sport- und Schwimmhallen für nahezu ausschließliche Nutzung als Sportstätte

Tabelle 11 Beschreibung der Nutzungsarten der Räume der Gruppe A nach [DIN 18041:2016].

Nutzungsart	Beschreibung	Beispiele
B1	Räume ohne Aufenthaltsqualität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingangshallen, Flure, Treppenhäuser u. Ä. als reine Verkehrsfläche (ausgenommen Verkehrsflächen in Schulen, Kindertageseinrichtungen, Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen)
B2	Räume zum kurzfristigen Verweilen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingangshallen, Flure, Treppenhäuser u. Ä. Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität (Empfangsbereich mit Wartezonen etc.) ▪ Ausstellungsräume ▪ Schalterhallen ▪ Umkleiden in Sporthallen
B3	Räume zum längerfristigen Verweilen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausstellungsräume mit Interaktivität oder erhöhtem Geräuschaufkommen (Multimedia, Klang-/Videokunst etc.) ▪ Verkehrsflächen in Schulen und Kindertageseinrichtungen (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.) ▪ Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen (z. B. offene Wartezonen) ▪ Patientenwarteräume ▪ Pausenräume ▪ Bettenzimmer, Ruheräume ▪ Operationssäle, Behandlungsräume ▪ Untersuchungsräume, Sprechzimmer ▪ Speiseräume, Kantinen ▪ Labore ▪ Bibliotheken ▪ Verkaufsräume

Nutzungsart	Beschreibung	Beispiele
B4	Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rezeption/Schalterbereich mit ständigem Arbeitsplatz ▪ Labore mit ständigem Arbeitsplatz ▪ Ausleihbereiche von Bibliotheken ▪ Ausgabebereiche in Kantinen ▪ Bewohnerzimmer in Pflegeeinrichtungen ▪ Bürgerbüro ▪ Büroräume^{a) b)}
B5	Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Speiseräume und Kantinen in Schulen, Kindertageseinrichtungen (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.), Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen ▪ Arbeitsräume mit besonders hohem Geräuschaufkommen (z. B. Werkstätten, Werkräume, Großküchen, Spülküchen) ▪ Callcenter, Leitstellen, Sicherheitszentralen ▪ Intensivpflegebereiche, Wachstationen ▪ Bewegungsräume in Kindertageseinrichtungen ▪ Spielflure und Umkleiden in Schulen und Kindertageseinrichtungen (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.)
<p>a) Empfehlungen für Büroräume sowie Callcenter werden ausführlich in der Richtlinie VDI 2569 behandelt.</p> <p>b) Einzelbüros können unter Nutzungsart B3 eingeordnet werden.</p>		

Tabelle 12 Nutzungsarten mit Beschreibung und Beispielen für Räume der Gruppe B nach [DIN 18041:2016]

3.4.2 Raumgruppe A (Vortragssituation)

Der raumakustische Nachweis erfolgt bei der Nutzungsart A auf Grundlage des Sollwertes der Nachhallzeit T , wobei zusätzlich die frequenzabhängige Betrachtung der Nachhallzeit erforderlich ist. Die Anforderungswerte an die Nachhallzeit hängen vom Raumvolumen V ab und werden in Bild 21 und Tabelle 13 dargestellt. Sie beziehen sich auf den besetzten Zustand, mit einem Besetzungsgrad von 80 % der Regelbesetzung. Nach DIN 18041 ist für die Räume in der Regel ein linearer frequenzabhängiger Verlauf für die Nachhallzeit anzustreben. Jedoch beeinträchtigt ein moderater Anstieg der Nachhallzeit zu tiefen Frequenzen die Hörsamkeit nicht [DIN 18041:2016]. Die Norm gibt weiterführende Empfehlungen und Planungshinweise zur Raumakustik (Volumenkennzahl, Raumstruktur, Anordnung akustisch wirksamer Flächen und Empfehlungen für den Störschalldruckpegel).

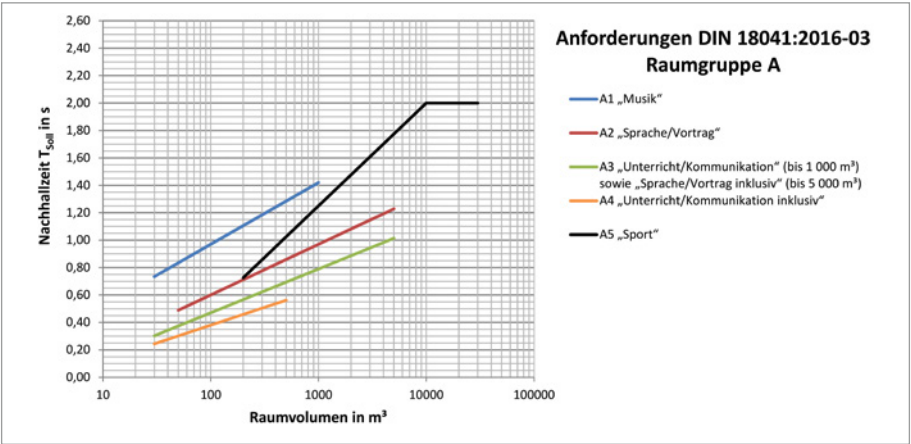


Bild 21 Sollwert T_{Soll} der Nachhallzeit für Räume der Gruppe A (»Vortragssituation«) und die Nutzungsarten A1 bis A5 nach DIN 18041.

Nutzungsart	Kurzbezeichnung und Beschreibung der Nutzungsart	Sollwert der Nachhallzeit	Anwendungsbereich
A1	Musik vorwiegend musikalische Darbietungen	$T_{\text{Soll,A1}} = \left(0,45 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} + 0,07\right) \text{s}$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 1000 \text{ m}^3$
A2	Sprache/Vortrag	$T_{\text{Soll,A2}} = \left(0,37 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14\right) \text{s}$	$50 \text{ m}^3 \leq V < 5\,000 \text{ m}^3$
A3	Sprache/Vortrag inklusiv Unterricht/Kommunikation	$T_{\text{Soll,A3}} = \left(0,32 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17\right) \text{s}$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 5\,000 \text{ m}^3$
A4	Unterricht/Kommunikation inklusiv	$T_{\text{Soll,A4}} = \left(0,26 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14\right) \text{s}$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 500 \text{ m}^3$
A5	Sport	$T_{\text{Soll,A5}} = \left(0,75 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 1,00\right) \text{s}$	$200 \text{ m}^3 \leq V < 10\,000 \text{ m}^3$
		$T_{\text{Soll,A5}} = 2,0 \text{ s}$	$V \geq 10\,000 \text{ m}^3$

Tabelle 13 Berechnung der Sollwerte der Nachhallzeit für die Nutzungsarten A1 bis A5 gemäß DIN 18041:2016

Beispiel 3.4 a)

Man berechne den Sollwert der Nachhallzeit nach der Norm DIN 18041 für einen Unterrichtsraum mit einem Volumen von 215 m³.

Lösung:

$$T_{\text{Soll},A4} = \left(0,26 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14 \right) = [0,26 \cdot \lg(215)] - 0,14 = 0,47 \text{ s}$$

$$T_{\text{Soll},A3} = \left(0,32 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17 \right) = [0,32 \cdot \lg(215)] - 0,17 = 0,58 \text{ s}$$

Bereits ohne frequenzbezogene Auswertung wird deutlich, dass der Unterrichtsraum aus dem Beispiel 3.3 a) mit einer gemessenen Nachhallzeit von 1,73 s die Sollwerte für die Nutzungen A4 »Unterricht/Kommunikation inklusiv« und A3 »Unterricht/Kommunikation« deutlich überschreitet.

Für die Werte der frequenzabhängigen Nachhallzeit T in Räumen werden in DIN 18041 die folgenden Toleranzbereiche angegeben (Bild 22):

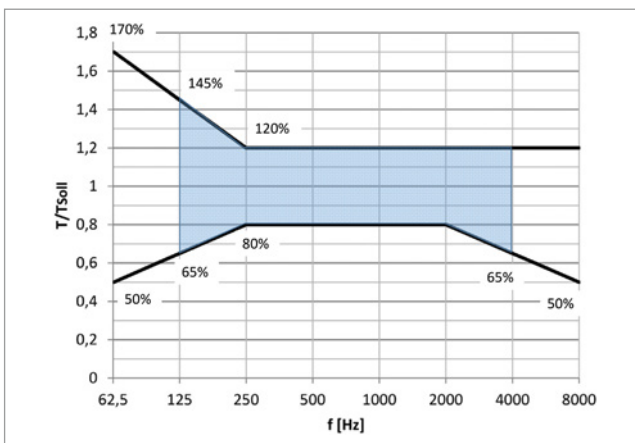


Bild 22 Toleranzbereich der Nachhallzeit T als Funktion des Verhältnisses T/T_{Soll} in Abhängigkeit von der Frequenz für die Nutzungsarten A1 bis A4 nach DIN 18041 [DIN 18041:2016]

Es sind:
 T/T_{Soll} : einheitenloser Verhältniswert der frequenzabhängigen Nachhallzeit T bezogen auf die Soll-Nachhallzeit T_{Soll}
 f: Frequenz in Hz

Der Toleranzbereich wird bei mittleren Frequenzen zwischen 125 Hz und 4 000 Hz bezogen auf das Verhältnis zwischen vorhandener Nachhallzeit T und Sollwert T_{Soll} für die Nutzungsarten A1 bis A4 angewendet. Für Frequenzen außerhalb des Toleranzbereiches von 125 Hz bis 4 000 Hz sind Orientierungswerte mit Strichen angegeben. Für die Nutzungsart A5 ist der entsprechend Tabelle 13 ermittelte Sollwert $T_{\text{Soll},A5}$ zwischen 250 Hz und 2 000 Hz mit einer Genauigkeit von $T_{\text{Soll},A5} \pm 20\%$ einzuhalten. Bei teilbaren Sporthallen sind die Anforderungen sowohl für die ungeteilte Halle als auch für die Hallenteile nachzuweisen.

Die erforderlichen Rechenverfahren zum Nachweis der Einhaltung geforderter frequenzabhängiger Nachhallzeit wurden im Abschnitt 3.3 vorgestellt. Kennzeichnende Größe nach DIN 18041 [DIN 18041:2016] ist die Nachhallzeit in den Oktaven mit den Mittenfrequenzen von 125 Hz bis 4 000 Hz. Zur Umrechnung von terzweisen Ergebnissen auf Oktaven werden die drei Terzbänder innerhalb der Oktave jeweils arithmetisch gemittelt, s. (Gl. 37) und Beispiel 3.4 b).

$$T_{\text{Oktave}} = \frac{T_{\text{Terz},1} + T_{\text{Terz},2} + T_{\text{Terz},3}}{3} \text{ [s]} \quad (37)$$

Die Anforderungen der DIN 18041 gelten als eingehalten, wenn die Nachhallzeiten in den Oktaven 125 Hz bis 4 000 Hz auf zwei Nachkommastellen mathematisch gerundet im Toleranzbereich nach Bild 22 liegen [DIN 18041:2016].

Bei der rechnerischen Ermittlung der Nachhallzeiten ist die Schallabsorption von Möblierung und Personen nutzungsgerecht zu berücksichtigen. Hierbei wird typischerweise von der Regelbesetzung ausgegangen und zusätzlich geprüft, ob der Raum auch bei bedarfsweiser geringerer Besetzung »funktioniert«.

Nach Fertigstellung des Raumes bzw. bei vorhandenen Räumen kann die Nachhallzeit durch Messungen überprüft werden. Erfolgen die Messungen im unbesetzten Zustand, darf die Schallabsorption von Personen/Publikum rechnerisch für die Oktaven mit den Mittenfrequenzen zwischen 125 Hz und 4 000 Hz nach [DIN 18041:2016] wie folgt berücksichtigt werden (Gl. 38):

$$T_{\text{besetzt}} = \frac{T_{\text{unbesetzt}}}{1 + \frac{T_{\text{unbesetzt}} \cdot \Delta A_{\text{Personen}}}{0,16 \cdot V}} \text{ [s]} \quad (38)$$

T_{besetzt} : Nachhallzeit für den besetzten Raum in s

$T_{\text{unbesetzt}}$: Nachhallzeit für den unbesetzten Raum (Messergebnis) in s

V : Raumvolumen in m^3

$\Delta A_{\text{Personen}}$: zusätzliche äquivalente Schallabsorptionsfläche der Personen zwischen unbesetztem Zustand (Messbedingungen) und besetztem Raum in m^2

Beispiel 3.4 b)

Man vergleiche die in Bild 23 dargestellten Messergebnisse für einen Unterrichtsraum der Primarstufe mit den Anforderungen der DIN 18041.

Lösung:

In Bild 23 werden die Messergebnisse der Nachhallzeit T bereits in Oktavbändern angegeben, sodass die typischerweise erforderliche Umrechnung terzweiser Ergebnisse nach Gleichung 37 entfallen kann. Die Messwerte wurden im unbesetzten Raum ermittelt. Daher wird auf eine Besetzung mit 20 Schülern und Schülerinnen umgerechnet (Gl. 38), entsprechend einem Besetzungsgrad von 80 % bei einer angenommenen Regelbesetzung mit

25 Schulkindern der Primarstufe. Die Werte der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A_{obj} für eine Person (Primarstufe) finden sich in Tabelle 6 (S. 56). In Tabelle 14 wird die Umrechnung auf T_{besetzt} , das Verhältnis zu den Sollwerten T_{soll} der Nutzungsarten A3 (Unterricht/Kommunikation) und A4 (Unterricht/Kommunikation inklusiv) dargestellt.

Nachhallzeit nach Norm DIN EN ISO 3382-2		
Diagrammblatt-Nr.	Beisp. 3-4 b)	
Auftraggeber:	k. A.	
Objekt:	k. A.	
Baujahr:		
Prüfdatum:	k. A.	
Raumart:	Unterrichtsraum, unbesetzt	
Raumbezeichnung:	k. A.	
Volumen:	175 m ³	
Ausstattung:	eingerichtet, siehe Anlage	
Boden:	Linoleum	
Wände:	Außenfassade Glaselemente, Mauerwerk mit Kalkzementputz	
Decke:	Sichtbeton	
Absorber:	Plattenabsorber teilflächig an Decke, keine nähere Angabe	

Prüfschall:	breitbandiges Rauschen (rosa Rauschen)	
Temperatur:	°C	
rel. Luftfeuchte	%	

Frequenz [Hz]	Terz [s]	Oktave [s]
62,5		
100	1,21	
125	1,05	1,08
160	0,98	
200	0,89	
250	0,87	0,85
315	0,78	
400	0,69	
500	0,72	0,69
630	0,65	
800	0,71	
1000	0,62	0,64
1250	0,60	
1600	0,58	
2000	0,54	0,55
2500	0,52	
3150	0,56	
4000	0,55	0,56
5000	0,57	
6300		
8000		

Einzeltwerte		
Mittlung von $T(400 \text{ Hz bis } 1250 \text{ Hz})$ nach DIN EN ISO 3382-1:	T_{mid}	0,67 s
Mittlung von $T(100 \text{ Hz bis } 5000 \text{ Hz})$:	T_{mit}	0,73 s

Datum/Unterschrift

Bild 23 Beispielhaftes Messergebnis der Nachhallzeiten in einem Unterrichtsraum.

Das Ergebnis wird in Bild 24 mit dem Toleranzbereich der Nachhallzeit T in Abhängigkeit von der Frequenz nach DIN 18041 verglichen. Es zeigt sich, dass die Anforderungen der Norm nicht eingehalten werden. Insbesondere für die Nutzungsart A4 sind in den Frequenzen unterhalb von 1000 Hz raumakustische Nachbesserungen erforderlich.

Ermittlung der Sollwerte:

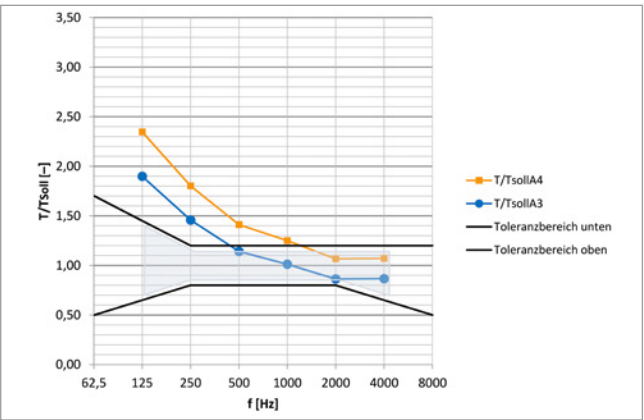
$$T_{\text{Soll,A4}} = [0,26 \cdot \lg(175)] - 0,14 = 0,44 \text{ s}$$

$$T_{\text{Soll,A3}} = [0,32 \cdot \lg(175)] - 0,17 = 0,55 \text{ s}$$

Frequenz [Hz]	T (unbesetzt) [s]	ΔA [m ²]	T (besetzt) [s]	$T_{\text{bes.}}/T_{\text{Soll,A3}}$ [-]	$T_{\text{bes.}}/T_{\text{Soll,A4}}$ [-]
125	1,08	1,00	1,04	1,90	2,35
250	0,85	2,00	0,80	1,46	1,80
500	0,69	4,00	0,63	1,14	1,41
1000	0,64	7,00	0,55	1,01	1,25
2000	0,55	8,00	0,47	0,86	1,07
4000	0,56	9,00	0,47	0,87	1,07

Tabelle 14 Beispiel 3.4b) – Rechnerische Berücksichtigung der Schallabsorption durch 20 Schulkinder nach Gleichung 38 zur Ermittlung der Nachhallzeit des besetzten Raumes in den Oktaven von 125 bis 4000 Hz.

Bild 24 Vergleich der Beispiel-Messergebnisse mit dem Toleranzbereich der Nachhallzeit nach DIN 18041. Insbesondere für die Nutzungsart A4 sind in den Frequenzen unterhalb von 1000 Hz raumakustische Nachbesserungen erforderlich.



3.4.3 Raumgruppe B (Gesprächssituation)

Für die Nutzungsart B werden keine Sollwerte der Nachhallzeit, sondern Orientierungswerte A/V für das mindestens erforderliche Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche A und Raumvolumen V angegeben (Tabelle 15).

Die Orientierungswerte sind in den Oktaven von 250 bis 2000 Hz ohne die Berücksichtigung der Schallabsorption durch Personen anzuwenden. Sie sind in Abhängigkeit von der lichten Raumhöhe h zu ermitteln.

In mehrgeschossigen Räumen bezieht sich h auf die gesamte Raumhöhe. Eine etagenweise Betrachtung führt jedoch zu einer größeren Absorptionsfläche und ist somit im Hinblick auf die Schallpegelminderung von Vorteil. Die mittlere lichte Raumhöhe h kann berechnet werden, indem das Raumvolumen durch die Nettogrundfläche des Raumes geteilt wird [DIN 18041:2016].

Nutzungsart	bei Raumhöhen $h \leq 2,5 \text{ m}$ [m^2/m^3]	bei Raumhöhen $h > 2,5 \text{ m}$ [m^2/m^3]
B1	ohne Anforderung	ohne Anforderung
B2	$A/V \geq 0,15$	$A/V \geq [4,80 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$
B3	$A/V \geq 0,20$	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$
B4	$A/V \geq 0,25$	$A/V \geq [2,13 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$
B5	$A/V \geq 0,30$	$A/V \geq [1,47 + 4,69 \lg(h/1 \text{ m})]^{-1}$
A: äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raums in m^2 V: Raumvolumen in m^3 H: lichte Raumhöhe in m		

Tabelle 15 Raumgruppe B: Orientierungswerte für das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche A des Raumes zum Raumvolumen V nach DIN 18041 [DIN 18041:2016]

Beispiel 3.4 c)

Man ermittle die erforderliche äquivalente Schallabsorptionsfläche für ein Callcenter mit den Abmessungen ($L/B/H$) = 13,0 m/4,5 m/3,9 m.

Lösung (Nutzungsart B5 nach Tabelle 12):

$$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{1,47 + 4,69 \lg(3,9)} = 0,236 \frac{1}{\text{m}}$$

Bei dem vorhandenen Volumen $V = 228 \text{ m}^3$ folgt für die mindestens empfohlene äquivalente Schallabsorptionsfläche $A = 0,236 \cdot 228 = 54 \text{ m}^2$. Aus den Herstellerangaben zum Schallabsorptionsgrad lässt sich hieraus die erforderliche einzubauen Fläche des akustischen Absorptionssystems für die einzelnen Oktavbänder von 250 bis 2000 Hz berechnen.

Wohnräume gehören im Prinzip auch zur Nutzungsgruppe B, wurden in die DIN 18041 jedoch nicht aufgenommen, s. Tabelle 12. Bedarf zur Planung raumakustischer Maßnahmen in Wohnräumen entsteht vor allem im hochwertigen Wohn- und Eigentumssegment. Zur Realisierung einer zufriedenstellenden Aufenthaltsqualität können als Anhaltswerte die Orientierungswerte der DIN 18041 herangezogen werden. Dies betrifft für Planungszwecke z.B. größere Wohnräume mit vorwiegend reflektierenden Raumbooberflächen.

3.5 Unterrichtsräume

3.5.1 Einführung

Die Raumakustik in Unterrichtsräumen hat eine besondere Bedeutung für den Lernerfolg und damit für die Nutzung der Räume. Bei schlechter oder schwacher Sprachverständlichkeit ist es schwieriger, dem Unterricht zu folgen und konzentriert zu arbeiten. Das gilt insbesondere für fremdsprachige Schüler und fremdsprachigen Unterricht. Es ist traurig, wenn der gewünschte Lernerfolg durch unzureichende räumliche Bedingungen beeinträchtigt wird. Diese Situation ist besonders betrüblich, wenn es aus rein akustischen Gründen nicht gelingt, fremdsprachig aufgewachsene Kinder in das Unterrichtsgeschehen zu integrieren und für die Betroffenen damit erhebliche Chancen verpasst werden.

Daher ist eine sachgerechte raumakustische Planung von Unterrichtsräumen unverzichtbar. Bei einem Wechsel vom vortragsorientierten Unterrichtsstil zu Gruppenarbeitstechniken verschärft sich die Situation weiter: In halligen Unterrichtsräumen kann es infolge des Lombard-Effektes (vgl. Abschnitt 3.3.1) durch zunehmend laute Sprechweise zu einem steigenden Störgeräuschschalldruckpegel kommen, der völlig unnötige Lärmbelastungen für Schüler und Lehrer nach sich zieht.

Während die raumakustische Situation der Unterrichtsräume bei Schulneubauten zunehmend berücksichtigt wird, besteht bei Bestandsgebäuden häufig erheblicher Nachbesserungsbedarf. Oftmals stehen dafür keine ausreichenden Finanzmittel zur Verfügung, sodass auf jährliche Bauunterhaltungsetats oder Sondermittel zurückgegriffen werden muss.

Zur Verbesserung der raumakustischen Situation vorhandener Unterrichtsräume in Bestandsschulen wurden in Zusammenarbeit mit der Hansestadt Lübeck langjährige Reihenmessungen der Nachhallzeit in Unterrichtsräumen durchgeführt. Die Ergebnisse werden zur Darstellung der raumakustischen Situation im vorhandenen Gebäudebestand in den folgenden Abschnitten zusammengefasst. Die Abbildungen werden unterteilt in Räume ohne Schallabsorber und in Räume mit Schallabsorberrn. Ziel ist ein Überblick über die vorhandene Situation. Daher wird auf die frequenzbezogene Auswertung nicht eingegangen. Dargestellt wird die gemessene mittlere Nachhallzeit T_{mid} der Terzbänder von 400 bis 1250 Hz im Vergleich zu den Sollwerten der Nachhallzeit der DIN 18041 [DIN 18041:2016]. Die Messungen erfolgten in unterschiedlichen Schularten in möblierten, aber unbesetzten Räumen.

Aus den Ergebnissen lässt sich auf den Instandsetzungsbedarf des zugrunde liegenden Raumbestandes schließen. Ergänzend zu den Sollwerten der Nachhallzeit aus der DIN 18041 kann auf Grundlage der Abbildungen die vorhandene akustische

Qualität von Einzelräumen im Vergleich zu tatsächlich vorhandenen Nachhallzeiten im Bestand beurteilt werden. Hierdurch werden bei Bedarf Priorisierungen für Instandsetzungsmaßnahmen erleichtert. Es ist anzunehmen, dass die Situation in anderen Städten im Prinzip vergleichbar ist.

3.5.2 Unterrichtsräume ohne Schallabsorber

Bild 25 zeigt die Ergebnisse von insgesamt 184 Messungen der Nachhallzeit in Unterrichtsräumen ohne Schallabsorber. Der Mittelwert der Nachhallzeit aller Räume beträgt 1,3 Sekunden, das mittlere Volumen 184 m³. Im Mittel ergibt sich eine vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche $A = 26 \text{ m}^2$. Der Anforderungswert $T_{\text{Soll},A4}$ der DIN 18041 wird statistisch nur von 0,5 % der untersuchten Räume eingehalten, der Anforderungswert $T_{\text{Soll},A3}$ von 1,6 % der untersuchten Räume.

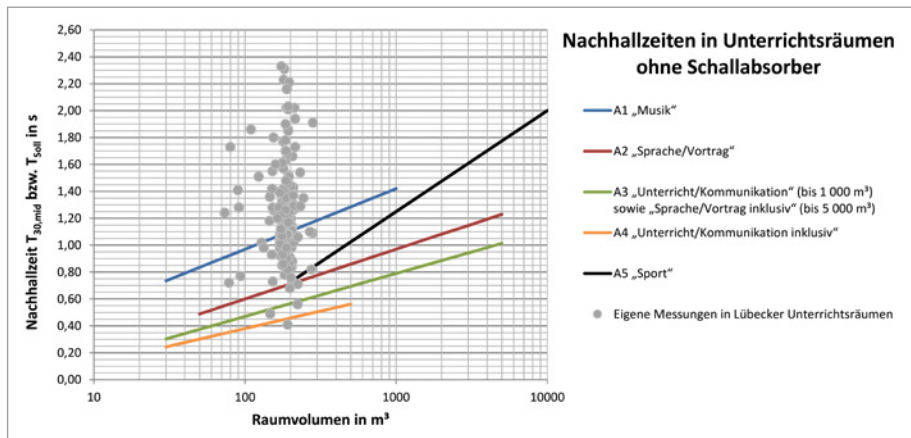


Bild 25 Messergebnis der Nachhallzeit in 184 Unterrichtsräumen ohne Schallabsorber in Lübecker Schulen. Dargestellt werden der Mittelwert der Nachhallzeit (400 bis 1250 Hz) in Sekunden und das zugehörige Raumvolumen in m³. Zum Vergleich sind die Sollwerte für die Nutzungsart A nach der DIN 18041 angegeben.

In Bild 26 wird die Häufigkeitsverteilung der mittleren Nachhallzeit in den Unterrichtsräumen über insgesamt 11 Klassen der Nachhallzeit dargestellt. Der Häufigkeitsverteilung kann zu Vergleichszwecken die Anzahl der Unterrichtsräume entnommen werden, die eine gewählte mittlere Nachhallzeit über- bzw. unterschreiten. Die beiden Abbildungen verdeutlichen den grundsätzlichen raumakustischen Verbesserungsbedarf von Unterrichtsräumen im Gebäudebestand. Räume mit mittleren Nachhallzeiten von über 1,6 Sekunden sind für Unterrichtszwecke nur eingeschränkt geeignet.

Die Sollwerte der DIN 18041 für die Anforderungskategorie A4 »Unterricht/Kommunikation inklusiv« sind vor diesem Hintergrund für den öffentlichen Schulgebäude-

bestand als ambitioniert anzusehen, so sinnvoll sie auch sind. Die erforderliche Instandsetzung des vorhandenen Gebäudebestandes entsprechend Bild 25 und Bild 26 wird sich längere Zeit hinziehen, wenn nur laufende Bauunterhaltungsmittel zur Verfügung stehen. Eine kurzfristige Umsetzung würde finanzielle Sonderprogramme erfordern.

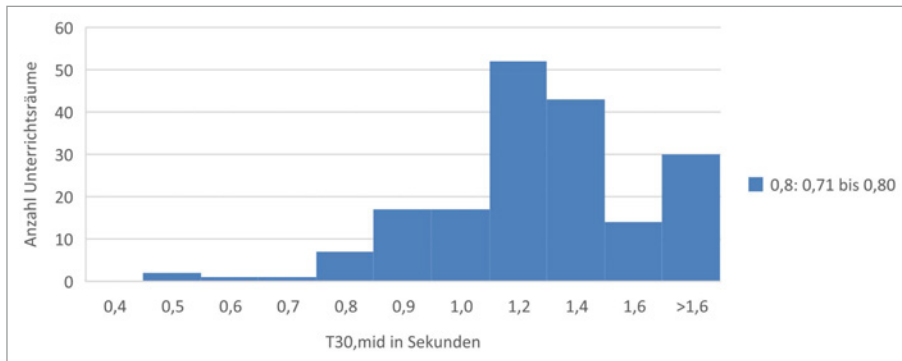


Bild 26 Häufigkeitsverteilung der Nachhallzeit in 184 Unterrichtsräumen ohne Schallabsorber in Lübecker Schulen. Auf der horizontalen Achse wird der Höchstwert der jeweiligen Nachhallzeitklasse angegeben: Die Bezeichnung »0,8« beschreibt z. B. die Klasse 0,71 bis 0,80 Sekunden.

Bild 27 und Bild 28 zeigen einen Beispielunterrichtsraum ohne Absorber und die durch Messung nach der DIN 3382-2 festgestellte Nachhallzeit der Frequenzen von 100 bis 5000 Hz. Der Raum wurde Anfang der 2000er-Jahre im bestehenden Dachgeschoss eines Gymnasiums neu errichtet. Die mittlere Nachhallzeit im Frequenzbereich zwischen 400 und 1250 Hz beträgt 2,33 Sekunden. Bei einem vorhandenen Volumen von 183 m³ ist der Raum für Unterrichtszwecke in akustischer Hinsicht nur sehr bedingt geeignet. Die Sollwerte der Nachhallzeit für die Nutzungsarten A3 »Unterricht/Kommunikation« und A4 »Unterricht/Kommunikation inklusiv« betragen beim vorhandenen Volumen von 183 m³:

$$T_{\text{Soll}, A4} = [0,26 \cdot \lg(183)] - 0,14 = 0,45 \text{ s}$$

$$T_{\text{Soll}, A3} = [0,32 \cdot \lg(183)] - 0,17 = 0,55 \text{ s}$$

Eine raumakustische Instandsetzung ist zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit dringend erforderlich. Der Raum weist ein ausgeprägtes Maximum der Nachhallzeit in den Terzbändern zwischen 160 und 400 Hz auf. Daher werden Schallereignisse in diesem Frequenzbereich als besonders unangenehm empfunden. Für die erforderliche raumakustische Planung ist eine Auswertung in Oktavbändern durchzuführen, wie im Kapitel 3.4.2 erläutert. Das Beispiel zeigt, dass auch bei relativ neuen Unterrichtsräumen akustische Anforderungen nicht immer im gebührenden Umfang im Planungskonzept berücksichtigt werden.

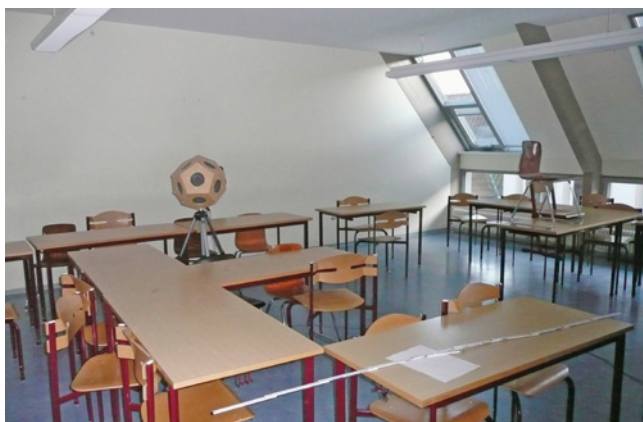


Bild 27 Raumakustische Messung in einem Unterrichtsräum (Baujahr 2000) ohne Schallabsorber im Dachgeschoss eines Gymnasiums

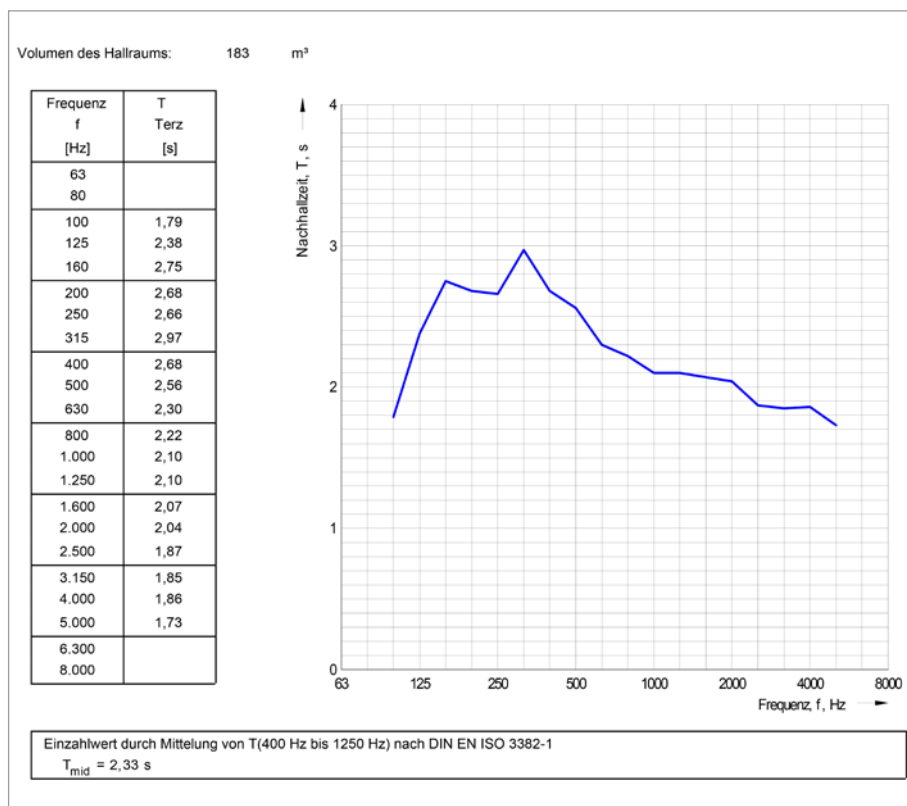


Bild 28 Nachhallzeit als Funktion der Frequenz in dem in Bild 27 gezeigten Unterrichtsräum nach der DIN EN ISO 3382-2 in Terzbändern im unbesetzten Raum

Zur raumakustischen Verbesserung von Unterrichtsräumen stehen vielfältige Absorbersysteme zur Verfügung. Sie sollten stets so ausgelegt werden, dass ein möglichst konstanter Verlauf der Nachhallzeit über die Frequenzen von 100 bis 5 000 Hz erreicht wird. Bei der Auswahl ist auf ausreichende Robustheit und Sicherheit gegen Vandalismus zu achten. Beispielsweise ist nicht auszuschließen, dass Schallabsorber bei Renovierungsarbeiten in Eigenleistung der Elternschaft aus Unkenntnis mit Farbe überstrichen werden. Nach Möglichkeit sollte die schallabsorbierende Wirkung in solchen Fällen nicht eingeschränkt werden.

Günstig ist die Anordnung der Schallabsorber an der Decke entlang der Kanten zu den Wänden. In der Norm DIN 18041 [DIN 18041:2016] werden weiterführende Hinweise gegeben. Sollte die Deckenfläche nicht ausreichen, kann die rückwärtige Wand zusätzlich herangezogen werden. Bild 29 zeigt beispielhaft einen Grundschulraum mit Schallabsorbern aus Holzwolle-Platten. Es ist zu erkennen, dass bei der Planung die Befestigung der Beleuchtung beachtet werden muss. Durch Anordnung der Deckenabsorber unmittelbar an der Wandkante könnte die raumakustische Situation voraussichtlich noch weiter verbessert werden. Die Schallabsorber an der rückwärtigen Wand werden unplanmäßig als zusätzliche Pinnwand verwendet und durch angeheftete Bilder geringfügig in ihrer Wirkung beeinträchtigt.

Bild 29 Nachträglich mit Schallabsorbern aus Holzwolle-Platten ausgestatteter Unterrichtsraum in einer Grundschule (Baujahr 1985)



Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.7 Lärm übernehmen als Anforderung für Räume in Bildungsstätten (z. B. Kindertageseinrichtungen, Schulen, Hochschulen) die Sollwerte der Nachhallzeit für die Raumgruppe A3 der Norm DIN 18041. Die ASR werden vom Ausschuss für Arbeitsstätten bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin ermittelt und im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBL) der Bundesregierung veröffentlicht [ASR A3.7]. Sie konkretisieren die Anforderungen der Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV).

3.5.3 Unterrichtsräume mit Schallabsorbern

Die Ergebnisse von insgesamt 176 Messungen der Nachhallzeit in Unterrichtsräumen mit Schallabsorbern werden in Bild 30 zusammengefasst. Der Mittelwert der Nachhallzeiten aller Räume beträgt 0,6 Sekunden und liegt damit schon im Bereich des Anforderungsniveaus für die Nutzungsart A3 nach der DIN 18041. Das Volumen der untersuchten Räume beträgt im Mittel 188 m³, die mittlere vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche $A = 53$ m². Der Anforderungswert $T_{\text{Soll},A4}$ der DIN 18041 wird von 12,5 % der untersuchten Räume erreicht, der Anforderungswert $T_{\text{Soll},A3}$ von 40,3 % der untersuchten Räume.

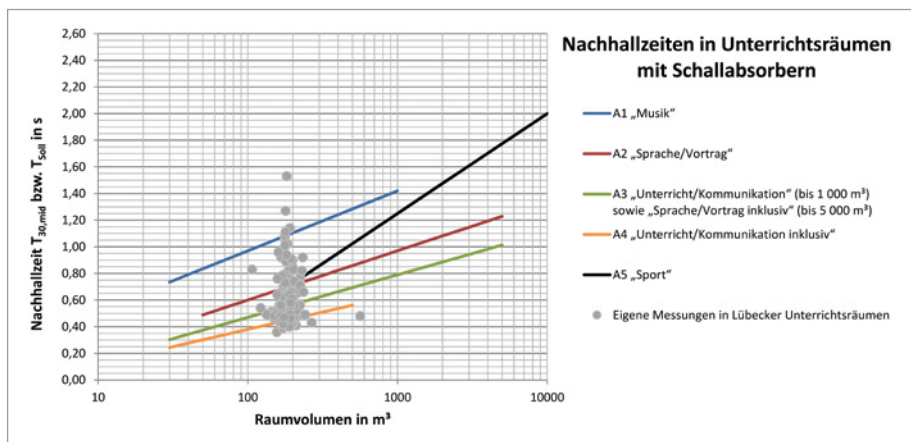


Bild 30 Messergebnis der Nachhallzeit in 176 Unterrichtsräumen mit Schallabsorbern in Lübecker Schulen. Dargestellt werden der Mittelwert der Nachhallzeit (400 bis 1250 Hz) in Sekunden und das zugehörige Raumvolumen in m³. Zum Vergleich werden die Sollwerte für die Nutzungsart A nach der DIN 18041 angegeben.

Die Häufigkeitsverteilung der Nachhallzeiten in den Unterrichtsräumen mit Schallabsorbern wird in Bild 31 dargestellt. Im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung in Unterrichtsräumen ohne Absorber (Bild 26) wird die bereits erreichte Verbesserung der raumakustischen Situation durch die Ausstattung mit schallabsorbierenden Flächen deutlich.

Allerdings wird der Sollwert der Nachhallzeit für die Nutzungsart A3 noch in 47 von 176 Räumen um mehr als 20 % überschritten. Der Sollwert für die inklusive Nutzungsart A4 wird sogar in 90 von 176 bereits mit Schallabsorbern ausgestatteten Räumen um mehr als 20 % überschritten, was erneut den hohen erforderlichen Aufwand zum Erreichen des Anforderungsniveaus »A4 Unterricht/Kommunikation inklusiv« in Bestandsbauten belegt.

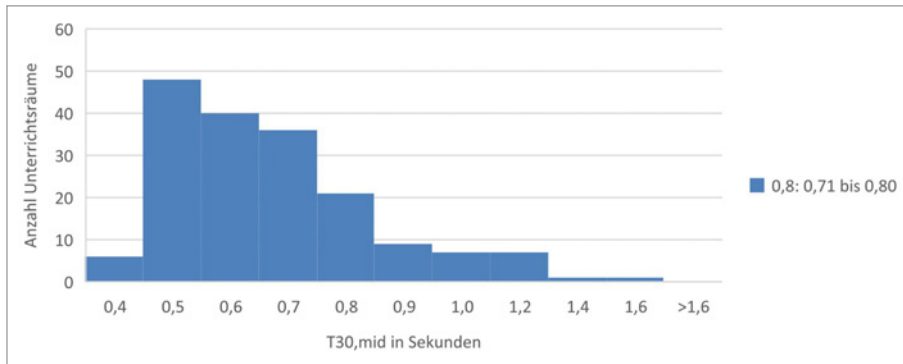


Bild 31 Häufigkeitsverteilung der Nachhallzeit in 176 Unterrichtsräumen mit Schallabsorbern in Lübecker Schulen. Auf der horizontalen Achse wird der Höchstwert der jeweiligen Nachhallzeitklasse angegeben: Die Bezeichnung »0,8« beschreibt z. B. die Klasse 0,71 bis 0,80 Sekunden.

3.5.4 Kursräume und Flure

Die Messergebnisse der Nachhallzeiten in insgesamt 15 Kursräumen (z. B. Physik, Biologie, Chemie usw.) ohne und mit Schallabsorbern werden in Bild 32 dargestellt. Die Ergebnisse sind im Prinzip mit den Werten der Unterrichtsräume vergleichbar. Das Anforderungsniveau A4 »Unterricht/Kommunikation inklusiv« wird von keinem Kursraum erreicht, das Anforderungsniveau A3 von einem. Eine Überschreitung des Sollwertes der Nachhallzeit um 20 % wurde für die Nutzungsart A3 in 11 von 15 Kursräumen und für die Nutzungsart A4 in 14 von 15 Kursräumen festgestellt. Eine zusätzliche raumakustische Instandsetzung für den inklusiven Unterricht würde in der Mehrzahl der Kursräume den Einbau weiterer Schallabsorber erfordern.

Im Rahmen der Untersuchungen konnte auch die raumakustische Situation in insgesamt 11 Fluren überprüft werden. Flure zählen zur Raumgruppe B der Norm DIN 18041 [DIN 18041:2016]. Entsprechend ist das Verhältnis von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A des Raums zum Raumvolumen V (A/V-Verhältnis) zu betrachten. Die Empfehlungen beziehen sich auf den Frequenzbereich von 250 bis 2000 Hz und sind abhängig von der Raumhöhe der Flure. Für die Nutzungsart B2 »Räume zum kurzfristigen Verweilen« wird das A/V-Verhältnis entsprechend Kapitel 3.4.3 berechnet. Für einen 4 m hohen Flur ergibt sich z. B.:

$$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{4,80 + 4,69 \lg(4,0)} = 0,130 \frac{1}{\text{m}}$$

Die Ergebnisse A/V werden für zehn untersuchte Flure ohne Schallabsorber und einen Flur mit Schallabsorbern in Bild 33 auf Grundlage der gemessenen mittleren Nachhallzeiten zusammengefasst.

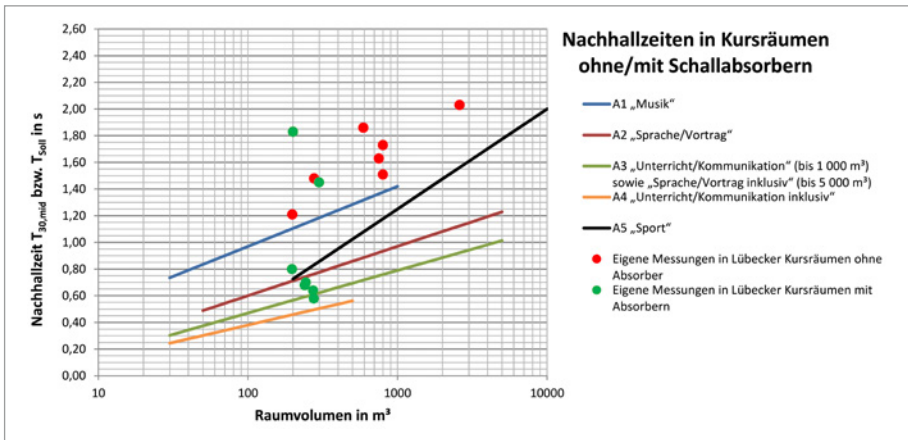


Bild 32 Messergebnis der Nachhallzeit in 15 Kursräumen ohne und mit Schallabsorbern in Lübecker Schulen. Dargestellt werden der Mittelwert der Nachhallzeit (400 bis 1250 Hz) in Sekunden und das zugehörige Raumvolumen in m³ im Vergleich zu den Sollwerten für die Nutzungsart A nach DIN 18041.

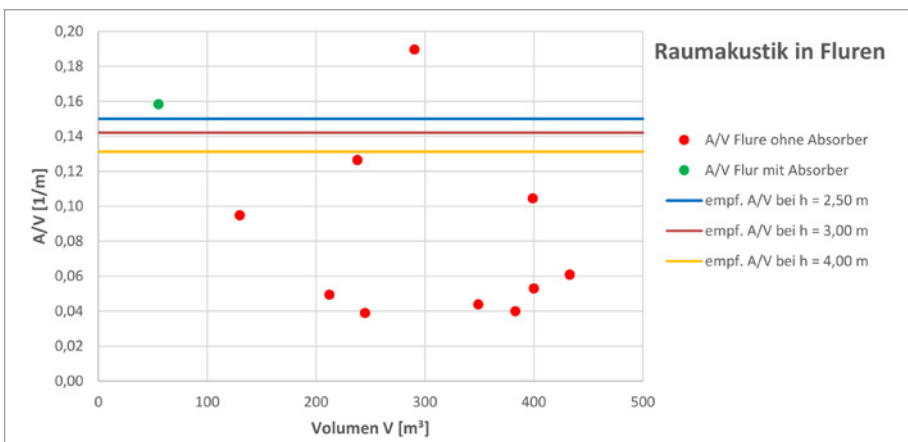


Bild 33 Messergebnis zur Raumakustik in 14 Fluren in Lübecker Schulen. Dargestellt wird das Verhältnis der aus der gemessenen mittleren Nachhallzeit ermittelten äquivalenten Schallabsorptionsfläche A zum Raumvolumen V als Funktion des Raumvolumens im Vergleich zu den Empfehlungswerten A/V für die Nutzungsart B2 nach DIN 18041 für die Raumhöhen h = 2,5 m, h = 3 m und h = 4 m.

Acht Flure unterschreiten das empfohlene Verhältnis A/V deutlich. Erschließungsflächen werden bei der raumakustischen Instandsetzung von Schulgebäuden häufig nicht berücksichtigt, da in ihnen kein Unterricht stattfindet. Bei weiterer Umsetzung der Zielvorstellung Inklusion ist hier Nachbesserung erforderlich, da Gespräche zwischen Kindern mit und ohne Hörbeeinträchtigungen auch in Pausensituationen möglich sein sollen. Die Reduzierung der Nachhallzeit in Fluren dämpft den in Pausen entstehenden Geräuschpegel, wodurch für alle Beteiligten eine erholsamere Situation entsteht. Zusätzlich werden auch Störgeräusche, die von den Fluren in die Klassenräume dringen, reduziert. Oftmals ist die Schalldämmung vorhandener Türen zu Unterrichtsräumen relativ gering, sodass Lärm von den Erschließungsflächen beim Lernen stört. Solche Störungen entstehen durch Personenverkehr auch während der Schulstunden (Freistunde, Raumwechsel) oder wenn Klausuren über eine Pause hinweg geschrieben werden.

3.6 Mehrpersonenbüros

3.6.1 Planungsgrundlagen

Lärm wird in Arbeitsräumen häufig als schwerwiegender Störfaktor empfunden. Daher sind Bau- und Raumakustik gewichtige Teilaspekte des Planungskonzeptes. Belastungen und Beanspruchungen durch Lärm innerhalb und außerhalb des Gebäudes sowie Störungen und Beeinträchtigungen der sprachlichen Kommunikation sind möglichst weitgehend zu vermeiden [VDI 2569:1990].

Die raumakustische Planung von Büroräumen gewinnt daher als Aufgabenfeld zunehmend an Bedeutung. Im Vordergrund stehen sogenannte Großraumbüros. Nach der DIN EN ISO 3382-3 handelt es sich hierbei um Büros und ähnliche Räume, in denen eine große Anzahl von Personen arbeitet, Gespräche führen oder sich an gut abgegrenzten Arbeitsplätzen unabhängig voneinander auf die anstehenden Aufgaben konzentrieren können [DIN EN ISO 3382-3]. Bezeichnungen für Arbeitsräume und die zugrunde liegenden Begrifflichkeiten unterliegen einem kontinuierlichen Wandel. Die nachfolgende Tabelle 16 gibt einen Überblick. Bild 34 zeigt ein typisches Mehrpersonenbüro mit einem durch Glaselemente abgetrennten Einzelbüro.

Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A1.2:2013 [ASR A1.2]	VDI 2569:1990 [VDI 2569] Entwurf VDI 2569:2016 [VDI 2569:2016]	Bodin, Danielsson et al (2014) [Bodin-Danielsson et al. 2014]
Zellenbüro: <ul style="list-style-type: none"> entlang einer Fassade angeordnet gemeinsamer Flur Einzel- oder Mehrpersonnenbüro 	Einzelbüro <ul style="list-style-type: none"> mit einer Person besetzt 	Cell-Office <ul style="list-style-type: none"> Einzelzimmer Shared room office 2–3 Personen
Zellenbüro (Mehrpersonnenbüro): <ul style="list-style-type: none"> ≤6 Arbeitsplätze Gruppenbüro: <ul style="list-style-type: none"> ≤25 Arbeitsplätze 	Mehrpersonnenbüro <ul style="list-style-type: none"> mit mindestens zwei Personen besetzt 	Small open-plan office <ul style="list-style-type: none"> 4–9 Personen/Raum Medium-sized open plan office <ul style="list-style-type: none"> 10–24 Personen/Raum
Großraumbüro: <ul style="list-style-type: none"> Grundfläche ≥ 400 m² evtl. Gliederung mit Stellwänden 		Large open-plan office <ul style="list-style-type: none"> >24 Personen/Raum
Kombibüro: <ul style="list-style-type: none"> Kombinationen aus Zellenbüro und Großraumbüro »Arbeitskojen« mit in der Regel je einem Beschäftigten, um einen Gemeinschaftsraum mit Serviceeinrichtungen gruppiert 		Flex-Office <ul style="list-style-type: none"> keine individuellen Arbeitsplätze, sondern Arbeitsstationen (Räume für konzentriertes Arbeiten, zum Telefonieren, Meetingräume usw.) freie Wahl des Arbeitsplatzes Combi-Office Mehr als 20 % der Arbeit findet nicht am individuellen Arbeitsplatz statt, sondern als Teamarbeit. Räume für Gruppenaktivitäten

Tabelle 16 Typisierung von Arbeitsräumen nach unterschiedlichen Quellen: Großraumbüros werden unterschiedlich definiert.

Bild 34 Blick in ein Mehrpersonenbüro mit einem abgetrennten Einzelbüro



Im Gegensatz zu Vortrags- und Unterrichtsräumen ist bei der raumakustischen Planung von Mehrpersonenbüros zu beachten, dass eine gute Sprachverständlichkeit im Nahbereich erwünscht ist, während eine gute Sprachverständlichkeit über größere Entfernungen störend wirken kann.

Die erforderliche Kommunikation erfolgt in Großraumbüros im Nahbereich z. B. durch Arbeitsanweisungen oder kurze Abstimmungsgespräche. Eine gute Sprachverständlichkeit über größere Entfernungen kann zu Störungen führen, da die Personen, die in größeren Büroumgebungen arbeiten, durch andere Tätigkeiten in ihrer Umgebung beeinflusst werden. Ein typisches Beispiel sind Beeinträchtigungen zwischen Arbeitsplätzen mit regelmäßigen Telefonaten und Arbeitsplätzen, an denen Aufgaben mit hoher Komplexität und hierfür erforderlicher Konzentration zu lösen sind. In einem konzentrierten Tätigkeitsumfeld werden Gespräche aus der Entfernung häufig als störender empfunden als Gespräche in der unmittelbaren Umgebung.

Bei der Planung von Einzelbüros stehen raumakustische Anforderungen weniger im Vordergrund. In der Praxis gibt es gelegentliche Beschwerden über mangelnde Vertraulichkeit, die den Bereich der Bauakustik betreffen (Schalldämmung von Türen und Trennbauteilen).

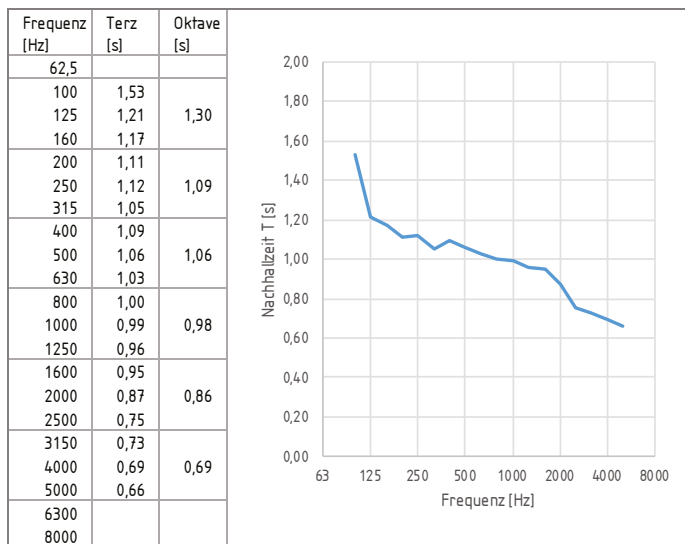
Zentrale raumakustische Aufgabe bei der Planung von Großraumbüros ist die Minimierung der Einwirkung störenden Schalls und die Herstellung eines akustischen Komfortempfindens durch ausreichende Dämmung, Absorption und Abschirmung. Ziel ist, Störungen durch die im Büro erzeugten Geräusche weitgehend zu reduzieren, wobei die verständliche Sprache aus der Umgebung als größter Störfaktor anzusehen ist [VDI 2569:2016] und [DIN EN ISO 3382-3].

Die raumakustische Planung von Großraumbüros orientiert sich derzeit insbesondere an den nachfolgenden Normen, Richtlinien und Verordnungen. Die zugrunde liegenden Verordnungen sind in den jeweils aktuellen Fassungen zu beachten.

- DIN 18041 [DIN 18041:2016] (Nachhallzeit)
- Richtlinien VDI 2569:1990 [VDI 2569] und Entwurf VDI 2569:2016 [VDI 2569:2016] (Störwirkung von Lärm)
- Verordnungen über Arbeitsstätten (Störwirkung von Lärm), Technischen Regeln für Arbeitsstätten A3.7 Lärm

Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten A3.7 Lärm geben als raumakustische Anforderung für Mehrpersonen- und Großraumbüros vor: Nachhallzeit $T = 0,6$ s. Dieser Wert soll im unbesetzten Raum in den Oktavbändern von 250 Hz bis 2000 Hz nicht überschritten werden.

In der Regel ist ein annähernd linearer bzw. konstanter frequenzabhängiger Verlauf für die Nachhallzeit anzustreben, wie im Beispiel des Mehrpersonenbüros in Bild 35. Insbesondere in Räumen mit porösen Schallabsorbern können die Nachhallzeiten zu den tieferen Frequenzen hin stärker ansteigen, wodurch der Raum akustisch zu »dröhnen« scheint. Hierdurch wird die Sprachverständlichkeit im Allgemeinen jedoch nicht beeinträchtigt, sofern keine tieffrequenten Nebengeräusche auftreten.



Einzahlwerte		
Mittelung von $T(400 \text{ Hz bis } 1250 \text{ Hz})$ nach DIN EN ISO 3382-1:	T_{mid}	1,02 s
Mittelung von $T(100 \text{ Hz bis } 5000 \text{ Hz})$:	T_{mit}	1,00 s

Bild 35 Annähernd linearer frequenzbezogener Verlauf der Nachhallzeit zwischen 100 und 5000 Hz in einem Großraumbüro (Volumen 400 m³). Das Verhältnis A/V liegt im Frequenzbereich 250 bis 2000 Hz zwischen 0,15 und 0,18 und ist für einen Raum der Gruppe B4 (Büroräume) mit einer Höhe von 2,5 m noch zu gering. Nach der DIN 18041 ist eine weiter gehende raumakustische Planung erforderlich.

Die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI 2013) geht davon aus, dass auch bei der raumakustischen Planung von Großraumbüros der Sollwert der Nachhallzeit und das Einhalten eines annähernd linearen Frequenzganges der Nachhallzeit im Vordergrund stehen. Dies lässt sich daraus schließen, dass Großraumbüros nach den aktuellen Bewertungsmerkmalen für die Honorarzonen bei Grundleistungen der Raumakustik in der Regel in die Honorarzone II (Innenräume mit geringen Anforderungen) eingeordnet werden.

In der Praxis ist die Sicherstellung der Sprachverständlichkeit bei Großraumbüros jedoch nur der erste Planungsschritt. Hierdurch wird eine unangenehme Halligkeit vermieden, die Räume grundsätzlich als laut und akustisch unkomfortabel empfinden lässt. In einem weiteren Schritt ist zu überprüfen, ob die Sprachverständlichkeit zu Ablenkungen und Störungen durch Gespräche anderer Personen führt. Hierbei sind komplexere Anforderungen an die räumliche und zeitliche Schallverteilung im Raum und an die Sprachverständlichkeit zu berücksichtigen, auf die in der DIN 18041 für Räume der Gruppe B nicht eingegangen wird. Der erforderliche Aufwand geht dann über die Honorarzone II hinaus.

3.6.2 Planung auf Grundlage von Richtlinie VDI 2569:1990

Die Richtlinie VDI 2569:1990 orientiert sich an der Verordnung über Arbeitsstätten aus dem Jahr 1975 [ArbStättV 1975]. Bei den akustischen Kennwerten für Arbeitsplätze berücksichtigt sie außerdem die Richtlinie VDI 2058 Blatt 3 [VDI 2058 Blatt 3]. Zugrunde liegen die folgenden Beurteilungspegel zum Schutz gegen Lärm an Arbeitsplätzen für drei unterschiedliche Tätigkeitsbereiche:

- 55 dB(A) bei »überwiegend geistiger Tätigkeit« (hohe Komplexität mit entsprechenden Schwierigkeiten, schöpferisches Denken, Entscheidungsfindung, Problemlösungen)
- 70 dB(A) bei »einfachen oder überwiegend mechanisierten Bürotätigkeiten und vergleichbaren Tätigkeiten« (mittlere Komplexität, zeitliche Beschränkung, ähnliche wiederkehrende Aufgaben bzw. Arbeitsinhalte)
- 85 dB(A) bei allen »sonstigen Tätigkeiten«.

In der Richtlinie VDI 2569:1990 werden die Tätigkeitsgruppen präzisiert und praxisübliche raumakustische Empfehlungen für Mehrpersonenbüros definiert. Für geistiges Arbeiten mit hoher Konzentration ist eine gute Schalldämmung zu angrenzenden Arbeitsbereichen und eine ausreichende Abschirmung zu benachbarten Arbeitsplätzen erforderlich. Störungen durch informationshaltige Geräusche dürfen nur gelegentlich auftreten. Besprechungen sollten in getrennten Sitzungszimmern erfolgen. Tätigkeiten, die mit Entscheidungen besonderer Tragweite oder schöpferischem Denken verbunden sind, erfordern Einzelbüros.

Bei der Grundrissgestaltung ist eine Trennung von lauten Bereichen (Kantinen, Betriebsräume, Pausenzonen, stärker frequentierte Erschließungsflächen, Sanitärräume usw.) und weniger geräuschverursachenden Arbeitsplätzen anzustreben. Dies gilt auch für die vertikale Zonierung. Zusätzlich sind organisatorische Maßnahmen zur Geräuschminderung sowie Disziplin der Mitarbeiter und gegenseitige Rücksichtnahme erforderlich.

Für Mehrpersonenbüros wird bislang ein Verhältnis $A/V = 0,30$ bis $0,35 \text{ m}^{-1}$ empfohlen. Bei der Wahl der schallabsorbierenden Ausstattung ist deren Frequenzabhängigkeit zu beachten. Die Richtlinie gibt außerdem Planungshinweise für die akustische Abschirmung von Arbeitsplätzen durch Schallschirme, vgl. [DIN EN ISO 17624]. Bei ausreichender Höhe und Fläche des Schirms sowie hinreichend geringer Entfernung zur Schallquelle bzw. zum Empfänger lassen sich Schallpegelminderungen von 4 bis 9 dB erreichen. Voraussetzung sind schallabsorbierend verkleidete Decken.

In der Richtlinie VDI 2569:1990 werden auch Hinweise zur Verdeckung störender Hintergrundpegel durch künstlich erzeugte Geräusche gegeben (sog. Maskierung, z. B. durch Zimmerspringbrunnen o. Ä.). Hiervon ist aus heutiger Sicht jedoch abzuraten, da es zielführender ist, die Ursache störender Geräusche durch raumakustische und organisatorische Maßnahmen unmittelbar zu reduzieren. Außerdem sind Großraumbüros im Vergleich zum Stand 1990 inzwischen leiser geworden: Durch die zunehmende Digitalisierung sind Geräuschquellen entfallen und bei Bürogeräten wird stärker auf Lärminderung geachtet (geräuscharme Tastaturen, leise Gerätelüftung usw.). Da Störungen zudem subjektiv sehr unterschiedlich empfunden werden, können im Bedarfsfall individuelle Maßnahmen, z. B. durch Gehörschutzstöpsel oder geeignete Kopfhörermusik, tätigkeitsabhängig eine Alternative sein.

3.6.3 Planung auf Grundlage von Richtlinie VDI 2569:2016

In der aktuellen Fassung der Arbeitsstättenverordnung [ArbStättV 2016] sind die tätigkeitsbezogenen Lärmpegelbereiche nicht mehr enthalten. In den Technischen Regeln für Arbeitsstätten A3.7 Lärm [ASR A 3.7] werden sie als »Tätigkeitskategorien« weitergeführt. Bei der Tätigkeitskategorie wird zusätzlich die vorhandene Sprachverständlichkeit berücksichtigt. Unabhängig vom Tätigkeitsbereich ist der Schalldruckpegel in allen Arbeitsstätten so niedrig zu halten, wie es nach der Art des Betriebes möglich ist. Weiterhin ist der Schalldruckpegel am Arbeitsplatz in Arbeitsräumen in Abhängigkeit von der Nutzung und den zu verrichtenden Tätigkeiten so weit zu reduzieren, dass keine Beeinträchtigungen der Gesundheit der Beschäftigten entstehen.

Daher unterscheidet der Entwurf der Richtlinie VDI 2569:2016 [VDI 2569:2016] ebenfalls keine unterschiedlichen Tätigkeitsbereiche mehr. Stattdessen wird eine Klassifizierung von Büroräumen eingeführt. Hierbei handelt es sich um drei Komfortstufen (Klasse A bis C) für die Kenngrößen »akustische Behaglichkeit« und »Ungestörtheit«. Die Klassifizierung steht Planerinnen und Planern zur Verfügung, um raumakustische Zielvorstellungen gemeinsam mit dem Bauherrn zu definieren. Tabelle 17 fasst die Raumakustik-Klassen für Mehrpersonnbüros, den zu erwartenden baulichen Aufwand und die empfohlenen Nutzungen zusammen.

Raumakustik-Klasse	planerischer und baulicher Aufwand	Beschreibung	Empfehlungen in Abhängigkeit von der Nutzung	$L_{NA, Bau}$ dB(A)
A	hoch	Die Raumakustik-Klasse A erfordert sehr umfangreiche und hoch wirksame raumakustische Maßnahmen zur Raumbedämpfung und Minderung der Schallausbreitung. Eine über die Raumakustik-Klasse A hinausgehende Verbesserung der raumakustischen Bedingungen ist unter Beibehaltung einer offenen Bürostruktur nicht möglich.	gut geeignet für Call Center und Räume mit kommunikationsintensiven Nutzungen	≤ 35
B	mittel	Die Raumakustik-Klasse B erfordert umfangreiche und wirksame raumakustische Maßnahmen zur Raumbedämpfung und zur Minderung der Schallausbreitung	gut geeignet für Räume für Vertrieb, Konstruktion, Verwaltung; geeignet für Call-Center	≤ 40
C	gering	Die Raumakustik-Klasse C erfordert wirksame raumakustische Maßnahmen zur Raumbedämpfung und zur Minderung der Schallausbreitung.	geeignet für Räume für Vertrieb, Konstruktion, Verwaltung	≤ 40

Tabelle 17 Klassifizierung von Büroräumen (Komfortstufen) für Mehrpersonnbüros nach dem Richtlinienentwurf VDI 2569:2016 mit Empfehlungen für den maximalen Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche $L_{NA, Bau}$

Im Entwurf der Richtlinie VDI 2569:2016 [VDI 2569:2016] werden aktuelle Erkenntnisse der psychosozialen Arbeitsbelastungsforschung berücksichtigt. Hierzu zählen Belastungsreaktionen, Beeinträchtigungen der kognitiven Leistungsfähigkeit und psycho-physiologische Reaktionen. Nach der Richtlinie stellt Lärm und insbesondere Sprache (Gespräche, Lachen usw.) in Büroumgebungen die größte Störquelle dar, vgl. Bild 37 im Abschnitt 3.6.4. Belastungsreaktionen steigen annähernd linear mit der Anzahl der Mitarbeiter in einem Büro an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass heutige Arbeitsabläufe einen ständigen Wechsel zwischen kommunikativem Austausch und konzentriertem Arbeiten erfordern. Folgende Störwirkungen in Großraumbüros werden benannt [VDI 2569:2016]:

- Häufige Belästigungsreaktionen sind Gereiztheit, Nervosität, Erschöpfung und verändertes Kommunikationsverhalten (Rückzug, weniger Interaktion).
- Beeinträchtigungen der kognitiven Leistungsfähigkeit durch Lärm wirken sich bei schwierigeren Aufgaben aus. Sie können zu erhöhter Fehlerhäufigkeit, geringerer Merkspanne, Unterbrechung von Arbeitsabläufen, mangelndem Textverständnis oder geringerer Problemlösefähigkeit und Kreativität führen.
- Zu den psycho-physiologischen Reaktionen gehören insbesondere Stresswirkungen durch Lärm. Diese sind komplex und können Auswirkungen auf die Gesundheit haben, z. B. körperliche Verspannungen, Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems oder nächtliche Schlafstörungen.

Durch ein geeignetes raumakustisches Planungskonzept lassen sich die genannten Beeinträchtigungen mindern. Inzwischen ist das gesellschaftliche Bewusstsein für die Störwirkung von Lärm in Arbeitsumgebungen deutlich angestiegen. Daher wird mittlerweile eine große Vielfalt von Produkten zur Schallabsorption und zur Raumbedämpfung angeboten. Bereits für die Büromöblierung stehen schallabsorbierende und schallmindernde Systeme zur Verfügung. Es lassen sich gestalterisch ansprechende Maßnahmen umsetzen.

Bei der Gestaltung von Arbeitsräumen werden die Zielvorstellungen des Bauherrn unter Berücksichtigung der zugrunde liegenden Randbedingungen in ein Planungskonzept überführt. Im Idealfall gelingt es, durch die Verbindung von architektonischer Gestaltung und raumakustischen Maßnahmen optimale Arbeitsplatzstrukturen zu erreichen. Eine architektonische Begleitung ist in jedem Falle empfehlenswert, da z. B. durch Stellwandkonzepte ohne gestalterisches Planungskonzept ein sehr unstrukturierter Raumeindruck entstehen kann.

Planerische Kenngrößen sind die Nachhallzeit T im möblierten, unbesetzten Raum und der Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche. Die frequenzbezogenen Empfehlungen für die maximale Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Raumakustik-Klasse werden in Bild 36 dargestellt. Im Entwurf der Richtlinie VDI 2569:2016 wird erstmals auch eine minimale Nachhallzeit definiert sie beträgt $T = 0,4$ Sekunden. Diese untere Grenze ist hilfreich, da zu stark bedämpfte Räume Unwohlsein hervorrufen können.

Mit zunehmender Raumgröße ist ergänzend zur Nachhallzeit auch die Schallausbreitung zu berücksichtigen, die von der Anordnung der Absorptionsflächen abhängt. Entsprechend der Richtlinie VDI 2569:2016 sind hierzu abhängig von der Anzahl der Arbeitsplätze Messpfade im Raum auszuwerten. Zu den Empfehlungen für den maximalen Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche $L_{NA,Bau}$ s. Tabelle 17. Hierzu gehören z. B. Außengeräusche, Geräusche aus Nachbarräumen bzw. von gebäudetechnischen Anlagen, Sanitärinstallationen oder fest installierten medientechnischen Geräten.

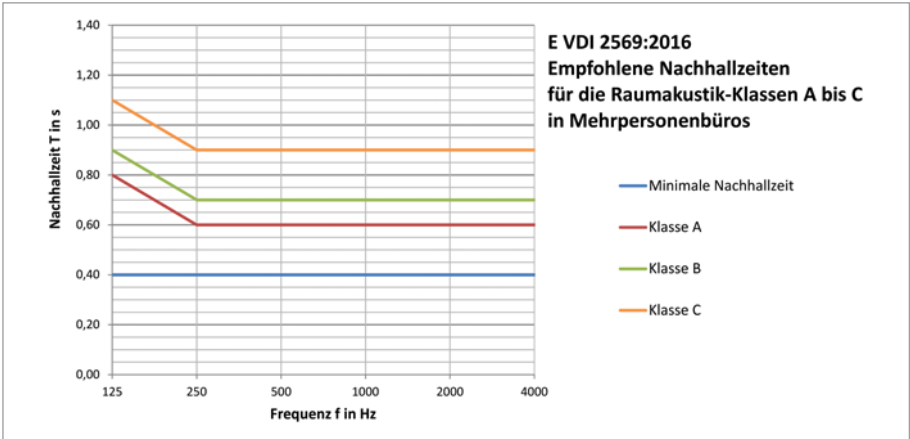


Bild 36 Empfehlung für die maximalen und die minimalen Nachhallzeiten in Mehrpersonenbüros nach [VDI 2569:2016]. Die Werte beziehen sich auf eingerichtete und bezugsfertige, aber unbesetzte Räume.

Durch die Reduzierung der Nachhallzeit und des Störschalldruckpegels wird die Sprachverständlichkeit erhöht. Entsprechend sind in Großraumbüros in einem nachfolgenden Planungsschritt Maßnahmen zur Verminderung von Störungen der kognitiven Leistungsfähigkeit durch Gespräche anderer Mitarbeiter erforderlich. Aufgrund der zunehmenden Sprachverständlichkeit in leiser Umgebung sind Störschalldruckpegel $L_{NA,Bau} \leq 30$ dB nicht anzustreben.

Planerische Kenngrößen der kognitiven Leistungsfähigkeit sind:

- der Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 Metern $L_{p,A,S,4m}$ zur Bewertung der Abschirmung von benachbarten Arbeitsplätzen
- die räumliche Abklingrate der Sprache $D_{2,S}$ zur Bewertung der Behinderung der Schallausbreitung für weiter entfernt liegende Arbeitsplätze.

Nach dem Richtlinienentwurf VDI 2569:2016 sind diese Kenngrößen in Großraumbüros anzuwenden, wenn der größte Abstand zwischen den Arbeitsplätzen (Messpfadlänge) mindestens 8 Meter beträgt. Die empfohlenen Werte für die Kenngrößen finden sich in Tabelle 18. Die angegebenen Kenngrößen sind Gegenstand andauernder fachlicher Diskussionen. Der STI kann als optionale Kenngröße herangezogen werden.

Raumakustik-Klasse	$D_{2,S}$ dB(A)	$L_{p,A,S,4m}$ dB(A)
A	≥ 8	≤ 47
B	≥ 6	≤ 49
C	≥ 4	≤ 51

Tabelle 18 Empfehlungen der Kenngrößen der kognitiven Leistungsfähigkeit $D_{2,S}$ und $L_{p,A,S,4m}$ auf Grundlage des Richtlinienentwurfes VDI 2569:2016.

Im Richtlinienentwurf VDI 2569:2016 werden auch planerische Empfehlungen zur Vertraulichkeit gegeben. Es finden sich weitere allgemeine Hinweise für die Vorplanung und Planung sowie zur Hör- und Verstehbarkeit von Sprache, zur Zonierung in offenen Bürolandschaften und zur akustischen Wirksamkeit von Bauteilen und Ausstattung.

3.6.4 Mitarbeiterbefragung

Ein zusätzliches wirkungsvolles Instrument zur Überprüfung des raumakustischen Konzeptes sind Mitarbeiterbefragungen. Die Mitarbeiter werden hierdurch eingebunden und können an der Verbesserung ihrer akustischen Arbeitsplatzsituation mitwirken. Hierdurch steigt die Akzeptanz. Störungen werden individuell sehr unterschiedlich empfunden. Die durch Befragung gewonnenen zusätzlichen Erkenntnisse können daher die planerischen Ansätze wirkungsvoll unterstützen. Oftmals lassen sich auch Hinweise zur Verbesserung der Arbeitsorganisation ableiten. Typische individuelle Kommentare beziehen sich z. B. auf Geschirrkloppern, Durchgangsverkehr oder bestimmte »Langtelefonierer«.

In der Erhebung sollte zu den zugrunde liegenden Entwurfszielen differenziert befragt werden (Arbeitszone, Störung durch unterschiedliche Geräuscharten, akustische Qualität usw.). Die Fragebogen sollten Felder für individuelle Hinweise beinhalten.

Die Erhebungen erfolgen üblicherweise freiwillig und anonym. Neben Fragen zur Belästigung empfiehlt sich auch die Erhebung der Präferenz als individuelle Bewertung. Bei Angabe der Empfindung »laut« ist z. B. noch nicht klar, ob mehr Ruhe gewünscht wird [DIN EN ISO 28802]. Hinweise zur Durchführung und zur möglichen Belästigungs- und Präferenzskala sowie zur Zufriedenheit und Annehmbarkeit finden sich in der DIN EN ISO 28802:2012 [DIN EN ISO 28802] und im Entwurf der Richtlinie VDI 2569:2016. Bild 37 zeigt ein Umfrageergebnis zur Störwirkung von Gesprächen anderer Mitarbeiter in einem Großraumbüro.

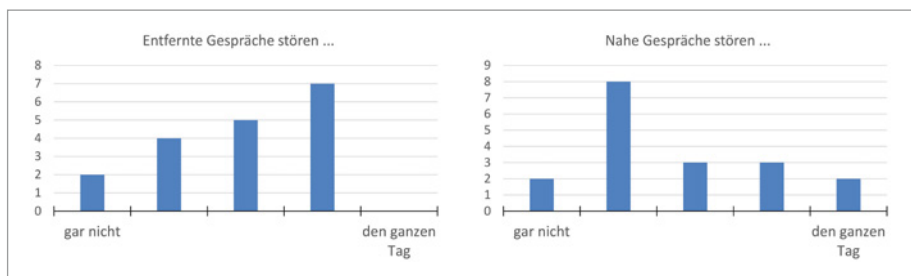


Bild 37 Umfrage unter 18 Personen einer mittleren Arbeitsebene eines Großraumbüros zur Störwirkung von Gesprächen anderer Mitarbeiter. Entfernte Gespräche stören häufiger als nahe Gespräche.

3.6.5 Raumakustische Messungen in Großraumbüros

Als Planungsgrundlage können zur Bewertung der vorhandenen raumakustischen Situation in Großraumbüros Messungen nach der DIN EN ISO 3382-3 [DIN EN ISO 3382-3] durchgeführt werden. Hierbei werden die räumliche Schallverteilung der Sprache und die Sprachverständlichkeit im Raum (»Ablenkungsabstand« und »Vertraulichkeitsabstand«) erfasst. Weitere Hinweise finden sich in den Technischen Regeln für Arbeitsstätten A3.7 Lärm [ASR A 3.7]. Die Messungen sind im Vergleich zur Bestimmung der Nachhallzeit deutlich aufwendiger.

Auf Grundlage des Entwurfs der Richtlinie VDI 2569:2016 und der DIN EN ISO 3382-3 werden als Kenngrößen verwendet:

- die Rate des räumlichen Abklingens des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache je Abstandsverdopplung $D_{2,S}$ in dB(A),
- der A-bewertete Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m von der Schallquelle $L_{p,A,S,4\text{ m}}$ in dB(A).

Beide Größen werden auf Grundlage von Messungen des Schalldruckpegels ungerichteter Schallquellen (breitbandiges Rauschen) entlang eines Messpfades ausgewertet. $D_{2,S}$ beschreibt die Reduzierung der Sprachschallausbreitung von weiter entfernten Arbeitsplätzen. $L_{p,A,S,4\text{ m}}$ ermöglicht die Beurteilung der Abschirmung gegen Sprache von benachbarten Arbeitsplätzen. Für Großraumbüros mit guten akustischen Bedingungen wird als Zielwert angegeben: $D_{2,S} \geq 7\text{ dB(A)}$ und $L_{p,A,S,4\text{ m}} \leq 48\text{ dB(A)}$ [DIN EN ISO 3382-3].

Zusätzlich werden in der DIN EN ISO 3382-3 akustische Kenngrößen zur Beschreibung von Ablenkungseffekten definiert. Hierbei handelt es sich um den Ablenkungsabstand r_D und Vertraulichkeitsabstand r_P . Die beiden Größen gehen vom Sprachübertragungsindex STI aus. Der Ablenkungsabstand r_D in Metern ist definiert als der Abstand vom Sprecher, bei dem der STI unter 0,50 absinkt. Nach dem Überschreiten des Ablenkungsabstands beginnt in Großraumbüros eine Zunahme der Konzentrationsfähigkeit und der Privatsphäre [VDI 2569:2016] und [DIN EN ISO 3382-3].

Der Vertraulichkeitsabstand r_P in Metern entspricht dem Abstand vom Sprecher, bei dem der STI unter 0,20 absinkt. Nach dem Überschreiten dieses Abstands werden Konzentrationsfähigkeit und Privatsphäre in offenen Arbeitsumgebungen weitgehend wie im Falle getrennter Büroräume wahrgenommen [DIN EN ISO 3382-3]. Das Erreichen von STI-Werten unter 0,20 setzt ein hinreichendes Volumen voraus.

Die Messung vorhandener Beurteilungspegel an Arbeitsplätzen in Großraumbüros mit Tätigkeiten erhöhter Anforderungen (z. B. Konzentration) in Bezug auf die Richtlinie VDI 2569:1990 erfolgt nach der DIN 45645-2 [DIN 45645-2].

3.7 Akustische Barrierefreiheit und Inklusion

Die DIN 18041 geht auf planerische Aspekte für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen ein und beschreibt die »akustische Barrierefreiheit«. Grundlage ist die UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen. Hiernach haben alle Menschen das Recht, unabhängig von ihren Fähigkeiten oder Beeinträchtigungen sowie ihrer ethnischen, kulturellen oder sozialen Herkunft einen gleichberechtigten Zugang zu allen relevanten Teilhabebereichen einer Gesellschaft zu haben. Damit geht die Inklusion über den Begriff der Integration hinaus und definiert ein gemeinsames Leben aller Menschen mit und ohne Behinderungen. Die vollständige Umsetzung des Prinzips des inklusiven Bauens bedeutet beispielsweise bei Schulneubauten, dass die Raumakustik in allen Gebäudebereichen auf den Bedarf von Personen mit eingeschränktem Hörvermögen abgestimmt wird und nicht nur in einzelnen, speziell dafür vorgesehenen Klassenräumen. Eine barrierefreie raumakustische Planung umfasst entsprechend nicht nur typische Veranstaltungsräume, sondern alle Bereiche, in denen Kommunikation stattfindet, z. B. auch Flure und Erschließungszonen, Foyers, Pausenhallen, Mensen usw. Der Anhang F der neuen DIN 18041 beschäftigt sich ausführlich mit Maßnahmen zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei Schwerhörigkeit.

4 Bauakustik

4.1 Überblick

Die Bauakustik beschreibt den Schallschutz von Gebäuden. Nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure [HOAI 2013] umfasst sie den Schallschutz von Objekten zur Erreichung eines regelgerechten Luft- und Trittschallschutzes und zur Begrenzung der von außen einwirkenden Geräusche bzw. der Geräusche von Anlagen der Technischen Ausrüstung.

Zugrunde liegende Technische Baubestimmung bzw. Technische Regeln sind die Normenreihen DIN 4109 aus dem Jahr 1989 [DIN 4109:1989], [DIN 4109 BbL 1:1989] und aus den Jahren 2016 und 2018 [DIN 4109-1:2018], [DIN 4109-2:2018], [DIN 4109-31:2016 bis DIN 4109-36:2016]. In der Fassung von 1989 steht die Schalldämmung der Trennbauteile im Vordergrund. Nach der Ausgabe 2016/18 sind die flankierenden Bauteile und die Raumgeometrie genauer zu berücksichtigen. Die Normen legen Mindestanforderungen fest und präzisieren die Bauakustik als Schutz von Aufenthaltsräumen gegen.

- Geräusche aus fremden Räumen (z.B. Nachbarwohnungen), die bei deren bestimmungsgemäßer Nutzung entstehen,
- Geräusche von Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung sowie aus Gewerbe- und Industriebetrieben, die im selben oder in baulich damit verbundenen Gebäuden vorhanden sind,
- Außenlärm, z.B. Verkehrslärm und Lärm aus Gewerbe- und Industriebetrieben, die nicht mit den schutzbedürftigen Aufenthaltsräumen baulich verbunden sind [DIN 4109-1:2018].

Maßgebend für die Schallausbreitung in Gebäuden ist die Schalldämmung der vorhandenen Bauteile, typischerweise der Tragwerkselemente. Hierbei sind ein- und mehrschalige Bauteile zu unterscheiden:

- Einschalige Bauteile bestehen aus einer oder mehreren Schichten, die starr miteinander verbunden sind, z.B. Mauerwerk mit Kalkzementputz oder mit Gipsputz. Physikalisch ist eine flächige schubfeste Verbindung erforderlich, damit alle Schichten bei Schallanregung gleichförmig schwingen können. Die Schalldämmung einschaliger Bauteile hängt insbesondere von der insgesamt vorhandenen flächenbezogenen Masse ab.
- Mehrschalige Bauteile bestehen aus mehreren, nicht schubfest verbundenen Schichten, die üblicherweise durch Luftschichten oder Dämmstoffe von-

einander getrennt sind, z. B. Metallständerwände, schwimmender Estrich oder eine Gebäudetrennfuge zwischen Reihenhäusern. Die Schalldämmung mehrschaliger Bauteile hängt von der Art der Ausführung sowie der vorhandenen Geometrie und von den Massenverhältnissen ab.

Bei der Schallausbreitung und -dämmung sind Luftschall und Körperschall zu unterscheiden:

- Luftschall wird durch Druckschwingungen der Luft übertragen, z. B. bei Sprachkommunikation.
- Körperschall breitet sich durch Schwingungen in festen Körpern aus, z. B. beim Einschlagen eines Nagels in eine Hauswand. Körperschall wird auch als Luftschall abgestrahlt, etwa bei Trittgeräuschen auf einer Wohnungstrenndecke.

Luftschall kann als Körperschall in Decken oder Wänden weiterübertragen und an anderer Stelle als Luftschall abgestrahlt werden, wie z. B. elektronische Musik aus einer entfernten Nachbarwohnung. Man spricht hier von Schalllängsleitung über die flankierenden Bauteile. Insbesondere Geräusche mit tiefen Frequenzen breiten sich über Schalllängsleitung gut aus und sind schwierig zu dämmen. Kennzeichnende Größe für die Schallausbreitung ist der Schalldruckpegel in Dezibel [dB].

Unter Schallschutz versteht man alle Maßnahmen zur Begrenzung des Schalldruckpegels in sogenannten schutzbedürftigen Räumen. Nach der Normenreihe DIN 4109 handelt es sich hierbei um Räume, die als Aufenthaltsräume vorgesehen sind, wie z. B. Wohn-, Ess-, Schlaf- und Arbeitszimmer. In Küchen, Fluren, Bädern, Toilettenräumen und Nebenräumen gelten die Anforderungen der Norm nicht, sofern diese nicht als Aufenthaltsräume vorgesehen sind. Mischnutzungen wie Wohnküchen zählen zu den Aufenthaltsräumen. Weiterhin gibt es keine Anforderungen an den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich, mit Ausnahme des Schutzes gegen Geräusche von Anlagen der Raumluftechnik, die vom Nutzer nicht beeinflusst werden können [DIN 4109-1:2018]. Hierbei geht die Norm davon aus, dass Lärm im eigenen Bereich grundsätzlich auch dem eigenen Einfluss unterliegt, was auf die Raumluftechnik möglicherweise jedoch nicht zutrifft.

Innerhalb einer Nutzungseinheit kann der Schallschutz durch Maßnahmen gegen die Schallentstehung und durch Schallabsorption erreicht werden. Lärmvermeidung und Lärminderung sind stets effektiver als Schalldämmung. Es ist z. B. einfacher, den Lärm beim Schließen einer Schublade durch Dämpfer zu mindern als laute Schließgeräusche durch stärkere Wände zu dämmen.

Zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten steht der Schallschutz durch die Schalldämmung der Trennbauteile im Vordergrund. Unter Schalldämmung versteht man die Reduzierung des übertragenen Schalls durch ausreichende hohe Bauteilmassen, durch geeignete mehrschalige Konstruktionen oder durch konstruktive bauliche Trennung. Bei nicht sachgerechter Ausführung können mehrschalige Bau-

teile und bauliche Trennungen »kurzgeschlossen« werden. Solche Schallbrücken sowie ungeplante Öffnungen und Spalten sind unbedingt zu vermeiden.

Die Bauakustik hat eine sehr große Bedeutung für das Wohlbefinden und die Gesundheit der Nutzerinnen und Nutzer. Belästigungen durch Geräusche in Wohnräumen ziehen häufig unmittelbare Beschwerden nach sich. In den folgenden Kapiteln werden die Prinzipien der Bauakustik auf Grundlage der jeweiligen Messverfahren zum Nachweis des Schallschutzes erläutert.

4.2 Messung der Schalldämmung in Gebäuden

4.2.1 Vorbemerkung

Ziel bauakustischer Messungen ist die Überprüfung der Einhaltung von bauteilbezogenen Anforderungswerten. Dabei werden auch die Eigenschaften der angrenzenden Räume und die Wirkung der flankierenden Bauteile berücksichtigt. Das Verständnis der Messprinzipien ist eine hilfreiche Grundlage für bauakustische Planungsaufgaben.

Messungen der Luft- und Trittschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden werden in der Praxis relativ häufig durchgeführt. In Mehrfamilienhäusern steht die Trittschalldämmung der Decken im Vordergrund, zwischen Reihenhäusern die Luftschalldämmung der Haustrennwände. Etwas seltener kommt es zu Überprüfungen der Luftschalldämmung von Fassadenbauteilen, z. B. Fenstern, und des Schalls von haustechnischen Anlagen.

4.2.2 Luft- und Trittschalldämmung

Messungen der Luft- und Trittschalldämmung werden nach den Normen DIN EN ISO 16283-1 [DIN EN ISO 16283-1:2018] und DIN EN ISO 16283-2 [DIN EN ISO 16283-2:2016] durchgeführt. Das Prinzip beider Messverfahren wird in Bild 38 dargestellt. Es werden ein Senderaum und ein Empfangsraum unterschieden. Im Senderaum wird der Prüfschall durch breitbandig abstrahlende Lautsprecher mit überprüfter Richtcharakteristik (Luftschall) bzw. geeichte Normhammerwerke als Aufprallquelle (Trittschall) erzeugt. Zur Messung des hierdurch im Senderaum und im Empfangsraum hervorgerufenen Schalldruckpegels kommen geeichte, automatisch auf Kreisbahnen bewegte Mikrofone zum Einsatz.

In der Beispielsituation in Bild 38 ist der untere linke Raum der Empfangsraum für eine Messung der Trittschalldämmung der Decke und eine Messung der Luftschalldämmung der Trennwand, jeweils rot dargestellt. Es sind jeweils mehrere Lautsprecher- und Mikrofonpositionen erforderlich, um die mittleren Schalldruck-

pegel in den Räumen ausreichend genau und reproduzierbar zu ermitteln. Nebengeräusche, wie Rasenmäher, Handwerkerlärm, Straßenverkehrslärm usw., können die Messung beeinflussen. Daher wird der vorhandene Hintergrundgeräuschpegel im Empfangsraum zusätzlich kontrolliert. Eine normgemäße Messung des Luft- und Trittschallpegels dauert ca. zwei Stunden. Bei leichteren Deckentragwerken werden Messungen der Luft- und Trittschalldämmung kombiniert, um den Luftschallanteil des Normhammerwerks zu berücksichtigen.

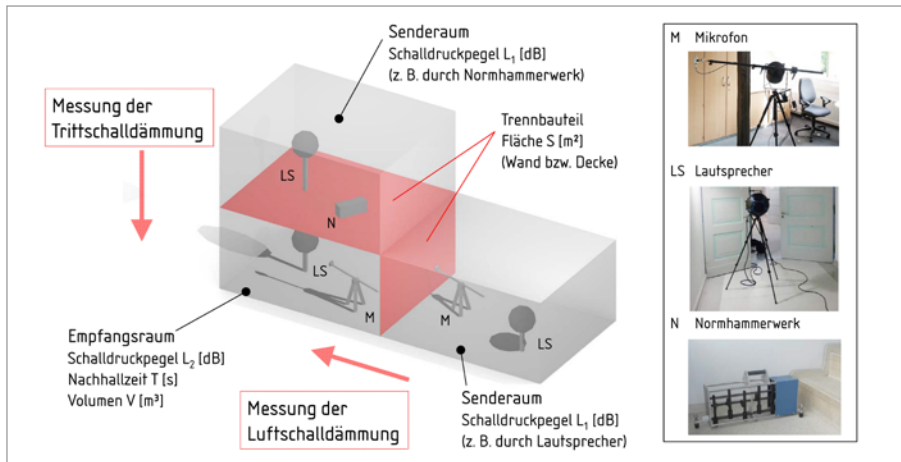


Bild 38 Messprinzip der Luft- und Trittschalldämmung nach DIN EN ISO 16283-1:2018 und DIN EN ISO 16283-2:2016

Bei der Messung der Luftschalldämmung entsprechend der Norm DIN EN ISO 16283-1 wird die Schallpegeldifferenz D zwischen Senderaum- und Empfangsraum erfasst. Diese wird mit der Fläche des gemeinsamen Trennbauteils S und der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A im Empfangsraum nach Gleichung 39 korrigiert und als Bauschalldämmmaß R' bezeichnet. Im Gegensatz zum Schalldämmmaß R (Symbol R ohne Strich), welches in Prüfständen für Türen, Fenster oder Einbauwände ermittelt wird, enthält das Bauschalldämmmaß R' den Einfluss der Flankenübertragung.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A} = D + 10 \cdot \lg \frac{S}{A} \quad [dB] \quad (39)$$

- R' : Bauschalldämmmaß in dB
 L_1 : energetisch gemittelter Schalldruckpegel im Senderaum in dB
 L_2 : energetisch gemittelter Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB
 D : Differenz der beiden Schalldruckpegel: $D = L_1 - L_2$, in dB
 S : Fläche des gemeinsamen Trennbauteils in m^2
 A : die äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraumes in m^2 , ermittelt aus der gemessenen Nachhallzeit nach der Sabineschen Formel: $A = 0,16 \cdot V/T$.

Der Korrekturwert (Gl. 39) lässt sich unter Anwendung der Logarithmus-Rechenregeln (vgl. Gl. 11) umstellen:

$$R' = D + 10 \cdot \lg\left(\frac{S}{A}\right) = D + 10 \cdot \lg(S) - 10 \cdot \lg(A) \text{ [dB]} \quad (40)$$

Am so umgeformten Funktionsterm zeigen sich die rechnerische Zunahme des Bauschalldämmmaßes bei zunehmender Fläche des gemeinsamen Trennbauteils und die rechnerische Abnahme des Bauschalldämmmaßes bei zunehmender äquivalenter Schallabsorptionsfläche des Empfangsraumes, vgl. Bild 39.

Dieser Zusammenhang ist nachvollziehbar, da der Luftschalldämmung die Schallpegeldifferenz D zugrunde liegt: Bei gleichem D muss ein Trennbau teil mit größerer Fläche eine bessere Schalldämmung aufweisen als ein Trennbau teil mit kleinerer Fläche. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche berücksichtigt die vorhandene Ausstattung des Empfangsraumes. In einem eingerichteten, stärker gedämpften Empfangsraum ist der Schalldruckpegel durch höhere Absorption geringer als in einem halligen Raum mit stärker reflektierenden Oberflächen, z.B. im Rohbauzustand. Daher würde im gedämpften, leiseren Raum eine größere Schallpegeldifferenz D und damit eine bessere Schalldämmung gemessen werden als im halligen Raum. Durch die Messung der Nachhallzeit im Empfangsraum und die erforderliche Korrektur der äquivalenten Schallabsorptionsfläche wird dieser Einfluss kompensiert. In Bild 39 wird der Zusammenhang zur Erläuterung beispielhaft quantifiziert.

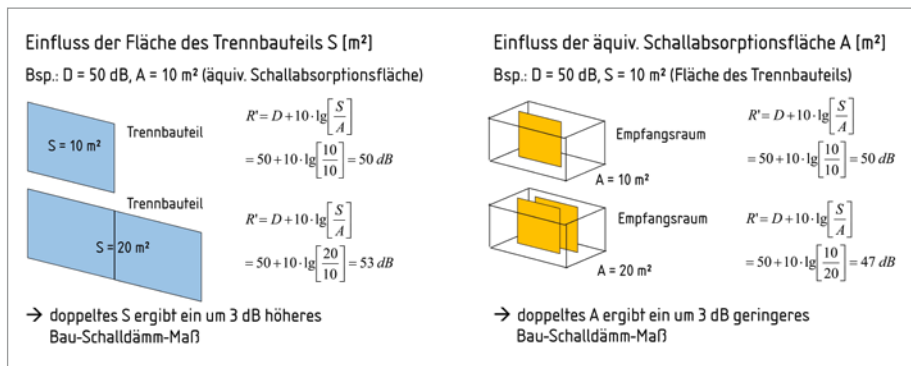
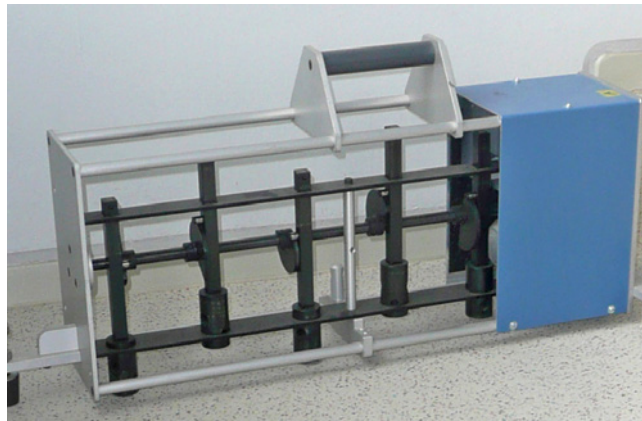


Bild 39 Einfluss des Korrekturterms $10 \cdot \lg(S/A)$ auf das Bauschalldämmmaß. Bei konstanter Schalldruckpegeldifferenz $D = 50$ dB führt eine doppelte Fläche des Trennbau teils zur rechnerischen Erhöhung des Bauschalldämmmaßes um 3 dB. Eine Verdoppelung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A im Empfangsraum führt zur Reduzierung des Bauschalldämmmaßes um 3 dB.

Zur Messung der Trittschalldämmung wird der Schalldruckpegel eines genormten Hammerwerks im Empfangsraum festgestellt. Das Normhammerwerk wird als

Aufprallquelle an festgelegten Positionen aufgestellt und definiert den Trittschall. Es muss der Norm DIN EN ISO 16283-2 [DIN EN ISO 16283-2:2016] entsprechen und verfügt über fünf Hämmer mit Aufprallflächen aus gehärtetem Stahl und einer effektiven Masse von je 500 g (Bild 40). Die Hämmer sind in einer Reihe angeordnet und werden automatisch angetrieben. Sie fallen in einer Frequenz von 10 Hz aus einer Höhe von 40 mm frei herab und simulieren relativ laute Trittschallgeräusche, wie Schrittgeräusche bei kräftigem Auftreten, Stuhlverrücken oder herabfallende Gegenstände.

Bild 40 Normhammerwerk nach der Norm DIN EN ISO 16283-2.



Der Pegel im Empfangsraum wird unter Beachtung möglicher Hintergrundgeräusche durch automatisch auf Kreisbahnen bewegte Mikrofone gemessen. Der Norm-Trittschallpegel L'_n ergibt sich nach Gleichung 41, wobei der Strich im Symbol wiederum die im Wert enthaltene Flankenübertragung symbolisiert.

$$L'_n = L_i + 10 \cdot \lg \frac{A}{A_0} \text{ [dB]} \quad (41)$$

- L'_n : Norm-Trittschallpegel in dB
- L_i : energetisch gemittelter Trittschallpegel im Empfangsraum in dB
- A : die äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraumes in m^2 , ermittelt aus der gemessenen Nachhallzeit
- A_0 : die Bezugs-Absorptionsfläche;
 $A_0 = 10 \text{ m}^2$ (typischer Wert für Wohneinheiten)

Die Ausstattung des Empfangsraumes wird – wie bei der Messung der Luftschalldämmung – durch die äquivalente Schallabsorptionsfläche kompensiert, die aus den im Empfangsraum gemessenen Nachhallzeiten ermittelt wird. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche wird auf einen definierten Bezugswert $A_0 = 10 \text{ m}^2$ bezogen.



Bild 41 Messung der Luft- und Trittschalldämmung in einem Raum

Es ist zu beachten, dass ein hoher Zahlenwert der Luftschalldämmung (bewertetes Bauschalldämmmaß R'_w) günstig für den Schallschutz ist, während ein hoher Zahlenwert für den Trittschallpegel (bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$) ungünstig für den Schallschutz ist. Dieser Zusammenhang sorgt gelegentlich in der Praxis für Verwirrung. Er ist darauf zurückzuführen, dass dem bewerteten Bauschalldämmmaß R'_w eine Schallpegeldifferenz D zugrunde liegt, während es sich beim bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ um einen Schalldruckpegel L handelt.

Das Bauschalldämmmaß R' und der Norm-Trittschallpegel L'_n werden frequenzbezogen in 16 Terzbändern ermittelt. Zur Angabe eines Einzahlwertes für das Bauteil wird eine Bewertung nach den Normen DIN EN ISO 717-1 [DIN EN ISO 717-1] bzw. DIN EN 717-2 [DIN EN 717-2] durchgeführt. Dazu wird eine jeweils genormte Bezugskurve in Schritten von 1 dB so weit nach oben oder unten verschoben, bis die Summe der ungünstigen Abweichungen der 16 Messwerte von der verschobenen Bezugskurve so groß wie möglich, jedoch nicht größer als 32 dB ist. Eine ungünstige Abweichung bei einer bestimmten Frequenz liegt bei der Luftschalldämmung vor, wenn das gemessene Bauschalldämmmaß R' niedriger als der Bezugswert ist, d.h. der Messwert die verschobene Bezugskurve unterschreitet. Die Bezugskurve wird im Beispiel Bild 42 blau dargestellt. Bei der Trittschalldämmung liegt eine ungünstige Abweichung vor, wenn der gemessene Norm-Trittschallpegel L'_n die verschobene Bezugskurve überschreitet. In beiden Fällen werden nur die ungünstigen Abweichungen addiert und mit der vorgegebenen maximalen Summe von 32 dB verglichen.

Das bewertete Bauschalldämmmaß R'_w bzw. der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ ist der Wert in Dezibel der jeweils verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz. Beide Werte können mit den Mindestanforderungswerten verglichen werden. Der Strich im R'_w bzw. $L'_{n,w}$ bedeutet, dass sich die Schalldämmung auf den eingebauten

Zustand des Trennbauteils zwischen Räumen einschließlich Übertragung über die Bauteilflanken bezieht.

Tabelle 19 und Bild 42 zeigen beispielhaft die Auswertung der Messung der Luftschalldämmung einer massiven Wohnungstrenndecke aus Stahlbeton mit schwimmendem Estrich. Das Volumen des Empfangsraumes beträgt $V = 52 \text{ m}^3$, die Fläche des gemeinsamen Trennbauteils $S = 19 \text{ m}^2$. Aus der Schallpegeldifferenz D zwischen Sende- und Empfangsraum, der im Empfangsraum gemessenen Nachhallzeit T und dem Volumen des Empfangsraums werden nach Gleichung 39 die äquivalente Schallabsorptionsfläche A des Empfangsraums und das Bauschalldämmmaß R' berechnet.

Zur Ermittlung eines Einzahlwertes aus den terzweisen Ergebnissen wird die Bezugskurve [DIN EN ISO 717-1] im Beispiel um -3 dB verschoben (s. Tabelle 19 und Bild 42). Die Summe der ungünstigen Abweichungen, in denen die Werte für R' kleiner sind als die Werte der verschobenen Bezugskurve, beträgt $23,7 \text{ dB}$. Es wird die Bezugskurve verschoben, nicht die Kurve der Messwerte, und es werden nur die ungünstigen Abweichungen berücksichtigt. Hierbei handelt es sich um die positiven Zahlenwerte in der Spalte Δ der Tabelle.

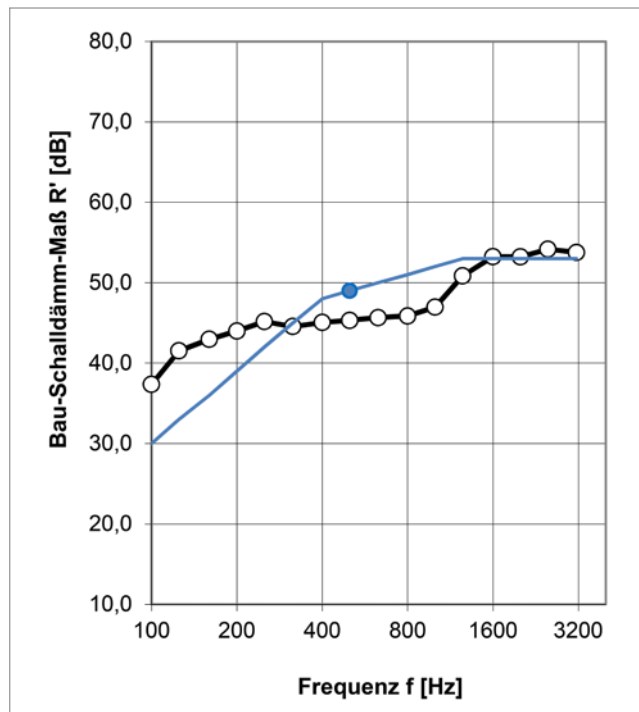
Nach Verschiebung der Bezugskurve um -3 dB ist die Summe der ungünstigen Abweichungen so groß wie möglich, jedoch nicht größer als 32 dB . Bei Verschiebung der Bezugskurve um -2 dB würde die Summe der ungünstigen Abweichungen $32,5 \text{ dB}$ betragen und den Grenzwert von 32 dB übersteigen. Bei Verschiebung um -4 dB beträgt sie $17,3 \text{ dB}$ und wäre damit nicht so groß wie möglich.

Der Zahlenwert der um -3 dB verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz ist das bewertete Bauschalldämmmaß. Es beträgt $R'_w = 49 \text{ dB}$. Der Wert ist in Tabelle 19 und in der Messkurve in Bild 42 hervorgehoben.

f [Hz]	D [dB]	T [s]	A [m ²]	10 · lg(S/A) [dB]	R' [dB]	Bez.-K. [dB]	Bez.-K. -3 dB [dB]	Δ [dB]	ΣΔ ⁺ [dB]
100	35,8	0,64	13,2	1,6	37,4	33	30	-7,4	
125	39,4	0,73	11,6	2,1	41,5	36	33	-8,5	
160	42,3	0,52	16,3	0,7	43,0	39	36	-7,0	
200	42,5	0,63	13,5	1,5	44,0	42	39	-5,0	
250	43,6	0,64	13,2	1,6	45,2	45	42	-3,2	
315	43,2	0,61	13,9	1,4	44,6	48	45	0,4	
400	43,7	0,61	13,9	1,4	45,1	51	48	2,9	
500	44,1	0,59	14,4	1,2	45,3	52	49	3,7	23,7 <32
630	44,3	0,61	13,9	1,4	45,7	53	50	4,3	
800	44,8	0,57	14,9	1,1	45,9	54	51	5,1	
1000	45,9	0,57	14,9	1,1	47,0	55	52	5,0	
1250	49,5	0,61	13,9	1,4	50,9	56	53	2,1	
1600	52,1	0,58	14,6	1,1	53,2	56	53	-0,2	
2000	51,8	0,62	13,7	1,4	53,2	56	53	-0,2	
2500	53,1	0,57	14,9	1,1	54,2	56	53	-1,2	
3150	53,1	0,52	16,3	0,7	53,8	56	53	-0,8	
D:	Differenz der energetisch gemittelten Schalldruckpegel zwischen dem Sende- und dem Empfangsraum								
T:	Im Empfangsraum gemessene Nachhallzeit								
A:	die äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraumes, in m ² , ermittelt aus der gemessenen Nachhallzeit								
10 · lg(S/A):	Korrektur-Summand zur Berücksichtigung der Fläche des gemeinsamen Trennbauteils und der Ausstattung des Empfangsraums								
R':	Bauschalldämmmaß								
Bez.-K.:	Wert der Bezugskurve für Luftschall nach der Norm DIN EN ISO 717-1:2013								
Bez.-K. -3 dB:	Wert der um -3 dB verschobenen Bezugskurve für Luftschall								
Δ:	Differenz zwischen den Werten der verschobenen Bezugskurve und den Messwerten für das Bauschalldämmmaß								
ΣΔ ⁺ :	Summe der ungünstigen Abweichungen, bei denen der Wert der verschobenen Bezugskurve kleiner ist als der Messwert des Bauschalldämmmaßes								

Tabelle 19 Beispielhafte Auswertung der Messung der Luftschalldämmung einer massiven Wohnungstrenndecke aus Stahlbeton mit schwimmendem Estrich

Bild 42 Messung der Luftschalldämmung einer massiven Wohnungstrenn-
decke aus Stahlbeton mit
schwimmendem Estrich;
Gemessenes Bauschalldämmmaß R' als Funktion
der Frequenz (schwarzes
Diagramm) und verschobene
Bezugskurve mit resultie-
rendem Einzahlwert des
bewerteten Bauschalldämmmaßes $R'_w = 49$ dB
(blaues Diagramm)



Die Normen DIN EN ISO 717-1 und DIN EN ISO 717-2 sehen ergänzende frequenzbezogene Bewertungsverfahren durch die Spektrumanpassungswerte C und C_{tr} vor. Die Spektrumanpassungswerte dienen dem Vergleich mit anderen Geräuschquellen und werden in Deutschland beim Nachweis der Mindestanforderungen an den Schallschutz nicht angewendet, vgl. Abschnitt 4.2.6. Gleiches gilt für den Spektrumanpassungswert für Trittschall C_i entsprechend Norm DIN EN ISO 717-1.

Zur Ermittlung der Schalldämmung von Raumpaaren ohne gemeinsame Trennfläche S , beispielsweise zwischen einem Schlafraum und einem Treppenhaus, die durch einen Wohnungsflur getrennt sind, wird die gemessene Schallpegeldifferenz als bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ ausgewertet. Hierbei wird die gemessene Schallpegeldifferenz D auf die äquivalente Schallabsorptionsfläche A im Empfangsraum und eine Bezugsabsorptionsfläche von $A_0 = 10 \text{ m}^2$ bezogen und bewertet. Das Ergebnis kann durch einen sachverständigen Planer mit einem Anforderungswert für das bewertete Bauschalldämmmaß R'_w verglichen werden.

Die Messnormen der 4109er-Reihe, DIN 4109-11:2010 und DIN 4109-4, geben ergänzende Hinweise, z. B. für die Messung der Schalldämmung von Wänden mit eingebauten Türen und weiterer besonderer Situationen.

In der neuen Messnorm DIN 4109-4:2016 wird zwischen der Bestimmung der Schalldämmung in Gebäuden und der Bestimmung des Schallschutzes zwischen Räumen unterschieden. Die anzuwendenden Messverfahren zur Bestimmung von R'_w bzw. $L'_{n,w}$, die vorangehend beschrieben wurden, entsprechen der Messung der Schalldämmung von Bauteilen in Gebäuden. Durch diese Unterscheidung, die in der Praxis leicht zu Verwirrung führen kann, wird die langjährige kontroverse Diskussion zwischen Planern und Bauphysikern über den richtigen Schallschutz fortgeführt. Bei der Bestimmung des Schallschutzes zwischen Räumen werden nachhallbezogene Größen ermittelt, die mit den Mindestanforderungen der Norm DIN 4109-1:2018 nicht unmittelbar verglichen werden können, vgl. Kapitel 4.2.6.

Nachhallbezogene Anforderungsgrößen konnten sich bislang nicht durchsetzen. Messungen zur Bestimmung des Schallschutzes zwischen Räumen werden derzeit zur Überprüfung der Mindestanforderungen der Norm DIN 4109-1:2018 nicht durchgeführt. Die Norm DIN 4109-4:2016 ist trotz anderslautender Forderungen aus bauphysikalischen Interessenkreisen nicht zur Einführung als Technische Baubestimmung vorgesehen.

4.2.3 Fassadenschalldämmung

Die Messung der Fassadenschalldämmung erfolgt am Bau typischerweise nach dem Bauteil-Lautsprecher-Verfahren der Norm DIN EN ISO 16283-3 [DIN EN ISO 16283-3]. Hierbei befindet sich die Schallquelle (Flächenlautsprechersystem) im Freien, s. Bild 43. Der Begriff Fassade wird in den Normen DIN 4109-1:2018 und DIN 4109-2:2018 zur Vereinfachung für Wand- und Dachflächen gleichermaßen verwendet. Eine Fassade kann aus verschiedenen Bauteilen (z. B. Wand, Dach, Fenster, Türen) und Elementen (z. B. Lüftungseinrichtungen, Rollladenkästen) bestehen.

Während der Messung wird ein Flächenlautsprechersystem normgemäß so aufgestellt, dass der Schalleinfallswinkel auf den zu prüfenden Fassadenabschnitt in lotrechter Richtung 45° beträgt und die Prüffläche gleichmäßig beschallt wird. Abhängig von der Höhe der Prüffläche über dem Boden sind ggf. Hebebühnen erforderlich. Der Flächenlautsprecher strahlt ein breitbandiges Rauschen mit einem kontinuierlichen Schallspektrum zwischen 50 und 5000 Hz ab (sog. Rosa Rauschen). Bei der Prüfung von Fenstern wird der hierbei entstehende mittlere Schalldruckpegel mit geeigneten Mikrofonen terzweise direkt auf der äußeren Verglasung sowie im Empfangsraum erfasst, um das Bauschalldämmmaß R'_{45° zu ermitteln.

Wie bei der Messung der Luft- oder Trittschalldämmung ist der Einfluss der Raumausstattung und Möblierung im Empfangsraum zu berücksichtigen. Hierzu wird die äquivalente Schallabsorptionsfläche A des Empfangsraumes aus gemessenen Nachhallzeiten ermittelt.

Das Bauschalldämmmaß eines Fassadenbauteils R'_{45° wird nach (Gl. 42) bestimmt.

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A} - 1,5 \text{ [dB]} \quad (42)$$

R'_{45° : Bauschalldämmmaß R'_{45° in dB

$L_{1,s}$: mittlerer Außenschalldruckpegel an der Prüfoberfläche in dB

L_2 : energetisch gemittelter Schalldruckpegel in einem Raum in dB

S : Fläche des Prüfobjekts in m^2

A : die äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraumes in m^2 , ermittelt aus der gemessenen Nachhallzeit nach der Sabineschen Formel: $A = 0,16 \cdot V/T$

Der im Empfangsraum vorhandene Schalldruckpegel wird sowohl über das Fenster als auch über die Außenwandfläche übertragen. Zur Überprüfung der Schalldämmung eines Fensters sind daher im Regelfall zwei Messungen durchzuführen: In einer ersten Messung wird die Fassadenschalldämmung der vorgefundenen Situation aus Fenster und Außenwandfläche festgestellt. Bei einer zweiten Messung wird nur die Schallübertragung der umgebenden Wand geprüft. Hierzu ist die Fensteröffnung durch eine akustisch wirksame Abschirmung mit Mineralwolle einer Dicke von 10 cm und mindestens zwei Lagen 12,5 mm dicker Gipskartonplatten abzudecken. Aus der Differenz der bewerteten Bauschalldämmmaße der Außenwand mit Fenster und der Außenwand alleine wird dann die Schalldämmung des Fensters im eingebauten Zustand ermittelt. Die Differenz muss mindestens 6 dB betragen [DIN EN ISO 16283-3].

Bei ausreichend präziser Messung kann das bewertete Bauschalldämmmaß R'_{45° mit den Mindestanforderungswerten $\text{erf.} R'_{w, \text{res}}$ der Norm DIN 4109:1989 bzw. $R'_{w, \text{ges}}$ der Norm DIN 4109-1:2018 verglichen werden. Auch hier bedeutet der Strich im $R'_{w, \text{res}}$, dass sich die Schalldämmung auf den eingebauten Zustand des Außenbauteils einschließlich Übertragung über die Flanken bezieht. Für Fenster und Türen wird nach der Norm DIN 4109 das bewertete Schalldämmmaß R_w ohne Flankenübertragung angegeben.



Bild 43 Messung der Fassadenschalldämmung eines Fensters im Obergeschoss eines Wohngebäudes mit einem Flächenlautsprecher (blau) in normgemäßer Ausrichtung. Zur Sicherstellung des erforderlichen Beschallungswinkels kann für Bauteile in größerer Höhe auch ein Hilfsgerüst erforderlich sein.

4.2.4 Schall von gebäudetechnischen Anlagen

Die Messung von Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen erfolgt derzeit nach der Norm DIN EN ISO 10052 [DIN EN ISO 10052]. Zu überprüfen ist der zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in fremden schutzbedürftigen Räumen. Er ist mit der Zeitbewertung »Fast« zu messen, daher der Index »AF«. DIN EN ISO 10052 definiert Betriebsbedingungen und Betriebszyklen für die Messung des maximalen Schalldruckpegels und des äquivalenten kontinuierlichen Schalldruckpegels der folgenden gebäudetechnischen Anlagen:

- Armaturen,
- Duschkabinen,
- Badewannen,
- Waschbecken und Badewannen (Füllen und Entleeren),
- Toiletten,
- mechanische Lüftungen,
- haustechnische Heizungs- und Kühlanlagen,
- Fahrstühle,
- Müllabwurfschächte,
- Kessel, Gebläse, Pumpen und andere haustechnische Nebenanlagen,
- motorbetriebene Garagentore,
- sonstige Arten von haustechnischen Anlagen in Gebäuden.

Nach DIN EN ISO 10052 ist der Norm-Schalldruckpegel von haustechnischen Anlagen an zwei Positionen im Hallfeld des Raumes und an einer Position nahe der Ecke mit den offensichtlich akustisch härtesten Oberflächen zu messen und dann zu mitteln. Erfahrungsgemäß sind Messungen im Hallfeld (Raummitte) repräsentativer als Messungen in den Raumecken. Die Norm DIN 4109-4:2016 schlägt daher vor, zur Ermittlung der Bewertungsgrößen die Eckpositionen nicht heranzuziehen [DIN 4109-4:2016], sodass drei Messungen im Hallfeld empfohlen werden. Der Norm-Schalldruckpegel wird nach Gleichung 43 ermittelt [DIN 4109-1:2018, DIN EN ISO 10052].

$$L_{AF,max,n} = L_{AF,max} - k - 10 \cdot \lg \frac{A_0 \cdot T_0}{0,16 \cdot V} \text{ [dB]} \quad (43)$$

- $L_{AF,max,n}$: maximaler A-bewerteter Norm-Schalldruckpegel von haustechnischen Anlagen in dB
- $L_{AF,max}$: Mittelwert aus drei Messungen des maximalen A-bewerteten Schalldruckpegels von haustechnischen Anlagen in dB
- V: Volumen des Empfangsraumes, in m^3 , multipliziert mit 0,16 s/m (Faktor aus der Sabineschen Formel)
- k: Nachhallmaß: k wird aus dem arithmetischen Mittelwert der Nachhallzeit berechnet, gemessen in Oktavbändern von 500 Hz, 1000 Hz und 2000 Hz
- $$k = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{T_{500} + T_{1000} + T_{2000}}{T_0} \right) \right]$$
- T_0 : Bezugsnachhallzeit ($T_0 = 0,5 \text{ s}$)
- A_0 : Bezugsabsorptionsfläche ($A_0 = 10 \text{ m}^2$)

4.2.5 Tieffrequente Geräuschimmissionen

Vor der Messung ist zu unterscheiden, ob Schwingungen auftreten oder ein subjektives Schwingungsgefühl vorliegt. Sofern am Immissionsort keine spürbaren Vibrationen von Wänden oder Fußböden auftreten oder deutlich erkennbare Sekundäreffekte wie z. B. Gläserklirren, Vibrationen von Wänden oder »Rütteln« von Fenstern und Türen beobachtet werden können, sind Schwingungsmessungen in Gebäuden aufgrund der Unsicherheiten bei der Messung und der Beurteilung häufig nur begrenzt zielführend.

Bei Belästigungen durch subjektiv empfundenes Schwingungsgefühl innerhalb von Gebäuden, insbesondere begleitet von Dröhnen oder Brummen, ist es empfehlenswert, mögliche Störungen durch tieffrequenten Schall im Bereich der Terzband-Mittenfrequenzen zwischen 10 und 80 Hz zu untersuchen. Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen erfolgen nach der Norm

DIN 45680 [DIN 45680:1997]. Bei Emissionen aus der Nachbarschaft sind zusätzlich die Hinweise in der TA Lärm [TA Lärm] zu beachten.

Die Norm DIN 45680 liegt derzeit in einem überarbeiteten Entwurf vom September 2013 vor [DIN 45680:2013]. Die Anforderungen des Normentwurfes führen im Vergleich zur derzeit gültigen Norm DIN 45680:1997 im Regelfall zu strengeren Bewertungen. Der Normentwurf hat sich in der Anwendung bislang nicht durchgesetzt. Ein Zeitpunkt für die Herausgabe einer neuen Normenfassung ist derzeit nicht absehbar. Dies liegt an der noch andauernden Diskussion über die psychoakustische Wahrnehmung tieffrequenten Schalls und betrifft insbesondere die Wahrnehmungsschwelle. Der Normentwurf sollte für Messungen daher nicht angewendet werden.

Grundsätzlich sind bei Messungen tieffrequenter Geräuschimmissionen besondere Sachkunde, hinreichende Erfahrung und eine gebührende Sorgfalt erforderlich. Aufgrund der großen zugrunde liegenden Schallwellenlängen treten innerhalb von Räumen unterschiedliche Schalldruckpegel auf. Zusätzlich können Resonanzphänomene auftreten, die z. B. von der Anordnung der Möblierung abhängen. Im Regelfall sind daher Messungen an mehreren Positionen erforderlich, die sorgfältig zu dokumentieren sind. Die Messung von Schalldruckpegeln bei Frequenzen unter 10 Hz unterliegt deutlichen Unsicherheiten, daher wird auf die Angabe entsprechender Messergebnisse im Allgemeinen verzichtet.

Vor der Durchführung der Messungen ist eine Vorerhebung erforderlich. Hierzu sind die betroffenen Personen zu Art und zeitlichem Verlauf der wahrgenommenen Störungen zu befragen. Die Vorerhebung sollte systematisch auf der Basis einer vorbereiteten Fragenliste erfolgen. Tabelle 20 fasst hierzu einige grundlegende Aspekte zusammen. Weiterführende Hinweise finden sich beispielsweise in der Norm DIN EN ISO 28802 [DIN EN ISO 28802].

Angaben der Betroffenen	Parameter
Art der Belästigung (Wahrnehmung)	Vibrationen, Ohrendruck, Dröhn- oder Druckgefühl im Kopf, deutlich hörbares Dröhnen, Brummtönen usw.
Einwirkung der Belästigung (nachvollziehbares Auftreten)	Geräuschursache, Aufenthaltsorte mit der höchsten Belastung, Zeit, Intensität, Dauer, Häufigkeit
individuelle Auswirkungen (Empfindung)	z. B. Unbehaglichkeit, Schlafstörung, Ohrendruck, Nervosität, Abnahme von Konzentration oder Leistungsfähigkeit usw.
gefühlte Umgebung	Zufriedenheit mit Wohnung, Wohnumfeld, Nachbarschaft, Vermieter

Tabelle 20 Auswahl von Vorerhebungs-Parametern auf Grundlage von Angaben der Betroffenen bei Belästigung durch tieffrequente Geräusche

Da bei Störungen infolge tieffrequenter Geräuschimmissionen häufig komplexe Wirkungsgefüge vorliegen, die durch individuelle Disposition beeinflusst werden,

reicht der subjektive Eindruck eines Sachverständigen während der Zeit der Messung zur Beurteilung häufig nicht aus. Beispielsweise werden bei tieferen Frequenzen deutlich hervortretende Einzeltöne als besonders belästigend empfunden. Diese sind vielfach diskontinuierlich und treten möglicherweise nur bei Einschaltvorgängen, Regelungsänderungen oder bestimmten Betriebszuständen auf (z. B. Einschalten von Lüftungsanlagen, Startvorgang eines Brenners, Kompressor im Energiesparbetrieb usw.). Sie müssen nicht mit dem Betriebszustand der maximalen Anlagenleistung korrelieren.

Die Angaben der Betroffenen sind zur Beurteilung durch eindeutig feststellbare Randbedingungen zu ergänzen, z. B. Höreindruck, Prüfen auf spürbare Vibrationen, Einschätzung der Wohnlage (ruhig/laut), Außenlärmpegel, Bauweise (Baujahr, Bauart, Zustand), zugrunde liegende bauliche Änderungen (neue Fenster, neue haustechnische Anlage usw.), Wohnsituation (alleinstehend, Familie, Kinder, neue Nachbarn) und andere Beeinträchtigungen (Luftqualität, thermische Randbedingungen, Unordnung). Außerdem ist die Einwirkzeit der tieffrequenten Geräuschimmissionen festzustellen. Werden die Geräusche in der Nachbarschaft hervorgerufen, ist die Einwirkzeit zur Beurteilung erforderlich.

Nach der Norm DIN 45680:1997 wird das tieffrequente Geräusch in dem am stärksten betroffenen Aufenthaltsraum gemessen. Die Messung erfolgt bei geschlossenen Türen und Fenstern an der Stelle höchster Belastung, an der sich die Personen regelmäßig aufhalten. Häufig liegen Angaben der Bewohner zu bestimmten Situationen vor (Sitzgelegenheiten, Betten). Die Mikrofonposition ist dann präzise zu dokumentieren. Mögliche Messeinflüsse durch die Raumboberflächen sind zu bewerten.

Zur Prüfung, ob tieffrequenter Schall vorliegt, wird das Kriterium der TA Lärm [TA Lärm], Abschnitt 7.3 herangezogen. Zunächst werden die Schalldruckpegel der Terzband-Mittenfrequenzen von 10 bis 80 Hz entsprechend der Norm DIN 45680:1997 mit der Zeitbewertung »Fast« gemessen. Die Zeitbewertung beschreibt die Reaktionsgeschwindigkeit eines Schallpegelmessers. Sie ist eine Exponentialfunktion der Zeit zur Bewertung des quadrierten Schalldrucksignals. Die Zeitbewertung F ist das übliche Standardverfahren, hier beträgt der Sollwert der exponentiellen Zeitkonstanten 0,125 s [DIN EN 61672-1]. Vertiefende Informationen zur Zeitbewertung können [Möser 2010] entnommen werden.

Zur Beurteilung werden die mit den Frequenzbewertungen A und C bewerteten äquivalenten Schalldruckpegel $L_{AF,eq}$ und $L_{CF,eq}$ analysiert. Die Messdauer ist in Abhängigkeit vom Pegelverlauf des zu beurteilenden Geräusches zu wählen und sollte mindestens eine Minute betragen. Es sind eine ausreichende Messdauer und Anzahl von Messungen erforderlich. Beispielsweise sollte bei periodischen Geräuschen mindestens über die Zeitdauer von drei Zyklen gemessen werden. Einzelgeräusche sollten nach Möglichkeit mindestens dreimal erfasst werden. Die Auswertung einer beispielhaften Messung wird in Tabelle 21 gezeigt.

Frequenz f [Hz]	L_{Feq} [dB]	A-Bewertung DIN EN 61672-1 [dB]	C-Bewertung DIN EN 61672-1 [dB]	L_{FAeq} [dB]	L_{FCeq} [dB]
10	45,8	-70,4	-14,3	-24,6	31,5
12,5	50,3	-63,4	-11,2	-13,1	39,1
16	64,0	-56,7	-8,5	7,3	55,5
20	49,5	-50,5	-6,2	-1,0	43,3
25	38,6	-44,7	-4,4	-6,1	34,2
31,5	54,4	-39,4	-3,0	15,0	51,4
40	46,1	-34,6	-2,0	11,5	44,1
50	43,0	-30,2	-1,3	12,8	41,7
63	34,9	-26,2	-0,8	8,7	34,1
80	31,1	-22,5	-0,5	8,6	30,6
100	37,5	-19,1	-0,3	18,4	37,2
125	24,0	-16,1	-0,2	7,9	23,8
160	22,7	-13,4	-0,1	9,3	22,6
200	25,4	-10,9	0,0	14,5	25,4
250	20,2	-8,6	0,0	11,6	20,2
315	21,9	-6,6	0,0	15,3	21,9
400	15,7	-4,8	0,0	10,9	15,7
500	12,5	-3,2	0,0	9,3	12,5
630	11,5	-1,9	0,0	9,6	11,5
800	11,4	-0,8	0,0	10,6	11,4
1000	12,1	0,0	0,0	12,1	12,1
1250	12,4	0,6	0,0	13,0	12,4
1600	13,5	1,0	-0,1	14,5	13,4
2000	13,7	1,2	-0,2	14,9	13,5
2500	12,9	1,3	-0,3	14,2	12,6
3150	11,9	1,2	-0,5	13,1	11,4
4000	12,7	1,0	-0,8	13,7	11,9
5000	12,3	0,5	-1,3	12,8	11,0
Summe					
100–3150 Hz	38,4 dB			25,4 dB(A)	38,1 dB(C)
10–5000 Hz	64,9 dB			26,7 dB(A)	57,6 dB(C)
10–80 Hz	64,9 dB			19,3 dB(A)	57,6 dB(C)
				$\Delta = 38,3 \text{ dB}$	
$L_{\text{FCeq}} - L_{\text{FAeq}}$	38,3 dB	>20 dB			
L_{Feq} : gemessener äquivalenter Dauerschalldruckpegel, ohne Frequenzbewertung, mit Zeitbewertung F (Fast), Messdauer: eine Minute, in dB A-Bewertung: Frequenzbewertung A nach [DIN EN 61672-1] C-Bewertung: Frequenzbewertung C nach [DIN EN 61672-1] L_{FAeq} : A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel in dB L_{FCeq} : C-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel in dB Δ : Differenz $L_{\text{FCeq}} - L_{\text{FAeq}}$ in den Frequenzen von 10 bis 80 Hz					

Tabelle 21 Beispiel für die Auswertung der innerhalb eines schutzbedürftigen Raumes auftretenden Geräusche zur Ermittlung möglicher tieffrequenter Geräuschmissionen entsprechend TA Lärm und Norm DIN 45680:1997

Die zugrunde liegenden Terzmittenfrequenzen f sind in der linken Spalte der Tabelle dargestellt. $L_{F_{eq}}$ ist der mit einer Minute Dauer frequenzweise gemessene unbewertete äquivalente Dauerschallpegel. Dieser Pegel wird nach den Verfahren der Norm DIN 45641 über die Messdauer gemittelt und auch als Mittelungspegel bezeichnet. Die Spalten A- und C-Bewertung enthalten die erforderlichen Zu- bzw. Abschläge für die Frequenzbewertungen A und C. Aus der Summe des unbewerteten äquivalenten Dauerschalldruckpegels und dem Zu- bzw. Abschlag ergeben sich die A- bzw. C-bewerteten Mittelungspegel $L_{FA_{eq}}$ und $L_{FC_{eq}}$. Zur Auswertung werden die Summen dieser beiden Mittelungspegel über die angegebenen Frequenzbereiche nach Gleichung 44 gebildet (vgl. auch Kapitel 2.3.5):

$$\Sigma L_{eq} = 10 \cdot \lg \left[\sum_f 10^{\frac{L_{eq,f}}{10}} \right] [\text{dB}] \quad (44)$$

Maßgebend ist die Summe von 10 bis 80 Hz. Zur Prüfung, ob die auftretenden Geräusche tieffrequent sind, wird die arithmetische Differenz der energetisch aufsummierten A- und C-bewerteten Mittelungspegel gebildet (unterste Tabellenzeile). Ist diese Differenz größer als 20 dB, so ist von auftretenden tieffrequenten Geräuschen auszugehen. Dies ist im untersuchten Beispiel der Fall.

Es wird nur die energetische Summe über die Frequenzen von 10 bis 80 Hz als Differenz zur Beurteilung herangezogen (im Beispiel Tabelle 21: 38,2 dB). Die Differenz der frequenzbezogenen Mittelungspegel entspricht unmittelbar der Differenz zwischen C- und A-Bewertung und ist daher für die Beurteilung nicht von Bedeutung (Tabelle 21, z. B. bei 31,5 Hz: 51,4 dB(C) – 15 dB(A) = 36,4 dB). In der Tabelle 21 werden zum Vergleich auch die energetischen Summen der Mittelungspegel über 100 Hz bis 3150 Hz und über 10 Hz bis 5000 Hz angegeben.

Ist von tieffrequenten Geräuschanteilen auszugehen, erfolgt eine Prüfung auf deutlich hervortretende Einzeltöne. Ein deutlich hervortretender Einzelton liegt nach der Norm DIN 45680 vor, wenn die Differenz des Mittelungspegels L_{eq} einer Terz um mehr als 5 dB über den Mittelungspegeln der beiden Nachbarterzen liegt. Im Beispiel in Tabelle 21 wird dieses Kriterium im tieffrequenten Bereich von 10 bis 80 Hz von den Mittelungspegeln bei 16 Hz und bei 31,5 Hz erfüllt. Daher liegen hier deutlich hervortretende Einzeltöne vor, die zu einer individuell erhöhten Störwirkung führen können.

Zur Beurteilung werden die frequenzbezogenen Mittelungspegel im tieffrequenten Bereich zwischen 10 und 80 Hz mit den Hörschwellen L_{HS} nach der Norm DIN 45680:1997 verglichen (Tabelle 22). Zum Vergleich werden in dieser Tabelle auch die Wahrnehmungsschwellen W_{Terz} des Normentwurfs DIN 45680:2013 angegeben. Werden die Hörschwellenpegel überschritten, ist von Störungen durch tieffrequente Geräuschimmissionen auszugehen.

Für das Beispiel in Tabelle 21 wird dieser Vergleich in Bild 44 dargestellt. Der Hörschwellenpegel wird hier in den Frequenzen 50 Hz, 63 Hz und 80 Hz überschritten. Zur Veranschaulichung werden die Mittelungspegel aller Terzband-Mittenfrequenzen von 10 bis 5 000 Hz gezeigt. Erkennbar sind die deutlich hervortretenden Einzeltöne bei 16 Hz und 31,5 Hz. Ganz rechts im Diagramm werden die Summen der C- und A-bewerteten Mittelungspegel über alle Frequenzen von 10 bis 5 000 Hz dargestellt.

Frequenz f [Hz]	Pegel L_{HS} DIN 45680:1997 [dB]	W_{Terz} DIN 45680:2013 [dB]
8	103	100,0
10	95	92,0
12,5	87	84,0
16	79	76,0
20	71	68,5
25	63	58,7
31,5	55,5	49,5
40	48	41,1
50	40,5	34,0
63	33,5	27,5
80	28	21,5
100	23,5	16,5
125		12,1

Tabelle 22 Hörschwellenpegel L_{HS} in Abhängigkeit von der Terzmittenfrequenz nach Norm DIN 45680:1997 bzw. Wahrnehmungsschwellen W_{Terz} in Abhängigkeit von der Terzmittenfrequenz nach dem Normentwurf DIN 45680:2013. Die Werte für die Hörschwellen im tieffrequenten Bereich sind Gegenstand andauernder Diskussion.

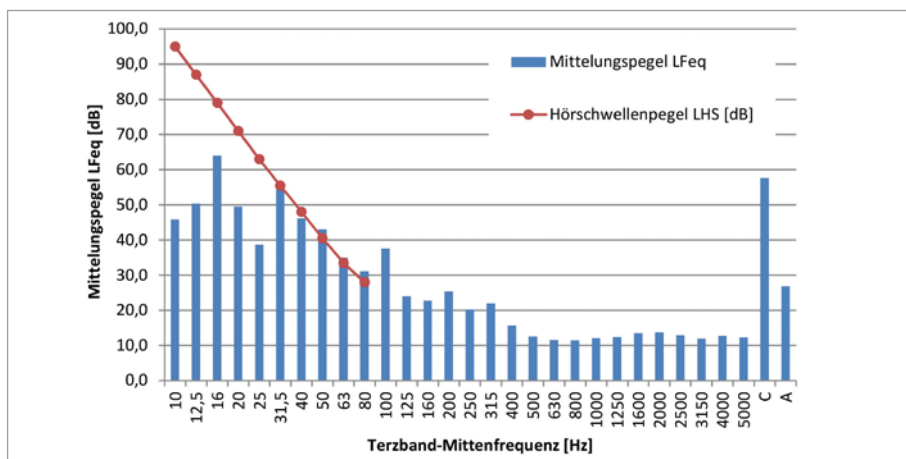


Bild 44 Mittelungspegel der Terzband-Mittenfrequenzen von 10 bis 5 000 Hz des Beispiels nach Tabelle 21 mit den Hörschwellenpegeln der Norm DIN 45680

Tieffrequente Immissionen aus der Nachbarschaft, z. B. durch Betriebe, werden auf Grundlage der TA Lärm [TA Lärm] nach Beiblatt 1 zur Norm DIN 45680 [DIN 45680 Bbl.1:1997] beurteilt. Hierbei wird die Einwirkzeit der tieffrequenten Immissionen berücksichtigt und auf vorgegebene Beurteilungszeiten bezogen. Der ermittelte Terz-Beurteilungspegel wird dann mit vorgegebenen Anhaltswerten verglichen. Die Anhaltswerte sollten nicht überschritten werden und sind von möglicherweise vorhandenen, deutlich hervortretenden Einzeltönen abhängig.

Anhalts- oder Grenzwerte für tieffrequente Geräusche in Aufenthaltsräumen, die innerhalb des Gebäudes z. B. durch haustechnische Anlagen entstehen, liegen nicht vor. Daher ist vom Auftreten von Störungen durch tieffrequente Geräuschimmissionen auszugehen, sobald die Hörschwellenpegel der Norm DIN 45680 überschritten werden. In Abhängigkeit von ihrer Auswirkung auf die Bewohner kann es sich um unzumutbare Belästigungen handeln.

Allgemeine Hinweise zu Schutzmaßnahmen gegen tieffrequenten Lärm am Arbeitsplatz finden sich in den Technischen Regeln für Arbeitsstätten Lärm [ASR A3.7].

4.2.6 Kennzeichnende Größen für bauakustische Anforderungen

Zur Übersicht werden die kennzeichnenden Größen für bauakustische Anforderungen in Tabelle 23 zusammengefasst:

Bauteile	berücksichtigte Schallübertragung	Luftschalldämmung [dB]	Trittschalldämmung [dB]
Wände	über das trennende und die flankierenden Bauteile sowie gegebenenfalls über Nebenwege	R'_{w}	–
Decken		R'_{w}	$L'_{n,w}$
Treppen		–	$L'_{n,w}$
Türen	nur über die Tür	R_w	–
gebäudetechnische Anlagen, einschließlich Wasserinstallationen		$L_{AF,max,n}$	
baulich verbundene Gewerbebetriebe (für die Nachtzeit gilt der Pegel der lautesten Stunde)		Beurteilungspegel L_r nach DIN 45645-1 bzw. TA Lärm, zusätzlich ist $L_{AF,max,n}$ zu ermitteln	
R'_{w} :	bewertetes Bauschalldämmmaß, in dB		
$L'_{n,w}$:	bewerteter Norm-Trittschallpegel, in dB		
R_w :	bewertetes Schalldämmmaß, in dB		
$L_{AF,max,n}$:	maximaler A-bewerteter Schalldruckpegel, gemessen mit der Zeitbewertung »Fast«		

Tabelle 23 Übersicht über die kennzeichnenden Größen für bauakustische Anforderungen [DIN 4109-1:2018]

In manchen Fällen werden Spektrumanpassungswerte C und C_{tr} angegeben. Diese dienen der Berücksichtigung unterschiedlicher Geräuschspektren bei der Planung:

- C_{tr} (»traffic«) ist ein Spektrumanpassungswert für tieffrequent betonte Geräuschspektren, z. B. Straßenverkehr, Schienenverkehr bei geringer Geschwindigkeit, Propellerflugzeug, Discomusik, Betriebe, die überwiegend nieder- und mittelfrequente Geräusche abstrahlen.
- C ist ein Spektrumanpassungswert für mittelfrequent betonte Geräuschspektren, z. B. Wohnaktivitäten (Unterhaltung, Musik, Radio, TV), spielende Kinder, Schienenverkehr bei mittlerer und hoher Geschwindigkeit, Autobahnverkehr >80 km/h, Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequente Geräusche abstrahlen.
- C_l ist ein Spektrumanpassungswert für Trittschall zur Berücksichtigung von Schallpegelspitzen bei einzelnen tieferen Frequenzen, insbesondere für Holzbalkendecken und Stahlbetonrohdecken ohne schwimmenden Estrich.

Beim Nachweis des Mindestschallschutzes werden die Spektrumanpassungswerte in Deutschland nicht angewendet. Sie sind in den Anforderungskonzepten der Normen DIN 4109:1989 und DIN 4109-1:2016/2018 nicht vorgesehen.

Die kennzeichnenden Größen aus Tabelle 23 wurden in den vorangehenden Kapiteln vorgestellt. Alternativ können Schalldruckpegel oder Schalldruckpegeldifferenzen auch auf Nachhallzeiten bezogen werden. Manche Bauphysiker vertreten die Auffassung, dass bauteilbezogene Kenngrößen zur Beschreibung des Schallschutzes nicht ausreichen, weil sie die Geometrie der an das Bauteil angrenzenden Räume nicht berücksichtigen. Bei gleicher Bauteil-Schalldämmung kann sich für große oder kleine angrenzende Räume ein unterschiedlicher Schallschutz ergeben. Daher wird die Einführung von nachhallbezogenen kennzeichnenden Größen gefordert. Für den Luftschallschutz wäre das z. B. die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$:

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} \text{ [dB]} \quad (45)$$

D_{nT} : Standard-Schallpegeldifferenz in dB

T : Nachhallzeit im Empfangsraum in s

T_0 : Bezugs-Nachhallzeit in s; für Wohnräume gilt: $T_0 = 0,5$ s

Die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ ist der Einzahlwert nach normgemäßer Bewertung.

Weitere nachhallzeitbezogene Anforderungsgrößen wären

- für den Trittschallschutz: der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$,
- für Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen: der maximale Standard-Schalldruckpegel $L_{AF,max,nT}$.

Der Zusammenhang eines möglicherweise unterschiedlichen Schallschutzes trotz gleicher Schalldämmmaße R' des trennenden Bauteils bei kleinen und großen aneinandergrenzenden Räumen wird in Bild 45. dargestellt. Ausgewertet werden das bauteilbezogene Bauschalldämmmaß R' und die raum- bzw. nachhallbezogene Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} entsprechend (Gl. 45).

Die beispielhafte Situation in Bild 45 geht von zwei unterschiedlich tiefen Empfangsräumen bei identischer Trennwand und gleichem Senderraum aus. Empfangsraum 1 weist eine Tiefe von 2,26 m auf, Empfangsraum 2 eine Tiefe von 6,76 m. Bei einer angenommenen Raumhöhe von 2,625 m und Raumbreite von 4,51 m ergibt sich die Trennwandfläche S zu 11,8 m². Das Raumvolumen des Empfangsraums beträgt 26,8 m³ bzw. 80,0 m³. Für die Nachhallzeit T wurde der Sollwert für Sprache nach der Norm DIN 18041:2004 entsprechend dem vorhandenen Raumvolumen des Empfangsraumes eingesetzt. Mit der Sabineschen Formel ergibt sich aus Nachhallzeit und Volumen die äquivalente Schallabsorptionsfläche A des Empfangsraumes. Aufgrund der großen äquivalenten Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum 2 nimmt die Schalldämmung – bezogen auf das Bauschalldämmmaß R' – rechnerisch um 3 dB ab. Der Wert für die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} ist bei diesem Beispiel trotz der unterschiedlichen Volumina stabiler.

Dieser Zusammenhang gilt insbesondere für gut ausgestattete Räume mit großer äquivalenter Schallabsorptionsfläche. Wird in dem in Bild 45 dargestellten Beispiel von höheren Nachhallzeiten ausgegangen, z. B. $T = 1,2$ s für den Empfangsraum 2, ergibt sich rechnerisch ein besserer Schallschutz bezogen auf die Standard-Schallpegeldifferenz. In halligen Räumen ist der Wert für das Bauschalldämmmaß stabiler. Daher kann das raum- bzw. nachhallbezogene Nachweisverfahren auf Grundlage der Standard-Schallpegeldifferenz nicht durchgängig als präziser angesehen werden. Es sind jeweils differenzierte Betrachtungen erforderlich. Kritik wird auch an der Bezugs-Nachhallzeit $T_0 = 0,5$ s geübt, deren Definition als zu starr empfunden wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die nachhallzeitbezogenen Kennwerte beim Nachweis des Mindestschallschutzes derzeit nicht anzuwenden sind und mit den Anforderungswerten der Technischen Baubestimmungen nicht unmittelbar verglichen werden können. Es handelt sich daher nicht um kennzeichnende Größen für bauakustische Anforderungen.

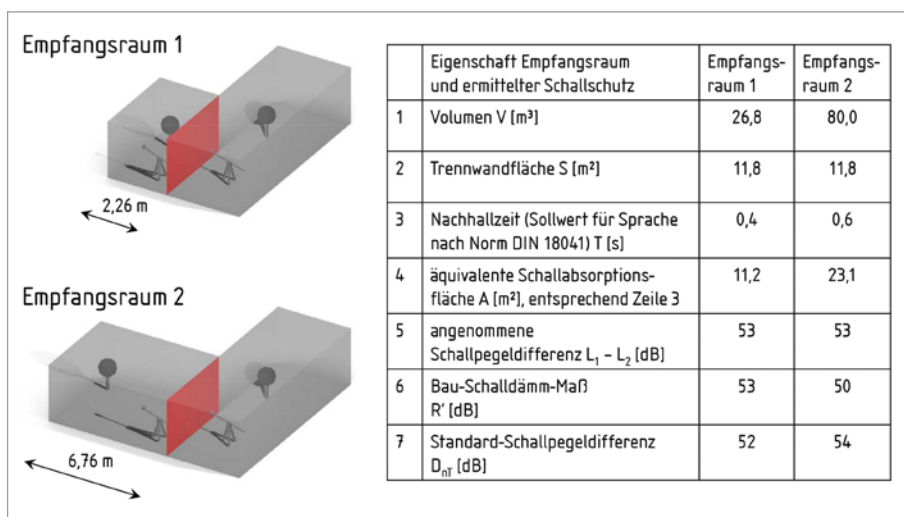


Bild 45 Auswirkung von unterschiedlichem Volumen und unterschiedlicher Nachhallzeit des Empfangsraums bei identischer Trennwand auf das Bauschalldämmmaß R'_w und die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT}

4.3 Mindestschallschutz

4.3.1 Einführung

Nach den Landesbauordnungen bzw. der Musterbauordnung [MBO] sind bauliche Anlagen so zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass sie einen ihrer Nutzung entsprechenden Schallschutz haben. Weiterhin sind gemäß Landesbauordnungen die von der jeweiligen obersten Bauaufsichtsbehörde durch öffentliche Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln zu beachten.

Dies sind für den Bereich Schallschutz bereits seit dem Jahr 1991 die Norm DIN 4109 mit der Änderung A1 vom Januar 2001 und das Beiblatt 1 zur Norm DIN 4109, s. Tabelle 24.

Norm und Ausgabe	Titel
DIN 4109:1989-11	Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise
DIN 4109/A1:2001-01	Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise; Änderung A1
DIN 4109 Beiblatt 1:1989-11	Schallschutz im Hochbau; Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren

Tabelle 24 Technische Regeln zum Schallschutz seit 1991, auf Grundlage der bisherigen länderspezifischen Listen der Technischen Baubestimmungen

Die Norm DIN 4109:1989-11 enthält Anforderungswerte für die Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen sowie zulässige Schalldruckpegel von Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen mit dem Ziel, Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung zu schützen. Die Anforderungen definieren daher einen Mindestschallschutz. Im Beiblatt 1 zur Norm DIN 4109:1989-11 werden Rechenverfahren für den Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben.

Bereits seit Längerem wird darüber diskutiert, ob die 1989er-Mindestanforderungen noch zeitgemäß sind. Fälschlicherweise wurde zwischenzeitlich sogar behauptet, die Normen DIN 4109 (mit Änderung A1) und DIN 4109 – Beiblatt 1 würden nicht mehr gelten. Hierbei wird auf diverse Gerichtsurteile verwiesen, die sich allerdings auf die Situation der jeweils verhandelten Einzelfälle beziehen. Tatsächlich wurde seit 1991 keine Neufassung der Norm DIN 4109 in die länderweisen Listen der Technischen Baubestimmungen aufgenommen.

Die 1989er-Fassung der Norm DIN 4109 wurde erst im Jahr 2016 durch eine Neufassung ersetzt. Die langjährigen Verzögerungen bei der Überarbeitung sind auf zwei Ursachen zurückzuführen:

- die grundsätzliche Diskussion zum bauteil- oder raumbezogenen Schallschutz,
- die Uneinigkeit zum Stand der Bautechnik.

Beim Planungsprozess im Leistungsbild Gebäude [HOAI 2013] erfolgt der räumliche Entwurf durch den Objektplaner in der Vor- und Entwurfsplanung. Parallel ist die Tragwerksplanung durchzuführen. Die für das Tragwerk wesentlichen konstruktiven Festlegungen für zum Beispiel Baustoffe und Bauarten und damit auch die Schalldämmung werden in Abstimmung zwischen Objekt- und Tragwerksplanung bereits in der Vorplanung definiert. Da bei der Anwendung bauteilbezogener Kenngrößen für den Schallschutz ausschließlich die Systemgrenzen nachzuweisen sind (Wohnungstrennwände und -decken, Treppenhauswände usw.) kann der Planungsprozess vor Ausführungsbeginn abgeschlossen werden. Von der Planungsseite wurde daher angestrebt, am bisherigen bauteilbezogenen Schallschutzkonzept festzuhalten.

Von Kreisen der beteiligten Bauphysiker wurde demgegenüber die Auffassung vertreten, dass bauteilbezogene Kenngrößen zur Beschreibung des Schallschutzes nicht ausreichen, weil sie die Wirkung der flankierenden Bauteile und die Geometrie der an das Bauteil angrenzenden Räume nicht ausreichend berücksichtigen. Zur sachgerechten Beschreibung des Schallschutzes soll daher der europäischen Normung folgend die flankierende Wirkung systematisch nachgewiesen werden. Dies führt jedoch dazu, dass der bauakustische Nachweis bei späten Raumänderungsentscheidungen überprüft werden muss. Die europäischen Normen zur Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden sind in Tabelle 25 zusammengestellt.

Norm und Ausgabe	Titel
Normenreihe DIN EN ISO 12354	Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften
-1:2017-11	Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen
-2:2017-11	Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen
-3:2017-11	Teil 3: Luftschalldämmung von Außenbauteilen gegen Außenlärm
-4:2017-11	Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie
-5:2009-10	Teil 5: Installationsgeräusche
-6:2004-04	Teil 6: Schallabsorption in Räumen

Tabelle 25 Übersicht über die europäische Normenreihe DIN EN 12354 zur Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden

Seit dem Jahr 2016 wird parallel zur Neufassung der Norm DIN 4109 auch das bauaufsichtliche Konzept in Deutschland umgestellt. Auf Grundlage der Musterbauordnung [MBO] wird zukünftig die neue Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) [MVVTB:2017] die bisherigen länderweisen Listen der technischen Baubestimmungen ersetzen. In der MVV TB ist der Verweis auf die Norm DIN 4109-1:2016-07 bereits enthalten. Zur Anwendung der MVV TB und länderbezogenen Einführung der neuen Norm DIN 4109 als technische Regel müssen alle 16 Landesbauordnungen angepasst werden.

Tabelle 26 gibt eine Übersicht über die Normenreihe DIN 4109:2016. In der Entwurfsfassung der MVV TB [E VVTB:2016] waren alle diese Normen aufgeführt. Die derzeit vorliegende Fassung der MVV TB [MVVTB:2017] nimmt ausschließlich die Norm DIN 4109-1:2016-07 auf.

Norm und Ausgabe	Titel
DIN 4109	Schallschutz im Hochbau
-1:2016-07	Teil 1: Mindestanforderungen
-2:2016-07	Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
-31:2016-07	Teil 31: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument
-32:2016-07	Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau
-33:2016-07	Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau
-34:2016-07	Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen
-35:2016-07	Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden
-36:2016-07	Teil 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen

Tabelle 26 Bauaufsichtlich relevante Normen zum Mindestschallschutz im Hochbau. Im Entwurf der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen [E VVTB:2016] waren alle aufgeführten Normen als Technische Regeln zum Schallschutz enthalten. In die abschließenden Fassung MVV TB [MVVTB:2017] wurde ausschließlich die Norm DIN 4109-1:2016-07 (oberste Zeile, fett dargestellt) aufgenommen.

Normgemäße Anforderungen an die kennzeichnenden Größen (vgl. Kapitel 4.2.6) werden gestellt in

- Mehrfamilienhäusern,
- Bürogebäuden,
- gemischt genutzten Gebäuden,
- Einfamilienhäusern,
- Reihenhäusern,
- Doppelhäusern,
- Hotels und Beherbergungsstätten,
- Krankenhäusern und Sanatorien,
- Schulen und vergleichbaren Einrichtungen (z. B. Ausbildungsstätten, Kindertagesstätten).

Mit Ausnahme der Einfamilien- und Doppelhäuser werden die genannten Gebäude überwiegend in massiver Bauweise errichtet. In der Praxis steht daher der Nachweis des Schallschutzes in Massivbauten im Vordergrund.

Die Anforderungswerte der Normen DIN 4109:1989 und DIN 4109-1:2016 gelten nur zwischen unterschiedlichen fremden Nutzungseinheiten, z. B. zwischen fremden Wohnungen und/oder zwischen Wohnungen und fremden Arbeitsbereichen. Innerhalb des eigenen Bereiches werden keine Anforderungen gestellt, da die entstehenden Geräusche dem eigenen Einfluss unterliegen. Einzige Ausnahme sind raumluftechnische Anlagen, die nicht vom Bewohner selbst betätigt bzw. in Betrieb gesetzt werden.

Im Vergleich zur 1989er-Fassung der Norm werden die Anforderungen bei Geschosshäusern für die Luftschalldämmung kaum, für die Trittschalldämmung moderat und für Einfamilien-Reihenhäuser und Doppelhäuser teilweise deutlich erhöht. In der Praxis ist die Luftschalldämmung bei den untersten Geschossen von Reihen- und Doppelhäusern aufgrund der Flankenübertragung durch die Bodenplatte geringer, was in den überarbeiteten Anforderungswerten berücksichtigt wird. Gegenüber der 1989er-Fassung wurden auch zusätzliche Anforderungen eingeführt, z. B. an Balkone bei Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume.

Die sogenannten Bauteilkataloge wurden als sechs zusätzliche Teilnormen entwickelt (DIN 4109:2016 Teil 31 bis 36, vgl. Tabelle 26). Sie enthalten Eingangsdaten für den rechnerischen Nachweis des Schallschutzes. Die Bauteilkataloge berücksichtigen den aktuellen wissenschaftlichen Stand, wobei in Teilbereichen noch relativ wenige Quellen vorliegen. Trotz ihres umfassenden Charakters wurden sie in der Praxis kontrovers aufgenommen, weil bislang gut nachvollziehbare tabellarische Zusammenhänge durch komplexe Formeln ausgedrückt werden. Außerdem werden die Spektrumanpassungswerte C und C_{tr} angegeben, die beim Nachweis des Mindestschallschutzes in Deutschland nicht angewendet werden. Grundsätzlich ist die Berücksichtigung vorhandener Frequenzspektren hilfreich. Erfahrungsgemäß führt die Angabe pauschaler Spektrumanpassungswerte eher zur Verwirrung als zu einer tatsächlich verbesserten Situation, sodass von ihrer Verwendung abzuraten ist.

Die fünf Bauteilkataloge wurden einheitlich in die folgenden Abschnitte gegliedert:

- Beschreibung der Bauteilgruppe,
- die Schalldämmung beeinflussende Größen,
- Hinweise für Planung und Ausführung,
- Daten für den rechnerischen Nachweis,
- Herkunft der Daten.

Bei der Einführung der Normenfassung DIN 4109-1:2016-07 als Technische Baubestimmung wird die Anwendung der folgenden nachhallbezogenen Nachweisgrößen ausdrücklich ausgenommen:

- Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$,
- Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$,
- maximaler Standard-Schalldruckpegel $L_{AF,max,nT}$.

Auch die »Empfehlungen für maximale A-bewertete Schalldruckpegel in der eigenen Wohnung, erzeugt von heiztechnischen Anlagen im eigenen Wohnbereich« der Norm DIN 4109-1:2016-07 wurden von der Einführung als Technische Baubestimmung ausgenommen. Die Empfehlungen beziehen sich auf im eigenen Wohnbereich fest installierte technische Schallquellen, die (bei bestimmungsgemäßem Betrieb) nicht vom Bewohner selbst betätigt bzw. in Betrieb gesetzt werden.

Die Fassung 2017 der MVV TB [MVVTB:2017] hat in den zuständigen Kreisen für weitere Verwirrung gesorgt, da der schalltechnische Nachweis des Mindestschallschutzes nicht verbindlich nach DIN 4109-2:2016-07 in Verbindung mit DIN 4109-31:2016-07 bis DIN 4109-36:2016-07 (vgl. Tabelle 26) geführt werden muss – wie in der Entwurfsfassung [E VVTB:2016] – sondern freigestellt wird. Für Bauteile im Massivbau kann nach aktuellem Stand sogar ausdrücklich weiterhin das 1989er-Verfahren nach Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989-11 herangezogen werden. Abgesehen von einigen Änderungen der Anforderungswerte hätte sich damit gegenüber dem 1989er-Stand nichts geändert. Es ist von weiteren Diskussionen und Änderungen auszugehen.

Parallel zur Anpassung des bauaufsichtlichen Konzeptes sind im Januar 2018 die Normen DIN 4109-1 und DIN 4109-2 in neuer Fassung erschienen. Diese werden in der MVV TB bislang nicht berücksichtigt. Die meisten Länder, die auf die MVV TB umgestellt haben, berücksichtigen diese Änderungen und verweisen direkt auf die DIN 4109-1:2018.

Auch wenn der rechnerische Nachweis aus bauaufsichtlicher Sicht weiterhin nach der 1989er-Fassung der Norm 4109 geführt werden kann, ist Planerinnen und Planern zu empfehlen, beim rechnerischen Nachweis vorrangig nach der neuen Fassung DIN 4109-2:2018 zu rechnen und die Ergebnisse ggf. mit der alten Fassung DIN 4109:1989 zu vergleichen, um bauakustisch optimale Lösungen zu erreichen. Die Rechenverfahren der neuen Norm DIN 4109-2:2018 ermöglichen eine präzisere Bewertung, z. B. bei vorhandenen Vorsatzkonstruktionen. Die weitere Entwicklung der MVV TB ist zu beobachten. Bild 46 gibt einen Überblick über die in der bauakustischen Planung anzuwendenden Normen.

Rechtsgrundlage	Bisherige länderweise Listen der Technischen Baubestimmungen, in einigen Ländern noch zu beachten	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), in einigen Ländern bereits umgesetzt	Privatrechtlich vertraglich bei Planungsbeginn zu vereinbaren (Beschaffenheit)
Anwendungsbereich	Mindestschallschutz: Alle Hochbauten, Mindestanforderungen (Gesundheitsschutz)		Erhöhter Schallschutz: Wohnungen, bei Wunsch nach erhöhtem Komfort
Anforderungswerte Norm / Richtlinie	Schallschutz im Hochbau Anforderungen und Nachweise DIN 4109:1989 und DIN 4109/A1:2001 Luftschalldämmung: erf. R'_{w} Trittschalldämmung: zul. $L'_{n,w}$ Gebäude Technische Anl.: $L_{AF,max}$	Schallschutz im Hochbau, Teil 1: Mindestanforderungen DIN 4109-1:2018 Luftschalldämmung: erf. R'_{w} Trittschalldämmung: zul. $L'_{n,w}$ Gebäude Technische Anl.: $L_{AF,max,n}$	Schallschutz von Wohnungen – Kriterien für Planung und Beurteilung VDI Richtlinie 4100:2007 Luftschalldämmung: erf. R'_{w} Trittschalldämmung: zul. $L'_{n,w}$ Gebäude Technische Anl.: $L_{AF,max}$
Rechnerische Nachweise Norm / Richtlinie	Schallschutz im Hochbau Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren Beiblatt 1 zu DIN 4109:1989	Schallschutz im Hochbau, Teil 2: Rechnerische Nachweise DIN 4109-2:2018 + „Bauteilkataloge“: DIN 4109-31: „Rahmendokument“ DIN 4109-32: „Massivbau“ DIN 4109-33: „Holz-, Leicht- und Trockenbau“ DIN 4109-34: „Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen“ DIN 4109-35: „Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden“ DIN 4109-36: „Gebäude Technische Anlagen“	Hinweis zum erhöhten Schallschutz: - Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989 - VDI 4100:2012 werden nicht zur Anwendung empfohlen!

Technische Baubestimmung auf Grundlage von § 3 (3) LBO's

Technische Baubestimmung auf Grundlage von § 85a MBO:2016 und MVV TB

Bild 46 Übersicht über die in der bauakustischen Planung als Technische Baubestimmung anzuwendenden Normen. Aufgrund des stetigen Überganges des bauaufsichtlichen Konzeptes von den bisherigen länderweisen Listen der Technischen Baubestimmungen zu den neuen Verwaltungsvorschriften Technische Baubestimmungen ändert sich der Stand derzeit kontinuierlich.

4.3.2 Luft- und Trittschalldämmung in Gebäuden

Die aktuellen Anforderungen an den Mindestschallschutz sind der Normfassung DIN 4109-1:2018 zu entnehmen. Sie werden auszugsweise in Tabelle 27 dargestellt. Die Norm geht davon aus, dass unter Zugrundelegung eines Grundgeräuschpegels von $L_{AF,eq} = 25$ dB für schutzbedürftige Räume in z.B. Wohnungen, Wohnheimen, Hotels und Krankenhäusern folgende Schutzziele erreicht werden:

- Gesundheitsschutz,
- Vertraulichkeit bei normaler Sprechweise,
- Schutz vor unzumutbaren Belästigungen.

Es kann nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr bzw. als nicht belästigend wahrgenommen werden, auch wenn die in dieser Norm festgelegten Anforderungen erfüllt werden [DIN 4109-1:2018]. Daher besteht die Notwendigkeit zu gegenseitiger Rücksichtnahme. In der Norm finden sich weitere zu beachtende Anwendungshinweise.

Die Anforderungen der Norm gelten nicht

- zum Schutz von Aufenthaltsräumen, in denen infolge ihrer Nutzung nahezu ständig Geräusche mit $L_{AF,95} \geq 40$ dB vorhanden sind,

- gegen Fluglärm, soweit die Schallschutzmaßnahmen durch das FluLärmG (Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm) geregelt sind,
- gegen tieffrequenten Schall nach DIN 45680 (in der Regel, wenn die Differenz $L_{CF} - L_{AF} > 20$ dB beträgt, siehe hierzu Kapitel 4.2.5),
- für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich, ausgenommen der Schutz gegen Geräusche von Anlagen der Raumluftechnik, die vom Nutzer nicht beeinflusst werden können,
- zum Schutz vor Trittschallübertragung und Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen in Küchen, sofern diese nicht als Aufenthaltsräume (Wohnküchen) vorgesehen sind, sowie in Flure, Bäder, Toilettenräume und Nebenräume,
- zum Schutz vor Luftschallübertragung in Küchen, Flure, Bäder, Toilettenräume und Nebenräume, sofern diese nicht als Aufenthaltsräume vorgesehen sind. Eine Absenkung der schalltechnischen Qualität der schallübertragenden Trennbau- teile (z. B. durch Schächte, Kanäle oder reduzierte Bauteildicken) im Bereich dieser Räume im Vergleich zum bemessungsrelevanten Raum ist jedoch nicht zulässig [DIN 4109-1:2018].

Zeile	Bauteile	erf. R'_w [dB]	erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Bemerkungen
a) Decken und Treppen				
1	Decken unter allgemein nutzbaren Dachräumen, z. B. Trockenböden, Abstellräumen und ihren Zugängen	≥ 53	≤ 52	
2	Wohnungstrenndecken (auch Treppen)	≥ 54	$\leq 50^{a,b}$	Wohnungstrenndecken sind Bauteile, die Wohnungen voneinander oder von fremden Arbeitsräumen trennen.
3	Trenndecken (auch Treppen) zwischen fremden Arbeitsräumen bzw. vergleichbaren Nutzungseinheiten	≥ 54	≤ 53	
4	Decken über Kellern, Hausfluren, Treppenräumen unter Aufenthaltsräumen	≥ 52	≤ 50	Die Anforderung an die Trittschall- dämmung gilt für die Trittschallüber- tragung in fremde Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
5	Decken über Durchfahrten, Einfahrten von Sammelgaragen und Ähnliches unter Aufenthaltsräumen	≥ 55	≤ 50	
6	Decken unter/über Spiel- oder ähnlichen Gemeinschaftsräumen	≥ 55	≤ 46	Wegen der verstärkten Übertragung tie- fer Frequenzen können zusätzliche Maß- nahmen zur Schalldämmung erforder- lich sein.
7	Decken unter Terrassen und Loggien über Aufenthaltsräumen	–	≤ 50	bezüglich der Luftschalldämmung gegen Außenlärm s. DIN 4109-1, Abschnitt 7

Zeile	Bauteile	erf. R'_w [dB]	erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Bemerkungen
a) Decken und Treppen (Fortsetzung)				
8	Decken unter Laubengängen	–	≤53	Die Anforderung an die Trittschall- dämmung gilt für die Trittschallüber- tragung in fremde Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen
8.1	Balkone	–	≤58	
9	Decken und Treppen innerhalb von Wohnungen, die sich über zwei Geschosse erstrecken	–	≤50	Die Anforderung an die Trittschall- dämmung gilt für die Trittschallüber- tragung in fremde Aufenthaltsräume, in alle Schallausbreitungsrichtungen.
10	Decken unter Bad und WC ohne/mit Bodenentwässerung	≥54	≤53	
11	Decken unter Hausfluren	–	≤50	
12	Treppenläufe und -podeste	–	≤53	
b) Wände und Türen				
13	Wohnungstrennwände und Wände zwi- schen fremden Arbeitsräumen	≥53	–	Wohnungstrennwände sind Bauteile, die Wohnungen voneinander oder von frem- den Arbeitsräumen trennen.
14	Treppenraumwände und Wände neben Hausfluren	≥53	–	Für Wände mit Türen gilt die Anforderung $R'_w(\text{Wand}) = R_w(\text{Tür}) + 15 \text{ dB}$. Darin bedeutet $R_w(\text{Tür})$ die erforderliche Schalldämmung der Tür nach Zeile 18 oder Zeile 19. Wandbreiten ≤30 cm blei- ben dabei unberücksichtigt.
15	Wände neben Durchfahrten, Sammel- garagen, einschließlich Einfahrten	≥55	–	
16	Wände von Spiel- oder ähnlichen Gemeinschaftsräumen	≥55	–	
17	Schachtwände von Aufzugsanlagen an Aufenthaltsräumen	≥57	–	
18	Türen, die von Hausfluren oder Treppenräumen in geschlossene Flure und Dielen von Wohnungen und Wohn- heimen oder von Arbeitsräumen führen	≥27	–	bei Türen gilt R_w
19	Türen, die von Hausfluren oder Treppenräumen unmittelbar in Aufenthaltsräume – außer Flure und Dielen – von Wohnungen führen	≥37	–	

Zeile	Bauteile	erf. R'_{w} [dB]	erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Bemerkungen
c) zwischen Einfamilien-Reihenhäusern und zwischen Doppelhäusern				
1	Decken	–	≤ 41	Die Anforderung an die Trittschall-dämmung gilt nur für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume in waagerechter oder schräger Richtung.
2	Bodenplatte auf Erdreich bzw. Decke über Kellergeschoss	–	≤ 46	
3	Treppenläufe und -podeste	–	≤ 46	
4	Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, die im untersten Geschoss (erdberührt oder nicht) eines Gebäudes gelegen sind	≥ 59	–	
5	Haustrennwände zu Aufenthaltsräumen, unter denen mindestens ein Geschoss (erdberührt oder nicht) des Gebäudes vorhanden ist	≥ 62	–	
d) in Hotels und Beherbergungsstätten				
1	Decken, einschl. Decken unter Fluren	≥ 54	≤ 50	Die Anforderung an die Trittschall-dämmung gilt für die Trittschallübertragung in Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
2	Decken unter/über Schwimmbädern, Spiel- oder ähnlichen Gemeinschaftsräumen zum Schutz gegenüber Schlafräumen	≥ 55	≤ 46	Wegen verstärkten Entstehens tief-frequenten Schalls können zusätzliche Maßnahmen zur Körperschalldämmung erforderlich sein.
3	Decken unter Bad und WC ohne/mit Bodenentwässerung	≥ 54	≤ 53	Die Anforderung an die Trittschall-dämmung gilt für die Trittschallübertragung in Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
4	Treppenläufe und -podeste	–	≤ 58	keine Anforderungen an Treppenläufe und Zwischenpodeste in Gebäuden mit Aufzug
5	Wände zwischen Übernachtungs-räumen sowie Fluren und Übernachtungsräumen	≥ 47	–	gilt auch für Trennwände mit Türen zwischen fremden Übernachtungsräumen ($R'_{w,res}$)
6	Türen zwischen Fluren und Übernachtungsräumen	≥ 32	–	Bei Türen gilt R_w

Zeile	Bauteile	erf. R'_w [dB]	erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Bemerkungen
e) in Krankenhäusern und Sanatorien				
1	Decken, einschl. Decken unter Fluren	≥ 54	≤ 53	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
2	Decken unter/über Schwimmbädern, Spiel- oder ähnlichen Gemeinschaftsräumen	≥ 55	≤ 46	Wegen verstärkten Entstehens tiefrequenten Schalls können zusätzliche Maßnahmen zur Körperschalldämmung erforderlich sein.
3	Decken unter Bad und WC ohne/mit Bodenentwässerung	≥ 54	≤ 53	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt für die Trittschallübertragung in Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
4	Treppenläufe und -podeste	–	≤ 58	keine Anforderungen an Treppenläufe und Zwischenpodeste in Gebäuden mit Aufzug
5	Wände zwischen Krankenzimmern, Fluren und Krankenzimmern, Untersuchungs- bzw. Sprechzimmern, Fluren und Untersuchungs- bzw. Sprechzimmern, Krankenzimmern und Arbeits- und Pflegeräumen	≥ 47	–	
6	Wände zwischen Räumen mit Anforderungen an erhöhtes Ruhebedürfnis und besondere Vertraulichkeit (Diskretion)	≥ 52	–	
7	Wände zwischen Operations- bzw. Behandlungsräumen, Fluren und Operations- bzw. Behandlungsräumen	≥ 42	–	
8	Wände zwischen Räumen der Intensivpflege, Fluren und Räumen der Intensivpflege	≥ 37	–	

Zeile	Bauteile	erf. R'_w [dB]	erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Bemerkungen
e) in Krankenhäusern und Sanatorien (Fortsetzung)				
9	Türen zwischen Untersuchungs- bzw. Sprechzimmern, Fluren und Untersuchungs- bzw. Sprechzimmern	≥ 37	–	bei Türen gilt R_w
10	Türen zwischen Räumen mit Anforderungen an erhöhtes Ruhebedürfnis und besondere Vertraulichkeit (Diskretion)	≥ 37	–	
11	Türen zwischen Fluren und Krankenräumen, Operations- bzw. Behandlungsräumen, Fluren und Operations- bzw. Behandlungsräumen	≥ 32	–	
f) in Schulen und vergleichbaren Einrichtungen ^c				
1	Decken zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen, Decken unter Fluren	≥ 55	≤ 53	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt für die Trittschallübertragung in Aufenthaltsräumen in alle Schallausbreitungsrichtungen. Zu ähnlichen Räumen gehören auch Räume mit erhöhtem Ruhebedürfnis, z. B. Schlafräume.
2	Decken zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und »lauten Räumen« (z. B., Speiseräume, Cafeterien, Musikräume, Spielräume, Technikzentralen)	≥ 55	≤ 46	Wegen der verstärkten Übertragung tiefer Frequenzen können zusätzlich Maßnahmen zur Körperschalldämmung erforderlich sein.
3	Decken zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und z. B. Sporthallen, Werkräumen	≥ 60	≤ 46	
4	Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen untereinander und zu Fluren	≥ 47	–	Zu ähnlichen Räumen gehören auch Räume mit erhöhtem Ruhebedürfnis, z. B. Schlafräume.
5	Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und Treppenhäusern	≥ 52	–	
6	Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und »lauten Räumen« (z. B. Speiseräume, Cafeterien, Musikräume, Spielräume, Technikzentralen)	≥ 55	–	

Zeile	Bauteile	erf. R'_w [dB]	erf. $L'_{n,w}$ [dB]	Bemerkungen
f) in Schulen und vergleichbaren Einrichtungen ^c (Fortsetzung)				
7	Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und z. B. Sport- hallen, Werkräumen	≥ 60	–	bei Türen gilt R_w
8	Türen zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und Fluren	≥ 32	–	
9	Türen zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen untereinander	≥ 37	–	
R'_w : Anforderung an das bewertete Bauschalldämmmaß, in dB $L'_{n,w}$: Anforderung an den bewerteten Norm-Trittschallpegel, in dB a Im Falle von baulichen Änderungen von vor dem 1. Juli 2016 fertiggestellten Gebäuden liegt die Anforderung bei $L'_{n,w} \leq 53$ dB. b Beim Neubau von Gebäuden mit Deckenkonstruktionen, die DIN 4109-33:2016-07 Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau zuzuordnen sind, liegt die Anforderung bei $L'_{n,w} \leq 53$ dB. c Zu den vergleichbaren Einrichtungen gehören beispielsweise öffentliche Kindertagesstätten.				

Tabelle 27 Übersicht zu den Mindestanforderungen an die Schalldämmung von Decken und Treppen in Mehrfamilien- häusern, Bürogebäuden und in gemischt genutzten Gebäuden nach Tabelle 2 der Norm DIN 4109-1:2018 [DIN 4109-1:2018]. Die Zeilennummern entsprechen der Norm.

Die Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen werden nach der Norm DIN 4109-1:2018 unter Berücksichtigung unterschiedlicher Raumarten oder Nutzungen nach Gleichung 46 berechnet.

$$R'_{w,ges} = L_A - K_{Raumart} \text{ [dB]} \quad (46)$$

$R'_{w,ges}$: gesamtes bewertetes Bauschalldämmmaß der Außenbauteile von schutzbedürftigen Räumen in dB

L_A : maßgeblicher Außenlärmpegel nach DIN 4109-2:2018-01 in dB

$K_{Raumart} = 25$ dB für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien

$K_{Raumart} = 30$ dB für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches

$K_{Raumart} = 35$ dB für Büroräume und Ähnliches

Mindestens einzuhalten sind:

- $R'_{w,ges} = 35$ dB für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien,
- $R'_{w,ges} = 30$ dB für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume, Büroräume und Ähnliches.

4.3.3 Luftschalldämmung von Außenbauteilen

Der Nachweis der Schalldämmung von Außenbauteilen wird im Regelfall von sachkundigen Planern durchgeführt, da insbesondere die Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels L_A besondere Kenntnis erfordert. Es ist zu beachten, dass die Werte L_{DEN} («Tag-Abend-Nacht-Index» in dB) aus online verfügbaren Lärmkarten nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG) mit dem maßgeblichen Außenlärmpegel nicht vergleichbar sind und nicht ohne sachkundige Bewertung herangezogen werden können. Die rechnerische Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels wird in Kapitel 4.9 beschrieben. Sofern für die Einstufung in Lärmpegelbereiche keine anderen Festlegungen, z.B. gesetzliche Vorschriften oder Verwaltungsvorschriften, Bebauungspläne oder Lärmkarten, maßgebend sind, können die Beurteilungspegel nach DIN 18005-1:2002-07 ermittelt werden, wobei zur Bildung des maßgeblichen Außenlärmpegels zu den abgelesenen Werten 3 dB(A) zu addieren sind. Der Zuschlag von 3 dB(A) berücksichtigt die Umrechnung auf die Straßenverkehrsgeräusche als Linienschallquelle. Schalldämmmaße von Bauteilen werden typischerweise in Laborprüfungen mit punktförmigen Schallquellen ermittelt.

Zudem sind nach der Norm DIN 4109-1:2018 weitere Zusammenhänge zu beachten. Das betrifft z. B.

- die Ermittlung des gesamten bewerteten Bauschalldämmmaßes des Außenbauteils $R'_{w,ges}$ unter Berücksichtigung aller Bauteile und Elemente der Fassade und der flankierenden Übertragung. Typischerweise sind Kombinationen aus Außenwand und Fenster/Türen zu berücksichtigen.
- Anforderungen an das gesamte bewertete Bauschalldämmmaß von $R'_{w,ges} > 50$ dB. Hierbei sind die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

4.3.4 Besonders laute Räume

Im Sinne der Norm DIN 4109-1:2018 sind besonders laute Räume

- Räume, in denen der Schalldruckpegel des Luftschalls $L_{AF,max}$ häufig mehr als 75 dB(A) beträgt,
- Räume, in denen häufigere und größere Körperschallanregungen stattfinden als in Wohnungen.

Beispiele sind Räume von Handwerks- und Gewerbebetrieben einschließlich Verkaufsstätten, Gasträume von Gaststätten, Cafés und Imbissstuben, Räume von Kegelbahnen, Technikräume, Küchenräume von Beherbergungsstätten, Krankenhäusern, Sanatorien, Gaststätten (ausgenommen Kleinküchen), klinische Sonderräume (Kernspintomographie), Schwimmbäder, Spiel- und ähnliche Gemeinschaftsräume, Theater, Musik- und Werkräume, Sporthallen, vgl. [DIN 4109-1:2018].

Es sind mindestens Schallschutzmaßnahmen nach den in Tabelle 28 genannten Anforderungen zwischen den besonders lauten Räumen und den schutzbedürftigen Räumen erforderlich.

Zeile	Art der Räume	Bauteile	erf. R'_w für $L_{AF,max}$ = 75...80 [dB] = 81...85 [dB]		bewerteter Norm-Trittschall- pegel $L'_{n,w}$ ^{a),b)} [dB]
1.1	Räume mit besonders lauten gebäudetechnischen Anlagen oder Anlageteilen	Decken, Wände	≥57	≥62	–
1.2		Fußböden	–	–	≤43 ^{c)}
2.1	Betriebsräume von Handwerks- und Gewerbebetrieben, Verkaufsstätten	Decken, Wände	≥57	≥62	–
2.2		Fußböden	–	–	≤43 ^{c)}
3.1	Küchenräume der Küchenanlagen von Beherbergungsstätten, Krankenhäusern, Sanatorien, Gaststätten, Imbissstuben und dergleichen (bis 22.00 Uhr in Betrieb)	Decken, Wände	≥55	–	–
3.2		Fußböden	–	–	≤43
3.3	Küchenräume wie Zeilen 3.1/3.2, jedoch auch nach 22.00 Uhr in Betrieb	Decken, Wände	≥57 ^{d)}	–	–
3.4		Fußböden	–	–	≤33
4.1	Gasträume (bis 22.00 Uhr in Betrieb)	Decken, Wände	≥55	≥57	–
4.2		Fußböden	–	–	≤43
5.1	Gasträume $L_{AF,max} \leq 85$ dB (A) (auch nach 22.00 Uhr in Betrieb)	Decken, Wände	≥62	–	–
5.2		Fußböden	–	–	≤33
6.1	Räume von Kegelbahnen	Decken, Wände	≥67	–	–
6.2		Fußböden Keglerstube	–	–	≤33
		Fußböden Bahn	–	–	≤13
7.1	Gasträume $85 \text{ dB} \leq L_{AF,max} \leq 95$ dB, z. B. mit elektroakustischen Anlagen	Fußböden	≥72	–	–
7.2		Decken, Wände	–	–	≤28

a) jeweils in Richtung der Schallausbreitung
b) Die für Maschinen erforderliche Körperschalldämmung ist mit diesem Wert nicht erfasst; hierfür sind gegebenenfalls weitere Maßnahmen erforderlich. Ebenso kann je nach Art des Betriebes ein niedrigeres $L'_{n,w}$ notwendig sein; dies ist im Einzelfall zu überprüfen. Wegen der verstärkten Übertragung tiefer Frequenzen können zusätzliche Maßnahmen zur Schalldämmung erforderlich sein.
c) nicht erforderlich, wenn geräuscherzeugende Anlagen ausreichend körperschallgedämmt aufgestellt werden; vgl. DIN 4109-1:2018
d) Handelt es sich um Großküchenanlagen und darüberliegende Wohnungen als schutzbedürftige Räume, gilt $R'_w \geq 62$ dB.

Tabelle 28 Anforderungen an die Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zwischen »besonders lauten« und schutzbedürftigen Räumen nach Tabelle 8 der Norm DIN 4109-1:2018 [DIN 4109-1:2018]. Die Zeilennummern entsprechen der Norm.

4.3.5 Gebäudetechnische Anlagen und Gewerbebetriebe

Gebäudetechnische Anlagen sind nach der Norm DIN 4109-1:2018 dem Gebäude dienende

- Versorgungs- und Entsorgungsanlagen,
- Transportanlagen,
- fest eingebaute betriebstechnische Anlagen.

Als gebäudetechnische Anlagen gelten außerdem

- Gemeinschaftswaschanlagen,
- Schwimmanlagen, Saunen und dergleichen,
- Sportanlagen,
- zentrale Staubsauganlagen,
- Garagenanlagen,
- fest eingebaute motorbetriebene außen liegende Sonnenschutzanlagen und Rollläden.

Nicht zu den gebäudetechnischen Anlagen zählen

- Ortsveränderliche Maschinen und Geräte im eigenen Wohnbereich. Bei Geräuschen von Staubsaugern, Waschmaschinen, Küchengeräten und Sportgeräten etc. handelt es sich um Nutzergeräusche.
- gewerblich genutzte Anlagen; diese werden ggf. als baulich mit dem Gebäude verbundener Betrieb nachgewiesen.

In Sonderfällen ist eine Zuordnung und Beurteilung durch Sachverständige erforderlich. Hierzu können beispielsweise lärm erzeugende Briefkastenanlagen, oder Kraftwärmekopplungsanlagen (BHKW) zählen. Letztere können dem Gebäude dienen, gleichzeitig aber auch gewerblich genutzt werden.

Zu den Anforderungen an Armaturen und Geräte der Trinkwasserinstallation (z. B. Spülkästen, Duschköpfe, Druckminderer usw.) s. DIN 4109-1:2018.

Die maximal zulässigen A-bewerteten Schalldruckpegel in fremden schutzbedürftigen Räumen, erzeugt von gebäudetechnischen Anlagen und baulich mit dem Gebäude verbundenen Gewerbebetrieben nach der Norm DIN 4109-1:2018, werden in Tabelle 29 zusammengefasst.

Zeile	Geräuschquellen		maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel dB (A)	
			Wohn- und Schlafräume	Unterrichts- und Arbeitsräume
1	Sanitärtechnik/Wasserinstallationen (Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen gemeinsam)		$L_{AF,max,n} \leq 30^{a),b),c)}$	$L_{AF,max,n} \leq 35^{a),b),c)}$
2	sonstige hausinterne, fest installierte technische Schallquellen der technischen Ausrüstung, Ver- und Entsorgung sowie Garagenanlagen		$L_{AF,max,n} \leq 30^{c)}$	$L_{AF,max,n} \leq 35^{c)}$
3	Gaststätten einschließlich Küchen, Verkaufsstätten, Betriebe u. Ä.	tags	$L_r \leq 35$	$L_r \leq 35$
		6 Uhr bis 22 Uhr	$L_{AF,max} \leq 45$	$L_{AF,max} \leq 45$
		nachts	$L_r \leq 25$	$L_r \leq 35$
4		nach TA Lärm	$L_{AF,max} \leq 35$	$L_{AF,max} \leq 45$
a) Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen, die beim Betätigen von Armaturen und Geräten entstehen (Öffnen, Schließen, Umstellen, Unterbrechen), sind derzeit nicht zu berücksichtigen, vgl. DIN 4109-1:2018.				
b) Voraussetzungen für die Erfüllung des zulässigen Schalldruckpegels: – Die Ausführungsunterlagen müssen die Anforderungen an den Schallschutz berücksichtigen, d. h. für die Bauteile müssen die erforderlichen Schallschutznachweise vorliegen – Außerdem muss die verantwortliche Bauleitung benannt und zu einer Teilabnahme vor Verschließen bzw. Bekleiden der Installation hinzugezogen werden.				
c) Abweichend von DIN EN ISO 10052:2010-10, 6.3.3 wird auf Messung in der lautesten Raumecke verzichtet, vgl. [DIN 4109-4:2016-07].				

Tabelle 29 Maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in fremden schutzbedürftigen Räumen, erzeugt von gebäudetechnischen Anlagen und baulich mit dem Gebäude verbundenen Betrieben nach Tabelle 9 der Norm DIN 4109-1:2018 [DIN 4109-1:2018]. Die Zeilennummern entsprechen der Norm.

4.3.6 Raumluftechnische Anlagen im eigenen Wohnbereich

Bei den im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich fest installierten technischen Schallquellen, die (bei bestimmungsmäßigem Betrieb) nicht vom Bewohner selbst betätigt bzw. in Betrieb gesetzt werden, sind die in Tabelle 30 genannten Anforderungen einzuhalten.

Zeile	Geräuschquellen	maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel dB (A)	
		Wohn- und Schlafräume	Küchen
1	fest installierte technische Schallquellen der Raumlufttechnik im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich	$L_{AF,max,n} \leq 30^{a),b),c),d)}$	$L_{AF,max,n} \leq 33^{a),b),c),d)}$
a) Einzelne, kurzzeitige Geräuschspitzen, die beim Ein- und Ausschalten der Anlagen auftreten, dürfen den Richtwert um maximal 5 dB überschreiten.			
b) Voraussetzungen zur Erfüllung des zulässigen Schalldruckpegels: – Die Ausführungsunterlagen müssen die Anforderungen an den Schallschutz berücksichtigen, d. h. für die Bauteile müssen die erforderlichen Schallschutznachweise vorliegen. – Außerdem muss die verantwortliche Bauleitung benannt und zu einer Teilabnahme vor Verschließen bzw. Bekleiden der Installation hinzugezogen werden.			
c) Abweichend von DIN EN ISO 10052:2010-10, 6.3.3 wird auf Messung in der lautesten Raumecke verzichtet, vgl. [DIN 4109-4:2016-07].			
d) Es sind um 5 dB höhere Werte zulässig, sofern es sich um Dauergeräusche ohne auffällige Einzeltöne handelt.			

Tabelle 30 Anforderungen an maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in schutzbedürftigen Räumen in der eigenen Wohnung, erzeugt von raumluftechnischen Anlagen im eigenen Wohnbereich nach Tabelle 10 der Norm DIN 4109-1:2018 [DIN 4109-1:2018]. Die Zeilennummer entspricht der Norm.

4.4 Erhöhter Schallschutz von Wohnräumen

Aus Komfortgründen wird für Wohnräume in manchen Fällen ein über den Mindestschallschutz hinausgehender, sogenannter erhöhter Schallschutz gewünscht. Typische Fälle sind Gebäude in ruhiger Wohnlage, höherwertiger Wohnraum, Eigentumswohnungen oder auch Reihen- und Doppelhäuser.

Auf die Anwendung von Normwerten für einen erhöhten Schallschutz wird derzeit verzichtet, da Anforderungen individuellen Komforterwartungen unterliegen und sehr unterschiedlich sein können. Komforterwartungen entziehen sich einer Normung. Sie hängen u. a. ab von

- der persönlichen Lebenssituation,
- der individuellen Stressdisposition,
- der Geräuschbelastung der Wohnumgebung.

Die Situation ist ähnlich wie bei der Fahrzeugwahl: Ein Mittelklasseauto mag komfortabel erscheinen, wenn bislang ein Kleinwagen gefahren wurde. Andersherum kann die Mittelklasse unkomfortabel erscheinen, wenn man Oberklassefahrzeuge gewohnt ist. Bei Störungen durch Schall spielen soziale Faktoren eine zusätzliche Rolle, z. B. wird Lärm bei guter Nachbarschaft im Regelfall als weniger störend empfunden.

Da ein erhöhter Schallschutz bei der Planung von Gebäuden nur eine von mehreren möglichen Zielvorstellungen ist, müssen entsprechende Anforderungen bereits bei Planungsbeginn durch den Bauherrn definiert werden. Die Definition sollte sorgfältig erfolgen und privatrechtlich mit dem Planer vereinbart werden, um Planungssicherheit zu erzielen. Erhöhter Schallschutz ist z. B. neben großzügigen, teils zweigeschossigen Räumen, umfangreicher technischer Ausstattung und guter Wärmedämmung nur eine von mehreren Komfortvorstellungen und steht im Widerspruch zu möglichen Budget- und Zeitbegrenzungen (Bild 47). Bei der Planung sind noch weitere Randbedingungen zu berücksichtigen, z. B. durch das Baugrundstück und lokale rechtliche Vorgaben. Bei Umgestaltungen vorhandener Objekte kommen im Einzelfall Einschränkungen durch die Eigenschaften der Bestandskonstruktion hinzu.



Bild 47 Mögliche Zielvorstellungen bei Planungsbeginn eines Gebäudes

Derzeit kann die privatrechtliche Vereinbarung eines erhöhten Schallschutzes auf Grundlage der VDI-Richtlinie 4100, Ausgabe 2007: »Schallschutz von Wohnungen – Kriterien für Planung und Beurteilung« erfolgen [VDI 4100]. Die Richtlinie wird vom Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf herausgegeben. Sie bezieht sich ausschließlich auf den Schallschutz von Wohnräumen, umfasst aber auch Empfehlungen für selbst genutzte Bereiche.

In der Richtlinie wird der subjektiv empfundene Schallschutz für drei Schallschutzstufen (SSt) beschrieben. Die Anforderungen der SSt I entsprechen den kennzeichnenden Größen der Norm DIN 4109:1989 [DIN 4109:1989]. Für die SSt II und III werden höhere Anforderungswerte angegeben. Bei Wunsch nach einem erhöhten Schallschutz wird privatrechtlich häufig die SSt II vereinbart, da die Umsetzung der SSt III zu einem relativ hohen Aufwand führen kann, weil der Schallschutz dann ein maßgebliches Entwurfsziel wird. Die Anforderungen können auch im Geschosswohnungsbau ggf. nur durch bauliche Trennungen analog zu den Haus-trennwänden von Reihenhäusern erreicht werden (»Haus-in-Haus-Konstruktion«). Für nicht schutzbedürftige Räume wie Küchen, Bäder, Toilettenräume, Flure und Nebenräume sind keine Kennwerte für einen erhöhten Schallschutz vorhanden.

Bei nicht ausreichend präzisen Vereinbarungen zum gewünschten Schallschutz können nachträgliche juristische Auseinandersetzungen entstehen. Auch wenn der Mindestschallschutz übertroffen wird, könnte bei Unzufriedenheit behauptet werden, der erreichte Schallschutz sei schlechter als bei einem ausgewählten Vergleichsobjekt und bestimmte Bauteile würden nicht die zu erwartende Beschaffenheit erreichen. Um spätere Auseinandersetzungen über den »geschuldeten Schallschutz« zu vermeiden, wird daher in der VDI-Richtlinie 4100 (Ausgabe 2007) dringend empfohlen, die gewünschte Schallschutzstufe (SSSt) vertraglich festzuschreiben.

Die Kennwerte der Schallschutzstufen nach der VDI-Richtlinie 4100:2007 für Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, Doppel- und Reihenhäuser sowie den eigenen Bereich werden in Tabelle 31 bis Tabelle 34 auszugsweise wiedergegeben. Tabelle 31 gibt eine Übersicht über die jeweils typische Wahrnehmung üblicher Geräusche bei Anwendung der drei Schallschutzstufen. In Wohnhäusern untergebrachte Betriebe werden kritisch gesehen, da sich Störungen, z. B. durch Körperschallanregung oder auch nachts betriebene technische Geräte wie Kühlanlagen, oft nicht vollständig vermeiden lassen. In der VDI-Richtlinie 4100:2007 finden sich weitere Hinweise zur Planung und Umsetzung eines erhöhten Schallschutzes.

Die neuere Fassung der VDI-Richtlinie 4100 (Ausgabe 2012) kann nicht angewendet werden, da sie ausschließlich nachhallzeitbezogene kennzeichnende akustische Größen verwendet, die nicht in die derzeitigen Nachweiskonzepte passen (vgl. Kapitel 4.2.6). Vonseiten der Planerinnen und Planer wird eine neuerliche Überarbeitung der VDI 4100 mit einer Anpassung an die beschriebenen kennzeichnenden Größen der Norm DIN 4109-1:2018 gefordert. Bei einer Überarbeitung wäre auch die Auf-

nahme von Werten für einen erhöhten Schallschutz in weiteren Gebäudetypen wie Hotels und Beherbergungsstätten oder Krankenhäusern hilfreich.

In unterschiedlichen Quellen wird zu Anforderungswerten für einen erhöhten Schallschutz noch auf das Beiblatt 2 zu Norm DIN 4109:1989 Schallschutz im Hochbau; Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich vom November 1989 verwiesen [DIN 4109 Bbl. 2:1989]. Diese Norm wurde durch das Deutsche Institut für Normung bislang nicht zurückgezogen und ist noch verfügbar. Allerdings ist bereits im Juni 2000 ein Entwurf für eine Nachfolgenorm erschienen: DIN 4109-10 Schallschutz im Hochbau – Teil 10: Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz von Wohnungen, Ausgabe 2000-06. Dieser Normentwurf war als Ersatz für das Beiblatt 2 zur Norm DIN 4109:1989 vorgesehen, wurde jedoch bereits im Juni 2005 ersatzlos zurückgezogen. In Fachkreisen wird die Anwendung des Beiblattes 2 zum erhöhten Schallschutz inzwischen nicht mehr zur Anwendung empfohlen.

Um die Lücke zu schließen, ist eine DIN-Norm zu Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz in schutzbedürftigen Räumen in Wohngebäuden in Vorbereitung. Mit dem Standard DIN SPEC 91314:2017-01 [DIN SPEC 91314:] wurde eine erste Basis für eine entsprechende Norm vorgestellt. Der Standard ist nicht Teil des Deutschen Normenwerks. DIN SPEC werden im Unterschied zu Normen in einem verkürzten Verfahren ohne zwingende Einbeziehung aller interessierten Kreise und nicht zwingend konsensbasiert erstellt.

Ziel des Standards ist es, Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz bereitzustellen, die über die Üblichkeit hinausgehende Gebäudequalitäten – unter Beachtung technischer und wirtschaftlicher Aspekte – sicherstellen. Die Anforderungen gelten für einen erhöhten Schallschutz in schutzbedürftigen Räumen bei Neubauten von Wohngebäuden. Bei baulichen Änderungen bestehender Wohngebäude ist im Einzelfall zu untersuchen, ob die Kennwerte teilweise oder vollständig angewendet werden können. Die in der DIN SPEC 91314:2017 vorgeschlagenen Kennwerte werden in den Tabelle 32 und Tabelle 33 im Vergleich zur VDI-Richtlinie 4100:2007 auszugsweise dargestellt.

Zeile	Art der Geräuschemission	Wahrnehmung der Immission aus der Nachbarwohnung (abendlicher A-bewerteter Grundgeräuschpegel von 20 dB, üblich große Aufenthaltsräume)		
		SSt I	SSt II	SSt III
2	laute Sprache	verstehbar	im Allgemeinen verstehbar	im Allgemeinen nicht verstehbar
3	Sprache mit angehobener Sprechweise	im Allgemeinen verstehbar	im Allgemeinen nicht verstehbar	nicht verstehbar
4	Sprache mit normaler Sprechweise	im Allgemeinen nicht verstehbar	nicht verstehbar	nicht hörbar
5	Gehgeräusche	im Allgemeinen störend	im Allgemeinen nicht mehr störend	nicht störend
6	Geräusche aus haustechnischen Anlagen	unzumutbare Belästigungen werden im Allgemeinen vermieden	gelegentlich störend	nicht oder nur selten störend
7	Hausmusik, laut eingestellte Rundfunk- und Fernsehgeräte, Partys	deutlich hörbar		im Allgemeinen hörbar

Tabelle 31 Wahrnehmung üblicher Geräusche aus Nachbarwohnungen und Zuordnung zu drei Schallschutzstufen (SSt) nach Tabelle 1 der VDI-Richtlinie 4100:2007 [VDI 4100]. Die Zeilennummern entsprechen der Richtlinie.

Luftschalldämmung	Mindestschallschutz		Erhöhter Schallschutz	
	DIN 4109-1:2018	VDI 4100:2007, Schallschutzstufe II	DIN SPEC 91314:2017	
Wohnungstrennwände	$R'_w \geq 53 \text{ dB}$	$R'_w \geq 56 \text{ dB}$	$R'_w \geq 55 \text{ dB}$	
Treppenraumwände	$R'_w \geq 53 \text{ dB}$	$R'_w \geq 56 \text{ dB}$	$R'_w \geq 55 \text{ dB}$	
Wohnungseingangstüren (Whg. mit Flur)	$R_w \geq 27 \text{ dB}$	gesonderte Berechnung	$R_w \geq 32 \text{ dB}$	
Wohnungseingangstüren (Whg. ohne Flur)	$R_w \geq 37 \text{ dB}$	gesonderte Berechnung	$R_w \geq 42 \text{ dB}$	
Wohnungstrenndecken	$R'_w \geq 54 \text{ dB}$	$R'_w \geq 57 \text{ dB}$	$R'_w \geq 56 \text{ dB}$	
Trittschalldämmung	Mindestschallschutz		Erhöhter Schallschutz	
	DIN 4109-1:2018	VDI 4100:2007, Schallschutzstufe II	DIN SPEC 91314:2017	
Decken zwischen Wohnungen	$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	
Treppenläufe und -podeste	$L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 53 \dots 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	
Balkone über Wohnungen	$L'_{n,w} \leq 58 \text{ dB}$	nicht enthalten	$L'_{n,w} \leq 49 \text{ dB}$	

Geräusche aus gebäude-technischen Anlagen	Mindestschallschutz	Erhöhter Schallschutz	
	DIN 4109-1:2018	VDI 4100:2007, Schallschutzstufe II	DIN SPEC 91314:2017
Sanitärtechnik/ Wasserinstallationen	gesonderte Anforderungen	gesonderte Anforderungen	$L_{AFmax,n} \leq 27 \text{ dB}$
Sonstige Technische Gebäudeausrüstung	$L_{AFmax,n} \leq 30 \text{ dB}$	$L_{AFmax,n} \leq 30 \text{ dB}$	$L_{AFmax,n} \leq 27 \text{ dB}$

Tabelle 32 Mehrfamilienhäuser: Auszugsweiser Vergleich der Anforderungswerte für den Mindestschallschutz der Norm DIN 4109-1:2018 mit den Kennwerten für einen erhöhten Schallschutz nach der VDI-Richtlinie 4100:2007 (Schallschutzstufe II) und DIN SPEC 91314:2017.

Luftschalldämmung	Mindestschallschutz	Erhöhter Schallschutz	
	DIN 4109-1:2018	VDI 4100:2007, Schallschutzstufe II	DIN SPEC 91314:2017
Haustrennwände (über mind. einem Geschoss)	$R'_w \geq 62 \text{ dB}$	$R'_w \geq 63 \text{ dB}$	$R'_w \geq 67 \text{ dB}$
Haustrennwände (unterstes Geschoss)	$R'_w \geq 59 \text{ dB}$	$R'_w \geq 63 \text{ dB}$	$R'_w \geq 62 \text{ dB}$
Trittschalldämmung	Mindestschallschutz	Erhöhter Schallschutz	
	DIN 4109-1:2018	VDI 4100:2007, Schallschutzstufe II	DIN SPEC 91314:2017
Decken (über mind. einem Geschoss)	$L'_{n,w} \leq 41 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 41 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 38 \text{ dB}$
Decken (unterstes Geschoss)	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 41 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 41 \text{ dB}$
Treppen (über mind. einem Geschoss)	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 38 \text{ dB}$
Treppen (unterstes Geschoss)	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 46 \text{ dB}$	$L'_{n,w} \leq 41 \text{ dB}$
Geräusche aus gebäude-technischen Anlagen	Mindestschallschutz	Erhöhter Schallschutz	
	DIN 4109-1:2018	VDI 4100:2007, Schallschutzstufe II	DIN SPEC 91314:2017
Sanitärtechnik/ Wasserinstallationen	gesonderte Anforderungen	gesonderte Anforderungen	$L_{AFmax,n} \leq 25 \text{ dB}$
Sonstige Technische Gebäudeausrüstung	$L_{AFmax,n} \leq 30 \text{ dB}$	$L_{AFmax,n} \leq 25 \text{ dB}$	$L_{AFmax,n} \leq 25 \text{ dB}$

Tabelle 33 Einfamilien-Reihen- und Einfamilien-Doppelhäuser: Auszugsweiser Vergleich der Anforderungswerte für den Mindestschallschutz der Norm DIN 4109-1:2018 mit den Kennwerten für einen erhöhten Schallschutz nach der VDI-Richtlinie 4100:2007 (Schallschutzstufe II) und DIN SPEC 91314:2017.

Der Vergleich der Tabelle 32 und Tabelle 33 zeigt, dass die Anforderungen des Standards DIN SPEC 91314 und der Richtlinie VDI 4100:2007 in etwa auf gleichem Niveau liegen. In der DIN SPEC ist die Anforderung an die Luftschalldämmung von Wänden und Decken geringfügig niedriger, wodurch marktübliche Bauweisen in wirtschaftlicher Hinsicht berücksichtigt werden. Der Standard enthält keine Kennwerte für selbst genutzte Bereiche.

Zeile			kennzeichnende akustische Größe ^{e)}	SSt II	SSt III
1	Luftschalldämmung	zwischen Aufenthaltsräumen	horizontal d)	R'_w in dB	≥ 48
2			vertikal		≥ 55
3	Trittschalldämmung	zwischen Aufenthaltsräumen oder zwischen Aufenthaltsräumen und Erschließungs- bzw. Gemeinschaftsräumen	vertikal, horizontal oder diagonal	$L'_{n,w}$ in dB	$\leq 46^{a),h)}$
4	Geräusche von	Wasserinstallationen (Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen gemeinsam)	L_{in} in dB (A-bewertet)	$\leq 30^{b),c)}$	$\leq 30^{b),c)}$
5	Geräusche von	sonstigen haustechnischen Anlagen	$L_{A,max}$ in dB	$\leq 30^{c)}$	$\leq 25^{c)}$
7	Luftschalldämmung gegen von außen eindringende Geräusche		$R'_{w,res}$ in dB	f)	g)

a) gilt auch zwischen Aufenthaltsräumen und Treppen bzw. -podesten

b) Werden Abwassergeräusche gesondert (ohne die zugehörigen Armaturengeräusche) wahrgenommen, sind wegen der erhöhten Lästigkeit dieser Geräusche um 5 dB niedrigere A-bewertete Werte einzuhalten.

c) Nutzergeräusche sollten durch Maßnahmen nach VDI 4100:2007, Abschnitt 7.2 Haustechnische Anlagen so weit wie möglich gemindert werden. Wegen fehlender Messverfahren werden jedoch keine Kennwerte angegeben.

d) Wände ohne Türen

e) s. Begriffsdefinitionen in der Norm DIN 4109:1989 [DIN 4109:1989]

f) $R'_{w,res}$ nach der Norm DIN 4109:1989 [DIN 4109:1989]

g) $R'_{w,res}$ nach der Norm DIN 4109:1989 +5 dB

h) Die Trittschallminderung weich federnder Bodenbeläge kann angerechnet werden.

i) Bei »offener« Grundrissgestaltung (z. B. offene Küche zum Wohnzimmer, nicht geschlossenes Treppenhaus etc.) können die Kennwerte nicht eingehalten werden.

Tabelle 34 Kennwerte für Schallschutzstufen (SSt) innerhalb des eigenen Bereiches (EB; selbst genutzte Wohnung oder Haus) nach Tabelle 4 der VDI-Richtlinie 4100:2007 [VDI 4100]. Die Zeilennummern entsprechen der Richtlinie. Die SSt I richtet sich nach den Empfehlungen der Norm Bbl. 2 zu DIN 4109:1989 [DIN 4109 Bbl. 2:1989], auf ihre Darstellung wird hier verzichtet.

Die Richtlinie VDI 4100:2007 nennt für den Luftschalldämmung gegen von außen eindringende Geräusche für die SSt I und II die gleichen Kennwerte wie die Norm DIN 4109:1989 (vgl. Kapitel 4.3.3). Die SSt II führt daher beim Schutz gegen Außen-

Lärm nicht zu höheren Anforderungswerten gegenüber dem Mindestschallschutz nach der 4109er-Norm. Für die SSt III sind die Werte der Norm DIN 4109 (vgl. Tabelle 2 und 3) um 5 dB(A) zu erhöhen.

Für die differenzierte Festlegung von Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz zum Einhalten eines vorgegebenen Innenschallpegels wird in der Richtlinie VDI 4100:2007 die folgende Berechnungsgleichung angegeben (Gl. 47):

$$R'_{w,res} = L_a - L_i + 10 \cdot \lg \left(\frac{S_A}{A} \right) + K + W \text{ [dB]} \quad (47)$$

$R'_{w,res}$: notwendiges resultierendes bewertetes Bauschalldämmmaß der gesamten Außenfläche in dB

L_a : maßgeblicher A-bewerteter Außenlärmpegel (Schalldruckpegel) in dB(A)

L_i : maßgeblicher A-bewerteter Innenschalldruckpegel, der im zu beurteilenden Raum nicht überschritten werden soll, in dB(A)

S_A : vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m²

A : äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m²
(in der Regel ist $A = 0,8 \cdot \text{Grundfläche } S_G$ des Raumes)

K : Korrektursummand nach Tabelle 35, in dB (aus Richtlinie VDI 2719 [VDI 2719])

W : Winkelkorrektur in dB (im Allgemeinen zu vernachlässigen; in Sonderfällen s. VDI 4100:2007)

Zeile	Lärmquelle	K in dB
1	Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	0
2	übrige Bahnstrecken	3
3	andere Straßen	3
4	innerstädtische Straßen	6
5	Verkehrsflughäfen	6

Tabelle 35 Korrektursummand K für verschiedene Lärmbelastungsarten nach Richtlinie VDI 4100:2007 [VDI 4100]. Die Zeilennummern entsprechen der Richtlinie.

Die Berechnungsformel (Gl. 47) ermöglicht die Festlegung einzelfallbezogener Anforderungswerte bei bekanntem Außenlärmpegel und vorgegebenem Innenschalldruckpegel. Bei Wunsch nach erhöhtem Schutz gegen Außenlärm wird entsprechend ein höchstzulässiger Schalldruckpegel im Innenraum definiert, der nicht überschritten werden soll. Als Anhaltswert kann davon ausgegangen werden, dass ein ungestörter Schlaf bei mittleren Schalldruckpegeln von unter 25 dB(A) am Ohr möglich ist. Es ist dann zu prüfen, wie der gewünschte Innenpegel abhängig von Lärmumgebung und weiteren Randbedingungen durch die Außenbauteile erreicht werden kann. In der Richtlinie VDI 4100:2007 wird hierzu ein genaueres Berechnungsverfahren für die Schalldämmwerte von Fenstern und Türen angegeben.

Bei hoher Außenschalldämmung ist zu beachten, dass Geräusche aus dem Gebäudeinneren stärker wahrgenommen werden. Daher ist das bauakustische Gesamtkonzept auf einen erforderlichen niedrigen Innenpegel hin zu überprüfen.

Die pauschale Berücksichtigung der Frequenzspektren unterschiedlicher Lärmarten mit dem Korrektursummanden K ist für Planungszwecke angemessen. Für die optimale bauakustische Auslegung der Außenbauteile spielt das im Einzelfall zugrunde liegende Frequenzspektrum eine große Rolle, insbesondere bei den Fenstern und zweischaligen Außenkonstruktionen. Eine frequenzbezogene Dimensionierung kann durch sachkundige Planer oder Planerinnen vorgenommen werden. Frequenzabhängige Dämmwerte können Messprotokollen entnommen werden, sofern die Hersteller diese zur Verfügung stellen.

Da Messprotokolle nicht immer vorliegen, wird vonseiten der Bauphysiker seit längerem gefordert, den Frequenzbezug bei der Angabe des resultierenden bewerteten Bauschalldämmmaßes pauschal zu berücksichtigen. Hierzu wurde die Anwendung der Spektrumanpassungswerte C und C_{tr} vorgeschlagen. In Deutschland werden Spektrumanpassungswerte bei der Beurteilung des Schalldämmmaßes auf Grundlage der Norm DIN 4109 grundsätzlich nicht angewendet. Die Verwendung pauschaler Spektrumanpassungswerte führt in der Praxis häufig zu Verwirrung, da die Anforderungskonzepte derzeit nicht darauf ausgelegt sind. Von der Verwendung ist daher auch für die Planung einer erhöhten Schalldämmung von Außenbauteilen derzeit abzuraten.

4.5 Physikalische Grundlagen der Schalldämmung

4.5.1 Vorbemerkung

Das Prinzip der Luft- und Trittschalldämmung bei der Schallausbreitung in Gebäuden wird in Kapitel 4.2 erläutert. Im Folgenden wird der Einfluss der Bauteile beschrieben. Dieser hängt von den Eigenschaften der Bauteile bzw. Bauprodukte und ihrer Konstruktion ab. Bauakustisch ist insbesondere zwischen einschaligen und mehrschaligen Bauteilen zu unterscheiden (vgl. Kapitel 4.1). Hierbei ist das Schwingungsverhalten maßgebend:

- Einschalige Bauteile weisen eine homogene Struktur auf. Sie können aus mehreren Schichten bestehen, wenn diese schubfest verbunden sind und bei Anregung gleichförmig wie ein Bauteil schwingen.
- Mehrschalige Bauteile bestehen aus zwei oder mehr Schalen, die unabhängig voneinander schwingen können, aber durch eine Luftschicht oder weiche Dämmschicht physikalisch gekoppelt sind (Masse-Feder-System). Bei Anregung einer der beiden Schalen übertragen sich die Schwingungen durch den Kopplungseffekt auf die Nachbarschale.

In diesem Kapitel kann nur auf ausgewählte Grundlagen eingegangen werden, die für das Planungsverständnis von besonderer Bedeutung sind. Die physikalischen Zusammenhänge werden vertiefend z. B. bei Gösele [Gösele 1997] und Höfker [Höfker 2017] behandelt. Planungsrelevante Detailinformationen finden sich in den Normen der DIN 4109er-Reihe.

4.5.2 Luftschalldämmung einschaliger Bauteile

Maßgebend für die Schalldämmung einschaliger Wände oder Decken sind ihre Masse und vorhandene Undichtigkeiten. Bei Undichtigkeiten stehen die Luftmassen der angrenzenden Räume in direkter Verbindung, sodass eine unmittelbare Luftschallübertragung erfolgen kann. Beispiele sind offene Stoßfugen unverputzter gemauerter Wände oder nicht abgedichtete Stöße und Anschlüsse. Undichtigkeiten können die Schalldämmung der Bauteile erheblich reduzieren, auch wenn sie nur in Teilbereichen vorliegen (z. B. unverputzter Sockelbereich, Schachtanschlüsse, Fugen zwischen Fensterrahmen und Baukörper, nachträgliche Bohrlöcher, Spalt unter Tür usw.). Bei der rechnerischen Ermittlung der Schalldämmung wird von ausreichend dichten Bauteilen ausgegangen (»fugendichter Aufbau«). Hierzu sind auf Grundlage der Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen Fugen zwischen Bauteilen typischerweise ausreichend abzudichten, z. B. beim Einbau von Fenstern mit Dämmstoffen vollständig auszufüllen [DIN 18355]. Gemauerte Wände sind zumindest einseitig durch einen vollflächig haftenden Putz bzw. durch eine entsprechende Beschichtung gegen unmittelbaren Schalldurchgang abzudichten [DIN 4109-32:2016].

Zu den einschaligen Bauteilen zählen nach der Norm DIN 4109-32:2016 z. B.

- Mauerwerk, Beton, Leichtbeton, Porenbeton oder andere mineralische Baustoffe, die aus einer Schale bestehen,
- mit Beton verfülltes Füllsteinmauerwerk, wenn die Verfüllsteine vollständig verfüllt sind und keine integrierten Schichten aus wärmedämmendem Material enthalten sind,
- Wände mit unmittelbar aufgebrachtem Putz nach DIN EN 998-1 [DIN EN 9981] oder mit geeigneten Beschichtungen,
- Stahlbetondecken, Stahlleichtbetondecken und Fertigteildecken aus unterschiedlichen Baustoffen. Hohlkörperdecken werden wie einschalige Bauteile derselben flächenbezogenen Masse behandelt, vgl. [DIN 4109-32:2016]. Schwimmende Estriche und Unterdecken sind als Vorsatzkonstruktionen nach DIN 4109-34:2016 [DIN 4109-34:2016] zu berücksichtigen.

Beim rechnerischen Nachweis ist die flächenbezogene Masse die maßgebliche Eingangsgröße. Bild 48 zeigt das rechnerische bewertete Bauschalldämmmaß

$R'_{w,r}$ nach Beiblatt 1 der Norm DIN 4109:1989 und das bewertete Schalldämmmaß R_w nach Norm DIN 4109-32:2016 als Funktion der flächenbezogenen Bauteilmasse. Die Anwendungshinweise in den Normen sind zu beachten.

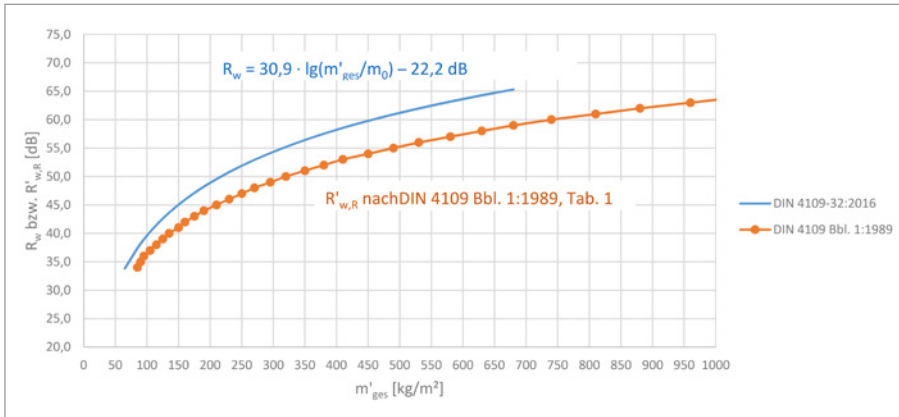


Bild 48 Masseverhalten massiver einschaliger Wände. Rechnerisches bewertetes Bauschalldämmmaß $R'_{w,r}$ nach Beiblatt 1 der Norm DIN 4109:1989 und bewertetes Schalldämmmaß R_w nach Norm DIN 4109-32:2016 als Funktion der flächenbezogenen Bauteilmasse

Einen zusätzlichen Einfluss auf die Schwingungsanregung homogener massiver einschaliger Bauteile hat die Biegesteifigkeit. Diese hängt vom E-Modul, von der Bauteilstärke und den Plattenabmessungen sowie von den Randanschlüssen (Auflagerungsbedingungen) ab. Grundsätzlich nimmt die Schalldämmung homogener massiver einschaliger Bauteile mit der Frequenz zu. Abhängig von Rohdichte, E-Modul und Bauteilstärke lässt sich eine Grenzfrequenz f_g (»Koinzidenzgrenzfrequenz«) ermitteln, bei der sich die Luftschalldämmung vermindert (Gl. 48) [DIN 4109-32:2016].

$$f_g = 6,4 \cdot 10^7 \cdot \frac{1}{h} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}} \text{ [Hz]} \quad (48)$$

- f_g : Grenzfrequenz bei homogenen Platten in Hz
- h : Dicke der Platte in mm
- ρ : Dichte des Plattenmaterials in kg/m^3
- E : Elastizitätsmodul in N/m^2

Die Grenzfrequenz nimmt mit steigendem E-Modul bzw. steigender Dicke ab und mit steigender Rohdichte zu. Beispielsweise liegt die Grenzfrequenz bei 11,5 cm starkem Mauerwerk aus Kalksand-Planelementen bei etwa 220 Hz, bei gleichem Mauerwerk mit 24 cm Stärke bei etwa 100 Hz. In der Nähe dieser Frequenzen liegt jeweils ein Dämmungsminimum.

Bei massiven Bauteilen sollte die Grenzfrequenz daher möglichst niedrig sein. Die Norm DIN 4109-32:2016 empfiehlt für plattenförmige Bauteile aus Beton, Leichtbeton oder Mauerwerk mit flächenbezogenen Massen von mindestens 150 kg/m^2 Werte von unter 200 Hz.

Bei dünnen Platten hingegen ist eine möglichst hohe Grenzfrequenz günstig. Eine 12,5 mm starke Gummiplatte hat aufgrund ihres geringeren E-Moduls eine bessere Schalldämmung als eine Gipskartonplatte gleicher Stärke. Nach Norm DIN 4109-32:2016 ist bei plattenförmigen Bauteilen aus Beton, Leichtbeton, Mauerwerk und Gips mit flächenbezogenen Massen zwischen etwa 20 kg/m^2 und 100 kg/m^2 eine Grenzfrequenz im Frequenzbereich 200 Hz bis 2000 Hz ungünstig.

Die Einbaubedingungen, z. B. kraftschlüssig oder durch Randdämmstreifen entkoppelt, spielen in beiden Fällen eine große Rolle (s. hierzu [DIN 41093-2:2016]).

4.5.3 Luftschalldämmung mehrschaliger Bauteile

Zu den mehrschaligen Bauteilen zählen z. B.

- massive Wände mit Vorsatzkonstruktionen (z. B. Vorsatzschalen oder Wärmedämmverbundsysteme) [DIN 4109-32:2016],
- Haustrennwände mit zwei massiven biegesteifen Schalen und massive Außenwände mit Verblendschale [DIN 4109-32:2016],
- entsprechende Konstruktionen des Holz-, Leicht- und Trockenbaus [DIN 4109-33:2016],
- Vorsatzkonstruktionen [DIN 4109-34:2016].

Durch zweischalige Bauteile lässt sich bei insgesamt geringerer Masse eine bessere Schalldämmung erreichen als bei massiven Wänden. Dieses gilt insbesondere für die Bauteile des Holz-, Leicht- und Trockenbaus. Beispielsweise erreichen Metallständerwände mit Gipsplatten bei entsprechender Konstruktion rechnerisch ein bewertetes Schalldämmmaß R_w bis zu 61 dB [DIN 4109-34:2017]. Bei einschaligen homogenen Wänden wäre hierzu eine flächenbezogene Bauteilmasse von mehr als 720 kg/m^2 erforderlich (Bild 48).

Die schalldämmende Wirkung von mehrschaligen Wänden hängt von der Schallübertragung durch den Zwischenraum und über die festen Verbindungen ab. Physikalisch besteht eine zweischalige Wand aus zwei Massen, die durch einen luftgefüllten Zwischenraum miteinander verbunden sind. Der Zwischenraum kann zusätzlich mit weichem Dämmmaterial gefüllt sein. Insgesamt handelt es sich um ein schwingungsfähiges System mit einer eingepprägten Eigenfrequenz f_0 (auch: Resonanzfrequenz oder Doppelwandresonanzfrequenz f_R).

Für Vorsatzkonstruktionen, die direkt auf dem Grundbauteil über eine Dämmschicht (ohne Verwendung von Stützen oder Lattungen) befestigt werden, wird die Resonanzfrequenz f_0 in Hz gemäß [DIN 4109-34:2016] wie folgt berechnet:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ [Hz]} \quad (49)$$

- f_0 : Resonanzfrequenz in Hz
 s' : dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht nach DIN EN 290521 in MN/m³
 m'_1 : flächenbezogene Masse des Grundbauteils in kg/m²
 m'_2 : flächenbezogene Masse der Bekleidung der Vorsatzkonstruktion in kg/m²

Bei frei stehenden Vorsatzkonstruktionen, die mit Blechprofilen oder Holzständern erstellt werden, darf nach [DIN 4109-34:2016] (Gl. 50) anstelle von (Gl. 49) angewendet werden:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{\frac{0,08}{d} \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \text{ [Hz]} \quad (50)$$

- f_0 : Resonanzfrequenz in Hz
 d : Hohlraumtiefe in m
 m'_1 : flächenbezogene Masse des Grundbauteils in kg/m²
 m'_2 : flächenbezogene Masse der Bekleidung der Vorsatzkonstruktion in kg/m²

Hierbei muss sichergestellt sein, dass durch geeignete konstruktive Ausbildung keine körperschallübertragenden Verbindungen zwischen dem Ständerwerk und dem Grundbauteil bestehen und der Hohlraum zu mindestens 70 % mit einem porösen Dämmstoff mit einem längenbezogenen Strömungswiderstand r von $5 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2 \leq r \leq 50 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$ nach DIN EN 29053 gefüllt ist.

Die Eigenfrequenz sinkt mit zunehmender flächenbezogener Masse und bei geringerer dynamischer Steifigkeit bzw. bei zunehmender Hohlraumtiefe, vgl. (Gl. 49) und (Gl. 50). Sie hat eine große Bedeutung für die Schalldämmung, da die Luftschalldämmung zweischaliger Bauteile nur für Frequenzen oberhalb ihrer Eigenfrequenz f_0 besser ist als die von einschaligen Bauteilen mit gleicher flächenbezogener Masse. Bei der Resonanzfrequenz selbst können die Amplituden der angeregten Schale größer werden als die Amplitude der Anregung. Bei Resonanz ist die Luftschalldämmung mehrschaliger Bauteile schlechter als die von einschaligen Bauteilen mit gleicher flächenbezogener Masse.

Für eine gute Luftschalldämmung ist daher eine Eigenfrequenz von unter 100 Hz anzustreben, die unterhalb des bauakustisch betrachteten Frequenzbereichs liegt. Als geeignete Konstruktion werden biegeeweiche Schalen verwendet. Biegeeweiche Bauteile sind z. B. [DIN 4109 Bbl. 2:1989]:

- Gipskartonplatten mit einer Dicke <18 mm,
- Putzschalen, z. B. auf Rohr- oder Drahtgewebe,
- Holzwolle-Leichtbauplatten, einseitig verputzt, auf Unterkonstruktion oder frei stehend,
- Faserzementplatten mit einer Dicke < 10 mm,
- Glasplatten mit einer Dicke < 8 mm,
- Stahlblech mit einer Dicke < 2 mm,
- Spanplatten mit einer Dicke < 16 mm.

Die Schalldämmung ist umso besser, je weniger starr die Verbindung der beiden Schalen durch die Unterkonstruktion ist. Nach DIN 4109-34:2016 werden Schalen als biegeweich bezeichnet, wenn deren Koinzidenzgrenzfrequenz größer als etwa 1600 Hz ist, vgl. (Gl. 48).

Die Norm DIN 4109-34:2016 [DIN 4109-34:2016] gibt für einseitig angebrachte Vorsatzkonstruktionen an einschaligen massiven Bauteilen die bewertete Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR_w in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz f_0 entsprechend Bild 49 an. Bei Resonanzfrequenzen zwischen 30 und 160 Hz hängt die Verbesserung ΔR_w auch vom vorhandenen bewerteten Schalldämmmaß R_w ab. Oberhalb von 160 Hz ist sie ein pauschaler Wert als Funktion der Resonanzfrequenz.

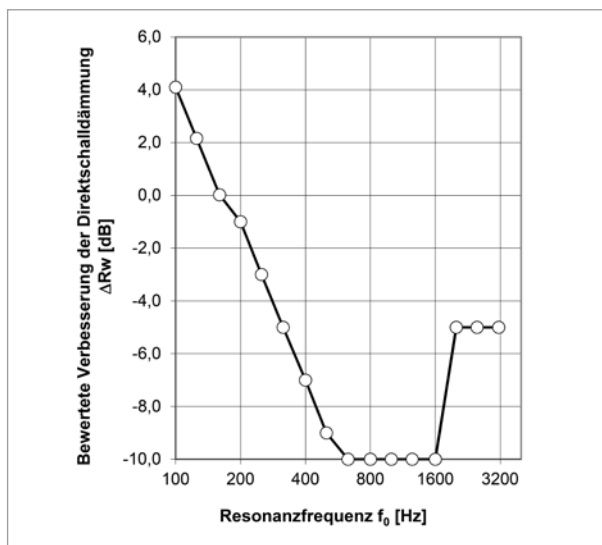


Bild 49 Bewertete Verbesserung der Direktschalldämmung durch Vorsatzkonstruktionen in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz f_0 nach Tabelle 1 der Norm DIN 4 109-34:2016. Bei den Frequenzen zwischen 100 und 160 Hz wird in der Grafik ein vorhandenes bewertetes Schalldämmmaß $R_w = 60,6$ dB angenommen, vgl. [DIN 4 109-34:2 016].

4.5.4 Trittschalldämmung

Die Trittschalldämmung einschaliger Decken nimmt mit der Masse und der Biegesteifigkeit zu [DIN 4109-32:2016]. Vorhandene Hohlräume können die Trittschalldämmung deutlich reduzieren. Dies gilt sowohl für bauartbedingte Hohlräume (z. B. bei Ziegeldecken oder Stahlbetonhohlplatten) als auch für nachträgliche Durchdringungen (Kernbohrungen für Versorgungsleitungen usw.).

Massive einschalige Stahlbetondecken mit einer Stärke von 20 cm erreichen einen bewerteten Norm-Trittschallpegel von etwa $L'_{n,w} = 70$ dB. Die Mindestanforderung nach der Norm DIN 4109-1:2018 beträgt für Wohnungstrenndecken $L'_{n,w} \leq 50$ dB.

Der Wertevergleich zeigt, dass eine ausreichende Trittschalldämmung bei üblichen Massivdecken durch die flächenbezogene Masse alleine nicht erreicht werden kann. Hierzu ist ein schwimmender Estrich erforderlich, der das Eindringen von Trittschall in die Decke verhindert. Der schwimmende Estrich muss vollständig von der restlichen Baukonstruktion getrennt werden und schallbrückenfrei auf einer geeigneten Dämmschicht (Trittschalldämmung) eingebaut werden. Anforderungen an schwimmende Estriche werden in den Normen DIN 18560-2 [DIN 18560-2] und DIN 18353 (VOB Teil C: Estricharbeiten) [DIN 18353] definiert. Schwimmende Estriche werden zunehmend als Heizestriche ausgeführt. Im Sinne der Norm DIN 4109:2016 gehören schwimmende Estriche zu den sogenannten Deckenauflagen.

Schallbrücken entstehen bei schwimmenden Estrichen insbesondere durch

- unplanmäßige Rohrleitungen auf der Massivdecke,
- Hohlstellen unter der Dämmschicht,
- Fugen an den Dämmschichtstößen durch nicht sachgerechte Verlegung (besonders bei schiefwinkligen Grundrissen),
- fehlende Randdämmstreifen (schalldämmende Randstreifen sind an Wänden und allen aufgehenden Bauteilen, z. B. auch Türzargen, Rohrleitungen usw. erforderlich),
- verschobene oder nicht sachgerecht verlegte Randdämmstreifen,
- unzureichende elastische Fuge im Übergang zwischen Fußbodenbelag und Wandfliesen (Sockelfliesen).

Nur in wenigen Fällen ist keine vollständige Trennung möglich, z. B. bei Abläufen von Duschen oder Badewannen. Schallbrücken lassen sich nachträglich nur mit großem Aufwand lokalisieren und entfernen. Daher sollten Dämmschicht und Randdämmstreifen vor dem Estricheinbau durch die Fachbauleitung kontrolliert werden. Bild 50 zeigt eine entsprechende Situation: Der Randdämmstreifen im Bereich der Türleibung sollte hier nachgebessert werden, um eine Schallbrücke zu vermeiden. Nach dem Estricheinbau ist eine Kontrolle nicht mehr möglich. Besonders schallbrückenanfällig sind schiefwinklige Grundrisse.



Bild 50 Einbau eines Heiz-
estrichs: Zur Vermeidung
von Schallbrücken sollten
Trittschalldämmung und
Randdämmstreifen vor dem
Estricheinbau durch die
Fachbauleitung kontrolliert
werden.

Rechenwerte für den Nachweis schwimmender Estriche werden in der Norm DIN 4109-34 angegeben. Die bewertete Trittschallminderung ΔL_w von schwimmenden Zement-, Calciumsulfat-, Calciumsulfatfließ-, Magnesia- und Kunstharzestrichen hängt von der dynamischen Steifigkeit der Trittschall-Dämmschicht und der flächenbezogenen Masse der Estrichplatte ab. Erreichbar ist eine bewertete Trittschallminderung ΔL_w zwischen etwa 20 und 38 dB. Maßgebend sind in der Praxis Eigenschaften und Stärke der Dämmschicht, da sich die flächenbezogenen Massen der Decke und des Estrichs nur in Grenzen variieren lassen. Bei massiven Wohnbauten hängt die Trittschalldämmung außerdem ganz wesentlich von der Ausführungsqualität des schwimmenden Estrichs ab.

In der Norm DIN 4109-34 werden zusätzliche Rechenwerte für Bodenbeläge auf schwimmendem Estrich bzw. Massivdecken angegeben. Sogenannte weichfedernde Beläge, z. B. textile Fußbodenbeläge, können die Trittschalldämmung durch Lärminderung deutlich verbessern. Allerdings sind Bodenbeläge typischerweise leicht austauschbar und unterliegen dem Nutzereinfluss.

Daher dürfen leicht austauschbare Bodenbeläge beim Nachweis im Wohnungsbau grundsätzlich nicht angerechnet werden. Innerhalb von Wohnräumen können sie nur zusätzlich und auf freiwilliger Basis zur Verbesserung beitragen. In bestimmten Bestandssituationen können sie abhängig von Nutzungsanforderungen und brandschutztechnischen Vorschriften die Belästigung durch Trittschall reduzieren, z. B. auf Erschließungsflächen oder Treppenpodesten.

Die Trittschalldämmung kann auch durch eine untergehängte biegeeweiche Schale verbessert werden. Die Wirkung entsprechender »Unterdecken« ist jedoch begrenzt, weil Körperschall auf die flankierenden Bauteile übertragen und von diesen als Luftschall abgestrahlt wird [DIN 4109-32:2016]. Beim rechnerischen Nachweis der Trittschalldämmung nach Norm DIN 4109-2, Abschnitt 4.3.2.1.1, darf die

Verminderung der Trittschallübertragung bei Unterdecken durch einen Korrekturwert berücksichtigt werden. Voraussetzung ist, dass die Unterdecke eine bewertete Verbesserung der Luftschalldämmung von $\Delta R_w \geq 10$ dB erreicht.

Eine Massivdecke mit schwimmendem Estrich zählt zu den zweischaligen Konstruktionen. Aufgrund der Frequenzabhängigkeit der Schalldämmung ist wiederum der Resonanzeffekt zu beachten. Resonanzen bei schwimmenden Estrichen werden als Estrichdröhnen bezeichnet und können sehr störend sein, sogar im Senderaum selbst. Kinder haben oftmals ein Gespür dafür, an welchen Stellen der Boden bei kräftigem Auftreten besonders laut klingt. Leider lässt sich das Estrichdröhnen aufgrund der zweischaligen Konstruktionsweise physikalisch nicht verhindern. Es tritt bei tieferen Frequenzen unterhalb von 160 Hz auf und kann durch Messung des bewerteten Norm-Trittschallpegels bei sorgfältiger Erfassung der tieffrequenten Schallanteile frequenzabhängig erkannt werden. Auch bei Wohnungstrenndecken mit ausreichender Mindest-Trittschalldämmung kann Estrichdröhnen auftreten. Da es praktisch kaum möglich ist, die Resonanzfrequenz des Estrichs rechnerisch präzise zu ermitteln und für den Dröhneffekt auch die Abmessungen der Deckenplatte eine Rolle spielen, stellt Estrichdröhnen derzeit ein ungelöstes Problem dar.

Rechenbeispiel nach (Gl. 49):

- flächenbezogene Estrichmasse (6,5 cm Zementestrich): 130 kg/m^2
- flächenbezogene Deckenmasse (20 cm Stahlbeton): 480 kg/m^2
- dynamische Steifigkeit der Dämmschicht: $s' = 30 \text{ MN/m}^3$
- Dämmschichtstärke: 4,5 cm

Es folgt nach Gleichung 49:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{30 \cdot \left(\frac{1}{130} + \frac{1}{480} \right)} = 87 \text{ [Hz]}$$

Hierbei handelt es sich nur um eine Abschätzung der Resonanzfrequenz. Die Dämmschichtstärke wird nicht berücksichtigt. Die dynamische Steifigkeit der Dämmschicht wird im Labor an quadratischen Proben (20 cm Länge) mit abgeglichenen Oberflächen zwischen Prüfplatten bestimmt. In der Praxis liegen abweichende Eigenschaften der Kontaktflächen vor. Oftmals werden Dämmschichten mehrlagig mit versetzten Stößen verlegt. Verbleibende Luftanteile können dann die dynamische Steifigkeit verändern. In der Norm DIN 4109-34:2016 werden Rechenhilfen zur rechnerischen Ermittlung der resultierenden dynamischen Steifigkeit s' zweier übereinanderliegender Trittschall-Dämmschichten angegeben.

Auch bei schwimmenden Estrichen sollte die Resonanzfrequenz so niedrig wie möglich eingestellt werden. Hierfür ist eine Dämmschicht mit möglichst geringer dynamischer Steifigkeit und ausreichender Stärke anzuordnen. Die Eigenschaften der gewählten Dämmschicht sollten bei Anlieferung sorgfältig kontrolliert werden,

da die akustische Produktspezifikation in manchen Fällen schlecht nachvollziehbar ist. Die Lieferscheine sollten zu Dokumentationszwecken archiviert werden.

Die Berechnung der Trittschalldämmung von Holzbalkendecken und anderen leichten Decken kann im Prinzip auch nach den Normen DIN 4109-2:2018 und den Bauteilkatalogen erfolgen. Aufgrund der vielfältigen konstruktiven Eigenschaften von schwimmenden Estrichen auf Holzbalkendecken ist ein rechnerischer Nachweis häufig schwierig und möglicherweise unpräzise. In diesem Fall sollte auf Messergebnisse zurückgegriffen werden. Gleiches gilt allgemein auch für Bestandskonstruktionen.

4.5.5 Rechnerisches Nachweiskonzept der DIN 4109-2:2018

Die Luftschalldämmung in Gebäuden wird nach der Norm DIN 4109-2:2018 für folgende Bauweisen nach Gleichung 51 berechnet:

- Massivbau,
- Gebäude mit zweischaliger massiver Haustrennwand (Doppel- und Reihenhäuser),
- Holz-, Leicht- und Trockenbau,
- Skelettbau und Mischbauweisen.

$$R'_{w} = -10 \cdot \lg \left[10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right] [\text{dB}] \quad (51)$$

$R_{Dd,w}$ ist das Direktschalldämmmaß für das Trennbauteil. $R_{Ff,w}$, $R_{Df,w}$ und $R_{Fd,w}$ sind die Flankenschalldämmmaße. Im 2016/18er-Nachweiskonzept wird der Einfluss des Schallschutzes der flankierenden Übertragung (Flankendämmung) systematisch auf allen Übertragungswegen berücksichtigt. Bei üblicher Situation mit einem Trennbauteil und vier flankierenden Bauteilen sind ein Direktschalldämmmaß und 12 flankierende Übertragungen zu berücksichtigen. Für jeden Übertragungsweg ist ein Schall- bzw. Flankendämmmaß zu ermitteln [DIN 4109-2:2018]. In Bild 51 findet sich dazu eine Übersicht. Bei der Berechnung werden alle in dB angegebenen Größen auf eine Nachkommastelle gerundet.

Die jeweils benötigten bewerteten Schalldämmmaße $R_{i,w}$ und $R_{j,w}$ werden einzeln als Direktschalldämmmaß berechnet. Vorhandene Verbesserungen durch Vorsatzschalen werden durch $\Delta R_{ij,w}$ erfasst.

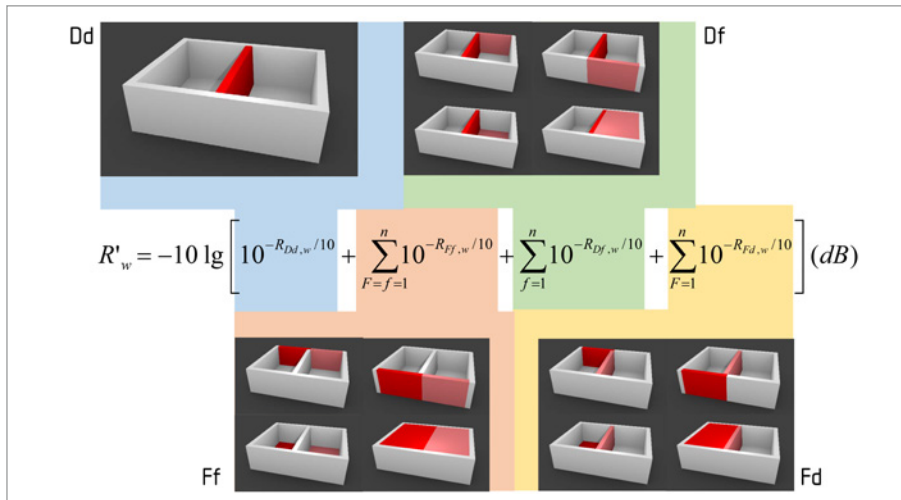


Bild 51 Übersicht zur Ermittlung der resultierenden Schalldämmung R'_w unter Berücksichtigung der flankierenden Übertragung. Die Buchstabenkombinationen Dd, Df, Ff und Fd kennzeichnen die verschiedenen Schallübertragungswege, wobei der Buchstabe f für ein flankierendes Bauteil, der Buchstabe d für das trennende Bauteil steht. Großbuchstaben kennzeichnen das angeregte Bauteil im Senderaum, Kleinbuchstaben das abstrahlende Bauteil im Empfangsraum [DIN 4109-2:2018].

Das Direktschalldämmmaß $R_{Dd,w}$ für die Luftschallübertragung im Massivbau wird nach der Norm DIN 4109-2:2018, Abschnitt 4.2.2, durch die nachfolgende Gleichung aus dem bewerteten Schalldämmmaß für das trennende Bauteil ermittelt:

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} \text{ [dB]} \quad (52)$$

- $R_{Dd,w}$: bewertetes Schalldämmmaß für den direkten Schallübertragungsweg in dB
 $R_{s,w}$: bewertetes Schalldämmmaß des trennenden massiven Bauteils in dB
 $\Delta R_{Dd,w}$: gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämmmaßes durch zusätzlich angebrachte Vorsatzkonstruktionen auf der Sende- und/oder Empfangsseite des trennenden Bauteils in dB

Die Ermittlung der flächenbezogenen Masse von Mauerwerk (einschließlich der Mörtelfugen) erfolgt nach der Norm DIN 4109-32, Abschnitt 4.1.4.1 aus der Rohdichteklasse.

Für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel und einer Rohdichteklasse (RDK) > 1,0 gilt:

$$\rho_w = 1000 \cdot \text{RDK} - 100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (\text{RDK} > 1,0) \quad (53)$$

Der Einfluss von ein- oder beidseitig aufgetragenen Putzschichten wird berücksichtigt, indem die flächenbezogene Masse der Putzschichten zur flächenbezogenen Masse des unverputzten Bauteils addiert wird (Gl. 54).

$$m'_{\text{ges}} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz,ges}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right] \quad (\text{RDK} > 1,0) \quad (54)$$

m'_{ges} : flächenbezogene Masse des verputzten Bauteils in kg/m^2

m'_{Wand} : flächenbezogene Masse des unverputzten Bauteils in kg/m^2

$m'_{\text{Putz,ges}}$: gesamte flächenbezogene Masse der vorhandenen Putzschichten in kg/m^2

Gemäß Norm DIN 4109-32:2016, Abschnitt 4.1.4.1.5, sind für Putze die folgenden Rohdichten zu verwenden:

- Gips- und Dünnlagenputze: $\rho_{\text{Putz}} = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Kalk- und Kalkzementputze: $\rho_{\text{Putz}} = 1600 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Leichtputze: $\rho_{\text{Putz}} = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Wärmedämmputze: $\rho_{\text{Putz}} = 250 \text{ kg}/\text{m}^3$

Bei bewehrten Massivdecken ist zu beachten, dass für die Berechnung der flächenbezogenen Masse bei Normalbeton eine Rohdichte von $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$ anzusetzen ist. Im Bereich der Tragwerksplanung sind für die Lastermittlung von bewehrtem Normalbeton $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ anzunehmen [DIN EN 1991-1-1]. Tatsächlich ist die Rohdichte von bewehrtem Normalbeton häufig etwas geringer, sodass für den Nachweis der Schalldämmung die Rohdichte $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$ auf der sicheren Seite liegt. Für Zementestrich sind $2000 \text{ kg}/\text{m}^3$ anzusetzen.

Das bewertete Schalldämmmaß R_w wird für Beton sowie für Mauerwerk aus Betonsteinen, Kalksandsteinen und Mauerziegeln nach Abschnitt 4.1.4.2 der Norm DIN 4109-32:2016 nach Gleichung 55 berechnet, vgl. auch Bild 48:

$$R_w = 30,9 \cdot \lg \left(\frac{m'_{\text{ges}}}{m'_0} \right) - 22,2 \text{ [dB]} \quad (55)$$

R_w : bewertetes Schalldämmmaß in dB

m'_{ges} : flächenbezogene Masse des Bauteils mit $65 \text{ kg}/\text{m}^2 < m'_{\text{ges}} < 720 \text{ kg}/\text{m}^2$ in kg/m^2

m'_0 : Bezugsgröße, mit $m'_0 = 1 \text{ kg}/\text{m}^2$

Gleichung 55 wird im massiven Wohnungsbau häufig benötigt. Sie gilt nicht für Mauerziegel mit einer Rohdichteklasse $> 2,0$. Wenn z. B. Kalksand-Planelemente mit höheren Rohdichteklassen verwendet werden sollen, sind Angaben zur Berechnung von R_w durch den Hersteller erforderlich.

Die Flankendämmung ist systematisch auf allen Wegen zu erfassen. Bei massiven Bauteilen erfolgt der Nachweis nach den Normen DIN 4109-2:2016 und DIN 4109-32:2016 durch die Berechnung des Flankendämmmaßes $R_{ij,w}$ nach (Gl. 56).

$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \text{ [dB]} \quad (56)$$

- $R_{ij,w}$: bewertetes Flankendämmmaß für den Schallübertragungsweg vom Bauteil (i) auf das Bauteil (j) in dB
- $R_{i,w}$: bewertetes Schalldämmmaß des flankierenden massiven Bauteils im Senderaum in dB
- $R_{j,w}$: bewertetes Schalldämmmaß des flankierenden Bauteils im Empfangsraum in dB
- $\Delta R_{ij,w}$: gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämmmaßes durch zusätzlich angebrachte Vorsatzkonstruktionen auf dem Sende- (i) und/oder Empfangsbauteil (j) des betrachteten Übertragungsweges, in dB; es sind nur die raumseitig angebrachten Vorsatzkonstruktionen zu berücksichtigen
- K_{ij} : Stoßstellendämmmaß auf dem Übertragungsweg ij in dB
- S_s : Fläche des trennenden Bauteils, die beiden Räumen gemeinsam ist in m^2
- l_f : gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungsstelle zwischen dem trennenden und dem flankierenden Bauteil in m
- l_0 : Bezugskopplungslänge; $l_0 = 1 \text{ m}$

Die Formel beschreibt das Flankendämmmaß $R_{ij,w}$ für die Übertragung vom Bauteil i im Senderaum auf das Bauteil j im Empfangsraum. Die Flankendämmung ist abhängig vom Schalldämmmaß für die direkte Luftschallübertragung der beiden Bauteile auf dem Übertragungsweg R_w , von der Verbesserung durch Vorsatzkonstruktionen ΔR_w (z. B. schwimmender Estrich) und dem neu eingeführten Stoßstellendämmmaß K. Die Indizes ij in Gleichung 57 stehen allgemein für die Übertragungswege Df, Fd und Ff, vgl. Bild 51. Geometrisch steigt die Flankendämmung mit zunehmender Fläche S_s des Trennbauteils an und sinkt mit zunehmender Kopplungslänge l_f .

Das Stoßstellendämmmaß K_{ij} wurde als neue Nachweisgröße eingeführt. An Stoßstellen kommt es aufgrund von Änderungen im Ausbreitungsweg zur Reflexion von Körperschall und damit zu einer Verminderung der Schallübertragung. Stoßstellen im Sinne der Norm DIN 4109-32:2016 sind Materialwechsel, elastische Zwischenschichten, Querschnittsänderungen und Bauteilverbindungen.

Da die Flankenübertragung im Nachweiskonzept der 2016/2018er-Fassung der Norm DIN 4109 systematisch rechnerisch erfasst wird, ist die Berücksichtigung der Stoßstellenwirkung folgerichtig. Die Norm DIN 4109-32 definiert vier prinzipielle Stoßstellenarten, für die das Dämmmaß auf Grundlage einer Hilfsgröße M berechnet werden kann (Bild 52).

Die tatsächliche Stoßstellendämmung hängt von der Bauausführung ab (z. B. Verband oder Stumpfstoß im Mauerwerksbau usw.). Hierdurch ergeben sich die folgenden Probleme beim rechnerischen Nachweis:

- Die Bauausführung kann zum Zeitpunkt des bauakustischen Nachweises typischerweise nur angenommen werden. Das tatsächliche Stoßstellendämmmaß kann von den Rechenergebnissen abweichen.
- Auch bei vorgegebenen Lösungen kann es in der Bauausführung zu Änderungen kommen (wirtschaftlichere Bauweise, Bauprodukte nicht lieferbar usw.), sodass die Rechenannahmen zur Stoßstellendämmung im Nachhinein unpräzise oder sogar unzutreffend sind.

Planerinnen und Planer sollten diese Zusammenhänge berücksichtigen und von Annahmen ausgehen, die auf der sicheren Seite liegen.

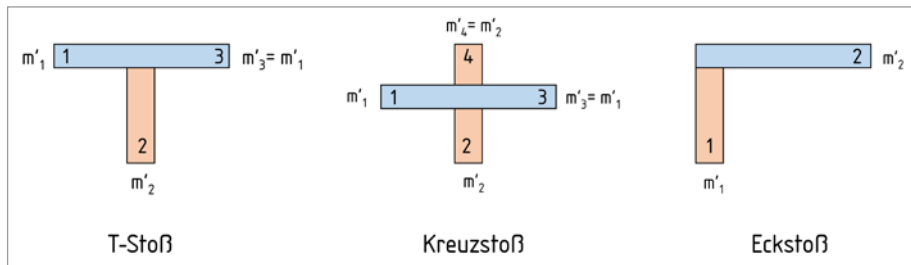


Bild 52 Stoßstellen mit Bezeichnungen nach DIN 4109-32:2016

Tabelle 36 fasst die Berechnungsformeln für das Stoßstellendämmmaß K_{ij} zusammen. Der Schallausbreitungsweg wird entsprechend Bild 52 durch die Indizes 12 bzw. 13 beschrieben.

Stoßstellenart	Berechnung Stoßstellendämmmaß K_{ij}
Ecke	$K_{12} = 2,7 + 2,7 \cdot M^2$ (dB)
Dickenwechsel	$K_{12} = 5 \cdot M^2 - 5$ dB (dB)
T-Stoß	$K_{12} = 4,7 + 5,7 \cdot M^2$ (dB) $K_{13} = 5,7 + 14,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2$ (dB), für $M < 0,215$ $K_{13} = 8 + 6,8 \cdot M$ (dB), für $M \geq 0,215$
Kreuzstoß	$K_{12} = 5,7 + 15,4 \cdot M^2$ (dB) $K_{13} = 8,7 + 17,1 \cdot M + 5,7 \cdot M^2$ (dB), für $M < 0,182$ $K_{13} = 9,6 + 11 \cdot M$ (dB), für $M \geq 0,182$

Tabelle 36 Berechnung des Stoßstellendämmmaßes K_{ij} für Stoßstellen mit biegesteifer Verbindung massiver homogener Bauteile in Abhängigkeit von der Stoßstellenart nach Norm DIN 4109-32:2016, Abschnitt 5.2.4.1

Die Hilfsgröße M zur Berechnung des Stoßstellendämmmaßes wird nach Gleichung 57 berechnet

$$M = \lg \left(\frac{m'_{\perp,i}}{m'_i} \right) [\text{dB}] \quad (57)$$

- M : Hilfsgröße zur Berechnung des Stoßstellendämmmaßes
 m'_i : flächenbezogene Masse des Bauteils i im Übertragungsweg ij in kg/m^2
 $m'_{\perp,i}$: flächenbezogene Masse des anderen die Stoßstelle bildenden Bauteils senkrecht dazu in kg/m^2

Beim Nachweis ist entlang des Schallweges systematisch zu prüfen, welches Bauteil senkrecht anschließt. Bei der Berechnung der Stoßstellendämmung wird davon ausgegangen, dass die Fortsetzung des Bauteils nach der Stoßstelle die gleiche flächenbezogene Masse aufweist. Dieses betrifft z. B. den T-Stoß in Bild 52: Auf dem Weg 12 ist m_3 als $m'_{\perp,i}$ anzusetzen. Die flächenbezogene Masse m'_2 wird ignoriert und gleich m'_1 gesetzt. Abschnitt 5.2.4.1.6 der Norm DIN 4109-32 gibt weiterführende Hinweise zur idealisierten Behandlung von abknickenden T-Stößen und von Stoßstellen mit Bauteilen unterschiedlicher flächenbezogener Massen. Hierbei werden zum Stoßstellendämmmaß auf idealisierten Wegen 3 dB zugeschlagen bzw. abgezogen. Die Komplexität und Fehleranfälligkeit dieses Nachweisschrittes hat zu einiger Kritik vonseiten der Planerinnen und Planer geführt, zumal Bauteilverbindungen im Massivbau in vielen Fällen nur bedingt biegesteif sind, z. B. bei der Stumpfstoßtechnik. Im Gegensatz zu den flächenbezogenen Massenverhältnissen wird dieser Einfluss nicht betrachtet.

Der Mindestwert für K_{ij} beträgt nach Abschnitt 4.2.2.2 der Norm DIN 4109-2:2018 (Gl. 58):

$$K_{ij,\min} = 10 \cdot \lg \left[l_f \cdot l_0 \cdot \left(\frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_j} \right) \right] [\text{dB}] \quad (58)$$

- $K_{ij,\min}$: anzusetzendes minimales Stoßstellendämmmaß auf dem Übertragungsweg ij in dB
 l_f : gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungsstelle zwischen dem trennenden und dem flankierenden Bauteil in m
 l_0 : Bezugskopplungslänge; $l_0 = 1 \text{ m}$
 S_i : Fläche des angeregten Bauteils im Senderaum in m^2
 S_j : Fläche des abstrahlenden Bauteils im Empfangsraum in m^2

Hat das flankierende Bauteil sehr wenig oder gar keine bauliche Berührung mit dem trennenden Bauteil, so ist K_{Ff} gleich diesem Mindestwert anzunehmen und die Übertragungswege F_d und D_f sind zu vernachlässigen [DIN 4109-2:2018]. Der Mindestwert berücksichtigt das rein geometrische Verhältnis der angrenzenden Flächen. Setzt man z. B. die Raumhöhe h als Kopplungslänge an und berechnet daraus zwei angrenzende Wandflächen $S_1 = h \cdot l_1$ und $S_2 = h \cdot l_2$, ergibt sich durch Einsetzen in die Gleichung 59:

$$K_{ij,min} = 10 \cdot \lg \left[h \cdot \left(\frac{1}{h \cdot l_1} + \frac{1}{h \cdot l_2} \right) \right] = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right) [\text{dB}]$$

Der Mindestwert für K_{ij} hängt bei konstanter Kopplungslänge daher nur von den Raumabmessungen ab. Das Diagramm in Bild 53 verdeutlicht die Auswirkung des Mindestwertes bei einer konstanten Kopplungslänge von 2,625 m und einer angeregten Fläche $S_1 = 13,15 \text{ m}^2$. Für ein Flächenverhältnis S_2/S_1 von 0,5 bis 1,5 (abstrahlende Fläche $S_2 = 6,6$ bis $19,7 \text{ m}^2$) ergeben sich negative Werte für $K_{ij,min}$.

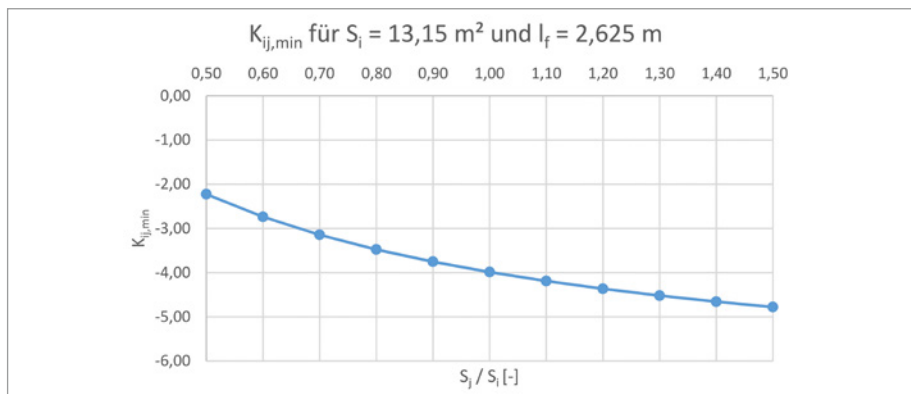


Bild 53 Darstellung des geometrischen Mindestwertes des Stoßstellendämmmaßes $K_{ij,min}$ für eine angeregte Fläche $S_1 = 13,15 \text{ m}^2$ und eine abstrahlende Fläche $S_2 = 6,6$ bis $19,7 \text{ m}^2$ bei einer Flankenlänge l_f von 2,625 m

4.6 Rechnerische Nachweise

4.6.1 Vorbemerkung

Zum Nachweis des Mindestschallschutzes in Massivbauten auf Grundlage der 1989er-Fassung der Norm DIN 4109 [DIN 4109:1989] werden bauteilbezogene Nachweise an den maßgebenden Stellen geführt. Hierbei handelt es sich um die Systemgrenzen zwischen unterschiedlichen fremden Nutzungseinheiten, zu gemeinschaftlichen Erschließungsflächen und zum Außenlärm.

Typischerweise werden Wohnungstrennwände, Decken, Treppenhauswände, Treppen und Podeste, Wohnungseingangstüren und Außenwände nachgewiesen. Der Nachweis nach Beiblatt 1 zu Norm DIN 4109:1989 [DIN 4109 Bbl. 1:1989] ist unabhängig von der Raumaufteilung innerhalb der Systemgrenzen und wird üblicherweise während der Genehmigungsplanung geführt. Flankierende Bauteile und Vorsatzkonstruktionen werden durch pauschale Korrekturwerte berücksichtigt.

Auf Grundlage der 2016/18er-Fassung der Norm DIN 4109-1 [DIN 4109-1:2018] wird der Mindestschallschutz in Massivbauten ebenfalls bauteilbezogen an den maßgebenden Systemgrenzen nachgewiesen. Allerdings ist die vorhandene Raumgeometrie nach der Norm DIN 4109-2:2018 [DIN 4109-2:2018] sowie den Bauteilkatalogen bei der erforderlichen systematischen Berechnung der Flankendämmung zu berücksichtigen. Der Nachweis typischer massiver Mehrfamilienwohngebäude oder anderer Gebäudetypen ist daher zukünftig nicht mehr unabhängig von der Raumaufteilung innerhalb der Systemgrenzen. Beim Nachweis ist die abschließende Grundrissgestaltung zu berücksichtigen. Dies war bisher nur in Gebäuden in Skelett- und Holzbauart erforderlich.

Im Wohnungsbau werden flexible Grundrisse angestrebt: Die Anzahl tragender Wände wird minimiert, die Raumaufteilung innerhalb der Wohnungen erfolgt u. a. durch leichte Trennwände. Ziel ist eine möglichst hohe Funktionalität der Grundrisse. Außerdem können leichte Trennwände kostengünstiger sein als massive Wände. Tragwerksplanerisch werden leichte, unbelastete Trennwände bis zu einer Höchstlast von 5 kN je Meter Wandlänge pauschal durch einen Zuschlag zur Nutzlast (Trennwandzuschlag) abgedeckt und müssen nicht einzeln nachgewiesen werden [DIN EN 1991-1-1/NA]. Daher können sie sehr flexibel eingebaut werden. Wohneinheiten lassen sich dann bei Kauf oder (Erst-)Vermietung an unterschiedliche Nutzungsbedürfnisse anpassen, was die Vermarktungschancen erhöht. Auf gleicher Grundrissfläche können mehrere getrennte Räume für Familien oder offene Raumfolgen für Singles realisiert werden. Leichte Trennwände lassen sich nachträglich mit relativ geringem Aufwand einbauen oder entfernen. Immobilien können hierdurch besser an zukünftige Nutzererwartungen angepasst werden.

Tragende Wände werden an den bauakustischen Systemgrenzen zwischen fremden Wohnungen und zwischen Wohnungen und Treppenhäusern angeordnet. In typischen Wohngebäuden mit vier bis fünf Geschossen werden ihre Abmessungen überwiegend durch die erforderliche Schalldämmung und weniger durch tragwerksplanerische Anforderungen vorgegeben. Anordnung und Abmessungen der tragenden Wände werden in der Genehmigungsplanung [HOAI] festgelegt. Da die Position der leichten Trennwände in der statischen Berechnung nicht festgelegt werden muss, kann die endgültige Raumaufteilung in der Ausführungsphase erfolgen. Elektro- und Sanitärplanung sind hierbei entsprechend zu koordinieren. Eine entsprechende Planung ermöglicht z. B. auch, eine große Wohnung nachträglich mit geringem Aufwand in zwei kleinere Wohnungen zu verändern.

Trotz bauteilbezogener Kennwerte ist das Nachweiskonzept der neuen Norm DIN 4109-2:2018 wegen des Raumgeometriebezuges insbesondere beim Nachweis von Mehrfamilienhäusern nicht unproblematisch: Lage, Größe und Nutzung von Räumen können aufgrund des Änderungsbedarfes und durch die schrittweise Weiterentwicklung des Entwurfes üblicherweise nicht bereits im Vorentwurf abschließend festgelegt werden. Zunächst werden die räumlichen Möglichkeiten sowie Erschließungszonen und Systemgrenzen definiert. Die Räume werden häufig erst zu einem möglichst späten Zeitpunkt an die Nutzerwünsche angepasst.

Wenn die Systemgrenzen für den Nachweis nicht ausreichen, ist die bauakustische Planung parallel zur Gebäudeplanung fortlaufend zu aktualisieren. Da der Schallschutz nur eines von mehreren Entwurfszielen ist und zur Bearbeitung häufig externe Sachverständige herangezogen werden, entsteht ein Mehraufwand. Möglicherweise lässt sich die bauakustische Planung im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung des Planungsprozesses zukünftig einfacher integrieren.

Bei Gebäuden in Skelett- und Holzbauart wurde der Einfluss der flankierenden Bauteile bereits in der alten Norm DIN 4109:1989 durch Ansatz des bewerteten Schall-Längsdämmmaßes berücksichtigt. Hierbei wird von tabellierten Labor-Schall-Längsdämmmaßen ausgegangen, die Tabellen entnommen werden. Die tatsächlich am Bau erreichte Schalldämmung hängt von Montagedetails und weiteren Einflussfaktoren (z. B. Schächte, Dämmebenen usw.) ab. Die Genauigkeit der rechnerischen Ermittlung der Schalldämmung in Skelett- und Holzbauten ist daher häufig begrenzt. Entsprechend wird die Schalldämmung bei Bedarf durch bauakustische Messung überprüft. In der Praxis werden marktübliche Bauweisen angewendet, für die inzwischen ausreichende Erfahrungen vorliegen. Das Konzept des Nachweises der Flankendämmung wurde in der Neufassung der Norm präzisiert und deutlich erweitert und auch auf Massivbauten übertragen.

Zur Erläuterung der neuen Rechenverfahren werden in den nachfolgenden Kapiteln ausgewählte Beispiele behandelt.

4.6.2 Luftschalldämmung

Beispielhaft nachgewiesen wird ein massives mehrgeschossiges Wohngebäude mit tragenden Wänden aus Kalksand-Planelementen und Stahlbetondecken. Die Außenwände erhalten eine nichttragende Schale aus Verblendmauerwerk (Bild 54). Zur Grundrissgestaltung und Raumausbildung innerhalb der Wohneinheiten werden nachträglich leichte Trennwände eingebaut. Hierbei handelt es sich um Wände aus Gipsplatten mit Unterkonstruktionen aus Profilen aus Stahlblech.

Die mögliche Nachweissituation wird schematisch in Bild 55 und Bild 56 dargestellt. Angaben zur Konstruktion und zur Raumgeometrie finden sich in Tabelle 37. Nachfolgend werden die erforderlichen Nachweise zum besseren Verständnis und zum Vergleich schrittweise durchgeführt, um die Einflüsse der Raumabmessungen auf die Bauakustik und die Auswirkungen auf die Tragwerksplanung zu verdeutlichen.

Bild 54 Beispielhaftes massives Wohngebäude mit tragenden Wänden aus Kalksand-Planelementen und Stahlbetondecken. Die Grundrisse können durch leichte Trennwände an Nutzerwünsche angepasst werden.

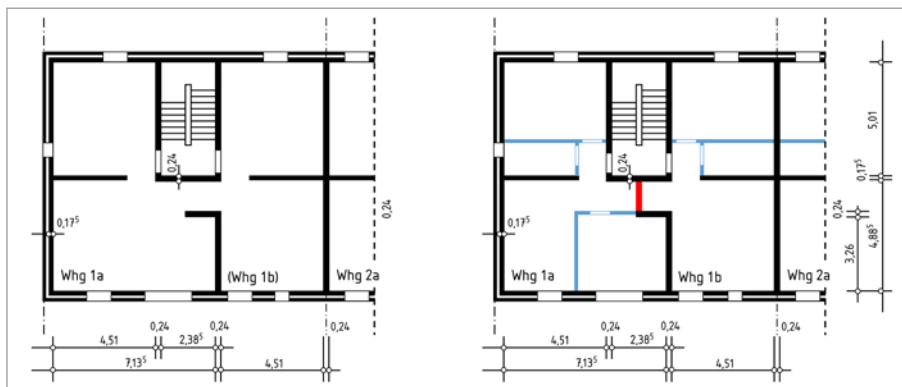
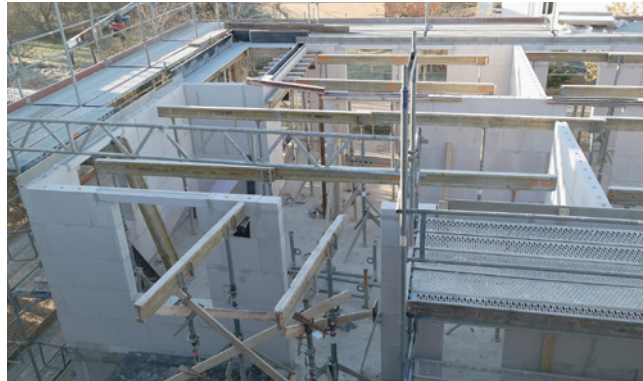


Bild 55 Beispielhafter Wohnungsgrundriss im massiven Wohnungsbau mit einer Wohnung (links) und zwei Wohnun-
gen und leichten Trennwänden (rechts)

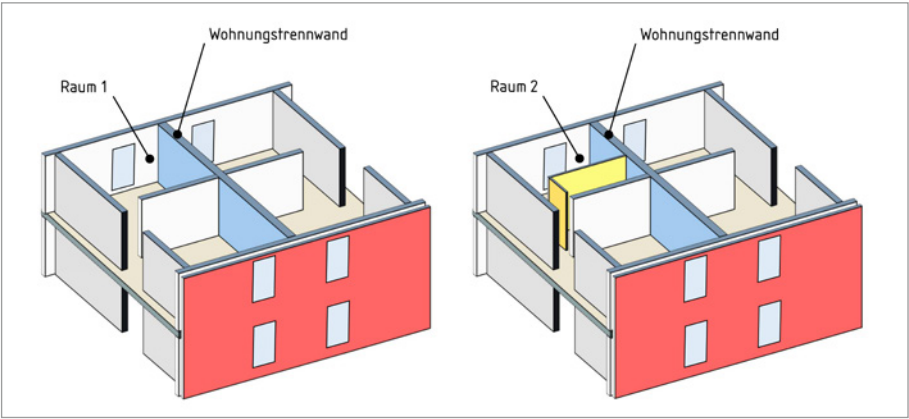


Bild 56 Nachweissituation in schematischer Darstellung: Raumsituation ohne leichte Trennwände (links) und mit nachträglichen leichten Trennwänden (rechts)

Übersicht Rechenbeispiel: Konstruktion und Raumgeometrie				
Wände: Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel)				
Bauteil	Stärke [cm]	Rohdichte- klasse	Putz 1	Putz 2
Wohnungstrennwand	24,0	2,0	Kalkzement	Kalkzement
tragende Innenwand	17,5	2,0	Kalkzement	
Außenwand (Tragschale)	17,5	2,0	Kalkzement	
Wohnungstrenndecke: Stahlbeton-Fertigteilplatten mit Ortbetonergänzung				
Aufbau	Stärke [cm]	Rohdichte [kg/m³]	dynamische Steifigkeit	
Stahlbeton	18,0	2 300		
Zementestrich	6,5	(2 000)		
Trittschalldämmung EPS	4,5		50 MN/m³	
Abmessungen	Länge [m]	Tiefe [m]	Höhe [m]	Trennfläche [m²] (Wohnungstrennwand)
Raum 1	5,01	4,51	2,625	13,0
Raum 2	3,00	4,51	2,625	8,0

Tabelle 37 Konstruktion und Raumgeometrie des Rechenbeispiels aus Bild 56

Die Mindestanforderungen an die Schalldämmung nach den Normen DIN 4109-1989 und DIN 4109-1:2018 sowie die Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz nach der Richtlinie VDI 4100:2007 (Schallschutzstufe II) sind in Tabelle 38 zusammengestellt:

Bauteil	Mindestschallschutz		erhöhter Schallschutz
Luftschalldämmung	DIN 4109:1989	DIN 4109-1:2018	SSt II – VDI 4100:2007 (Schallschutzstufe II)
Wohnungstrennwände	erf. $R'_W \geq 53$ dB	erf. $R'_W \geq 53$ dB	erf. $R'_W \geq 56$ dB
Wohnungstrenndecken	erf. $R'_W \geq 54$ dB	erf. $R'_W \geq 54$ dB	erf. $R'_W \geq 57$ dB
Trittschalldämmung			
Wohnungstrenndecken	erf. $L'_{n,W} \leq 53$ dB	erf. $L'_{n,W} \leq 50$ dB	erf. $L'_{n,W} \leq 46$ dB

Tabelle 38 Mindestanforderungen an die Schalldämmung und Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz für die Bauteile aus dem Rechenbeispiel (Bild 56)

Bauteilbezogener Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung nach der Norm DIN 4109:1989, Beiblatt 1

Nach der 1989er-Fassung der Norm DIN 4109 wird die Luftschalldämmung von massiven einschaligen (biegesteifen) Trennbauteilen ausschließlich in Abhängigkeit von der trennenden und jeweils flankierenden Masse berechnet. Die Rohdichteklasse 2,0 entspricht bei Kalksandsteinen einer Bruttotrockenrohichte von 1810 bis 2000 kg/m³ [DIN 20000-402:2017, Tabelle 8]. In der Tragwerksplanung folgt daraus eine Wichte von 20 kN/m³ für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel. Nach Beiblatt 1 zur Norm DIN 4109:1989 ist bei Dünnbettmörtel eine um 100 kg/m³ abgeminderte Rohdichte von 1900 kg/m³ anzusetzen.

Für die Wohnungstrennwand im Beispiel (Bild 55) ergibt sich bei einer Stärke von 24 cm und beidseitigem Kalkzementputz (15 mm) als flächenbezogene Masse:

$$m' = 1900 \cdot 0,24 + 2 \cdot 25 = 506 \text{ kg/m}^2$$

Als bewertetes rechnerisches Schalldämmmaß folgt: $R'_{w,R} = 55$ dB [DIN 4109 Bbl. 1:1989, Tabelle 1, Zeile 22]. Hierbei geht die Norm von flankierenden Bauteilen mit einer mittleren flächenbezogenen Masse von etwa 300 kg/m² aus. Zur Berücksichtigung flankierender leichter Trennwände wird ein pauschaler Korrekturwert $K_{L,1}$ angesetzt, der von der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L,\text{mittel}}$ aller flankierenden Bauteile abhängt. Der Korrekturwert beträgt im ungünstigsten Fall $K_{L,1} = -1$ dB [DIN 4109 Bbl. 1:1989, Tabelle 13].

flankierendes Bauteil	Stärke [cm]	Rohdichte [kg/m³]	m'_L [kg/m²]
Außenwand (Tragschale)	17,5	1900	358 (mit Kalkzementputz)
leichte Trennwand	10,0	900 (Gipsplatten)	60 (4 Gipsplatten + Konstruktion)
Wohnungstrenndecke	18,0	2 300	414
Wohnungstrenndecke	18,0	2 300	414
$m'_{L,mittel}$			310

Tabelle 39 Berechnung der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L,mittel}$ aller flankierenden Bauteile für die Wohnungstrennwand im Beispiel (Bild 56) mit einer zusätzlichen leichten Trennwand

In diesem Beispiel wirkt sich der nachträgliche Einbau einer leichten Trennwand nicht aus, da die beteiligte flächenbezogene mittlere Masse insgesamt etwa 300 kg/m^2 beträgt und der Korrekturwert damit entfällt (s. Tabelle 39). Die Anforderung an den Mindestschallschutz erf. $R'_w \geq 54 \text{ dB}$ wird erreicht. Durch Erhöhung der Rohdichteklasse auf 2,2 wäre eine zusätzliche Verbesserung um 1 dB möglich, allerdings ist die Marktverfügbarkeit entsprechender Steine zu überprüfen. Die Verwendung einer Gipsputzschicht würde das rechnerische Schalldämmmaß aufgrund der geringeren Masse im Vergleich zum Kalkzementmörtel um bis zu 1 dB reduzieren. Soll ein noch besserer Schallschutz erreicht werden, bleibt eine Erhöhung der Wandstärke der Wohnungstrennwand auf 30 cm, wodurch rechnerisch ein $R'_{w,R}$ bis 58 dB erreicht werden kann.

Für die Luftschalldämmung der Wohnungstrenndecke ergibt sich bei einer flächenbezogenen Masse von ca. 400 kg/m^2 : $R'_{w,R} = 57 \text{ dB}$ [DIN 4109 Bbl. 1:1989, Tabelle 12, Zeile 3, Spalte 3]. Der Einfluss leichter flankierender Bauteile ist bei Decken größer als bei Wänden. Der Korrekturwert beträgt im ungünstigsten Fall $K_{L,1} = 4 \text{ dB}$ [DIN 4109 Bbl. 1:1989, Tabelle 13].

Im vorliegenden Beispiel folgt bei nachträglicher Raumabtrennung durch zwei leichte Trennwände bei einer mittleren flächenbezogenen Masse von 250 kg/m^2 (Tabelle 40) $K_{L,1} = 1 \text{ dB}$. Das rechnerische bewertete Schalldämmmaß beträgt mit Korrektur $R'_{w,R} = 56 \text{ dB}$.

flankierendes Bauteil	Stärke [cm]	Rohdichte [kg/m³]	m'_L [kg/m²]
leichte Trennwand	10,0	900 (Gipsplatten)	60 (4 Gipsplatten + Konstruktion)
leichte Trennwand	10,0	900 (Gipsplatten)	60 (4 Gipsplatten + Konstruktion)
tragende Innenwand	17,5	1900	383
Wohnungstrennwand	24,0	1900	506
$m'_{L,mittel}$			250

Tabelle 40 Berechnung der mittleren flächenbezogenen Masse $m'_{L,mittel}$ aller flankierenden Bauteile für die Wohnungstrenndecke im Beispiel (Tabelle 37) mit zwei zusätzlichen leichten Trennwänden

Für die Trittschalldämmung ergibt sich mit einer flächenbezogenen Masse der Decke von 410 kg/m^2 linear interpoliert nach [DIN 4109 Bbl. 1:1989, Tabelle 16 und 17] und bei einer dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht von höchstens 50 MN/m^3 :

$$L'_{n,w,R} = 73 - 22 = 51 \text{ dB}$$

Die flankierenden Bauteile werden nicht berücksichtigt, der Mindestschallschutz nach der bisherigen Norm eingehalten. Die Mindestanforderungen der Norm DIN 4109-1:2018 oder ein erhöhter Schallschutz können durch eine größere Stärke der Wohnungstrenndecke und durch einen verbesserten schwimmenden Estrich auf einer Dämmschicht mit geringerer dynamischer Steifigkeit erreicht werden. Für eine 20 cm starke Stahlbetondecke folgt bei ansonsten gleichem Estrich z. B.:

$$L'_{n,w,R} = 49 \text{ dB.}$$

Das Beispiel zeigt, dass beim Nachweis der bauteilbezogenen Schalldämmung massiver Trennbauteile nach der bisherigen Norm DIN 4109:1989 der Einfluss leichter flankierender Trennwände vernachlässigt werden konnte. Es wird außerdem deutlich, dass die Abmessungen der Bauteile im massiven Wohnungsbau wesentlich durch die Bauakustik und nicht tragwerksplanerisch festgelegt werden.

Raumbezogener Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung nach der Norm DIN 4109-2:2018

Luftschalldämmung im Massivbau: Direktschalldämmung

Das bewertete Schalldämmmaß $R_{Dd,w}$ für die direkte Luftschallübertragung über die Wohnungstrennwand ergibt sich nach der Norm DIN 4109-2:2018, Abschnitt 4.2.2, wie folgt:

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w}$$

Dabei ist

- $R_{Dd,w}$ das bewertete Schalldämmmaß für den direkten Schallübertragungsweg in dB,
- $R_{s,w}$ das bewertete Schalldämmmaß des trennenden massiven Bauteils in dB,
- $\Delta R_{Dd,w}$ die gesamte bewertete Verbesserung des Schalldämmmaßes durch zusätzlich angebrachte Vorsatzkonstruktionen auf der Sende- und/oder Empfangsseite des trennenden Bauteils in dB.

Für das Beispiel-Mauerwerk mit Dünnbettmörtel und der Rohdichteklasse (RDK) $2,0 > 1,0$ gilt (DIN 4109-32, Abschnitt 4.1.4.1):

$$\rho_w = 1000 \cdot \text{RDK} - 100 = 1000 \cdot 2,0 - 100 = 1900 \text{ kg/m}^3$$

Diese Gleichung ist nicht für Mauerziegel mit einer Rohdichteklasse $\text{RDK} > 2,0$ anzuwenden. Wenn z. B. Kalksand-Planelemente mit höheren Rohdichteklassen verwendet werden sollen, sind gesonderte Angaben zur Berechnung von R_w durch den Hersteller erforderlich. Die normmäßige Begrenzung auf $\text{RDK} \leq 2,0$ wird zukünftig voraussichtlich dazu beitragen, dass zur Verbesserung der Schalldämmung eines Trennbauteiles im massiven Wohnungsbau eher die Bauteilstärke als die Rohdichte erhöht wird.

Aus der Rohdichte ρ_w wird durch Multiplikation mit der Wandstärke t die flächenbezogene Masse des unverputzten Mauerwerks berechnet, zu der noch die flächenbezogene Masse der Putzschichten zu addieren ist:

$$m'_{\text{ges}} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz,ges}}$$

Dabei ist

- m'_{ges} die flächenbezogene Masse des verputzten Bauteils in kg/m^2 ,
- m'_{Wand} die flächenbezogene Masse des unverputzten Bauteils in kg/m^2 ,
- $m'_{\text{Putz,ges}}$ die gesamte flächenbezogene Masse der vorhandenen Putzschichten in kg/m^2 .

Für die beiden Trennbauteile des Raumes 1 folgt (vgl. Abschnitt 4.5.5):

- Wohnungstrennwand: $m'_{\text{ges}} = 0,24 \cdot 1900 + 0,03 \cdot 1600 = 504 \text{ kg/m}^2$
- Wohnungstrenndecke: $m'_{\text{ges}} = 0,18 \cdot 2400 = 432 \text{ kg/m}^2$

Das bewertete Schalldämmmaß R_w wird für Beton sowie für Mauerwerk aus Betonsteinen, Kalksandsteinen und Mauerziegeln nach Gleichung 13 der Norm DIN 4109-32:2016 wie folgt berechnet:

$$R_w = 30,9 \cdot \lg \left(\frac{m'_{\text{ges}}}{m'_0} \right) - 22,2 \text{ (dB)}$$

Dabei ist

- R_w das bewertete Schalldämmmaß in dB,
- m'_{ges} die flächenbezogene Masse des Bauteils mit $65 \text{ kg/m}^2 < m'_{\text{ges}} < 720 \text{ kg/m}^2$ in kg/m^2 ,
- m'_0 die Bezugsgröße, mit $m'_0 = 1 \text{ kg/m}^2$.

Durch Einsetzen ergibt sich für die Direktschalldämmung der Wohnungstrennwand (Bild 56) im Beispiel:

$$R_w = 30,9 \cdot \lg (504) - 22,2 = 61,3 \text{ dB}$$

Für die Direktschalldämmung der Wohnungstrenndecke im Bereich von Raum 1 im Beispiel (Bild 56) folgt:

$$R_w = 30,9 \cdot \lg(432) - 22,2 = 59,2 \text{ dB}$$

Das bewertete Schalldämmmaß R_w wird ohne Strich geschrieben, da die Wirkung flankierender Bauteile noch nicht enthalten ist.

Bei der Luftschalldämmung der Wohnungstrenndecke darf zusätzlich eine Verbesserung ΔR_w durch den schwimmenden Estrich berücksichtigt werden. Nach der Norm DIN 4109-34:2016, Abschnitt 4.1 ist zunächst die Resonanzfrequenz nach (Gl. 49) zu bestimmen.

Bei einer Estrichstärke von 6,5 cm und einer Rohdichte von 2000 kg/m^3 ergibt sich eine flächenbezogene Masse $m'_2 = 130 \text{ kg/m}^2$. Es folgt für eine auf der sicheren Seite ungünstig angenommene dynamische Steifigkeit $s' = 50 \text{ MN/m}^3$ (bestimmt nach [DIN EN 29052-1]) durch Einsetzen in Gleichung 49:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{50 \cdot \left(\frac{1}{432} + \frac{1}{130} \right)} = 113 \text{ [Hz]}$$

Nach Tabelle 1 der Norm DIN 4109-34:2016 ergibt sich:

$$\Delta R_w = 74,4 - 20 \cdot \lg(113) - 0,5 \cdot 59,2 \text{ dB} = 3,7 \text{ dB}$$

Für die Direktschalldämmung der Wohnungstrenndecke im Bereich von Raum 1 darf insgesamt angenommen werden:

$$R_w = 59,2 + 3,7 = 62,9 \text{ dB.}$$

Luftschalldämmung im Massivbau: Flankendämmung

Beim Nachweis der Flankendämmung werden im ersten Schritt die bewerteten Schalldämmmaße aller flankierenden Bauteile als Direktschalldämmmaß benötigt. Für jeden Übertragungsweg können dann $R_{i,w}$ und $R_{j,w}$ in die Gl. (54) eingesetzt werden. Im Beispiel in Bild 56 ist als Vorsatzschale nur der schwimmende Estrich des Fußbodens mit der gerade berechneten Verbesserung $\Delta R_w = 3,7 \text{ dB}$ vorhanden. Die Berechnung der Direktschalldämmmaße für das Beispiel wird in Tabelle 41 zusammengestellt.

1 RDK	2 ρ_w [kg/m ³]	3 d [m]	4 m ¹ _{Wand} [kg/m ²]	5 d _{Putz} [m]	6 ρ_{Putz} [kg/m ³]	7 m ¹ _{ges} [kg/m ²]	8 R _w [dB]	9 Wand: l _f [m]	10 Decke: l _f [m]
Wohnungstrennwand, Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel), Stärke 24 cm									
2,0	1900	0,240	456,0	0,03	1600	504,0	61,3		5,01
Tragschale Außenwand, Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel), Stärke 17,5 cm									
2,0	1900	0,175	332,5	0,015	1600	356,5	56,7	2,625	4,51
Innenwand, Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel), Stärke 17,5 cm									
2,0	1900	0,175	332,5	0,03	1600	380,5	57,5	2,625	4,51
Innenwand, Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel), Stärke 24,0 cm									
2,0	1900	0,24	332,5	0,03	1600	504	61,3		5,01
Stahlbetondecke, Stärke 18 cm mit schwimmenden Zementestrich d = 6,5 cm, s' = 50 MN/m³									
–	2 400	0,180	432,0	59,2	130,0	3,7	62,9	5,01	

Tabelle 41 Berechnung des bewerteten Schalldämmmaßes R_w für die flankierenden Bauteile (Spalten 1 bis 8) und die gemeinsame Kopplungslänge für die Trennbauerteile Wohnungstrennwand (Spalte 9) und Wohnungstrenndecke (Spalte 10)

Die Berechnung der bewerteten Flankendämmmaße für die drei Übertragungswege F_f , D_f und F_d wird zusammenfassend in Tabelle 42 durchgeführt. Zur Übersicht sind die flankierenden Schallübertragungswege in der Tabelle schematisch dargestellt. Da beim Übertragungsweg F_f sowohl im Senderaum als auch im Empfangsraum ein schwimmender Estrich vorhanden ist, darf nach Abschnitt 4.2.2.2 der Norm DIN 4109-2:2018-07 hier eine gesamte bewertete Verbesserung

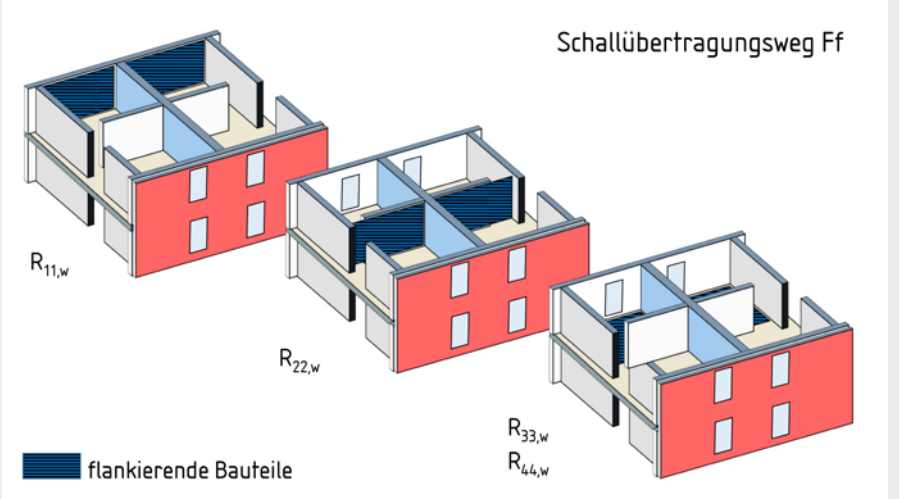
$$\Delta R_{Ff,w} = 3,7 + 0,5 \cdot 3,7 = 5,6 \text{ dB}$$

angesetzt werden. Für das bewertete Schalldämmmaß (Direktschalldämmung) R_w der Wohnungstrenndecken ergeben sich damit die folgenden drei Fälle:

- oben (als Raumdecke): $R_w = 59,2 \text{ dB}$
- unten (als Fußboden) auf dem Weg F_f : $R_w = 59,2 + 5,6 = 64,8 \text{ dB}$
- unten (als Fußboden) auf den Wegen D_f und F_d : $R_w = 59,2 + 3,7 = 62,9 \text{ dB}$

Zur Wirkung der Verblendschale, die durch Drahtanker mit der Tragschale verbunden ist, liegen keine ausreichenden Erfahrungen vor (vgl. DIN 4109-32:2016, Abschnitt 4.4). Daher wird die Flankendämmung der Verblendschale beim Nachweis nach Norm DIN 4109-2:2018 nicht berücksichtigt. In der Praxis ist jedoch eine gewisse flankierende Wirkung vorhanden.

Wohnungstrennwand: Übertragungsweg Ff



Stoßstellendämmmaß

angeregtes Bauteil	Tragschale AW	Trenndecke, o	Innenwand	Trenndecke, u
Stoßart	T-Stoß	Kreuzstoß	Kreuzstoß	Kreuzstoß
m'_i [kg/m ²]	356,5	432,0	380,5	432,0
festhaltendes Bauteil	Whg-Trennwand			
$m'_{\perp,i}$ [kg/m ²]	504,0	504,0	504,0	504,0
Hilfsgröße M	0,150	0,067	0,122	0,067
Stoßstellendämmmaß	K13	K13	K13	K13
K_{Ff} [dB]	7,9	9,9	10,9	9,9

Schalldämmmaße der flankierenden Bauteile

angeregtes Bauteil	Tragschale AW	Trenndecke	Innenwand	Trenndecke
$R_{i,w}$ [dB]	56,7	59,2	57,7	59,2
abstrahlendes Bauteil	Tragschale AW	Trenndecke	Innenwand	Trenndecke
$R_{j,w}$ [dB]	56,7	59,2	57,7	59,2
$\Delta R_{Ff,w}$ [dB]				5,6

Geometrie

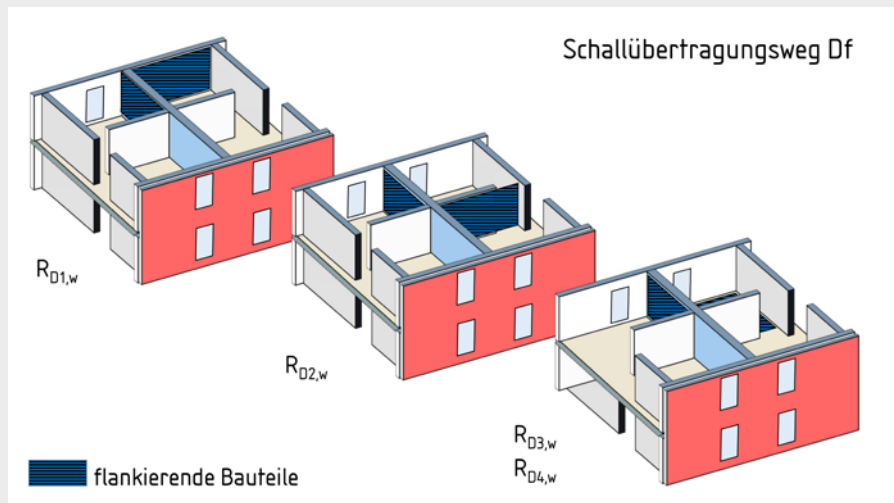
Fläche Trennbauteil S_s [m ²]	13,15	13,15	13,15	13,15
Kopplungslänge l_f [m]	2,625	5,010	2,625	5,010
$10 \lg (S_s/l_f \cdot l_0)$ [dB]	7,0	4,2	7,0	4,2

bewertetes Flankendämmmaß für Ff

$R_{Ff,w}$ [dB]	71,6	73,3	75,4	78,9
-----------------	------	------	------	------

Übertragungsweg Df

(Fortsetzung Tabelle 42)



Stoßstellendämmmaß

angeregtes Bauteil	Whg-Trennwand			
Stoßart	T-Stoß	Kreuzstoß	Kreuzstoß	Kreuzstoß
m'_i [kg/m ²]	504,0	504,0	504,0	504,0
festhaltendes Bauteil	Tragschale AW	Trenndecke	Innenwand	Trenndecke
$m'_{\perp i}$ [kg/m ²]	356,5	432,0	380,5	432,0
Hilfsgröße M	-0,150	-0,067	-0,122	-0,067
Stoßstellendämmmaß	K12	K12	K12	K12
K_{Df} [dB]	4,8	5,8	5,9	5,8

Schalldämmmaße der flankierenden Bauteile

angeregtes Bauteil	Whg-Trennwand			
$R_{i,w}$ [dB]	61,3	61,3	61,3	61,3
abstrahlendes Bauteil	Tragschale AW	Trenndecke	Innenwand	Trenndecke
$R_{j,w}$ [dB]	56,7	59,2	57,5	59,2
$\Delta R_{F,w}$ [dB]				3,7

Geometrie

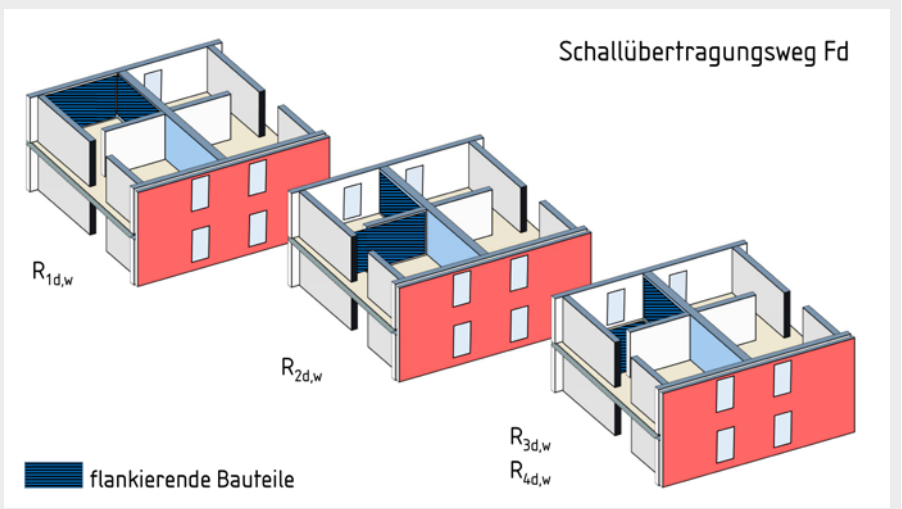
Fläche Trennbauteil S_s [m ²]	13,15	13,15	13,15	13,15
Kopplungslänge l_f [m]	2,625	5,010	2,625	5,010
$10 \lg (S_s / l_f \cdot l_0)$ [dB]	7,0	4,2	7,0	4,2

bewertetes Flankendämmmaß für Df

$R_{Df,w}$ [dB]	70,8	70,2	72,3	73,9
-----------------	------	------	------	------

Übertragungsweg Fd

(Fortsetzung Tabelle 42)



Stoßstellendämmmaß

angeregtes Bauteil	Tragschale AW	Trenndecke	Innenwand	Trenndecke
Stoßart	T-Stoß	Kreuzstoß	Kreuzstoß	Kreuzstoß
m_i' [kg/m ²]	356,5	432,0	380,5	432,0
festhaltendes Bauteil	Whg-Trennwand			
$m'_{\perp i}$ [kg/m ²]	504,0	504,0	504,0	504,0
Hilfsgröße M	0,150	0,067	0,122	0,067
Stoßstellendämmmaß	K12	K12	K12	K12
K_{Fd} [dB]	4,8	5,8	5,9	5,8

Schalldämmmaße der flankierenden Bauteile

angeregtes Bauteil	Tragschale AW	Trenndecke	Innenwand	Trenndecke
$R_{i,w}$ [dB]	56,7	59,2	57,5	59,2
abstrahlendes Bauteil	Whg-Trennwand			
$R_{j,w}$ [dB]	61,3	61,3	61,3	61,3
$\Delta R_{Ff,w}$ [dB]				3,7

Geometrie

Fläche Trennbauteil S_s [m ²]	13,15	13,15	13,15	13,15
Kopplungslänge l_f [m]	2,625	5,010	2,625	5,010
$10 \lg (S_s/l_f \cdot l_0)$ [dB]	7,0	4,2	7,0	4,2

bewertetes Flankendämmmaß für Fd

$R_{Fd,w}$ [dB]	70,8	70,2	72,3	73,9
-----------------	------	------	------	------

Tabelle 42 Berechnung der bewerteten Flankendämmmaße

Ergebnis (Nachweis der Wohnungstrennwand ohne leichte Trennwände):

Die Berechnung der Luftschalldämmung nach (Gl. 51) durch logarithmische Addition der Ergebnisse für R_w (Tabelle 41) und $R_{ij,w}$ (Tabelle 42) ergibt:

$$R'_w = -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{61,3}{10}} + 10^{-\frac{71,6}{10}} + 10^{-\frac{73,3}{10}} + 10^{-\frac{75,4}{10}} + 10^{-\frac{78,9}{10}} + 10^{-\frac{70,8}{10}} + 10^{-\frac{70,2}{10}} + 10^{-\frac{72,3}{10}} + 10^{-\frac{73,9}{10}} + 10^{-\frac{70,8}{10}} + 10^{-\frac{70,2}{10}} + 10^{-\frac{72,3}{10}} + 10^{-\frac{73,9}{10}} \right] = 58,4 \text{ dB}$$

Der errechnete Wert von $R'_w = 58,4 \text{ dB}$ wird gemäß der vereinfachten Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte nach Abschnitt 5.3.3 der Norm DIN 4109-2:2018 um 2 dB vermindert.

Damit folgt abschließend:

$$R'_w = 58,4 = 56 \text{ dB}$$

Dieser Wert ist größer als der Anforderungswert nach Norm DIN 4109-1:2018, Tabelle 2, Zeile 13: $R'_w \geq 53 \text{ dB}$ für Wohnungstrennwände und Wände zwischen fremden Arbeitsräumen. Die Mindestanforderungen an den Schallschutz der Norm DIN 4109-1:2018 sind damit erfüllt. Die Anforderungen an die Schallschutzstufe II der VDI-Richtlinie 4100:2007 (vgl. Tabelle 38) werden gerade eingehalten. Zu beachten ist, dass biegesteife Anschlüsse vorausgesetzt werden, die bei stumpf durch Maueranker angeschlossenen Wänden ausführungsabhängig möglicherweise nicht vollständig erreicht werden.

Der errechnete Wert entspricht dem bewerteten Schalldämmmaß $R'_{w,R} = 56 \text{ dB}$ nach dem bisherigen Rechenverfahren (Beiblatt 1 zur Norm DIN 4109:1989, Tabelle 1).

Ergebnis (Nachweis der Wohnungstrennwand mit leichten Trennwänden):

Zum Vergleich wird die Beispielrechnung für den abschließenden Wohnungsausbau mit einer Raumabteilung durch zusätzliche leichte Trennwände geführt (Bild 56, rechts). Die Grundfläche des untersuchten Beispielwohnraums verkleinert sich von $4,51 \cdot 5,01 \text{ m} = 13,15 \text{ m}^2$ auf $4,51 \cdot 3,00 \text{ m} = 7,88 \text{ m}^2$.

Für die flankierende Schallübertragung von Metallständerwänden aus Gipsplatten über ein massives Trennbauteil mit einer flächenbezogenen Masse von $m' \geq 350 \text{ kg/m}^2$ kann entsprechend der Norm DIN EN 4109-33:2016, Abschnitt 5.1.2.2 eine bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz von $D_{n,f,w} = 76 \text{ dB}$ angesetzt werden. Die bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz ist die auf eine Bezugsabsorptionsfläche von $A_0 = 10 \text{ m}^2$ bezogene Schalldruckpegeldifferenz für aus-

schließliche Übertragung über den Flankenweg. Sie bezieht sich in horizontaler Richtung auf eine Bezugskantenlänge l_{lab} von 2,8 m.

Nach DIN 4109-2:2018, Abschnitt 4.2.1.1 wird bei Mischbauweisen getrennt nach den jeweiligen Verfahren gerechnet: Die Flankendämmung der massiven Bauteile wird entsprechend den Rechenverfahren im Massivbau aus der Direkt- und Stoßstendämmung berechnet. Die Flankenübertragung der Leichtbauteile wird wie im Leichtbau pauschal über die bewerteten Norm-Flankenschallpegeldifferenzen $D_{n,f,w}$ bestimmt. Entsprechend ergibt sich das bewertete Flankendämmmaß $R_{Ff,w}$ für den Übertragungsweg Ff der zusätzlichen leichten Trennwand nach Abschnitt 4.2.4 der Norm DIN 4109-2:2018 folgendermaßen (Gl. 59):

$$R_{Ff,w} = D_{n,f,w} + 10 \cdot \lg \frac{l_{lab}}{l_f} + 10 \cdot \lg \frac{S_s}{A_0} \text{ [dB]} \quad (59)$$

$R_{Ff,w}$: bewertetes Flankendämmmaß für den Übertragungsweg Ff in dB

$D_{n,f,w}$: bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz eines flankierenden Bauteils in dB

l_{lab} : Bezugskantenlänge in m

l_f : gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungsstelle zwischen dem trennenden Bauteil und den flankierenden Bauteilen F und f in der Bausituation in m

S_s : Fläche des trennenden Bauteils in m^2

A_0 : Bezugsabsorptionsfläche mit $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Die Wege Df und Fd werden bei der Flankenübertragung durch die leichte Trennwand vernachlässigt, sodass nur der Übertragungsweg Ff verbleibt (Bild 57).

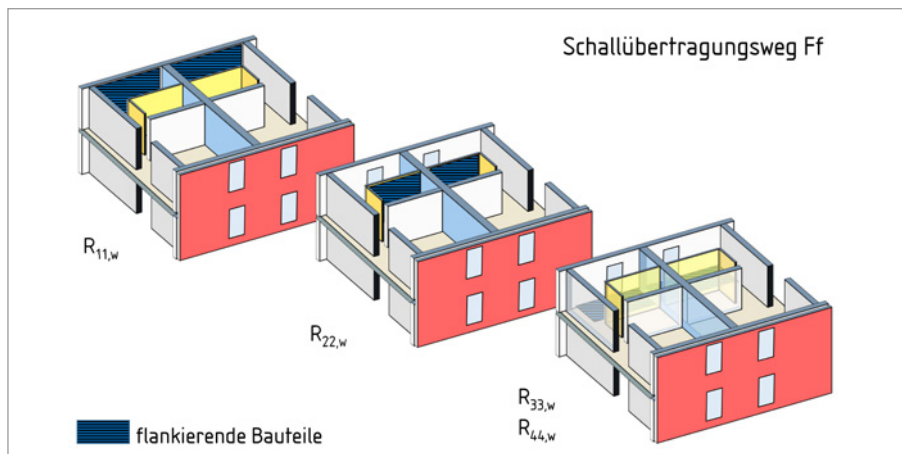


Bild 57 Flankierender Schallübertragungsweg Ff der Berechnung aus Tabelle 42

Für die zusätzliche leichte Trennwand ergibt sich für den Übertragungsweg Ff:

$$R_{Ff,w} = 76 + 10 \cdot \lg \frac{2,8\text{m}}{2,625\text{m}} + 10 \cdot \lg \frac{7,88\text{m}^2}{10\text{m}} = 75,2 \text{ [dB]}$$

Dieser Wert wird in Spalte 4 der Tabelle 41 als bewertetes Flankendämmmaß für die leichte Trennwand auf dem Übertragungsweg Ff eingesetzt. Die bisherige Innenwand aus Kalksand-Planelementen ($d = 17,5 \text{ cm}$) entfällt in Spalte 4. Damit entfallen auch die bewerteten Flankendämmmaße für Df und Fd. Sie werden nicht logarithmisch addiert. Wegen der geringfügigen Änderungen wird auf eine überarbeitete Darstellung Tabelle 41 verzichtet. Unter Berücksichtigung der veränderten Geometrie für die gemeinsame Trennfläche $S_s = 7,88 \text{ m}^2$ sowie für die horizontalen Kopplungslängen $l_f = 3,00 \text{ m}$ ergibt sich:

$$R'_w = 58,7 \text{ dB}$$

Nach Abzug des Sicherheitsbeiwertes von 2 dB folgt abschließend:

$$R'_w = 56,7 \text{ dB} = 57 \text{ dB}$$

Bei den geometrischen Verhältnissen des untersuchten Beispiels aus Bild 56 wirkt sich der Einbau der zusätzlichen leichten Trennwand in der Berechnung des bewerteten Bauschalldämmmaßes R'_w nach der Norm DIN 4109-2:2018 kaum aus.

Gemäß Abschnitt 4.2.1.2 der Norm DIN 4109-2:2018 ist bei Übertragungssituationen mit Trennflächen $< 10 \text{ m}^2$ oder ohne gemeinsame Trennfläche die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ anstelle des bewerteten Bauschalldämmmaßes R'_w anzugeben. Diese wird aus dem bewerteten Bauschalldämmmaß R'_w nach (Gl. 60) berechnet (DIN 4109-2:2018, Abschnitt 4.2.1.2):

$$D_{n,w} = R'_w - 10 \cdot \lg \frac{S_s}{10\text{m}^2} \text{ [dB]} \quad (60)$$

Es folgt:

$$D_{n,w} = 56,7 - 10 \cdot \lg \frac{7,88}{10\text{m}^2} = 57,8 = 58 \text{ [dB]}$$

Das bewertete Bauschalldämmmaß R'_w und die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ liegen hier in ähnlicher Größenordnung.

4.6.3 Trittschalldämmung

Massive Wohnungstrenndecken

Bei der Berechnung der Trittschalldämmung in massiven Wohngebäuden nach den Normen DIN 4109-2:2018 und 4109-32:2016 ist zunächst der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel der Rohdecke $L_{n,eq,0,w}$ in dB zu ermitteln. Zu unterscheiden sind Massivdecken ohne Hohlräume und Massivdecken mit Hohlraum, vgl. Tabelle 43

Zeile	Deckenausbildung
Massivdecken ohne Hohlräume, gegebenenfalls mit Putz	
1	Stahlbeton-Vollplatten aus Normalbeton oder aus Leichtbeton nach DIN 1045-2 Fertigteilplatten mit Ortbetonergänzung nach DIN EN 13747 Deckenplatten mit Stegen nach DIN EN 13224
2	Porenbeton- Deckenplatten nach DIN 4223-100
Massivdecken mit Hohlräumen, gegebenenfalls mit Putz	
3	Ziegeldecken nach DIN 1045-100 mit Deckenziegeln nach DIN 4159
4	Stahlbetonrippendecken und -balkendecken nach DIN 1045-100 mit Zwischenbauteilen nach DIN EN 15037-2 oder DIN 4160
5	Stahlbetonhohldielen und -platten nach DIN 1045-2 Hohlplatten nach DIN EN 1168 Stahlbetondielen aus Leichtbeton nach DIN EN 1520 Stahlbetonhohldecke nach DIN 1045-2
6	Balkendecken ohne Zwischenbauteile nach DIN 1045-2

Tabelle 43 Typen von Massivdecken nach Abschnitt 4.8 der Norm DIN 4109-32:2016. Die Zeilennummer entspricht der Norm. In der Norm werden zusätzliche Prinzipskizzen für die jeweilige Deckenform angegeben.

Üblicherweise werden in massiven Wohngebäuden Stahlbeton-Vollplatten aus Normalbeton oder Fertigteilplatten mit Ortbetonergänzung verwendet. Beim folgenden Rechenbeispiel handelt es sich um einen Wohnungsbau mit Wänden aus Kalksand-Planelementen (Dünnbettmörtel) und Verblendmauerwerk (Bild 58).



Bild 58 Wohnungsbau mit Mauerwerk aus Kalksand-Planelementen, Verblendmauerwerk und Stahlbetondecken aus Fertigteilplatten mit Ortbetonergänzung

Es wird ein mittleres Geschoss betrachtet. Berechnet wird die Trittschalldämmung der Wohnungstrennendecke für einen Schlafraum (Bild 59), vgl. auch Beispiel Kapitel 4.6.2. Bild 60 zeigt das räumliche System mit den möglichen Wegen der Schallübertragung über das Trennbauteil und die flankierenden Bauteile. Der Senderaum ist grundrissgleich und liegt direkt darüber.

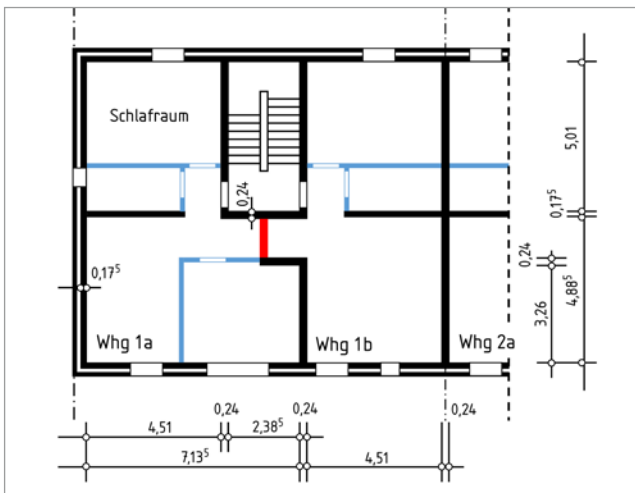
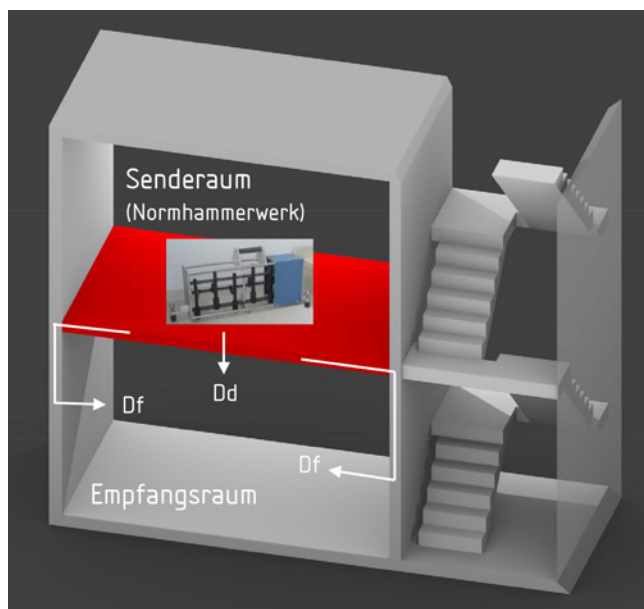


Bild 59 Rechenbeispiel, Grundriss Empfangsraum (Schlafraum). Wände aus Kalksand-Planelementen (Dünnbettmörtel). Stärke 17,5 cm (Tragschale Außenwand und tragende Innenwände), bzw. 24 cm (Treppenhauswände und Wohnungstrennwände); blau: nachträgliche leichte Trennwände; rot: Wohnungstrennwand; kann optional weggelassen werden

Bild 60 Prinzipdarstellung für das Rechenbeispiel aus Bild 59: räumliches System mit Schallübertragungswegen;
 Dd: direkte Trittschallübertragung über die Decke
 Df: flankierende Trittschallübertragung über Decke und Wände



Es wird von folgendem Bauteilaufbau ausgegangen (Tabelle 44):

Nr.	Stärke [mm]	Bauteilschicht
1	10	Belag (Fliese oder PVC)
2	65	Zement-Heizestrich
3	45	Trittschalldämmung EPS-20, $s' = \text{MN/m}^3$
4	200	Stahlbeton-Fertigteilplatten mit Ortbetonergänzung (Filigranbauweise)

Tabelle 44 Bauteilaufbau (Rechenbeispiel, Bild 59)

Bei der Ermittlung der flächenbezogenen Masse von bewehrten Massivdecken (Ortbeton, Fertigteile und Halfertigteile mit Ortbetonergänzung) ohne Hohlräume ist nach Norm DIN 4109-32:2016, Abschnitt 4.8.4.2 die flächenbezogene Masse durch Multiplikation der Deckendicke mit dem Rechenwert der Rohdichte zu ermitteln. Für Normalbeton ist eine Rohdichte von 2400 kg/m^3 anzusetzen. Aufbeton, der nicht nach DIN 1045-3 verdichtet wird, ist mit dem Rechenwert der Rohdichte von 2100 kg/m^3 in Ansatz zu bringen. Der Rechenwert der Rohdichte von Zementestrich ist mit 2000 kg/m^3 anzusetzen. Die flächenbezogene Masse ist einschließlich eines etwaigen Verbundestrichs oder Estrichs auf Trennschicht und eines unmittelbar aufgetragenen Putzes zu ermitteln. Die flächenbezogene Masse eines schwimmenden Estrichs darf nicht berücksichtigt werden [DIN 4109-32:2016].

Aus der ermittelten flächenbezogenen Masse der Massivdecke wird deren äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ für flächenbezogene Massen im Bereich zwischen 100 kg/m^2 und 720 kg/m^2 nach folgender Beziehung ermittelt:

$$L_{n,eq,0} = 164 - 35 \cdot \lg \frac{m'}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} [\text{dB}] \quad (61)$$

Für das Rechenbeispiel folgt: $m' = 0,2 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 = 480 \text{ kg/m}^2 < 720 \text{ kg/m}^2$

$$L_{n,eq,0} = 164 - 35 \cdot \lg \frac{480}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} = 70,2 [\text{dB}]$$

Bei der Berechnung werden alle in dB angegebenen Größen auf eine Nachkommastelle gerundet. Nach Abschnitt 4.8.4.4 der Norm DIN 4109-2:2018 berechnet sich der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ der gebrauchsfertigen massiven Decke bei übereinanderliegenden Räumen nach (Gl. 62):

$$L_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + K [\text{dB}] \quad (62)$$

$L_{n,eq,0,w}$: äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke in dB

ΔL_w : bewertete Trittschallminderung durch eine Deckenauflage in dB

K: Korrekturwert für die Trittschallübertragung über die flankierenden Bauteile in dB

Wird ein trittschallmindernder Bodenbelag auf einem schwimmenden Boden angeordnet, dann ist als ΔL_w nur der höhere Wert – entweder des schwimmenden Bodens oder des trittschallmindernden Bodenbelags (falls nach DIN 4109-1:2018 anrechenbar) – zu berücksichtigen [DIN 4109-2:2018].

Die bewertete Trittschallminderung ΔL_w berechnet sich für schwimmende Mörtel-estriche, wie u. a. schwimmenden Zementestrich nach Abschnitt 4.5.4.2.1 der Norm DIN 4109-34:2016 [DIN 4109-34:2016] entsprechend (Gl. 63):

$$\Delta L_w = 13 \cdot \lg(m') - 14,2 \cdot \lg(s') + 20,8 [\text{dB}] \quad (63)$$

m' : flächenbezogene Masse der Estrichplatte;

gültiger Bereich: $60 \text{ kg/m}^2 \leq m' \leq 160 \text{ kg/m}^2$

s' : flächenbezogene dynamische Steifigkeit der Dämmschicht;

gültiger Bereich: $6 \text{ MN/m}^3 \leq s' \leq 50 \text{ MN/m}^3$

Bei der Bestimmung des Wertes für die bewertete Trittschallminderung ΔL_w muss die flächenbezogene Masse der Estrichplatte anhand der nach DIN 18560-2 [DIN 18560-2] erforderlichen nutzlastabhängigen Estrichdicke gewählt werden. Die flächenbezogene Masse von mineralisch gebundenen Estrichen ist aus dem Rechenwert nach DIN EN 1991-1-1 [DIN EN 1991-1-1] und DIN EN 1991-1-1/NA

[DIN EN 1991-1-1/NA] mit einem Abzug von 10 % zu ermitteln. Bei Estrichen mit Leichtzuschlägen (z. B. Magnesiaestriche mit Holzzuschlägen, Steinholzestriche) muss die tatsächliche flächenbezogene Masse z. B. nach Angabe des Herstellers angesetzt werden [DIN 4109-34:2016].

Für das Rechenbeispiel ergibt sich:

$$m' = 0,065 \text{ m} \cdot 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \leq 160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\Delta L_w = 13 \cdot \lg(130) - 14,2 \cdot \lg(20) + 20,8 = 29,8 \text{ [dB]}$$

Korrekturwerte K werden für Massivdecken ohne Unterdecken nach Abschnitt 4.3.2 der Norm DIN 4109-2:2018 wie folgt berechnet (Gl. 64):

$$m'_{f,m} \leq m'_s: \quad K = 0,6 + 5,5 \cdot \lg\left(\frac{m'_s}{m'_{f,m}}\right) \text{ [dB]}$$

$$m'_{f,m} > m'_s: \quad K = 0 \text{ [dB]} \quad (64)$$

m'_s : flächenbezogene Masse der massiven Trenndecke
(ohne schwimmende Auflagen oder Unterdecken) in kg/m^2

$m'_{f,m}$: mittlere flächenbezogene Masse der nicht mit Vorsatzkonstruktionen
bekleideten massiven flankierenden Bauteile in kg/m^2

Die Berechnung der Korrekturwerte gilt für eine flächenbezogene Masse der Trenndecke im Bereich von $100 \text{ kg/m}^2 \leq m'_s \leq 900 \text{ kg/m}^2$ und der flankierenden Bauteile im Bereich von $100 \text{ kg/m}^2 \leq m'_{f,m} \leq 500 \text{ kg/m}^2$.

Im Rechenbeispiel ist zunächst die flächenbezogene Masse der flankierenden Wände zu berechnen. Die Ermittlung der flächenbezogenen Masse von Mauerwerk erfolgt nach der Norm DIN 4109-32:2016, Abschnitt 4.1.4.1 aus der Rohdichteklasse.

Für Mauerwerk mit Dünnbettmörtel und einer Rohdichteklasse (RDK) > 1,0 gilt

$$\rho_w = 1000 \cdot \text{RDK} - 100 \quad (\text{RDK} > 1,0)$$

Der Einfluss von ein- oder beidseitig aufgetragenen Putzschichten wird berücksichtigt, indem die flächenbezogene Masse der Putzschichten zur flächenbezogenen Masse des unverputzten Bauteils addiert wird.

$$m'_{\text{ges}} = m'_{\text{Wand}} + m'_{\text{Putz,ges}}$$

Dabei ist:

m'_{ges} : die flächenbezogene Masse des verputzten Bauteils in kg/m^2

m'_{Wand} : die flächenbezogene Masse des unverputzten Bauteils in kg/m^2

$m'_{\text{Putz,ges}}$: die gesamte flächenbezogene Masse der vorhandenen Putzschichten
in kg/m^2

Im Beispiel wird von der Rohdichteklasse (RDK) 2,0 und Gipsputz mit einer Schichtdicke von jeweils 1,5 cm ausgegangen. Die Berechnung der flächenbezogenen Massen auf Grundlage der Norm DIN 4109-32-2016, Abschnitt 4.1.4 wird in Tabelle 45 zusammengestellt:

	RDK	r_w [kg/m ³]	d [m]	m'_{Wand} [kg/m ²]	d_{Putz} [m]	r_{Putz} [kg/m ³]	m'_{ges} [kg/m ²]
Treppenhaus-/Wohnungstrennwand	2,0	1900	0,240	456,0	0,03	1000	486,0
Innenwand	2,0	1900	0,175	332,5	0,03	1000	362,5
Tragschale Außenwand	2,0	1900	0,175	332,5	0,015	1000	347,5

Tabelle 45 Berechnung der flächenbezogenen Masse der flankierenden Wände

Unter Vernachlässigung der leichten Trennwand als nicht homogen massives Bauteil folgt:

$$m'_{f,m} = \frac{1}{3} \cdot (486 + 362,5 + 347,5) = 400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$m'_{f,m} \leq m'_s = 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Für den resultierenden bewerteten Norm-Trittschallpegel ergibt sich:

$$L_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + K = 70,2 - 29,8 + 1 = 41,4 \text{ dB}$$

Abschließend wird der errechnete Wert von $L'_{n,w}$ gemäß der vereinfachten Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte nach Abschnitt 5.3.3 der Norm DIN 4109-2:2018 um einen Zuschlag von 3 dB erhöht.

Damit folgt abschließend:

$$L'_{n,w} = 44,4 \text{ dB} \leq \text{zul. } L'_{n,w} = 50 \text{ dB}$$

Der rechnerisch für die im Beispiel untersuchte Wohnungstrenndecke ermittelte bewertete Norm-Trittschallpegel ist kleiner als der zulässige bewertete Norm-Trittschallpegel nach Tabelle 2, Zeile 2 der Norm DIN 4109-1 (zul. $L'_{n,w} = 50 \text{ dB}$). Die Mindestanforderungen der Norm DIN 4109-1:2018 werden eingehalten.

Das Rechenverfahren ist nach den Vorgaben der Norm DIN 4109-2:2018 nur für die Trittschallübertragung zwischen zwei übereinanderliegenden Räumen vorgesehen. Bei anderen Raumanordnungen sind Korrekturen zu berücksichtigen, vgl. DIN 4109-2:2018, Tabelle 2.

Leichte Wohnungstrenndecken

Derzeit können nur Holzbalkendecken berechnet werden, für leichte Treppen an Treppenwänden in Holzbauweise ist noch kein normgemäßes Berechnungs-

verfahren verfügbar [DIN 4109-2:2018]. Zur Berechnung der Trittschalldämmung von Holzbalkendecken werden die bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ (ohne Flankenübertragung) für die Gesamtkonstruktion der Decke direkt dem Bauteilkatalog DIN 4109-33:2016 oder Prüfberichten entnommen. Alle Holzbalkendeckenkonstruktionen im Abschnitt 4.3.1 des Bauteilkataloges verfügen über einen Fußbodenaufbau (Estrich). In diesem Fall ist neben dem eigentlichen Flankenweg Df über die Holzbalkendecke ein weiterer Flankenweg zu berücksichtigen, der als DfF bezeichnet wird und über den Randanschluss des schwimmenden Estrichs verläuft (Bild 61).

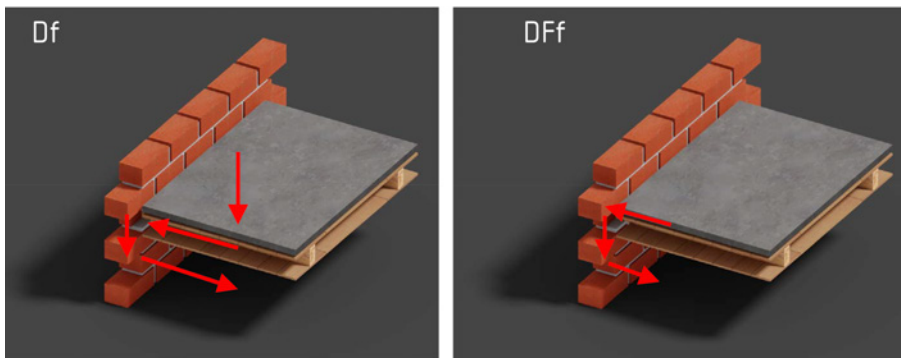


Bild 61 Flankierende Schallübertragung bei Holzbalkendecken mit schwimmendem Estrich nach DIN 4109-2:2018; links: Flankenweg Df über die Träger der Holzbalkendecke, rechts: Flankenweg DfF über den Randanschluss des schwimmenden Estrichs

Für die beiden Flankenwege wurden die Korrekturwerte K_1 und K_2 eingeführt, vgl. [DIN 4109-2:2018]. Die vertikale Trittschalldämmung wird nach Gleichung 65 berechnet.

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K_1 + K_2 \text{ [dB]} \quad (65)$$

- $L'_{n,w}$: bewerteter Norm-Trittschallpegel der Holzdecke in der Bausituation in dB
- $L_{n,w}$: bewerteter Norm-Trittschallpegel der Holzdecke ohne Flankenübertragung in dB
- K_1 : Korrekturwert zur Berücksichtigung der Flankenübertragung auf dem Weg Df, ermittelt nach Abschnitt 4.3.3.1 der Norm DIN 4109-2:2018
- K_2 : Korrekturwert zur Berücksichtigung der Flankenübertragung auf dem Weg DfF, ermittelt nach Abschnitt 4.3.3.1 der Norm DIN 4109-2:2018

Konstruktionsbedingt kann bei leichten Decken die tatsächlich erreichte Trittschalldämmung von rechnerisch ermittelten Werten abweichen. Das gilt insbesondere für Bestandskonstruktionen. Es ist daher empfehlenswert, die erreichte bzw. vorhandene Trittschalldämmung bei Bedarf durch Messung durch eine sach-

verständige Prüfstelle festzustellen. Die folgenden beiden Beispiele verdeutlichen die auftretenden Abweichungen.

Beispiel 1:

Trittschalldämmung einer nachträglich verbesserten Holzbalkendecke in einem mittelalterlichen Wohnhaus (Bestandskonstruktion, s. Tabelle 43)

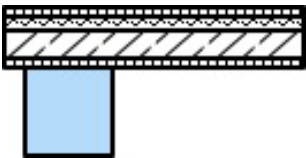
Schnitt, vertikal	Konstruktionsdetails		Messergebnis $L'_{n,w}$ dB
	mm	Bauteil	
	24	Holzdielen	60
	40	Holzfaserplatte	
	80	Betonsteinbeschwerung	
	25	Holzdielen (Bestand)	
	250	Balken (Bestand)	

Tabelle 46 Konstruktion und gemessene Trittschalldämmung der Holzbalkendecke Beispiel 1 (Bestandskonstruktion)

Für die Bestandskonstruktion aus Tabelle 43 ist nach Tabelle 16, Zeile 2 der Norm DIN 4109-33:2016 anzusetzen:

$$\text{bewerteter Norm-Trittschallpegel } L_{n,w} = 54 \text{ dB}$$

Aus den Tabellen 3 und 4 der Norm DIN 4109-2:2016 folgt:

$$K_1 = 1 \text{ dB für eine angesetzte Gipsfaserplatte und offene Holzbalkendecke}$$

$$K_2 = 0 \text{ dB für } L_{n,w} + K_1 = 55 \text{ dB}$$

Damit ergibt sich rechnerisch:

$$L'_{n,w} = 54 + 1 + 0 = 55 \text{ dB}$$

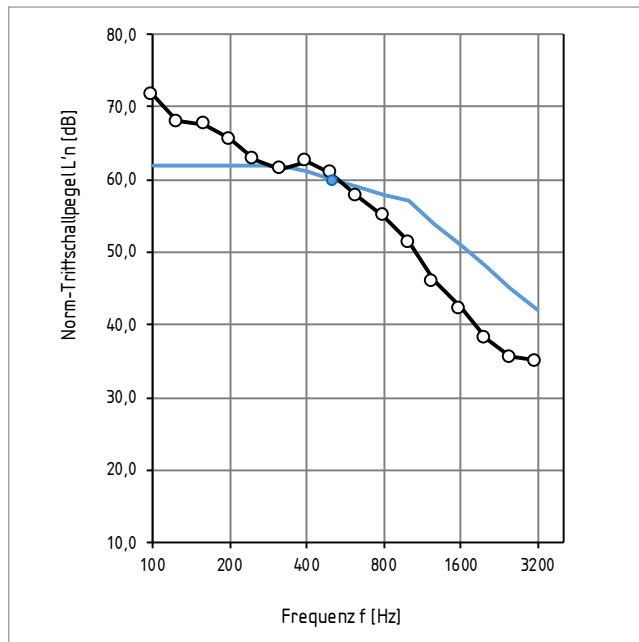
Unter Berücksichtigung des pauschalen Sicherheitszuschlages von 3 dB ist der resultierende Wert $L'_{n,w} = 58 \text{ dB}$ etwas günstiger als das Messergebnis $L'_{n,w} = 60 \text{ dB}$.

Das Beispiel zeigt die Schwierigkeiten bei der Einhaltung der bauakustischen Anforderungswerte in älteren Bestandskonstruktionen (Bild 62), insbesondere, wenn denkmalpflegerische Vorgaben und geringe Raumhöhen Verbesserungsmöglichkeiten einschränken. Die Mindestanforderung an die Schalldämmung von Wohnungstrenndecken in Mehrfamilienhäusern nach der Norm DIN 4109-1:2018, $L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$, wird nicht eingehalten. Bild 63 zeigt die frequenzweise Darstellung des gemessenen Norm-Trittschallpegels. Die Luftschallübertragung hatte keinen Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel.

Bild 62 Bei Nutzungsänderungen im Bestand sind die Mindestwerte für die Schalldämmung wegen geringer Deckenhöhen und denkmalpflegerischen Einschränkungen oftmals schwer zu erreichen.



Bild 63 Messung der Trittschalldämmung der Holzbalkendecke in einem mittelalterlichen Wohnhaus (vgl. Tabelle 46): gemessener Norm-Trittschallpegel L'_n als Funktion der Frequenz (schwarze Kurve) und verschobene Bezugskurve mit resultierendem Einzahlwert des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w} = 60$ dB (blaue Kurve)



Beispiel 2:

Trittschalldämmung der Holzbalkendecke in einem Krankenhausgebäude von 1910, Nutzung für Büroräume

Eine bestehende Holzbalkendecke in einem Krankenhaus (Bild 61) soll für Büro Zwecke genutzt werden. Zur Vorbereitung möglicher Verbesserungsmaßnahmen wurde die vorhandene Trittschalldämmung durch Messung überprüft, die Konstruktionsdetails werden in der Tabelle 47 zusammengefasst. Die Holzbalkendecke liegt an allen vier Rändern oberhalb des Empfangsraumes auf massiven Wänden aus Ziegelmauerwerk auf. Eine Berechnung nach der Norm DIN 4109-2:2018 ist nicht möglich, da kein Fußbodenaufbau vorhanden ist.

Die Mindestanforderung für die Trittschalldämmung $L'_{n,w} \leq 53$ dB wird nicht eingehalten. Insbesondere im tieffrequenten Bereich ist der resultierende Trittschallpegel noch relativ hoch.



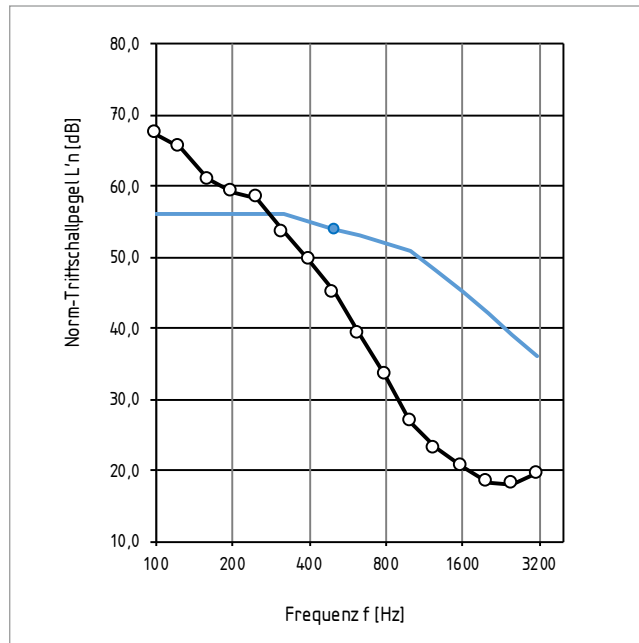
Bild 64 Alte Holzbalkendecke (Baujahr 1910), Ansicht vor der Instandsetzung

Schnitt, vertikal	Konstruktionsdetails		Messergebnis $L'_{n,w}$ dB
	mm	Bauteil	
	24	Holzdielen (Bestand)	54
	80	Mineralwolle (aus Vornutzung)	
	25	Gipskartonplatten (aus Vornutzung)	
	150	Balken (Bestand)	

Tabelle 47 Konstruktion und gemessene Trittschalldämmung der Holzbalkendecke Beispiel 2 (Bestandskonstruktion)

Bild 65 zeigt die frequenzweise Darstellung des gemessenen Norm-Trittschallpegels. Die Luftschallübertragung hatte keinen Einfluss auf den Norm-Trittschallpegel.

Bild 65 Messung der Trittschalldämmung der Holzbalkendecke entsprechend Tabelle 47 in einem Krankenhaus; gemessener Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ als Funktion der Frequenz (schwarze Kurve) und verschobene Bezugskurve mit resultierendem Einzahlwert des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L'_{n,w} = 54 \text{ dB}$ (blaue Kurve)



4.7 Treppen, Treppenpodeste und Treppenräume

4.7.1 Schalldämmende Konstruktion

Nutzungsbedingt steht bei Treppen die Trittschalldämmung im Vordergrund. Massive Treppenläufe und Podeste in Geschosshäusern müssen körperschall-entkoppelt eingebaut werden, um die Mindestanforderungen an die Trittschalldämmung einzuhalten. Die Entkopplung muss die Trittschallübertragung von den Treppenläufen und -podesten über die Treppenhauswände oder Deckenplatten in fremde Bereiche verhindern.

In massiven Mehrfamilienhäusern werden häufig Stahlbeton-Fertigteiltreppenläufe mit Podestsegmenten verwendet und mit geeigneten Entkoppelungselementen auf die Treppenraumwände bzw. auf die Geschossdecken aufgelagert (Bild 66). Die Wirkung der Entkoppelungselemente hängt u. a. von der Auflagerpressung ab und kann zeitabhängig abnehmen. Der Treppenlauf bleibt durch eine Fuge von der Treppenhauswand getrennt. Alternativ wären schwimmend verlegte Stufenbeläge

auf dem Treppenlauf möglich. Diese kommen aufgrund des konstruktiven Aufwandes und der problematischen Dauerhaftigkeit stufenweiser Anschlüsse selten zum Einsatz. Die Podeste werden typischerweise durch einen schwimmenden Estrich körperschallentkoppelt.



Bild 66 Massiver Fertigteiltreppenlauf mit unterem Zwischenpodestsegment, Auflagerkonsolen und Entkopplungselementen (blau). Die Podestsegmente werden später durch Ortbeton ergänzt.



Bild 67 Auflagerung eines massiven Fertigteiltreppenlaufs auf einer Podestplatte mit Elastomer-Treppenlager. Der nachträgliche schwimmende Podest-Estrich ist sorgfältig körperschall-isoliert einzubauen.

Die Auflagerung des Treppenlaufes muss besonders sorgfältig hergestellt werden. Die Trennung zwischen dem schwimmenden Estrich und dem Treppenlauf auf der Podestplatte ist durch Randdämmstreifen sicherzustellen (Bild 67). Weiterhin ist darauf zu achten, dass der schwimmende Estrich auf der Podestplatte sorgfältig vom schwimmenden Estrich der angrenzenden Wohnung getrennt wird. Im Bereich der Wohnungseingangstüren dürfen keine Schallbrücken entstehen. Schallbrücken können auch von Ausbaugewerken hervorgerufen werden, z.B. durch Fliesen- oder Putzarbeiten (Bild 68). Um spätere Streitigkeiten zu vermeiden, empfiehlt es sich,

den Einbau des Treppenlaufes und der Podestplatten sowie aller nachfolgenden Gewerke sorgfältig zu überwachen und zu dokumentieren.

Weitere Einflussfaktoren für die Trittschalldämmung der Treppe sind neben der schallbrückenfreien Ausführung die flächenbezogenen Massen der Treppenläufe und Treppenpodeste. Bei geschickter Grundrissanordnung wird die Trittschalldämmung schutzbedürftiger Wohnräume durch ausreichenden Abstand zum Treppenraum berücksichtigt. Der Beispielgrundriss in Bild 55 ist in dieser Hinsicht nicht optimal.

Doppelschalige massive Wände ermöglichen eine wirkungsvolle Körperschallentkopplung, sind jedoch baukonstruktiv aufwendig. Sie werden typischerweise als Haustrennwände angeordnet, insbesondere bei Doppel- und Reihenhäusern. Zur Abtrennung von Treppenräumen eignen sie sich wegen unvermeidlicher Schallbrücken (Durchgänge, Auflagerung, Abdichtung) und aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nur bedingt. Körperschallbrücken innerhalb zweischaliger Wände lassen sich nachträglich kaum entfernen.

Durch weichfedernde Bodenbeläge lässt sich die Trittschalldämmung zusätzlich verbessern, vorwiegend in den höheren Frequenzen. Aufgrund von bauaufsichtlichen Vorschriften zum Brandschutz werden trittschalldämmende Gehbeläge auf Treppen oder Treppenpodesten in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse in der Praxis nur selten angewendet, z. B. zur Verbesserung leichter Treppen in Bestandsbauwerken.

Bild 68 Körperschallbrücke infolge unzureichender Estrichtrennung zwischen Treppenpodest (Fliesenbelag) und Wohnung (Parkett) im Wohnungseingangsbereich



Die benötigten Laborprüfverfahren zur Messung der akustischen Eigenschaften von Entkopplungselementen für massive Treppenpodeste und Treppenläufe werden in der Norm DIN 7396 [DIN 7396] festgelegt. Ziel der Norm ist die einheitliche Produktkennzeichnung von Entkopplungselementen für Massivtreppen zur Vergleichbar-

keit der akustischen Qualität. Die gewonnenen Messergebnisse sollen zukünftig als Eingangsdaten für Prognoserechnungen zur Verfügung stehen.

Zwischen Treppenräumen und angrenzenden schutzbedürftigen Räumen ist auch die Luftschalldämmung der Treppenraumwände und Wohnungseingangstüren zu berücksichtigen. Nutzungsbedingt führen der beim Begehen der Treppen hervorgerufene Luftschall, Unterhaltungen, Rufe und Gelächter sowie Nebengeräusche (z. B. Zuschlagen von Türen, Reinigung) zu Belästigungen. Der Luftschallanteil in Treppenräumen lässt sich durch raumakustische Maßnahmen reduzieren (vgl. Kapitel 3), was in der Praxis häufig vernachlässigt wird. Außerdem trägt erfahrungsgemäß gerade in Treppenräumen eine hochwertige gedämpfte raumakustische Situation unbewusst zu leiserem Nutzerverhalten und damit zur Lärminderung bei.

Weiterhin muss die Vertraulichkeit von Gesprächen in Wohnungen gewährleistet sein. Unterhaltungen in Wohnräumen sollten im Treppenhaus nicht mitgehört werden können. Daher sollte ein direkter Zugang von Treppenräumen in Wohnräume nach Möglichkeit vermieden werden. An Türen, die von Hausfluren oder Treppenräumen unmittelbar in Aufenthaltsräume – außer Flure und Dielen – von Wohnungen führen, werden aus Gründen der Vertraulichkeit höhere Anforderungen gestellt [DIN 4109:1989, DIN 4109-1:2018].

Wohnungseingangstüren in Treppenräumen sind sorgfältig zu planen und auszuführen. Maßgebend für die schalldämmende Wirkung der Tür ist nicht ausschließlich das Türblatt, sondern die Einbausituation mit Zarge und Dichtungen insgesamt. Hierbei sind parallele Gewerke zu beachten, z. B. hängt die Wirkung von Bodendichtungen von der Ebenheit des Fußbodens ab. Diese wiederum wird auch von der Körperschalltrennung zwischen Wohnungs- und Podestestrich unterhalb der Tür beeinflusst. Um Streitigkeiten zu vermeiden empfiehlt es sich, den vollständigen Türeinbau mit Zarge an einen Auftragnehmer zu vergeben und eine sorgfältige Qualitätssicherung durchzuführen.

4.7.2 Rechnerischer Nachweis

Zum rechnerischen Nachweis von massiven Treppen werden im Abschnitt 4.9.4 der Norm DIN 4109-32:2016 bislang ausschließlich pauschale Werte für den bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ angegeben, s. Tabelle 48. Die Rechenwerte wurden aus dem Abschnitt 4.3 des Beiblatts 1 zur Norm DIN 4109:1989-11 übernommen und hängen wie bisher von der Konstruktion und der Auflagersituation ab. Zur Berücksichtigung der Unsicherheitsrechnung nach DIN 4109-2:2018 wurden sie gegenüber den Werten von 1989 um 3 dB abgemindert.

Zeile	Treppen und Treppenraumwand	$L_{n,eq,0,w}$ dB	$L'_{n,w}$ dB
1	Treppenpodest ^{a)} , fest verbunden mit einschaliger, biegesteifer Treppenraumwand (flächenbezogene Masse $\geq 380 \text{ kg/m}^2$)	63	67
2	Treppenlauf ^{a)} , fest verbunden mit einschaliger, biegesteifer Treppenraumwand (flächenbezogene Masse $\geq 380 \text{ kg/m}^2$)	63	67
3	Treppenlauf ^{a)} , abgesetzt von einschaliger, biegesteifer Treppenraumwand	60	64
4	Treppenpodest ^{a)} , fest verbunden mit Treppenraumwand und durchgehender Gebäudetrennfuge nach Abschnitt 4.3.3.2 der Norm DIN 4109-32:2016	≤ 50	≤ 47
5	Treppenlauf ^{a)} , abgesetzt von Treppenraumwand und durchgehender Gebäudetrennfuge nach Abschnitt 4.3.3.2 der Norm DIN 4109-32:2016	≤ 43	≤ 40
6	Treppenlauf ^{a)} , abgesetzt von Treppenraumwand und durchgehender Gebäudetrennfuge nach Abschnitt 4.3.3.2 der Norm DIN 4109-32:2016, auf Treppenpodest elastisch gelagert	35	39

a) gilt für Stahlbetonpodest oder -treppenlauf mit einer Dicke $d \geq 120 \text{ mm}$

Tabelle 48 Äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ und bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ für verschiedene Ausführungen von massiven Treppenläufen und Treppenpodesten unter Berücksichtigung der Ausbildung der Treppenraumwand nach [DIN 4109-32:2016]

Derzeit ergibt sich der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ der Konstruktion auf Grundlage der bewerteten Trittschallminderung ΔL_w eines schwimmenden Estrichs für die Treppenkonstruktionen aus Tabelle 48 nach (Gl. 66).

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w \text{ [dB]} \quad (66)$$

- $L'_{n,w}$: bewerteter Norm-Trittschallpegel bei nicht übereinanderliegenden Räumen in dB
- $L_{n,eq,0,w}$: äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel gemäß Tabelle 48, in dB
- ΔL_w : bewertete Trittschallminderung eines Bodenbelags oder eines schwimmenden Estrichs in dB

Die Nachweisverfahren sollen zukünftig unter Einbeziehung der Prüfnorm DIN 7396 [DIN 7396] weiterentwickelt werden. Die europäische Norm DIN EN 12354-2 [DIN EN ISO 12354-2] gibt hierzu Hinweise. Eine von den Wänden bzw. der Decke getrennte (sogenannte frei stehende) massive Treppenkonstruktion könnte im Prinzip als ein schwimmend verlegter Estrich betrachtet und durch eine Minderung des Trittschallpegels ΔL gekennzeichnet werden. Im Prinzip ist hierbei der Grad des freien Stehens durch die Wirkung von Entkopplungselementen weiter zu definieren. Messergebnisse auf Grundlage der Prüfnorm DIN 7396 sollen hierbei die bisherigen produktbezogenen Prüfstandsmessungen ersetzen.

4.7.3 Nachweisbeispiel

Als Nachweisbeispiel wird der Grundriss aus Bild 59 auf Seite 173 verwendet. Das Podest im Bereich der Wohnungseingangstüren ist Teil der Geschossdecke. Der Treppenlauf wird als Stahlbetonfertigteile hergestellt und verläuft abgesetzt von der einschaligen, biegesteifen Treppenraumwand. Sein oberes Auflager ist das mit der Geschossdecke starr verbundene Podest. Das Zwischenpodestsegment ist Teil des Treppenlaufes und wird körperschallentkoppelt als unteres Auflager mit der Außenwand verbunden.

Für die Trittschalldämmung des Podestes im Bereich der Wohnungseingangstüren, fest verbunden mit einschaliger, biegesteifer Treppenraumwand und flächenbezogener Masse = $504 \text{ kg/m}^2 \geq 380 \text{ kg/m}^2$ (vgl. Kapitel 4.6.2), ergibt sich nach Tabelle 48:

$$L'_{n,eq,0,w} = 63 \text{ dB}$$

Mit der bewerteten Trittschallminderung des gewählten schwimmenden Estrichs (vgl. Kapitel 4.6.3)

$$\Delta L_w = 29,8 \text{ dB}$$

folgt nach Gleichung 66):

$$L'_{n,w} = L'_{n,eq,0,w} - \Delta L_w = 63 - 29,8 = 33,2 = 33 \text{ dB}$$

Bei vereinfachter Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte nach Abschnitt 5.3.3 der Norm DIN 4109-2:2018 gilt zur Erfüllung der Anforderungen an die Trittschalldämmung (vgl. Tabelle 27 auf Seite 127):

$$L'_{n,w} + 3 \text{ dB} \leq \text{zul. } L'_{n,w} (\text{dB}) \rightarrow 33 + 3 = 36 \text{ dB} \leq 53 \text{ dB}$$

Die Anforderung der Norm DIN 4109-1:2018 wird erfüllt.

Für den Treppenlauf folgt nach Tabelle 48:

$$L'_{n,w} = 64 \text{ dB}$$

Bei vereinfachter Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte nach Abschnitt 5.3.3 der Norm DIN 4109-2:2018 gilt zur Erfüllung der Anforderungen an die Trittschalldämmung (vgl. Tabelle 27 auf Seite 127):

$$L'_{n,w} + 3 \text{ dB} \leq \text{zul. } L'_{n,w} (\text{dB}) \rightarrow 64 + 3 = 67 \text{ dB} \leq 53 \text{ dB}$$

Der Treppenlauf erfüllt die Mindestanforderungen an die Trittschalldämmung zunächst nicht. Er ist durch Entkopplungselemente mit ausreichender Podest-Trittschallpegeldifferenz bzw. Lauf-Trittschallpegeldifferenz zu trennen. Diese ist durch einen Prüfbericht nachzuweisen. Bei der bauakustischen Planung sollte auch die Frequenzabhängigkeit der Werte berücksichtigt werden. Zur Qualitätssicherung ist eine messtechnische Überprüfung des vorhandenen Norm-Trittschallpegels der eingebauten Treppe am Bau durch eine sachverständige Prüfstelle empfehlenswert.

4.8 Aufzugsanlagen für Wohngebäude

4.8.1 Grundsätzliche Anforderungen und Normen

Beim Betrieb von Aufzugsanlagen werden durch Körperschallanregung Störgeräusche hervorgerufen. Insbesondere in Wohngebäuden kann es in der Folge zu Beanstandungen kommen. Daher sind neben der geeigneten Grundrissanordnung eine möglichst lärmarme Auslegung und Konstruktion der Aufzugsanlage und eine ausreichende Schalldämmung erforderlich. Zusätzlich können Maßnahmen zur Körperschallisolierung der technischen Anlagen erfolgen. Anforderungen an den Brandschutz beeinflussen die Möglichkeiten der baulichen Schalldämmung, z. B. bei der Bauweise der Schachttüren.

Aufzugsanlagen werden in Geschosshäusern mit Wohnungen zur Berücksichtigung von Komfortexpectationen und zur Umsetzung des Grundsatzes des barrierefreien Bauens eingebaut. In der Praxis stehen Personenaufzüge im Vordergrund. Sie erleichtern Familien mit Kindern, älteren Bewohnern und Menschen mit Behinderungen die Erreichbarkeit ihrer Wohnungen. Aufgrund der demografischen Entwicklung ist mit einer weiter zunehmenden Verbreitung von Aufzugsanlagen in Wohngebäuden zu rechnen. Ältere Bewohnerinnen und Bewohner sind bei Vermietung und Verkauf von Wohnimmobilien eine attraktive Zielgruppe, sodass Aufzüge zur marktgerechten Erschließung von Wohnungen zunehmend berücksichtigt werden. Auch das betreute Wohnen setzt barrierefreie Wohnungen bzw. Wohnanlagen voraus. Durch den überwiegenden Wunsch älter werdender Bewohner nach einem möglichst langen Verbleib im gewohnten Lebensumfeld ist außerdem mit einer steigenden Nachrüstung von Personenaufzügen in bestehenden Gebäuden zu rechnen. Das betrifft inzwischen auch denkmalgeschützte Gebäude, da in den Denkmalschutzgesetzen zunehmend die Belange von Menschen mit Behinderungen, älteren Menschen und anderen Personen mit Mobilitätsbeeinträchtigung berücksichtigt werden. Lastenaufzüge für den Pkw-Transport in Wohngebäuden stellen in urbanen Umgebungen ein besonderes Marktsegment dar. Derartige Einrichtungen, die sogar Reinigungsanlagen umfassen können, verursachen zusätzliche Geräusche.

Da der Lärm von Aufzugsanlagen in Wohngebäuden zu erheblichen Belästigungen führen kann, sollte die Lärminderung als Planungsziel bereits in der Vorplanung berücksichtigt werden. Aufzugsanlagen in Geschosshäusern mit Wohnungen werden aus Kostengründen heute in der Regel ohne Triebwerksraum errichtet. Die Aufzugstechnik muss dann vollständig innerhalb des vorhandenen Fahrschachtes angeordnet werden. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass schutzbedürftige Räume im Grundriss geeignet angeordnet werden. Eine frühzeitige Abstimmung mit sachkundigen Fachplanern ist empfehlenswert, um eine möglichst lärmarme Lösung zu entwickeln.

Nach den Landesbauordnungen zählen Aufzugsanlagen zu den Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung. Aufzüge im Innern von Gebäuden müssen eigene Fahrschächte aufweisen, um eine Brandausbreitung in andere Geschosse ausreichend lange zu verhindern. Aufzüge ohne eigene Fahrschächte sind in besonderen Fällen möglich, z. B. innerhalb eines notwendigen Treppenraumes oder zur Verbindung von Geschossen, die offen miteinander in Verbindung stehen. In Hochhäusern gelten weitergehende Anforderungen. Die erforderliche Feuerwiderstandsklasse der Fahrschachtwände hängt von der Gebäudeklasse ab. Zusätzliche Anforderungen bestehen an Lüftung und Rauchableitung [MBO].

In Gebäuden mit einer Höhe von mehr als 13 m müssen Aufzüge in ausreichender Zahl angeordnet werden. Die Gebäudehöhe ist den Landesbauordnungen entsprechend das Maß der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen Aufenthaltsraumes über der festgelegten Geländeoberfläche. Mindestens ein Aufzug muss Kinderwagen, Rollstühle, Krankentragen und Lasten aufnehmen können und Haltestellen in allen Geschossen mit Aufenthaltsräumen und erforderlichen Nebenräumen haben. Dieser Aufzug muss von allen Geschossen mit Aufenthaltsräumen und erforderlichen Nebenräumen im Gebäude und von der öffentlichen Verkehrsfläche aus stufenlos erreichbar sein [MBO].

Weiterhin geben die Landesbauordnungen Mindestabmessungen für Fahrstuhl-kabinen vor: Fahrkörbe zur Aufnahme einer Krankentrage müssen eine nutzbare Grundfläche von mindestens 110 cm · 210 cm und zur Aufnahme eines Rollstuhls von mindestens 110 cm · 140 cm aufweisen. Für Türen von Fahrkörben für Krankentragen oder Rollstühle wird eine lichte Durchgangsbreite von mindestens 90 cm gefordert. Vor den Aufzügen muss eine ausreichende Bewegungsfläche vorhanden sein [MBO]. Die Landesbauordnungen fordern bei Planung, Errichtung oder Änderung baulicher Anlagen Rücksichtnahme auf die besonderen Belange von Familien mit Kindern, von alten Menschen sowie Menschen mit Behinderungen durch den Grundsatz des barrierefreien Bauens.

Zur barrierefreien Planung werden die Anforderungen an die Fläche vor der Aufzugstür z. B. in der Norm DIN 18040-2 präzisiert: Vor den Aufzugstüren ist eine Bewegungs- und Wartefläche von mindestens 150 cm · 150 cm zu berücksichtigen. Außerdem dürfen gegenüber von Aufzugstüren keine abwärts führenden Treppen angeordnet werden. Sind sie dort unvermeidbar, muss ihr Abstand mindestens 300 cm betragen [DIN 18040-2].

Die HOAI [HOAI] ordnet Aufzugsanlagen als Förderanlagen dem Leistungsbild Technische Ausrüstung zu. Hinweise für das Aufstellen von Leistungsbeschreibungen von Aufzugsanlagen werden in der Norm DIN 18385 [DIN 18385] zusammengestellt.

Von Herstellerseite ist die Aufzugsverordnung [Aufzugsverordnung] zu beachten. Hierbei handelt es sich um eine Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz. Die Auf-

zugsverordnung gilt für Aufzüge, die Gebäude und Bauten dauerhaft bedienen, nicht für Baustellenaufzüge, Schachtförderanlagen, Fahrtreppen usw. und regelt das »Inverkehrbringen« eines Aufzugs. Das Inverkehrbringen bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem der Montagebetrieb den Aufzug dem Benutzer erstmals zur Verfügung stellt. Die Aufzugsverordnung regelt die Sicherheitsanforderungen, die Voraussetzungen für das Inverkehrbringen und die erforderliche CE-Konformitätskennzeichnung.

4.8.2 Technische Bestandteile von Aufzugsanlagen

Aufzugsanlagen bestehen aus einer Kabine – auch als Fahrkorb bezeichnet – die an Führungsschienen in einem Schacht geführt wird. Der Antrieb kann elektrisch oder hydraulisch erfolgen. Die Kabine wird bei der überwiegenden Zahl der Anlagen durch Tragseile bewegt, die am Kabinenrahmen befestigt sind. Die Entscheidung für ein System erfolgt auf Grundlage betrieblicher und technischer Anforderungen, des aktuellen Marktpreises und der Betriebskosten, z. B. durch Energieverbrauch und Wartung. Die Energieeffizienz von Aufzügen gewinnt zunehmend an Bedeutung.

In Wohngebäuden werden häufig elektrisch angetriebene Seilaufzüge mit Treibscheibe eingebaut (Treibscheibenaufzug). Die Tragseile werden vom Kabinenrahmen über die Antriebsscheibe und Umlenkrollen zum Ausgleichsgewicht geführt. Das Ausgleichsgewicht ist zur Reduzierung des Energiebedarfs erforderlich und gewährleistet als Gegengewicht den erforderlichen Anpressdruck auf die Antriebsscheibe (die sogenannte Treibfähigkeit). Anhaltswert für die Festlegung der Masse des Ausgleichsgewichtes ist das Kabineneigengewicht zuzüglich der halben Nutzlast. Bei leeren Aufwärtsfahrten und voll besetzten Abwärtsfahrten besteht dann die Möglichkeit zur Energierückgewinnung.

Aufgrund der begrenzten Höhe und der geringen Fahrgeschwindigkeit sind die betrieblichen Anforderungen an Aufzugsanlagen in üblichen Mehrgeschosshäusern typischerweise gering. Anders als in Hochhäusern ist ein separater Triebwerksraum hier technisch nicht unbedingt erforderlich. Benötigt wird im Prinzip nur ein abgeschlossener Raum für die Steuereinheit, z. B. im Keller.

Zur Minimierung des Raumbedarfs wird das Antriebssystem bei Aufzugsanlagen in Wohngebäuden daher überwiegend ohne Triebwerksraum direkt im Fahrtschacht angeordnet. Hierfür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Die Zeichnungen in Bild 69 und Bild 70 verdeutlichen das Prinzip von seilgeführten Aufzugsanlagen bei Lage des Triebwerks im Schachtkopf und in der Schachtgrube. Abhängig von der Lage des Triebwerks sind Umlenkrollen zur Seilführung erforderlich. Die Kabine wird seitlich durch Fahrschienen geführt. Das Ausgleichsgewicht fährt ebenfalls in einer Anlage aus Führungsschienen. Als Führungsschienen werden T-Profile verwendet, die durch justierbare Montagesysteme mit geeigneten Verbindungsmitteln an der Schachtwand befestigt werden.

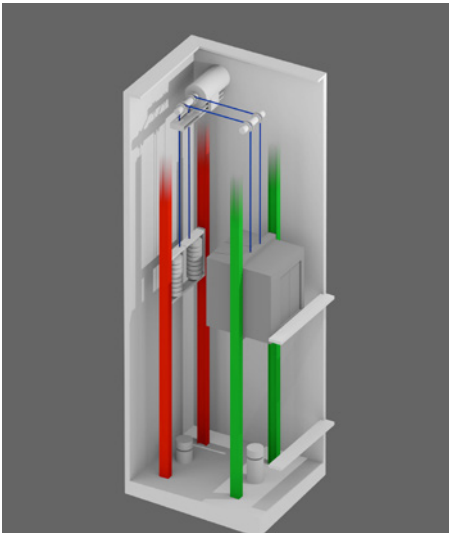


Bild 69 Aufzugsanlage ohne Triebwerksraum;
Prinzipskizze: Seilaufzug mit Treibscheibe, Trieb-
werk im Schachtkopf

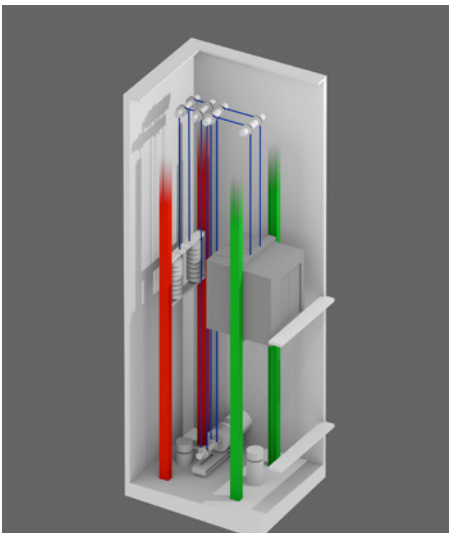


Bild 70 Aufzugsanlage ohne Triebwerksraum;
Prinzipskizze: Seilaufzug mit Treibscheibe, Trieb-
werk in der Schachtgrube

Wird eine weitere Minimierung der Schachtflächen gewünscht, kommen Seiltrommelaufzüge zum Einsatz. Bei Trommelaufzügen entfällt das Ausgleichsgewicht. Aufgrund der größeren zu bewegendes Gesamtmasse entsteht im Vergleich zum Treibscheibenaufzug ein höherer Energiebedarf. Während der Fahrt wird das Tragseil am Triebwerk auf einer Seiltrommel auf- und abgewickelt. Das Triebwerk kann im Schacht oder auf dem Kabinenrahmen angeordnet werden.

Alternativ können Aufzugsanlagen hydraulisch über einen Druckzylinder oder Hubkolben mit Ventilsteuerung angetrieben werden (Linearantrieb). Die Anlagenhöhe ist durch die Länge der Druckzylinder begrenzt. In Wohngebäuden kommen auch seilhydraulische Aufzüge zum Einsatz. Hierbei bewegt ein Druckzylinder die obere Umlenkrolle der Tragseile (Bild 71). Die Tragseile werden in der Schachtgrube und am Kabinenrahmen befestigt. Durch die Umlenkung entsteht eine Übersetzung im Verhältnis 2:1, sodass als Länge des Hebers die halbe Schachthöhe ausreicht. Elektrische Energie wird bei Druckzylindern überwiegend für die Hydraulikpumpe zur Aufwärtsfahrt benötigt. Die Abwärtsfahrt erfolgt unter Eigenlast durch Ventilsteuerung. Bei der Planung und beim Betrieb von Hydraulikaufzügen sind mögliche Umweltgefährdungen durch das Hydrauliköl sowie ggf. brandschutztechnische Anforderungen zu berücksichtigen.

Bild 71 Seilhydraulische Aufzugsanlage ohne Triebwerksraum in einem Wohngebäude; Blick in Richtung Schachtkopf mit Hydraulikzylinder und Heber. Auf der rechten Seite, oben und unten im Bild, sind die Führungsschienen sichtbar.



4.8.3 Abmessungen und Eigenschaften von Aufzugsanlagen

Baumaße für den Einbau von elektrisch und hydraulisch angetriebenen Personenaufzügen in Wohngebäuden werden in der Norm DIN 15306 [DIN 15306] und für alle anderen Gebäude und für Bettenaufzüge in der Norm DIN 15309 [DIN 15309] geregelt. Sicherheitsregeln und sicherheitsrelevante Anforderungen und Abmessungen sind in der Norm DIN EN 81-20 [DIN EN 81-20] zusammengefasst.

Die Norm DIN 15306 legt für Personenaufzüge in Wohngebäuden folgende Tragfähigkeiten fest:

- 320 kg und 450 kg für die Benutzung durch Personen,
- 630 kg für die Benutzung auch mit Kinderwagen und Rollstühlen,
- 1000 kg für die Benutzung auch zum Transport von Krankentragen, Möbeln und Rollstühlen.

In Abhängigkeit von der Tragfähigkeit werden in der Norm DIN 15306 folgende Mindestabmessungen für Aufzugsanlagen in Wohngebäuden angegeben (Tabelle 49):

Parameter	Nenngeschwindigkeit v _n	Tragfähigkeit			
		320 kg	450 kg	630 kg	1000 kg
Fahrkorbbreite b1 [mm]		900	1000	1100	1100
Türbreite Kabine b2 [mm]		700	800	900	900
Fahrkorbtiefe d1 [mm]		1000	1200	1400	2100
Schachtbreite b3 [mm]		1500	1600	1700	1700
Schachttiefe d2 [mm]		1500	1700	1900	2600
Fahrkorbhöhe [mm]		2200			
Fahrkorb- und Schachttürenhöhe [mm]		2000	2100		
Schachtgrubentiefe [mm]	0,40 m/s ^{a)}	1400			
	0,63 m/s				
	1,00 m/s				
	1,60 m/s	b)	1600		
	2,00 m/s	b)		1750	
	2,50 m/s	b)		2200	
Schachtkopfhöhe [mm]	0,40 m/s ^{a)}	3600			
	0,63 m/s				
	1,00 m/s	3700			
	1,60 m/s	b)	3800		
	2,00 m/s	b)		4300	
	2,50 m/s	b)		5000	
a)	nur für hydraulische Aufzüge				
b)	keine Standardkonfiguration				

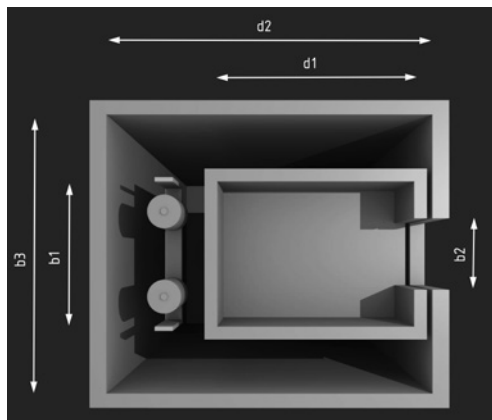
Tabelle 49 Mindestabmessungen für Aufzugsanlagen in Wohngebäuden entsprechend [DIN 15306]

Bei den angegebenen Abmessungen des Fahrkorbes und des Schachtes handelt es sich um die jeweils nutzbare Fläche (Innenmaße). Die Maße entsprechen bei Fahr-

körben zur Aufnahme einer Krankentrage und zur Aufnahme eines Rollstuhls den Landesbauordnungen und werden auszugsweise in Bild 72 dargestellt.

Die Normenreihe DIN EN 81 regelt weitere Anforderungen an Aufzugsanlagen, z. B. für Aufzüge unter Erdbebenbedingungen, zum Verhalten von Aufzugsanlagen im Brandfall oder zur Zugänglichkeit von Aufzügen. In der Planung sind diverse weitere Details zu beachten, z. B. zur Benutzung von Notruf-Wechselsprechanlagen in Aufzügen durch Menschen mit sensorischen Einschränkungen.

Bild 72 Schnitt durch einen Fahrstuhlschacht mit Kabine zur Erläuterung der Maße aus Tabelle 49.



4.8.4 Geräusche beim Betrieb von Aufzugsanlagen

Durch den Betrieb von Aufzugsanlagen wird insbesondere Körperschall, aber auch Luftschall hervorgerufen. Die entstehenden Geräusche sind teilweise tieffrequent und durch angrenzende Bauteile schlecht zu dämmen. Wie bereits beschrieben ist daher anzustreben, mögliche Geräuschquellen durch Ausnutzung aller Möglichkeiten zur Lärminderung zu vermeiden.

Bei Aufzugsanlagen entstehen Geräusche vorwiegend durch die Fahrt der Kabine und durch das Triebwerk. Zu den Fahrgeräuschen zählen auch das Anfahren und Bremsen. Die Fahrgeräusche hängen von der Führung der Kabine, von der gewählten Fahrgeschwindigkeit und von der Belastung der Kabine ab. Für die Reduzierung der Fahrgeräusche ist eine präzise Montage der Führungsschienen von großer Bedeutung. Unebenheiten, z. B. an Schienenstößen oder durch Abweichungen beim Schachtabstand, führen im Betrieb zu störenden Geräuschen. Die Schienenprofile müssen daher sehr sorgfältig eingemessen und justiert werden. Hierbei ist eine über die Anforderungen der Norm DIN 18202 [DIN 18202] hinausgehende Begrenzung der Rohbautoleranzen bei der Schachtherstellung hilfreich. Der Fahrstuhlschacht muss außerdem ausreichend steif sein.

Weiterhin muss der Kabinenrahmen unter Berücksichtigung des Kabinenschwerpunktes und der Führungsbedingungen durch ausreichend steife Auflagerung am Trageil befestigt sein (Bild 73). Bei vorhandener Exzentrizität können während der Fahrt sonst infolge von erhöhter Reibung durch Verkanten zusätzliche Geräusche entstehen. Eine Drei- oder Vierpunktführung ist abhängig von der Kabinenauf- lagerung bzw. Trageilbefestigung lärmärmer als eine Zweipunktführung. Ein präziser Einbau von Schienen und Kabine trägt erheblich zur Lärminderung bei. Dämpfungselemente zur Entkopplung der Schienen von der Schachtwand können eine zusätzliche Verbesserung bewirken, wenn sie die Montagegenauigkeit nicht reduzieren und keinen Sekundärschall hervorrufen, z. B. durch Resonanzen der Kabine. Weiteren Einfluss übt die Art der Führung aus, z. B. Gleitschlitten oder Rollen als Führung an der Schiene.

Als Triebwerk für Seilaufzüge werden frequenzgeregelter Synchron-Elektromotoren verwendet. Geräusche durch Elektromotoren entstehen bei zunehmender Drehzahl infolge von Exzentrizitäten und Resonanzen sowie ggf. auch durch Luftströmungsgeräusche innerhalb des Motorgehäuses. Die Geräusche des elektrischen Antriebssystems können durch technische Maßnahmen reduziert werden, z. B. durch Begrenzung der Drehzahl und geräuscharme Motorsteuerung mit geeigneten Frequenzumrichtern (sogenannte Sinus-Frequenzumrichter). Bei moderner Steuerungstechnik wird z. B. das Kabinengewicht durch Sensoren erfasst und die Motorensteuerung entsprechend abgestimmt, um das Anfahrtsgeräusch zu minimieren. Die Geräusche des Seillaufes über die Umlenkrollen lassen sich durch lärmarme Lagerung vermindern. Bei hydraulisch betriebenen Aufzügen entstehen Geräusche vorwiegend durch die Hydraulikpumpe, die schalltechnisch entkoppelt eingebaut werden sollte, sowie durch mögliche Schaltgeräusche der Ventile.

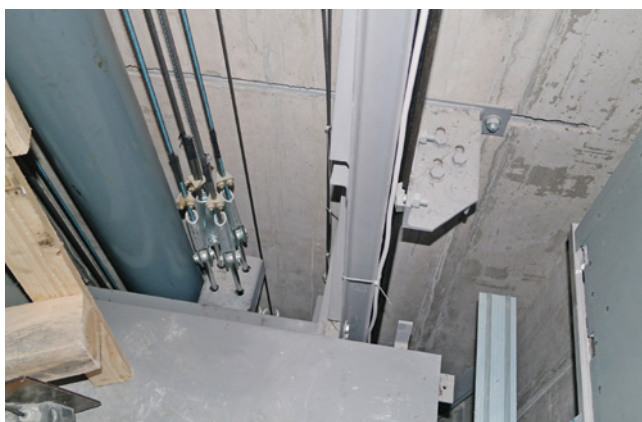


Bild 73 Aufzugsanlage, Kabine im Montagezustand: Blick auf den Kabinenboden mit Kabinenrahmen und Befestigung der Trageile auf Bodenniveau an einem Kragarm

Weitere Betriebsgeräusche von Aufzugsanlagen werden durch das Öffnen und Schließen der Kabinentüren und durch Ankunftssignalgeber hervorgerufen. Auch zusätzliche Ausstattungselemente der Kabine, wie Lüftung oder Klimatisierung, können zur Geräuscentwicklung beitragen. Allgemein werden Geräusche von Aufzugsanlagen bei niedrigem Grundgeräuschpegel – z.B. in ruhiger Wohnlage oder nachts – eher störend empfunden als in lebhafter Umgebung. Das Störepfinden gegenüber bestehenden Aufzugsanlagen kann beispielsweise steigen, wenn bei konstantem Außenlärmpegel schalldämmende Fenster eingebaut werden.

4.8.5 Bauakustische Anforderungen

Aufzüge zählen nach dem Verständnis der Normenreihe DIN 4109 [DIN 4109:1989, DIN 4109-1:2018] als Transportanlagen zu den gebäudetechnischen Anlagen, vgl. Kapitel 4.3.5. Damit gelten für den Mindestschallschutz die Anforderungen nach Tabelle 29 auf Seite 131.

Durch den Aufzugsbetrieb darf in Wohn- und Schlafräumen ein maximaler A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{AF,max,n}$ von 30 dB(A) nicht überschritten werden.

Bei Wunsch nach einem erhöhten Schallschutz verbleibt die Vereinbarung der Kennwerte der Richtlinie VDI 4100:2007 [VDI 4100]. Aufzüge werden hier als Transportanlagen zu den sonstigen haustechnischen Anlagen gezählt. Die Kennwerte der Schallschutzstufen I und II entsprechen den Anforderungen der Norm DIN 4109-1:2018, vgl. Tabelle 29 und Tabelle 33. Bei erhöhtem Komfortwunsch wäre daher die Schallschutzstufe III zu vereinbaren ($L_{AF,max} \leq 25$ dB). Die Begrenzung des kennzeichnenden Schalldruckpegels $L_{AF,max}$ durch Aufzugsbetrieb in benachbarten Wohnräumen auf 25 dB(A) durch bauliche Maßnahmen ist aufwendig. In diesem Fall ist besonders lärmarme Aufzugstechnik erforderlich.

Die in der Fassung 2012 der Richtlinie VDI 4100 angegebenen Kennwerte $L_{AF,max,nT}$ können mit den Werten $L_{AF,max}$ der Fassung 2007 (s. Tabelle 33) nicht verglichen werden, da hierbei zusätzlich das Raumvolumen zu berücksichtigen ist.

Der Standard DIN SPEC 91314:2017 gibt als Kennwert vor: $L_{AF,max,n} \leq 27$ dB(A) [DIN SPEC 91314:2017].

4.8.6 Überprüfung des Schallschutzes durch Messung

Messungen des kennzeichnenden Schalldruckpegels $L_{AF,max}$ durch Aufzugsbetrieb sind nach den Normen DIN 4109-11:2010 [DIN 4109-11:2010] und DIN EN ISO 10052:2004 [DIN EN ISO 10052] durchzuführen. Es müssen insgesamt mindestens drei Messungen an vorgegebenen Positionen im maßgebenden Wohn- oder Schlafraum

durchgeführt werden, vgl. Kapitel 4.2.4. Hierbei muss jeweils ein vollständiger Betriebszyklus des Aufzugs erfasst werden. Entsprechend Abschnitt B.5 der Norm DIN EN ISO 10052 ist der Aufzug hierfür vom niedrigstmöglichen Stockwerk anzufahren. Er ist in jedem Zwischengeschoss anzuhalten. Die Tür ist zu öffnen und zu schließen (falls mit der Hand, ohne Gewalt). Wenn der Aufzug das Schachtende erreicht hat, ist direkt zum niedrigstmöglichen Stockwerk zurückzufahren und die Tür ist zu öffnen und zu schließen. Erst dann ist ein Betriebszyklus beendet. Bei der Messung muss der Aufzug mit ein oder zwei Personen belastet werden. Die Last und die Anzahl von Personen im Fahrstuhl während der Messung müssen im Prüfbericht angegeben werden. Die Messung ist komplex und muss sehr sorgfältig durchgeführt werden. Daher sollte eine sachkundige Prüfstelle beauftragt werden, die sich regelmäßigen Ringversuchen unterzieht.

4.8.7 Lärminderung

Hinweise zur Lärminderung von Aufzugsanlagen werden in den VDI-Richtlinien VDI 2566 Blatt 1 »Schallschutz bei Aufzugsanlagen mit Triebwerksraum« [VDI 2566 Blatt 1] und VDI 2566 Blatt 2 »Schallschutz bei Aufzugsanlagen ohne Triebwerksraum« [VDI 2566 Blatt 2] zusammengestellt. Da Aufzugsanlagen in Wohngebäuden überwiegend ohne Triebwerksraum errichtet werden, steht hier das Blatt 2 der Richtlinie im Vordergrund. Es gilt für Personen- und Lastenaufzüge bis zu einer Nutzlast von 1600 kg und einer maximalen Betriebsgeschwindigkeit von 1,6 m/s.

In der Richtlinie werden schalltechnische Grenzwerte für die technische Anlage definiert, Maßnahmen zum baulichen Schallschutz beschrieben, Hinweise für die körperschalldämmende Aufstellung gegeben und Messverfahren für die schalltechnische Überprüfung dargestellt.

Folgende messtechnisch überprüfbaren Grenzwerte werden für die akustischen Kenngrößen von Aufzugsanlagen angegeben:

- maximal zulässiger Körperschallpegel $L_{a,SCHACHT,W}$ an den Schnittstellen der Aufzugsanlage zum Gebäude,
- maximal zulässiger A-bewerteter Schalldruckpegel vor den Schachttüren $L_{AFmax,TÜR}$ bzw. vor Schaltgeräten $L_{AFmax,SCHALT}$ außerhalb des Schachtes,
- maximal zulässiger A-bewerteter Schalldruckpegel im Schacht und Fahrkorb.

Diese akustischen Kenngrößen werden in der Praxis für die Überprüfung des Schallschutzes nicht angewendet, da die gegenwärtigen bauakustischen Nachweis-konzepte für haustechnische Anlagen nur den Nachweis von Luftschallpegeln in schutzbedürftigen Räumen umfassen. Die Kenngrößen können herangezogen werden, um die Ursache möglicherweise störender Geräusche durch den Betrieb der Aufzugsanlage zu untersuchen.

Die in der VDI-Richtlinie VDI 2566 Blatt 2 zusammengefassten Hinweise für die körperschalldämmende Aufstellung der Aufzugsanlage richten sich an Hersteller und Fachplaner. Für elektrisch betriebene Aufzüge werden Hinweise zur Auslegung körperschalldämmender Elemente in Abhängigkeit von der dynamisch wirkenden Triebwerksmasse gegeben: Bei hydraulisch betriebenen Aufzügen sollte das Hydraulikaggregat körperschallisoliert aufgestellt werden. Der Heber im Schacht sollte auf ein körperschalldämmendes Element gestellt werden und nicht an einer Wand befestigt werden, die an schutzbedürftige Räume grenzt. Zur Befestigung des Hebers an der Schachtwand sollten körperschallisolierte Schellen verwendet werden. Auch die Führungsschienen von Kabine und Ausgleichsgewicht sollten nicht an Schachtwänden montiert werden, die an schutzbedürftige Räume grenzen. Unabhängig von der Antriebsart ist nach der Richtlinie für alle Triebwerke, Rollengerüste und Schaltgeräte im Schachtraum eine Körperschalldämmung erforderlich [VDI 2566 Blatt 2].

4.8.8 Hinweise zur Planung

In der Praxis sollten die Anforderungen des baulichen Schallschutzes und der Einbau einer lärmarmen Aufzugsanlage parallel verfolgt werden. Der regelgerechte Schallschutz bzw. der gewünschte erhöhte Schallschutz sind durch die erforderlichen baulichen Maßnahmen zu realisieren. Gleichzeitig sind die infolge Aufzugsbetrieb entstehenden Geräusche technisch und durch Körperschallisolierung zu minimieren. Für eine erfolgreiche Lösung sollten Objektplanung und aufzugstechnische Fachplanung bereits in der Vorplanung zusammenarbeiten. Wird das Ziel eines erhöhten Schallschutzes verfolgt (VDI 4100:2007, SSSt. III oder DIN SPEC 91314:2017), sollte die bauakustische Fachplanung bereits in die Vorplanung integriert werden. Berechnungsverfahren für Aufzugsanlagen liegen derzeit nicht vor, die Norm DIN 4109-36:2016 [DIN 4109-36:2016] gibt Hinweise für die Luftschallerzeugung, jedoch nicht für Körperschallgeräusche.

Bei den baulichen Maßnahmen ist die Grundrissgestaltung von maßgebender Bedeutung. Wohnräume und insbesondere Schlafräume sollten nicht unmittelbar an die Schachtwand grenzen. Nächtlicher Aufzugsbetrieb führt in einem unmittelbar angrenzenden Schlafraum häufig zu Störungen, auch wenn die Führungsschienen an einer abgewandten Schachtseite montiert sind. Angrenzend an die Schachtwand sollten weniger geräuschempfindliche Räume wie Bäder, Küchen oder Flure angeordnet werden. Die Schachtwand sollte eine ausreichende Masse aufweisen und bei Neubauten z. B. als Stahlbetonwand mit einer Stärke von 25 cm ausgeführt werden (Bild 74). Zweischalige Schachtwände sind bei Körperschallbrücken durch statisch erforderliche Halterungen nicht ausreichend wirksam und werden in der Praxis entsprechend selten eingebaut. Zum Erzielen eines erhöhten

Schallschutzes sollte zusätzlich auch die Wand zwischen dem schutzbedürftigen Raum und dem an den Schacht angrenzenden Raum mit ausreichend hoher Masse errichtet werden. Hierbei sind auch die Eigenschaften der flankierenden Wände zu beachten. Weiterhin ist eine ausreichende schalltechnische Entkopplung der Fußböden sicherzustellen.

Bei der Be- und Entlüftung des Aufzugsschachtes ist darauf zu achten, dass keine störenden Geräusche ins Freie und/oder in schutzbedürftige Räume übertragen werden [VDI 2566 Blatt 2]. Von planerischer Seite ist zu überprüfen, ob ein Ankunftssignalgeber erforderlich ist, insbesondere im nächtlichen Betrieb. Weiterhin ist auf einen lärmarmen Betrieb der Aufzugstüren zu achten.



Bild 74 Aufzugsschacht aus Stahlbeton (Stärke: 25 cm) in einem Massivbau aus gemauerten Kalksand-Planelementen

4.9 Luftschalldämmung von Außenbauteilen

4.9.1 Einführung

Mit dem ansteigenden Umgebungslärm – insbesondere durch Personen- und Güterverkehr – gewinnt die Luftschalldämmung von Fassaden- und Dachflächen weiter an Bedeutung. Für Planerinnen und Planer ist insbesondere die Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels schwierig. Aber auch die Integration von Lüftungskonzepten kann im Widerspruch zur Schalldämmung der Gebäudehülle stehen

Als Umgebungslärm werden unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien verstanden, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Geländen für industrielle Tätigkeiten ausgeht [EU-Umgebungslärmrichtlinie]. Hierdurch können Beeinträchtigungen, Störungen oder Belästigungen hervorgerufen werden.

Beeinträchtigungen werden definiert als Auswirkungen von Geräuschbelastungen, die das körperliche, seelische oder soziale Wohlbefinden mindern oder zu Krankheiten führen. Sie werden durch medizinische, psychologische oder soziologische Befunde beschrieben. Störungen sind messbare Beeinträchtigungen der Aktivitäten von Personen. Als Belästigungen gelten durch Personen selbst erlebte und beschriebene subjektive Beeinträchtigungen durch Lärm [VDI 3722-2].

Außenlärm kann in Wohnräumen zu erheblichen Beeinträchtigungen führen, die Unbehagen und Stress auslösen. Bei kontinuierlicher Einwirkung können gesundheitliche Probleme auftreten, wie Schlafstörungen, Veränderungen des Blutdrucks und der Herzfrequenz, Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder andere psychische und physische Gesundheitsstörungen. Ein Überblick über mögliche gesundheitliche Lärmauswirkungen mit weiteren Quellenangaben findet sich in [Schnoor et al. 2014]. Die persönliche Lärmempfindung wird durch individuelle und soziale Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen die Personenanzahl im Haushalt (allein lebend, Familienwohnung oder Wohngemeinschaft), Alter, Hörvermögen und Geräuschsensibilität, tägliche Aufenthaltsdauer in der Wohnung, (chronische) Erkrankungen, aber auch die Aufenthaltsqualität der Wohnung und die Randbedingungen des Wohnumfeldes (z. B. gute Nachbarschaft).

Zum Schutz gegen Außenlärm werden aktive und passive Maßnahmen unterschieden. Aktive Maßnahmen zielen auf eine Reduzierung der Lärmentstehung. Passive Maßnahmen sollen die Einwirkung von vorhandenem Lärm vermindern. Aktive Maßnahmen (Schallvermeidung oder Schallminderung) sind grundsätzlich wirkungsvoller als passive Maßnahmen (Schalldämmung). Straßenverkehrslärm lässt sich beispielsweise durch die Absenkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, durch die Verminderung des Lkw-Anteils oder durch lärmarme Straßenoberflächen reduzieren. In den zurückliegenden Jahren ist das Bewusstsein für die verträgliche Gestaltung des Umgebungslärms im Zuge der Erstellung strategischer Lärmkarten zur Umsetzung der europäischen Umgebungslärmrichtlinie [34. BImSchV] gestiegen. Die Lärmkartierungen wurden durch die zuständigen öffentlichen Stellen für Hauptverkehrsstraßen, Hauptschienenstrecken und Großflughäfen sowie Ballungsräume erarbeitet und der Bevölkerung zur Information online zur Verfügung gestellt.

Straßenverkehr, Schienenverkehr, Schiffsverkehr und Luftverkehr sind nicht die einzigen Emissionsquellen für Außenlärm. Neben Gewerbebetrieblärm führen auch gewerblich betriebene Parkplatzanlagen (z. B. an Einkaufszentren oder Gaststätten) zu Beanstandungen. Auch Schießplätze, Baustellen oder Freizeitanlagen rufen Lärmbelästigungen hervor. Unter Berücksichtigung des jeweiligen Standorts wird dann versucht, durch Immissionsrichtwerte und zeitliche Beschränkungen eine verträgliche Nutzung zu ermöglichen. Gleiches gilt im Prinzip für Geräuschquellen wie Kinderlärm oder Sportplatzbetrieb, die regelmäßige Diskussionen über

die grundsätzliche Zumutbarkeit der entstehenden Geräusche hervorrufen. Hierbei stehen sich das Interesse nach kindgerechter oder sportlicher Betätigung im Freien und das Ruhebedürfnis der Bevölkerung gegenüber (Bild 75).

Bild 76 zeigt das Ergebnis einer Umfrage zur Störwirkung unterschiedlicher Lärmarten im Rahmen eines Forschungsprojektes in Lübeck [Schnoor et al. 2014]. Befragt wurden 162 Bewohnerinnen und Bewohner einer stärker befahrenen Straße in Lübeck. Der jeweils angegebene prozentuale Anteil der Befragten hat die betreffende Lärmart als stark störend oder äußerst stark störend bezeichnet. Die befragte Gruppe beurteilte Lkw, Motorräder und »Signalfahrzeuge« (Einsatzfahrzeuge mit Signaltönen) als am meisten störend. Kinderlärm oder Freizeit- und Sportanlagen spielen kaum eine Rolle.



Bild 75 Hinweisschild zur Vermeidung von Belästigungen durch Kinderlärm. Sind Geräusche spielender Kinder Lärm?

Juristen gehen bei gewerblichem Betrieb (z. B. von Kindertagesstätten) davon aus, dass Geräusche spielender Kinder belästigende Geräuschimmissionen sein können. Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) stellen Kinderspielplätze und ähnliche Einrichtungen im Regelfall keine schädlichen Umwelteinwirkungen dar.

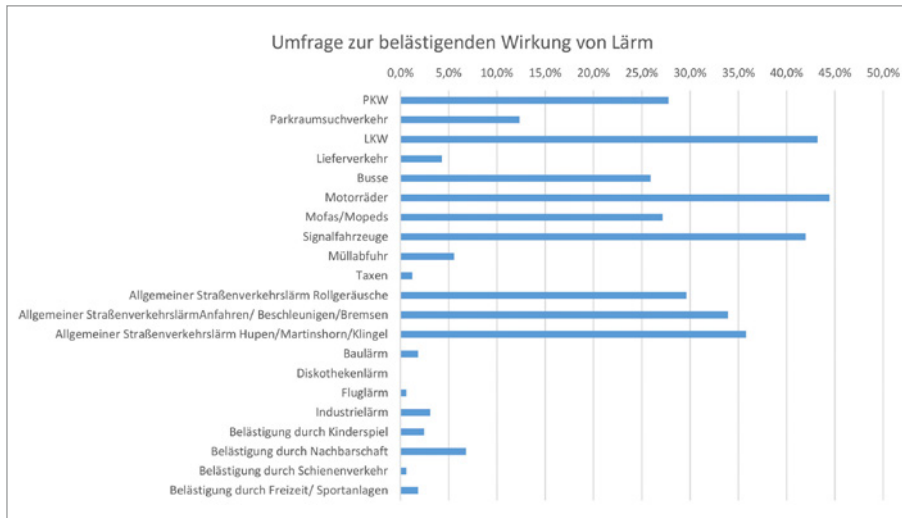


Bild 76 Befragung von 162 Bewohnerinnen und Bewohner einer stärker befahrenen Straße in Lübeck zu starker oder äußerst starker Störwirkung unterschiedlicher Geräusche [Schnoor et al. 2014]

Infolge der angestiegenen Mobilität und des gewachsenen Güterverkehrs sowie durch Gewerbebetriebe nehmen Umgebungslärm und nachfolgende Belastungen zu. Beispielsweise sind die Infrastrukturen in manchen Metropolen bereits so ausgelastet, dass neben der räumlichen Umlagerung (Ausweichen auf alternative Routen oder auf Wohnstraßen) auch zeitliche Verdrängungseffekte entstehen: Flexible Arbeitszeiten werden genutzt, um Verkehrsspitzen (Berufsverkehr) zeitlich zu umgehen. Hierdurch kann sich die wahrnehmbare Abnahme der Verkehrsbelastung in die späteren Abendstunden verschieben. Um in lärmexponierten Wohnungen ausreichend Entspannung und ungestörten Schlaf zu finden, gewinnt eine ausreichende Schalldämmung der Außenbauteile an Bedeutung. Zur Auswirkung des Umgebungslärms auf den Menschen sind eine Vielzahl von Studien und Publikationen erschienen. Zumeist steht jeweils eine Lärmquelle im Vordergrund. Einen auf den Verkehrslärm bezogenen Überblick geben z. B. [Kloepfer et al. 2006].

Am wirkungsvollsten zur passiven Geräuschminderung sind ein ausreichender Abstand zur Lärmquelle und Abschirmungen, z.B. geeignete Schallschutzwände. Bei guter Abschirmung wird eine Lärmverträglichkeit auch in Außenwohnbereichen, wie Terrassen oder Gärten, erreicht. Ist eine Abschirmung nicht möglich (z. B. bei Fluglärm) oder nicht vorhanden, muss der passive Lärmschutz durch die Gebäudehülle gewährleistet werden.

Maßgebend für den passiven Lärmschutz durch die Gebäudehülle sind die Anordnung der Gebäudekörper zur Lärmquelle, die Ausrichtung schutzbedürftiger Räume im Grundriss und die Schalldämmung der Außenbauteile. Häufige Schwachstelle der Außenbauteile sind Fenster und Bedachung. Bei der Planung und Errichtung baulicher Anlagen können im Regelfall die Gebäude- und Grundrissausrichtung sowie die Schalldämmung der Außenbauteile beeinflusst werden.

Planerinnen und Planer müssen beim Schutz gegen Außenlärm ein komplexes Aufgabenfeld bearbeiten. Grundlage ist eine Analyse der vorhandenen maßgebenden Außenlärmquellen und eine optimale Ausrichtung der Baukörper. Hinweise gibt z. B. die Norm DIN 18005-1 [DIN 18005-1]. Parallel zum Schutz gegen den Außenlärm sind weitere Zielvorstellungen zu berücksichtigen, die Lage und Ausrichtung der Baukörper beeinflussen, z. B. die grundsätzlichen baulichen Möglichkeiten des Grundstücks oder die Energieeffizienz.

Die verschiedenen Lärmarten unterscheiden sich in ihrer Einwirkungscharakteristik durch unterschiedliche Frequenzspektren. Für eine optimale Dämmwirkung sind die Außenbauteile auf das maßgebliche Frequenzspektrum abzustimmen. Dieses betrifft insbesondere die Fenster. Weiterhin hängen die Anforderungswerte für die Schalldämmung der Außenbauteile vom maßgeblichen Außenlärmpegel ab. Die Beurteilung des maßgeblichen Außenlärmpegels setzt Fachkenntnisse im Schallimmissionsschutz voraus (vgl. Kapitel 5).

In der 1989er-Fassung der Norm DIN 4109 [DIN 4109:1989] wurden die maßgebenden Lärmquellen Straßenverkehr, Schienenverkehr, Wasserverkehr, Luftverkehr sowie Gewerbe- und Industrieanlagen (Bild 77) getrennt voneinander ermittelt und ggf. logarithmisch addiert, um die erforderliche Luftschalldämmung der Außenbauteile zu ermitteln.

Im Zuge der Neufassung der Norm wurde vorgeschlagen, über die einfache Summierung hinausgehend zur Berechnung des Summenpegels das Verfahren der Richtlinie VDI 3722-2:2013 [VDI 3722-2] anzuwenden [DIN 4109-2/A1:2017]. Dieses Verfahren berücksichtigt die derzeit bekannten Wirkungsbeziehungen kombinierter Verkehrsgeräuschquellenarten auf die Wohnbevölkerung, wobei die Belästigung durch Flug- und Schienenverkehrsgeräusche auf die Belästigung durch Straßenverkehrsgeräusche umgerechnet wird. Durch Addition dieser wirkungsbezogenen Ersatzpegel wird der sogenannte effektbezogene Substitutionspegel $L_{A\text{ES}}$ ermittelt. Hierbei wird berücksichtigt, dass bei gleichem Schalldruckpegel Fluglärm am stärksten und Schienenverkehrslärm am wenigsten belästigt.

Dieser Ansatz ist aus wissenschaftlicher Sicht ein richtiger Schritt zur Bewertung der vollständigen Geräuschbelästigung. Er wurde in die Normenfassung DIN 4109-2:2018 jedoch nicht aufgenommen.

Bild 77 Unterschiedliche Umgebungslärmquellen wie z. B. Schienenverkehr (links), Straßenverkehr (rechts) und Gewerbeanlagen (Hintergrund) werden bislang logarithmisch aufsummiert. Die Belästigungswirkung mehrerer paralleler Quellen kann durch den effektbezogenen Substitutionspegel L_{AES} präziser beschrieben werden. Schallschutzwälle sind zusätzlich zu berücksichtigen.



Die Anforderungen an die Luftschalldämmung richten sich nach dem maßgeblichen Außenlärm und der Raumnutzung (Krankenzimmer, Wohnung, Büro usw.) und beziehen sich auf die vollständige Fassade oder Dachfläche einschließlich aller vorhandenen Bauteile (z. B. Wand, Dach, Fenster, Türen) und Elemente (z. B. Lüftungseinrichtungen, Rollladenkästen), vgl. Bild 78. Die Anforderungen beziehen sich auf Fenster, Türen und Lüftungsklappen im geschlossenen Zustand und sind in Abhängigkeit vom Verhältnis der Raumaußenfläche zur Raumgrundfläche zu korrigieren.

Bild 78 Die beiden Lüftungsöffnungen im 1. OG dieser Fassade sind ungünstig zum Straßenverkehr und zu einer Haltestelle hin ausgerichtet. Bei unzureichender Schalldämmung können Brems- und Anfahrgeräusche der Busse sowie Gespräche wartender Fahrgäste in Wohnräume übertragen werden.



Bei Nachweisen nach der Norm DIN 4109 auf Grundlage der Landesbauordnungen werden Spektrumanpassungswerte C oder C_{tr} sowie Einflüsse der Fassadenstruktur (z. B. teilweise Reflexion oder Abschirmung durch Balkone) grundsätzlich nicht berücksichtigt.

Bei der rechnerischen Ermittlung der Luftschalldämmung der Außenbauteile haben sich gegenüber dem Berechnungsverfahren nach Beiblatt 1 zur Norm DIN 4109:1989 in der Neufassung DIN 4109-2:2018 Änderungen ergeben. Insbesondere ist auch bei der Berechnung von Außenbauteilen nunmehr die Schallübertragung der flankierenden Bauteile zu berücksichtigen.

Die vorhandene Luftschalldämmung von Außenbauteilen kann durch Messungen nach den Normen DIN 4109-11 [DIN 4109-11:2010] und DIN EN ISO 16283-3 [DIN EN ISO 16283-3] überprüft werden. Zumeist geht es hierbei um die Luftschalldämmung von Fenstern im eingebauten Zustand. Die Messungen sind technisch relativ aufwendig und bei höheren Gebäuden nicht ohne Weiteres durchführbar, vgl. Kapitel 4.2.3.

4.9.2 Außenlärmquellen

Straßenverkehrslärm: Ermittlung nach Norm DIN 4109:1989

Häufig sind für die Einstufung in Lärmpegelbereiche lokale Festlegungen wie z. B. gesetzliche Vorschriften oder Verwaltungsvorschriften, Bebauungspläne oder Lärmkarten maßgebend. Ist dies nicht der Fall, ist der aus dem Nomogramm in Bild 1 der Norm DIN 4109:1989 abgelesene Mittelungspegel L_{Am} in dB(A) zugrunde zu legen. Das Nomogramm dient der näherungsweisen Berechnung des maßgeblichen Außenlärmpegels durch Straßenverkehrslärm vor Hausfassaden. Es geht von typischen Straßenverkehrssituationen aus. Wenn die baulichen und verkehrstechnischen Randbedingungen die Anwendungsgrenzen des Nomogramms überschreiten, sind präzise Berechnungen durch Fachplaner erforderlich.

Der Mittelungspegel L_{Am} ist eine Funktion der Verkehrsbelastung in Kfz/Tag, der Entfernung der Fassade von der Straßenmitte und der Straßenkategorie. Für bestimmte Situationen, wie Straßenlängsneigung, Kreuzungsnähe oder beidseitige Bebauung, sind Zuschläge erforderlich. Die in dem Nomogramm angegebenen Pegel wurden nach der Norm DIN 18005-1:1987 [DIN 18005-1] berechnet. Allgemeine Rechengrundlage sind die Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) [RLS-90].

Die Verkehrsbelastung in Kfz/Tag bezieht sich auf 24 Stunden und den Verkehr in beide Richtungen auf allen vorhandenen Fahrstreifen. Als Kfz gelten alle Fahrzeuge (Pkw, Lkw, Motorräder, Busse usw.). Nach den RLS-90 werden Fahrzeuge ab einem zulässigen Gesamtgewicht über 2,8 t als Lkw gezählt. Da der Straßenverkehr nicht über 24 Stunden konstant verläuft, ist es schwierig, die Verkehrsbelastung durch stichprobenartige Zählungen selbst zu ermitteln. In den Nachtstunden ist die stündliche Verkehrsbelastung deutlich geringer als während des Berufsverkehrs morgens und nachmittags. Auch der Lkw-Anteil verändert sich über den Tag und

ist innerstädtisch am Morgen und am Vormittag durch Anlieferungs- und Handwerkerverkehr größer als nachts. Bei eigenen Verkehrserhebungen ist zu beachten, dass Ferien- oder Winterzeiten nicht repräsentativ sind. Durchführungshinweise finden sich in den Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE 2012) [EVE 2012].

Die Werte L_{den} aus online verfügbaren Lärmkarten nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie [34. BImSchV] sind mit den Beurteilungswerten der RLS-90 nicht ohne besonders sachkundige Bewertung vergleichbar. Sie beschreiben den europäischen Tag-Abend-Nacht-Pegel (day-evening-night (noise) level) in Dezibel, der den Straßenverkehrslärm rechnerisch über 24 Stunden berücksichtigt. Die Abend- und Nachtanteile gehen in eine zeitliche 24-Stunden-Mittelung ein und werden mit 5 dB (Abend) bzw. 10 dB (Nacht) beaufschlagt. Das Rechenverfahren folgt der Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS) [VBUS]. Vergleichsuntersuchungen, z. B. [Bartolomaeus 2007] und [Jud et al. 2010], deuten an, dass die Werte L_{den} nach der VBUS etwas höher liegen als die Werte $L_{r,T}$ der RLS 90 [RLS 90].

Zur sachgerechten Einschätzung des Verkehrslärms ist es empfehlenswert, auf möglichst aktuelle Verkehrserhebungen an Knotenpunkten oder Querschnitten zuzugreifen. Städte und Gemeinden führen eigene Erhebungen durch, die gegen eine Gebühr zur Verfügung gestellt werden. Bild 79 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Erhebung an einer Kreuzung (Knotenpunkt) zwischen einer Verbindungsstraße und einer Erschließungsstraße. Für die Erschließungsstraße (Nr. 1) wurde eine Verkehrsbelastung über 24 Stunden in beiden Richtungen von insgesamt 4 687 Kfz ermittelt. Der Lkw-Anteil (>2,8 t) beträgt $213/4\,687 = 4,5\%$. Dieser Wert kann als Eingangsgröße der Verkehrsbelastung in Kfz/Tag für das Nomogramm Bild 1 der Norm DIN 4109:1989 verwendet werden. Hinweise zur Beurteilung vorhandener Straßenkategorien finden sich in den Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 2006) [RASt 2006].

Bei Einhaltung der Mindestanforderungswerte der Norm DIN 4109 sollen die A-bewerteten Mittelungspegel im Gebäudeinneren tagsüber (von 6.00 Uhr bis 22.00 Uhr) in der Regel höchstens 35 dB(A) und nachts (22.00 Uhr bis 6.00 Uhr) typischerweise Werte unter 30 dB(A) erreichen.

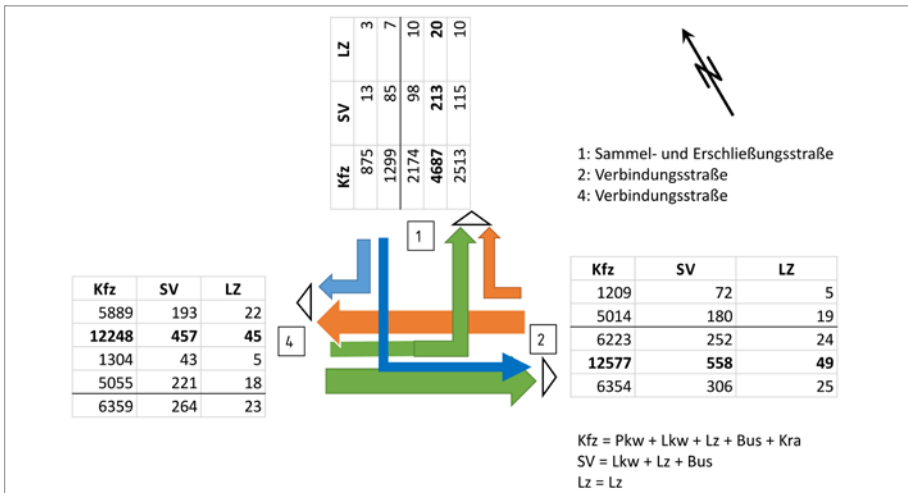


Bild 79 Beispielhaftes Ergebnis der Erhebung an einer Kreuzung zwischen einer Verbindungsstraße und einer Erschließungsstraße; Angaben in Kfz/24 h; LZ: Lastzug, SV: Schwerverkehr, Kra: Motorräder.

Straßenverkehrslärm: Ermittlung nach Norm DIN 4109-1:2018

In der neu gefassten Norm DIN 4109-2:2018 ist das bisher angewendete Nomogramm nach Bild 1 der Norm DIN 4109:1989 entfallen. Sofern für die Einstufung in Lärmpegelbereiche keine anderen Festlegungen, z. B. gesetzliche Vorschriften oder Verwaltungsvorschriften, Bebauungspläne oder Lärmkarten, maßgebend sind, können die Beurteilungspegel mithilfe der Nomogramme in DIN 18005-1:2002 geschätzt werden, wobei zur Bildung des maßgeblichen Außengeräuschpegels zu den abgelesenen Werten 3 dB(A) zu addieren sind, um die Wirkung der linienförmigen Verkehrslärmquelle zu berücksichtigen.

Für die Fälle, in denen die Nomogramme nicht anwendbar sind, können die Pegel ortspezifisch berechnet oder gemessen werden. Bei Berechnungen sind die Beurteilungspegel für den Tag (6.00 Uhr bis 22.00 Uhr) bzw. für die Nacht (22.00 Uhr bis 6.00 Uhr) nach der 16. BImSchV [16. BImSchV] zu bestimmen, wobei zur Bildung des maßgeblichen Außenlärmpegels zu den errechneten Werten jeweils 3 dB(A) zu addieren sind. Lärmkarten nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie können zur Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels nicht herangezogen werden [DIN 4109-2:2018].

Es ist zu empfehlen, im Bedarfsfall auf vorhandene Messungen (Verkehrserhebungen) an Knotenpunkten oder Querschnitten zuzugreifen, wie im vorherigen Abschnitt dargestellt. Auf Grundlage der Nomogramme der Norm DIN 18005-1 können hieraus in Abhängigkeit vom durchschnittlichen täglichen Verkehr (Kfz/24 h),

Entfernung und Straßenkategorie Beurteilungspegel für den Tag (6.00 Uhr bis 22.00 Uhr) bzw. für die Nacht (22.00 Uhr bis 6.00 Uhr) bestimmt werden.

Ein Ziel der Neufassung der Norm DIN 4109 ist die Reduzierung nächtlicher Lärmstörungen. Hierzu wurde folgende Regelung zusätzlich eingeführt: Beträgt die Differenz der Beurteilungspegel zwischen Tag minus Nacht weniger als 10 dB(A), so ergibt sich der maßgebliche Außengeräuschpegel zum Schutz des Nachtschlafes aus einem 3 dB(A) erhöhten Beurteilungspegel für die Nacht und einem Zuschlag von 10 dB(A). Dies ist bei Nachweisen nach der Neufassung der Norm zu beachten.

Die Berechnung von Straßenverkehrsgeräuschen erfolgt auf Grundlage der 16. BImSchV [16. BImSchV]. Hierbei sind zusätzliche Parameter zu berücksichtigen, wie der Einfluss von Lichtsignalanlagen, Lärmschutzeinrichtungen oder Parkplätzen. Die Störwirkung von Straßenverkehrsgeräuschen hängt u. a. von der Fahrbahnoberfläche, dem Verkehrsfluss (gleichmäßig oder unterbrochen) sowie der Einwirkung tieffrequenter Lärmemissionen des Schwerverkehrs ab.

Schienenverkehrslärm

Üblicherweise werden die erforderlichen Beurteilungspegel projektbezogen zur Verfügung gestellt. Bei Berechnungen sind die Beurteilungspegel für den Tag (6:00 Uhr bis 22:00 Uhr) bzw. für die Nacht (22:00 Uhr bis 6:00 Uhr) nach der 16. BImSchV [16. BImSchV] zu bestimmen, wobei zur Bildung des maßgeblichen Außenlärmpegels zu den errechneten Werten jeweils 3 dB(A) zu addieren sind. Beträgt die Differenz der Beurteilungspegel zwischen Tag minus Nacht weniger als 10 dB(A), so ergibt sich der maßgebliche Außenlärmpegel zum Schutz des Nachtschlafes aus einem 3 dB(A) erhöhten Beurteilungspegel für die Nacht und einem Zuschlag von 10 dB(A). Aufgrund der Frequenzzusammensetzung von Schienenverkehrsgeräuschen in Verbindung mit dem Frequenzspektrum der Schalldämmmaße von Außenbauteilen ist der Beurteilungspegel für Schienenverkehr pauschal um 5 dB zu mindern.

Das Verfahren für den Schienenverkehr ist typischerweise auf Nachweise an Streckenquerschnitten begrenzt. Im Einflussbereich von Bahnhöfen ist die Berechnung maßgeblicher Pegel deutlich komplexer. Eine erhöhte Störwirkung von Schienenverkehrsgeräuschen entsteht u. a. durch die Einleitung zusätzlicher Vibrationen bei geringer Entfernung zu den Gleisen, durch hohe Durchfahrtsgeschwindigkeiten und durch Störgeräusche (Signaltöne, Resonanzen zwischen Gleisen und Güterwaggons, Dieselmotorengeräusche usw.). Die Beurteilung von Emissionen unterirdischen Schienenverkehrs ist auf Grundlage der Normenreihe DIN 4109 nicht möglich.

Wasserverkehrslärm

Üblicherweise werden die erforderlichen Beurteilungspegel projektbezogen zur Verfügung gestellt. Ist dies nicht der Fall, können sie für Wasserstraßen mithilfe der Nomogramme in DIN 18005-1:2002 vereinfacht ermittelt werden. Der Beurteilungspegel für Geräusche aus dem Schiffsverkehr auf Flüssen und Kanälen ergibt sich aus den Vorbeifahrten je Stunde und der Entfernung, wobei Tag und Nacht getrennt auszuwerten sind. Zur Bildung des maßgeblichen Außenlärmpegels sind zu den errechneten Werten jeweils 3 dB(A) zu addieren.

Für den Schiffsverkehr sind im Bereich von Schleusen- oder Hafenanlagen zusätzliche Einflüsse zu berücksichtigen. Beim Wasserverkehr werden Störungen insbesondere durch tieffrequente Geräuschanteile langsam laufender Schiffsantriebe oder durch laute Motorengeräusche kleinerer Wasserfahrzeuge hervorgerufen.

Auch für Wasserverkehrslärm wurde zum Schutz des Nachtschlafes die Regelung eingeführt, dass bei einer Differenz der Beurteilungspegel zwischen Tag minus Nacht von weniger als 10 dB(A) der maßgebliche Außengeräuschpegel aus einem 3 dB(A) erhöhten Beurteilungspegel für die Nacht und einem Zuschlag von 10 dB(A) zu ermitteln ist.

Luftverkehrslärm

Der Luftverkehr ist typischerweise die am meisten störende Verkehrslärmquelle, vgl. z. B. [NORAH]. Fluglärmimmissionen weisen eine besondere Richt- und Einwirkungscharakteristik auf (lotrechte Wirkung, hohe Spitzenschalldruckpegel mit zwischenzeitlichen Ruhephasen). Problematisch sind insbesondere sehr hohe Schalldruckpegel beim Überflug, deren Störwirkung aufgrund relativ kurzer Einwirkzeit und des Abstandes bei Start- und Landevorgängen durch den zeitlichen Mittelwert (äquivalenter Dauerschalldruckpegel) möglicherweise nicht hinreichend beschrieben wird. Der Schutz gegen Fluglärm ist gesetzlich geregelt (FluLärmG und landesrechtliche Vorschriften).

Die Festlegungen zur rechnerischen Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels durch Luftverkehr der Normenreihe DIN 4109 beziehen sich ausschließlich auf Bereiche ohne gesetzliche Regelungen. Zur Berücksichtigung kurzzeitiger, sehr hoher Maximalpegel wird der mittlere maximale Schalldruckpegel $L_{AF,max}$ im Vergleich zum äquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} ausgewertet. Bei definierter Überschreitungshäufigkeit wird $L_{AF,max} - 20 \text{ dB(A)} + 3 \text{ dB(A)}$ als maßgeblicher Außenlärmpegel zugrunde gelegt. Für Flug- bzw. Landeplätze, die nicht dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm unterliegen, können die Geräuschimmissionen nach DIN 45684-1 [DIN 45684-1], DIN 45684-2 [DIN 45684-2] oder nach der Landeplatz-Fluglärmleitlinie des Länderausschusses für Immissionsschutz ermittelt

werden [DIN 4109-2:2018]. Verfahren zur Berechnung der Fluggeräuschemissionen von Flugplätzen werden in der Norm DIN 45689 [DIN 45689] festgelegt.

Zum Schutz des Nachtschlafes sind in allen Fällen bei einer Differenz der Beurteilungspegel zwischen Tag minus Nacht von weniger als 10 dB(A) die maßgeblichen Außengeräuschpegel aus einem 3 dB(A) erhöhten Beurteilungspegel für die Nacht und einem Zuschlag von 10 dB(A) zu ermitteln.

Gewerbe- und Industrieanlagen

Bisher wurde im Regelfall als maßgeblicher Außenlärmpegel der nach der TA-Lärm im Bebauungsplan für die jeweilige Gebietskategorie angegebene Tag-Immissionsrichtwert eingesetzt. Bestand im Einzelfall die Vermutung, dass die Immissionsrichtwerte der TA-Lärm überschritten werden, dann sollte die tatsächliche Geräuschemission nach der TA-Lärm ermittelt werden [DIN 4109:1989].

Diese Regelung wird in der Neufassung der Norm DIN 4109-2:2018 beibehalten, wobei zu dem Immissionsrichtwert zusätzlich 3 dB(A) zu addieren sind. Besteht im Einzelfall die Vermutung, dass die Immissionsrichtwerte der TA Lärm überschritten werden, dann sollte die tatsächliche Geräuschemission als Beurteilungspegel nach der TA Lärm ermittelt werden, wobei zur Bildung des maßgeblichen Außenlärmpegels zu den errechneten Mittelungspegeln 3 dB(A) zu addieren sind.

Zum Schutz des Nachtschlafes ergibt sich der maßgebliche Außenlärmpegel aus einem 3 dB(A) erhöhten Beurteilungspegel für die Nacht und einem Zuschlag von 10 dB(A), wenn die Differenz der Beurteilungspegel zwischen Tag minus Nacht weniger als 10 dB(A) beträgt [DIN 4109-2:2018]. Ursprünglich war ein Zuschlag von 15 dB(A) vorgesehen [DIN 4109-2:2016].

4.9.3 Überlagerung mehrerer Außenlärmquellen

Berechnung nach der Norm DIN 4109-2:2018

Die Geräuschbelastung mehrerer (gleich- oder verschiedenartiger) Quellen wird vereinfachend als resultierender Außenlärmpegel $L_{a,res}$, getrennt für Tag und Nacht aus den einzelnen maßgeblichen Außenlärmpegeln $L_{a,i}$ nach Gleichung 67 berechnet.

$$L_{a,res} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n (10^{0,1 \cdot L_{a,i}}) \text{ [dB(A)]} \quad (67)$$

$L_{a,res}$: resultierende Außenlärmpegel in dB(A)

$L_{a,i}$: einzelner maßgeblicher Außenlärmpegel in dB(A)

Die Addition von 3 dB(A) zur Berücksichtigung der Wirkung der linienförmigen Verkehrslärmquelle darf nur einmal erfolgen, d. h. zum Summenpegel.

Berechnung entsprechend Richtlinie VDI 3722-2:2013

Nach der Richtlinie VDI 3722-2 werden Schienen- und Flugverkehr auf die Störwirkung des Straßenverkehrslärms umgerechnet. In der Richtlinie werden für Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm Formeln zur Berechnung der Störwirkung angegeben. Grundlage ist der Prozentsatz durch eine Geräuschquelle belastigter und stark belastigter Personen (A: »annoyed« und HA: »highly annoyed«) in Abhängigkeit vom Beurteilungspegel für Tag, Abend und Nacht $L_{r,TAN}$. Der Beurteilungspegel für Tag, Abend und Nacht entspricht dem Lärminde L_{den} (day-evening-night (noise) level) der EU-Umgebungslärmrichtlinie. Nächtliche Störungen werden durch den Prozentsatz schlafgestörter Personen bzw. stark schlafgestörter Personen (SD: »sleep disturbed« und HSD: »highly sleep disturbed«) als Funktion des Beurteilungspegels für die Nacht $L_{r,N}$ beschrieben. Der Beurteilungspegel für die Nacht entspricht dem Lärminde L_{night} der EU-Umgebungslärmrichtlinie. Die Beeinträchtigungsfunktionen in den Diagrammen in Bild 80 und Bild 81 zeigen die Prozentsätze belastigter (A) und stark belastigter Personen (HA) bzw. schlafgestörter (SD) und stark schlafgestörter Personen (HSD) für die genannten Verkehrslärmquellen.

Grundlage des Verfahrens der Richtlinie VDI 3722-2 sind langjährige Erhebungen in der Wohnbevölkerung mehrerer Länder, vgl. [EEA 2010] und [EC WGDER 2002]. Bei der Bewertung der Störwirkung von Umgebungslärm in Wohnungen ist eine Vielzahl von Parametern zu berücksichtigen. Hierzu zählen geöffnete Fenster, die vorhandene Fassadenschalldämmung, die Ausrichtung der Fassade zur Lärmquelle usw. Daher sind bei der Definition der Belästigungswirkung durch Beeinträchtigungsfunktionen Vereinfachungen zu treffen. Als Schallpegeldifferenz zwischen außen und innen wurden beispielsweise pauschal 21 dB angesetzt [EC WGDER 2002].

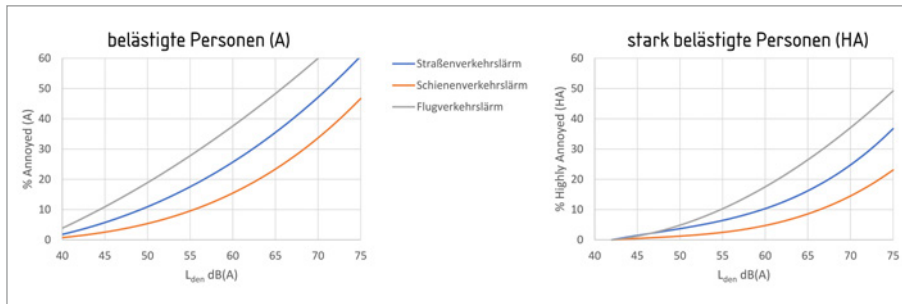


Bild 80 Beeinträchtigungsfunktionen nach der Richtlinie VDI 3722, Blatt 2: Prozentsätze belästigter Personen (A) und stark belästigter Personen (HA) für Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm in Abhängigkeit vom Beurteilungspegel L_{den}

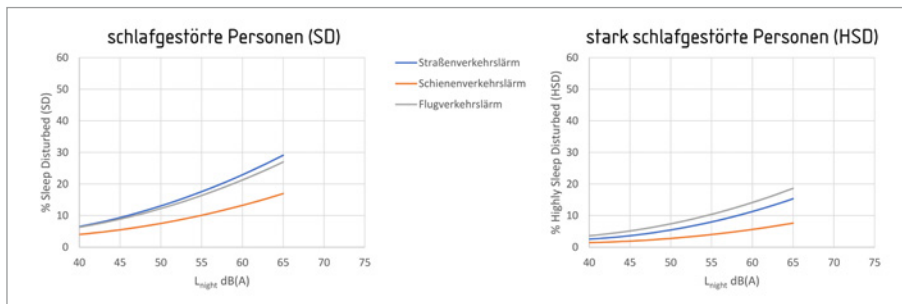


Bild 81 Beeinträchtigungsfunktionen nach der Richtlinie VDI 3722, Blatt 2: Prozentsätze schlafgestörter Personen (SD) und stark schlafgestörter Personen (HSD) für Straßen-, Schienen- und Flugverkehrslärm in Abhängigkeit vom Beurteilungspegel L_{night}

Aus den maßgeblichen Pegeln der Verkehrslärmquellen wird der Prozentanteil der Belästigten ermittelt und jeweils auf den Pegel des Straßenverkehrslärms mit gleicher Belästigungswirkung umgerechnet. Aus diesen umgerechneten »Ersatzpegeln« L_x^* ergibt sich durch energetische Addition der effektbezogene Substitutionspegel $L_{A,ES}$. Zur Bildung des maßgeblichen Außenlärmpegels sind zum Berechnungsergebnis 3 dB zu addieren. Die Addition von 3 dB(A) darf nur einmal erfolgen, d.h. hier auf den Summenpegel und nicht einzeln auf die maßgeblichen Außenlärmpegel.

Das Rechenverfahren ist ein erstes Hilfsmittel zur Beschreibung des Einwirkens mehrerer unterschiedlicher Umgebungslärmquellen. Seine Anwendung bedarf der sachkundigen Bewertung, da die Lärmindizes L_{den} und L_{night} zugrunde liegen und nach der Norm DIN 4109-2:2018 zur Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels Lärmkarten nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie nicht herangezogen werden können. Weitere Untersuchungen zur Vorhersage der Gesamtbeeinträchtigung sind erforderlich.

Das prinzipielle Vorgehen wird an folgendem Anwendungsbeispiel erläutert:

- Straßenverkehrsgeräusche: $L_{r,TAN,s} = 60 \text{ dB(A)}$,
- Schienenverkehrsgeräusche: $L_{r,TAN,r} = 65 \text{ dB(A)}$,
- Fluggeräusche: $L_{r,TAN,a} = 60 \text{ dB(A)}$,

Der Anteil der Belästigten ergibt sich durch Ablesen aus dem Diagramm in Bild 82 aus den gegebenen Beurteilungspegeln Tag-Abend-Nacht-Pegeln $L_{r,TAN}$ für die Fluggeräusche zu 17,5 % HA und für die Schienenverkehrsgeräusche zu 8,5 % HA.

Diese Prozentwerte werden auf die Kurve für die Straßenverkehrsgeräusche umgerechnet (rote Pfeile). Aus den 17,5 % HA für Fluggeräusche bzw. 8,5 % HA für Schienenverkehrsgeräusche ergeben sich umgerechnete Ersatzpegel von $L_{r,TAN}^* = 66 \text{ dB(A)}$ bzw. $L_{r,TAN}^* = 58 \text{ dB(A)}$.



Bild 82 Prinzipielles Vorgehen entsprechend Richtlinie VDI 3722-2 zur Berechnung des Summenpegels bei Überlagerung von unterschiedlichen Verkehrslärmquellen

Der auf Straßenverkehrsgeräusche bezogene effektbezogene Substitutionspegel $L_{A\text{ ES}}$ beträgt nach logarithmischer Addition insgesamt (Gl. 68):

$$L_{A\text{ ES}} = 10 \cdot \lg \sum_{j=1}^n (10^{0,1 \cdot L_{x,j}^*}) \text{ [dB(A)]} \quad (68)$$

$L_{A\text{ ES}}$: effektbezogener Substitutionspegel in dB(A)

$L_{x,j}^*$: A-bewerteter wirkungsbezogener Ersatzpegel des auf Straßenverkehrsgeräusche renormierten Pegels der Quellenart j in dB(A)

j: Quellenart Straßenverkehr, Schienenverkehr oder Flugverkehr

$$L_{A\text{ ES}} = 10 \cdot \lg \left[10^{\frac{60}{10}} + 10^{\frac{66}{10}} + 10^{\frac{58}{10}} \right] = 67,5 \text{ dB(A)}$$

Für den maßgeblichen Außenlärmpegel würde sich nach Umrechnung auf die Wirkung der Linienschallquellen ergeben:

$$L_{a,res} = 67,5 + 3 = 70,5 \text{ dB(A)}.$$

Nach der Richtlinie VDI 3722-2 werden die Substitutionspegel nicht grafisch, sondern durch vorgegebene Formeln ermittelt. Die Beeinträchtigungsfunktion ist durch den Planer festzulegen.

4.9.4 Mindestschallschutz

Planung auf Grundlage der Norm DIN 4109:1989 und Beiblatt 1

Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen nach dem bisherigen Nachweissystem sind in Abschnitt 5 der Norm DIN 4109:1989 geregelt. Bei Außenbauteilen, die aus mehreren Teilflächen unterschiedlicher Schalldämmung bestehen, gelten die in Tabelle 50 dargestellten Anforderungen an das aus den einzelnen Schalldämmmaßen der Teilflächen berechnete resultierende Schalldämmmaß $R'_{w,res}$. Die Anforderungswerte hängen vom ermittelten maßgeblichen Außenlärmpegel ab. Sie sind entsprechend Tabelle 51 in Abhängigkeit vom Verhältnis der Gesamtfläche des Außenbauteils zur Raumgrundfläche zu korrigieren und gelten für Fassaden und für Dachflächen.

Zeile	Lärmpegelbereich	maßgeblicher Außenlärmpegel dB(A)	Raumarten		
			Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien	Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	Büroräume ¹⁾ und Ähnliches
			erf. $R'_{w,res}$ des Außenbauteils in dB		
1	I	bis 55	35	30	–
2	II	56 bis 60	35	30	30
3	III	61 bis 65	40	35	30
4	IV	66 bis 70	45	40	35
5	V	71 bis 75	50	45	40
6	VI	76 bis 80	2)	50	45
7	VII	>80	2)	2)	50
1) An Außenbauteile von Räumen, bei denen der eindringende Außenlärm aufgrund der in den Räumen ausgeübten Tätigkeiten nur einen untergeordneten Beitrag zum Innenraumpegel leistet, werden keine Anforderungen gestellt					
2) Die Anforderungen sind hier aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.					

Tabelle 50 Anforderung an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen nach Norm DIN 4109:1989, erforderliches resultierendes Schalldämmmaß erf. $R'_{w,res}$; die Zeilennummerierung entspricht der Norm.

Zum Nachweis der aus dem maßgeblichen Außenlärmpegel ermittelten Anforderungswerte der Norm DIN 4109:1989 ist die Ermittlung des rechnerischen resultierenden Schalldämmmaßes erf. $R'_{w,R,res}$ der einzelnen Teilflächen des Außenbauteils erforderlich. Dieses wird nach Abschnitt 11 des Beiblatts 1 zur Norm DIN 4109 ermittelt. Das Rechenverfahren wird in Bild 83 und Gleichung 69 dargestellt:

$$R'_{w,R,res} = -10 \cdot \lg \left(\frac{1}{S_{ges}} \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{-R_{w,R,i}}{10}} \right) \text{ dB} \quad (69)$$

$R'_{w,R,res}$: resultierendes Schalldämmmaß in dB

S_{ges} : Fläche des gesamten Bauteils

S_i : Fläche des i-ten Elements des Bauteils

$R_{w,R,i}$: bewertetes Schalldämmmaß (Rechenwert) des i-ten Elements des Bauteils, entweder $R'_{w,r}$ für Wände oder $R_{w,r}$ z. B. für Fenster oder Türen in dB

In Gleichung 69 werden die jeweils zutreffenden bewerteten Rechenwerte für das Bauschalldämmmaß $R'_{w,R,i}$ (z. B. für Wände) oder das Schalldämmmaß $R_{w,R,i}$ (z. B. für Türen oder Fenster) aus dem Beiblatt 1 der Norm DIN 4109:1989 eingesetzt.

Zum Beispiel beträgt das resultierende Schalldämmmaß $R'_{w,R,res}$ einer Außenwand (Fläche $S_{ges} = 12,5 \text{ m}^2$, $S_1 = 12,5 - 2,13 = 10,37 \text{ m}^2$, $R'_{w,R,1} = 55 \text{ dB}$) mit Tür ($S_2 = 2,13 \text{ m}^2$, $R_{w,R,2} = 32 \text{ dB}$)

$$R'_{w,R,res} = -10 \cdot \lg \left[\frac{1}{12,5} \cdot \left(10,37 \cdot 10^{\frac{-55}{10}} + 2,13 \cdot 10^{\frac{-32}{10}} \right) \right] = 39,6 \text{ dB}$$

Die Anforderungswerte beziehen sich auf den eingebauten Zustand der Elemente. Im Regelfall ist die Schalldämmung der Außenwand deutlich höher als die Schalldämmung eingebauter Elemente.

Spalte/ Zeile	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$S_{(W+F)}/S_G$	2,5	2,0	1,6	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
2	Korrektur	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
$S_{(W+F)}$ Gesamtfläche des Außenbauteils eines Aufenthaltsraumes in m^2 S_G Grundfläche eines Aufenthaltsraumes in m^2 Anm.: Die Korrekturwerte in Zeile 2 sind identisch mit der Formel $10 \cdot \lg(S_{(W+F)}/(0,8 \cdot S_G))$, aufgerundet auf ganze Zahlen.										

Tabelle 51 Korrekturwerte für das erforderliche resultierende Schalldämmmaß erf. $R'_{w,res}$ aus Tabelle 50 zur Berücksichtigung der Raumgeometrie; die Zeilennummerierung entspricht der Norm.

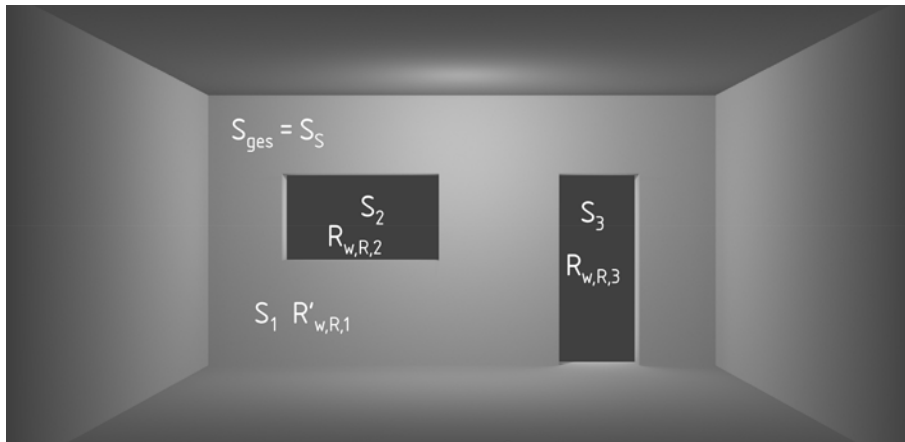


Bild 83 Bauteil aus Elementen verschiedener Schalldämmung;

Bezeichnungen: S_{ges} : Fläche des gesamten Bauteils (DIN 4109:1989) bzw. vom Raum aus sichtbare Fassadenfläche S_S (DIN 4109-2:2018), S_i : Fläche des i -ten Elements des Bauteils, $R_{w,R,i}$: bewertetes Schalldämmmaß (Rechenwert) des i -ten Elements des Bauteils, S_G : Grundfläche des Raumes

Planung auf Grundlage der Normen DIN 4109-1:2018 und DIN 4109-2:2018

Die Anforderungswerte an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen nach Abschnitt 7 der Norm DIN 4109-1:2018 haben sich gegenüber dem Stand der Norm DIN 4109:1989 im Prinzip nicht verändert. Der Nachweis wird raumbezogen durchgeführt. Als Fassade wird die Gesamtheit aller Außenbauteile eines Raumes bezeichnet, die vom Raum aus sichtbar ist. Sie wird neu als S_S bezeichnet (Bild 83).

Der Wert des ermittelten maßgeblichen Außenlärmpegels L_a darf nunmehr unmittelbar angesetzt werden. Tabelle 50 mit den Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen auf Grundlage der Lärmpegelbereiche entfällt. Die Anforderungen an die gesamten bewerteten Bauschalldämmmaße $R'_{w,\text{ges}}$ der Außenbauteile von schutzbedürftigen Räumen ergibt sich zukünftig unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Raumarten rechnerisch nach Gleichung 70:

$$R'_{w,\text{ges}} = L_a - K_{\text{Raumart}} \text{ dB} \quad (70)$$

- $R'_{w,\text{ges}}$: gesamtes bewertetes Bauschalldämmmaß in dB
 L_a : der maßgebliche Außenlärmpegel nach Abschnitt 4.5.5 der Norm DIN 4109-2:2018 in dB
 $K_{\text{Raumart}} = 25 \text{ dB}$ für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien
 $K_{\text{Raumart}} = 30 \text{ dB}$ für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches
 $K_{\text{Raumart}} = 35 \text{ dB}$ für Büroräume und Ähnliches

Mindestens einzuhalten sind:

$R'_{w,ges} = 35 \text{ dB}$ für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien,
 $R'_{w,ges} = 30 \text{ dB}$ für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in
 Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches.

Nur wenn ausschließlich Lärmpegelbereiche vorliegen, ist der maßgebliche Außenlärmpegel L_a tabellarisch zuzuordnen. In diesem Fall gilt Tabelle 52:

Zeile	Lärmpegelbereich	maßgeblicher Außenlärmpegel L_a dB
1	I	55
2	II	60
3	III	65
4	IV	70
5	V	75
6	VI	80
7	VII	>80 ^{a)}

a) Für maßgebliche Außenlärmpegel >80 dB sind die Anforderungen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Tabelle 52 Zuordnung zwischen Lärmpegelbereichen und maßgeblichem Außenlärmpegel nach Norm DIN 4109-1:2018; die Zeilennummerierung entspricht der Norm.

Für den rechnerischen Nachweis der Luftschalldämmung von Außenbauteilen gilt nach der Norm DIN 4109-2:2018:

$$R'_{w,ges} - 2 \text{ dB} \geq \text{erf.} R'_{w,ges} + K_{AL} \quad (71)$$

$R'_{w,ges}$: gesamtes bewertetes Bauschalldämmmaß der Fassade in dB
 $\text{erf.} R'_{w,ges}$: das geforderte gesamte bewertete Bauschalldämmmaß in dB
 K_{AL} : der nach Gleichung 72 ermittelte Korrekturwert für das erforderliche Schalldämmmaß für den Außenlärm nach Abschnitt 7.2 der Norm DIN 4109-1:2018 in dB

Die Korrektur des erforderlichen gesamten bewerteten Bauschalldämmmaßes in Abhängigkeit vom Verhältnis der gesamten Außenfläche eines Raumes S_S zur Grundfläche des Raumes S_G bleibt im Prinzip unverändert. Sie wird jedoch unmittelbar durch den Korrekturfaktor K_{AL} ausgedrückt, der Tabelle 51 ersetzt:

$$K_{AL} = 10 \cdot \lg \left(\frac{S_S}{0,8 \cdot S_G} \right) \text{ dB} \quad (72)$$

S_S : vom Raum aus gesehene gesamte Fassadenfläche in m^2 . Für Räume mit mehreren an der Schallübertragung beteiligten Außenflächen (z. B. Eckräume mit zwei Außenwänden, Dachwohnungen mit Außenwand und Dachfläche) gilt

die vom Raum aus gesehene gesamte Außenfläche als S_S , d. h. die Summe der gesamten abgewinkelten Flächen, die den Raum nach außen begrenzen.

S_G : Grundfläche des Raumes in m^2

$R'_{w,ges}$ ist das rechnerisch ermittelte gesamte bewertete Bauschalldämmmaß der Fassade, erf. $R'_{w,ges}$ das geforderte gesamte bewertete Bauschalldämmmaß. Der Abschlag von 2 dB berücksichtigt die vereinfachte Ermittlung der Unsicherheit. Das gesamte bewertete Bauschalldämmmaß $R'_{w,ges}$ der Fassade ergibt sich aus den flächenanteiligen Schalldämmmaßen $R_{e,i,w}$ der an der Direktschallübertragung beteiligten Bauteile (Wand, Fenster, Dach, Rollladenkasten, Lüftungselement etc.) und den Flankendämmmaßen der seitlichen Raumwände sowie der Deckenplatten.

Wenn flankierende Wege vernachlässigt werden können, darf das gesamte bewertete Bauschalldämmmaß der Fassade im Prinzip wie in der 1989er-Fassung der Norm 4109 (Gl. 69) nach (Gl. 73) und (Gl. 74) ermittelt werden. Die vereinfachte Berechnung nach (Gl. 73) unter Vernachlässigung der flankierenden Übertragung ist im Falle heute bauüblicher Fenster dann ausreichend genau, wenn $R'_{w,ges} \leq 40$ dB ist [DIN 4109-2:2018].

$$R'_{w,ges} = -10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^m 10^{\frac{-R_{e,i,w}}{10}} \right) \text{ dB} \quad (73)$$

Die benötigten Schalldämmmaße $R_{e,i,w}$ der Bauteile werden den Bauteilkatalogen DIN 4109-31:2016 bis DIN 4109-36:2016 entnommen und mit ihrem logarithmisch korrigierten Flächenanteil (Gl. 74) in die Gleichung 73 eingesetzt.

$$R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \cdot \lg \left(\frac{S_S}{S_i} \right) \text{ dB} \quad (74)$$

$R_{e,i,w}$: das bewertete und auf die übertragende Gesamtfläche S_S bezogene Schalldämmmaß des Bauteiles i in dB

$R_{i,w}$: das bewertete Schalldämmmaß des Bauteiles i in dB

S_S : die vom Raum aus gesehene Fassadenfläche (d. h. die Summe der Teilflächen aller Bauteile und Elemente) in m^2

S_i : die Fläche des Bauteils i in m^2

Bei der rechnerischen Erfassung aller Flankenwege für diffusen Schalleinfall ergibt sich das gesamte bewertete Bauschalldämmmaß $R'_{w,ges}$ der Fassade aus den auf die übertragende Fläche bezogenen Schalldämmmaßen $R_{e,i,w}$ der an der Direktübertragung beteiligten Bauteile (Wand, Fenster, Dach, Rollladenkasten, Lüftungselement etc.) und den Flankendämmmaßen $R_{ij,w}$ für die Wege F_f , F_d und D_f (Bild 84) nach (Gl. 75). Alle Bauteile und Elemente der Fassade sind in die Berechnung einzubeziehen.

$$R'_{w,ges} = -10 \cdot \lg \left[\sum_{i=1}^m 10^{\frac{-R_{e,i,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right] \text{ [dB]} \quad (75)$$

- $R'_{w,ges}$: gesamtes bewertetes Bauschalldämmmaß des Außenbauteils in dB
 $R_{e,i,w}$: auf die Fassadenfläche bezogenes Schalldämmmaß der einzelnen Bauteile und Elemente in der Fassade (Bestimmung nach der Norm DIN 4109-2:2018, vgl. Abschnitt 4.6.2) in dB
 $R_{ij,w}$: bewertetes Flankendämmmaß für die Flankenwege F_f , F_d und D_f (Bestimmung nach der Norm DIN 4109-2:2018, vgl. Kapitel 4.6.2) in dB
 m : Anzahl der Bauteile und Elemente in der Fassade
 n : Anzahl der flankierenden Bauteile

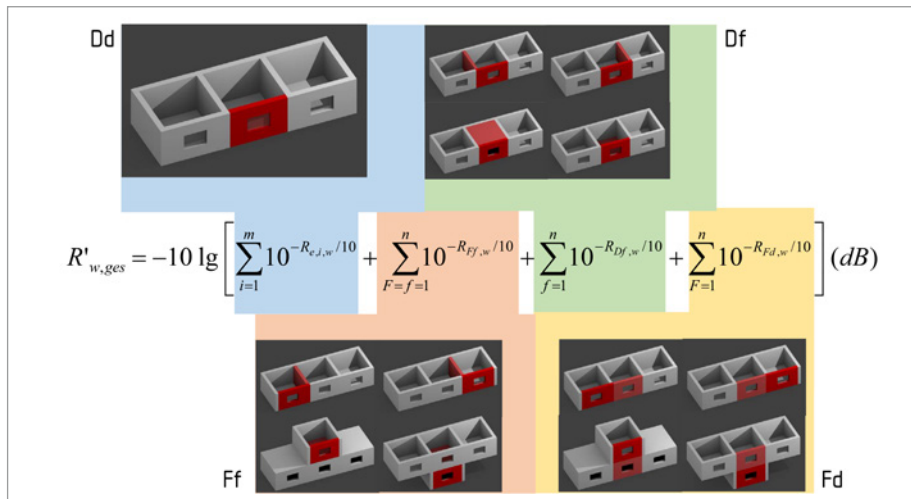


Bild 84 Übersicht zur Ermittlung der resultierenden Schalldämmung $R'_{w,ges}$ unter Berücksichtigung der flankierenden Übertragung: direkter Weg Dd und Flankenwege F_f , F_d und D_f bei der Übertragung von Außengeräuschen in einen schutzbedürftigen Empfangsraum. Die Buchstabenkombinationen Dd , F_f , F_d und D_f kennzeichnen die verschiedenen Schallübertragungswege, wobei der Buchstabe f für ein flankierendes Bauteil, der Buchstabe d für das trennende Bauteil steht. Großbuchstaben kennzeichnen das angeregte Bauteil im Senderaum, Kleinbuchstaben das abstrahlende Bauteil im Empfangsraum entsprechend DIN 4109-2:2018.

Die Anordnung von Lüftungsöffnungen ist in schalltechnischer Hinsicht sorgfältig zu planen. Die Anforderungswerte beziehen sich auf den eingebauten Zustand der Elemente. Im Regelfall ist die Schalldämmung der Außenwand deutlich höher als die Schalldämmung eingebauter Elemente. In der Praxis ist dann besonders darauf zu achten, dass keine Öffnungen in der Außenwand entstehen, z. B. durch unplanmäßige Fugen beim Einbau von Fenstern oder Lüftungssystemen (Bild 85).

Bild 85 Kernbohrungen für Lüftungszwecke reduzieren die Luftschalldämmung einer Außenwand. Bei Umgebungslärm kann im Raum dann der akustische Eindruck eines »gekippten Fensters« entstehen.



Nach den Landesbauordnungen sind Lüftungsanlagen so herzustellen, dass sie Gerüche, Staub und Geräusche nicht in andere Räume übertragen. Daher sollten Öffnungen nicht an Fassadenseiten mit hohem Außenlärmpegel angeordnet werden, sondern ggf. über Dach geführt werden. Scheinbar belanglose Kernbohrungen für eine Raumentlüftung oder die Frischluftversorgung eines Kamins können die Schalldämmung der Außenwand erheblich reduzieren. Durch nachträgliche Dämmung (z. B. durch sogenannte Einbausätze zur Schalldämmung) wird der Zustand häufig nur teilweise verbessert.

Lüftungssysteme und Öffnungen können rechnerisch erfasst werden: Für Fassadenelemente, deren Schallübertragung durch eine Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,e,w}$ beschrieben wird (z. B. Rollladenkästen oder Lüftungseinrichtungen), wird in (Gl. 74) $D_{n,e,w}$ statt $R_{i,w}$ eingesetzt und anstelle von S_i die Bezugsabsorptionsfläche $A_0 = 10 \text{ m}^2$ verwendet (Gl. 76).

$$R_{e,i,w} = D_{n,e,i,w} + 10 \cdot \lg \left(\frac{S_S}{A_0} \right) \text{ dB} \quad (76)$$

- $R_{e,i,w}$: bewertetes und auf die übertragende Gesamtfläche S_S bezogenes Schalldämmmaß des Bauteiles i in dB
 $D_{n,e,i,w}$: bewertete Norm-Schallpegeldifferenz eines Elementes i in dB
 S_S : die vom Raum aus gesehene Fassadenfläche (d. h. die Summe der Teilflächen aller Bauteile und Elemente) in m^2
 A_0 : die Bezugsabsorptionsfläche mit $A_0 = 10 \text{ m}^2$

Die Norm-Schallpegeldifferenz nicht gedämmter Öffnungen (z. B. nicht gedämmte Lüftungselemente oder Jalousien) wird durch Gleichung 77 abgeschätzt:

$$D_{n,e,w} = -10 \cdot \lg \left(\frac{S_{\text{Öffnung}}}{10 \text{ m}^2} \right) \text{ dB} \quad (77)$$

$D_{n,e,w}$: bewertete Norm-Schallpegeldifferenz in dB

$S_{\text{Öffnung}}$: Fläche der Öffnung in m^2

Bei der Berechnung des resultierenden Schalldämmmaßes sind zur vorübergehenden Lüftung vorgesehene Einrichtungen (z. B. Lüftungsflügel und -klappen) im geschlossenen Zustand und zur dauernden Lüftung vorgesehene Einrichtungen (z. B. schallgedämpfte Lüftungsöffnungen, auch mit maschinellem Antrieb) im Betriebszustand zu berücksichtigen. Bei der Anordnung von Lüftungseinrichtungen/Rollladenkästen sind deren Norm-Schallpegeldifferenzen und die zugehörigen Bezugsflächen bei der Berechnung des resultierenden Schalldämmmaßes zu berücksichtigen [DIN 4109-1:2018].

Im rechnerischen Nachweis ist der Einfluss der Einbausituation auf die Schalldämmung von Fenstern und Türen im Massivbau zu berücksichtigen: Je nach Einbaulage (bündig in Dämmebene, gegen Anschlag, bündig im Mauerwerk, mit Montagezarge usw.) wird die Situation als schalltechnisch kritisch oder unkritisch bewertet. Bei schalltechnisch kritischen Einbausituationen ist das Fugenschalldämmmaß $R_{S,w}$ nachzuweisen [DIN 4109-2:2018]. Dieser Ansatz ist im Prinzip richtig, da Undichtigkeiten beim Einbau das tatsächliche Schalldämmmaß von Fenstern erheblich reduzieren können. Bei bestimmten Einbausituationen ist das Risiko von Undichtigkeiten erhöht. Allerdings ist die wichtigste Eigenschaft von Fenstern die Dichtigkeit gegen Schlagregen. Insbesondere im Verblendmauerwerk können Einbausituationen sehr anspruchsvoll sein, z. B. bei bodengleichen Öffnungen, s. hierzu [Gigla 2015] und [Gigla 2017].

4.9.5 Erhöhter Schallschutz

Die zur privatrechtlichen Vereinbarung eines erhöhten Schallschutzes als Grundlage empfohlene VDI-Richtlinie 4100, Ausgabe 2007 [VDI 4100] nennt für den Luftschallschutz gegen von außen eindringende Geräusche für die Schallschutzstufen SSt I und II die gleichen Kennwerte wie die Norm DIN 4109:1989. Die SSt II führt daher beim Schutz gegen Außenlärm nicht zu höheren Anforderungswerten gegenüber dem Mindestschallschutz nach der Norm DIN 4109:1989. Für die SSt III sind die Werte der Norm DIN 4109:1989 (vgl. Tabelle 50 und Tabelle 51) um 5 dB(A) zu erhöhen.

Zur möglichen Festlegung von Anforderungen an einen erhöhten Schallschutz im Einzelfall wird in der VDI 4100:2007 die folgende Berechnungsgleichung (Gl. 78) angegeben:

$$R'_{w,res} = L_a - L_i + 10 \cdot \lg\left(\frac{S_a}{A}\right) + K + W \text{ [dB]}$$

(78)

$R'_{w,res}$: notwendiges resultierendes bewertetes Bauschalldämmmaß der gesamten Außenfläche in dB

L_a : maßgeblicher A-bewerteter Außenlärmpegel (Schalldruckpegel) in dB

L_i : maßgeblicher A-bewerteter Innenschalldruckpegel, der im zu beurteilenden Raum nicht überschritten werden soll in dB

S_a : vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m²

A : äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m² (in Anlehnung an DIN 4109-2:2018: $A = 0,8 \cdot \text{Grundfläche } S_G \text{ des Raumes}$, vgl. [Jovicic 1980])

K : Korrektursummand nach Tabelle 53 in dB (aus Richtlinie VDI 2719 [VDI 2719])

W : Winkelkorrektur in dB (im Allgemeinen zu vernachlässigen. In Sonderfällen sind Werte aus [Moll und Szabunia 1985] zu entnehmen.)

Der Korrektursummand K berücksichtigt pauschal die Frequenzspektren unterschiedlicher Lärmarten und wird in Tabelle 53 angegeben:

Zeile	Lärmquelle	K in dB
1	Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	0
2	übrige Bahnstrecken	3
3	andere Straßen	3
4	innerstädtische Straßen	6
5	Verkehrsflughäfen	6

Tabelle 53 Korrektursummand K für verschiedene Lärmbelastungsarten nach Richtlinie VDI 4100:2007

Die Berechnungsformel (Gl. 78) ermöglicht die Festlegung einzelfallbezogener Anforderungswerte bei bekanntem Außenlärmpegel und vorgegebenem Innenschalldruckpegel. Bei Wunsch nach erhöhtem Schutz gegen Außenlärm wird entsprechend ein höchstzulässiger Schalldruckpegel im Innenraum definiert, der nicht überschritten werden soll. Als Anhaltswert kann davon ausgegangen werden, dass ein ungestörter Schlaf bei mittleren Schalldruckpegeln von unter 25 dB(A) am Ohr möglich ist. Es ist dann zu prüfen, wie der gewünschte Innenpegel abhängig von Lärmumgebung und weiteren Randbedingungen durch die Außenbauteile erreicht werden kann. In der Richtlinie VDI 4100:2007 wird hierzu ein genaueres Berechnungsverfahren für die Schalldämmwerte von Fenstern und Türen angegeben. Der gewünschte erhöhte Schutz gegen Außenlärm muss bei Planungsbeginn verbindlich definiert werden. Weiterhin ist zu beachten, dass bei hoher Außenschalldämmung Geräusche aus dem Gebäudeinneren stärker wahrgenommen werden. Daher ist das bauakustische Gesamtkonzept auf einen erforderlichen niedrigen Innenpegel hin zu überprüfen.

Die pauschale Berücksichtigung der Frequenzspektren unterschiedlicher Lärmarten mit dem Korrektursummanden K ist für Planungszwecke angemessen. Das zugrunde liegende Frequenzspektrum spielt für die optimale bauakustische Auslegung der Außenbauteile eine große Rolle, insbesondere bei den Fenstern und zweischaligen Außenkonstruktionen. Die frequenzabhängige Dämmwirkung kann Messprotokollen entnommen werden, sofern diese von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden. Da nicht immer Messprotokolle vorliegen, fordern Bauphysiker seit Längerem, den Frequenzbezug bei der Angabe des resultierenden bewerteten Bauschalldämmmaßes einzubeziehen. Unterschiedliche Geräuschspektren können bei der Planung mithilfe der Spektrumanpassungswerte C und C_{tr} berücksichtigt werden. Wie schon in Kapitel 4.9.5 erläutert wurde, ist von der Anwendung dieser Werte derzeit abzuraten. Bei der Beurteilung des Schalldämmmaßes auf Grundlage der Norm DIN 4109 sind sie grundsätzlich nicht anwendbar, da die zugrunde liegenden Anforderungskonzepte nicht darauf ausgelegt sind.

Im Standard DIN SPEC 91314:2017 werden keine Anforderungen gegen Außenlärm festgelegt [DIN SPEC 91314:2017].

4.9.6 Hinweise für die Planung

Mögliche Schwachstellen der Gebäudehülle sind insbesondere Fenster und Türen und die Bedachung, aber auch Durchdringungen der Außenwände (Bild 85) und Undichtigkeiten. Nachträgliche Öffnungen in der Außenwand sind häufig problematisch: Scheinbar belanglose Kernbohrungen für eine Raumentlüftung oder die Frischluftversorgung eines Kamins können die Schalldämmung der Außenwand erheblich reduzieren. Bei lauter Umgebung entsteht im Raum der akustische Eindruck eines gekippten Fensters (vgl. Bild 85). Durch nachträgliche Dämmung (Einbausätze zur Schalldämmung) wird der Zustand häufig nur teilweise verbessert. Daher sind nachträgliche Öffnungen sorgfältig zu planen. Sie sollten nicht an Fassadenseiten mit hohem Außenlärmpegel angeordnet werden (s. Bild 78 in Kapitel 4.9.1). Gegebenenfalls können Lüftungssysteme auch über Dach geführt werden.

Beim Einbau von Fenstern hängt das tatsächliche Schalldämmmaß von der Schalldämmung der Verglasung, der Schalldämmung des Rahmens, der Qualität des Einbaus und der Schalldämmung weiterer Bauteile, wie integrierter Lüftungssysteme oder Rollladenkästen, ab. Es lässt sich nachträglich nur schwer überprüfen, da die Messung der Luftschalldämmung eingebauter Fenster an Gebäuden messtechnisch aufwendig ist (vgl. Kapitel 4.2.3 und Bild 43).

Die Schalldämmung der Verglasung kann üblicherweise der Kennzeichnung gemäß DIN EN 1279-5 [DIN EN 1279-5] auf den Abstandshaltern zwischen den Scheiben entnommen werden. Zur Schalldämmung des Fensters (Verglasung mit Rahmen)

liegen Prüfzeugnisse vor. Bei der Planung ist auf möglichst geringe Spaltmaße zu achten. Beim Einbau sind die zugrunde liegenden technischen Regeln und produktbezogenen Richtlinien zu beachten. Eine sachkundige Fremdüberwachung des Einbaus kann erheblich zur Qualitätsverbesserung beitragen. Das sorgfältige Ausstopfen der Einbaufugen mit Mineralfaserdämmstoffen führt in schalltechnischer Hinsicht häufig zu besseren und auch dauerhafteren Ergebnissen als die Abdichtung durch Montageschäume (Bild 86). Rollladenkästen sollten außerhalb der Wandebene montiert werden, um zusätzliche Schwachstellen für die Schalldämmung zu vermeiden, z. B. Gurtdurchführungen usw. (Bild 87).

Bild 86 Abdichtung eines Fensters durch Montageschaum



Bild 87 Gurtdurchführungen durch einen wandintegrierten Rollladenkasten. Die vordere Schalldämmeinlage wurde zur visuellen Untersuchung ausgebaut. Die rechte, unbenutzte Gurtdurchführung ist eine Schwachstelle der Schalldämmung.



Beispiel

Es wird die Luftschalldämmung der Außenwand des Raumes 1 in Bild 88 untersucht (vgl. Kapitel 4.6). Das raumhohe Fenster hat die Abmessungen 1,01 m in der Breite und 2,52 m in der Höhe, mit $R_w = 40$ dB. Für die Außenwand wird angenommen: Verblendmauerwerk (Rohdichteklasse RDK 1,8,

Normalmörtel, $d = 11,5 \text{ cm}$) mit Mineralwolle und Tragschale aus Kalksand-Planelementen (Rohdichteklasse RDK 2,0, Dünnbettmörtel, $d = 17,5 \text{ cm}$), entsprechend dem Beispiel in Kapitel 4.6.

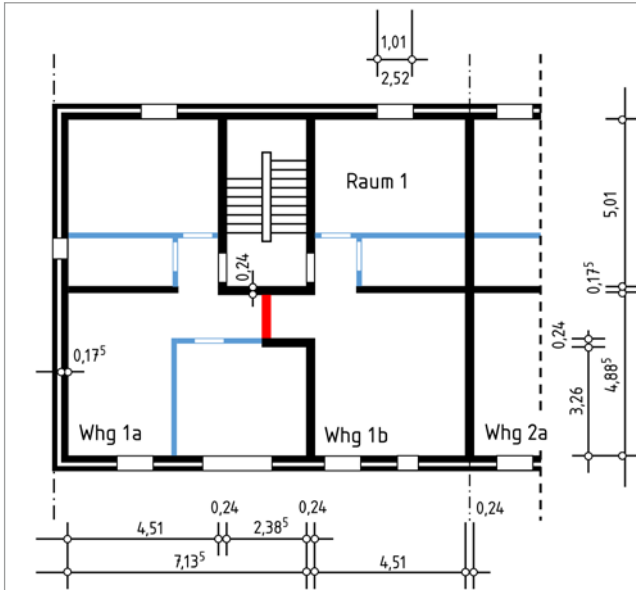


Bild 88 Beispielhafter Wohnungsgrundriss im massiven Wohnungsbau zur Berechnung der Schalldämmung der Außenwand von Raum 1

Die Rohdichte der Verblendschale beträgt (DIN 4109-32:2016, Abschnitt 4.1.4.1.2):

$$\rho = 900 \cdot 1,8 + 100 = 1720 \text{ kg/m}^3$$

Die flächenbezogene Masse der Verblendschale ergibt sich zu:

$$m' = 1720 \cdot 0,115 = 200 \text{ kg/m}^2$$

Für das bewertete Schalldämmmaß R_w der Verblendschale folgt (DIN 4109-32:2016, Abschnitt 4.1.4.2.2):

$$R_w = 30,9 \cdot \lg(200) - 22,2 = 48,9 \text{ (dB)}$$

Die Verbesserung der Direktschalldämmung der Außenwand durch die Verblendschale wird durch das bewertete Luftschallverbesserungsmaß ΔR_w beschrieben. Es handelt sich im Prinzip um eine zweischalige Konstruktion. Aufgrund der Drahtanker, die zur Winddruck- und Windsogsicherung Verblendschale und Tragschale miteinander verbinden, kann die Resonanzfrequenz f_0 jedoch nicht nach Abschnitt 4.5.3 berechnet werden. Das Schalldämmmaß der Gesamtkonstruktion wird durch die Steifigkeit der Verbindungselemente beeinflusst. Es kann entsprechend Abschnitt 4.4.4 der Norm DIN 4109-32:2016 vereinfacht ermittelt werden (Gl. 79).

$$R_{Dd,w} = R_{s,w} + \Delta R_{Dd,w} \text{ [dB]} \quad (79)$$

$R_{Dd,w}$: Direktschalldämmung der Wand mit Verblendschale in dB

$R_{s,w}$: Schalldämmung der Wand ohne Verblendschale in dB

$\Delta R_{Dd,w}$: bewertetes Luftschallverbesserungsmaß der Verblendschale in dB

Für die Luftschallverbesserung $\Delta R_{Dd,w}$ von massiven biegesteifen Verblendschalen aus Mauerwerk oder Vorsatzschichten aus Beton mit Luftschicht oder Dämmschicht liegen zurzeit keine abgesicherten Angaben vor. Nach Abschnitt 4.4 der Norm DIN 4109-32:2016 darf bei zweischaligen Konstruktionen mit Luftschicht oder mit Kerndämmung aus mineralischen Faserdämmstoffen das bewertete Schalldämmmaß $R_{Dd,w}$ aus der Summe der flächenbezogenen Massen der beiden Schalen – wie bei einschaligen biegesteifen Wänden – ermittelt werden. Das so ermittelte bewertete Schalldämmmaß $R_{w,R}$ darf um 5 dB erhöht werden. Wenn die flächenbezogene Masse der auf die Innenschale der Außenwand anschließenden Trennwände mehr als 50 % der flächenbezogenen Masse der inneren Schale der Außenwand beträgt, darf das Schalldämmmaß $R_{w,R}$ um 8 dB erhöht werden [DIN 4109-32:2016].

Die flächenbezogene Masse der Tragschale beträgt mit der 15 mm starken Schicht aus Kalkzementputz 358 kg/m^2 , vgl. Kapitel 4.6.2.

Für die gesamte flächenbezogene Masse beider Schalen folgt:

$$m' = 358 + 200 = 558 \text{ kg/m}^2$$

Für das bewertete Schalldämmmaß $R_{w,R}$ der beiden Schalen ergibt sich:

$$R_w = 30,9 \cdot \lg(558) - 22,2 = 62,7 \text{ (dB)}$$

Die flächenbezogene Masse der Wohnungstrennwand und der Treppenraumwand beträgt bei einer Stärke von 24 cm und beidseitigem Kalkzementputz (15 mm) jeweils 504 kg/m^2 (vgl. Kapitel 4.6.2). Ihre flächenbezogene Masse ist damit größer als 50 % der flächenbezogenen Masse der Tragschale, sodass anzusetzen ist:

$$\Delta R_{Dd,w} = 8 \text{ dB}$$

Die Direktschalldämmung der Außenwand mit Verblendschale beträgt:

$$R_{Dd,w} = 62,7 + 8 = 70,7 \text{ (dB)}$$

Die Werte der flankierenden Bauteile entsprechen Tabelle 41 in Kapitel 4.6.2. Sie werden in Tabelle 54 zusammengefasst.

1 RDK	2 ρ_w [kg/m ³]	3 d [m]	4 m'_{Wand} [kg/m ²]	5 d_{Putz} [m]	6 ρ_{Putz} [kg/m ³]	7 m'_{ges} [kg/m ²]	8 R_w [dB]	9 Wand: l_f [m]	10 Decke: l_f [m]
Wohnungstrennwand, Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel), Stärke 24 cm									
2,0	1900	0,240	456,0	0,03	1600	504,0	61,3		5,01
Tragschale Außenwand, Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel), Stärke 17,5 cm									
2,0	1900	0,175	332,5	0,015	1600	356,5	56,7	2,625	4,51
Treppenraumwand, Kalksand-Planelemente (Dünnbettmörtel), Stärke 24,0 cm									
2,0	1900	0,24	332,5	0,03	1600	504	61,3		5,01
Stahlbetondecke, Stärke 18 cm ohne Putz (Wohnungsdecke)									
–	2400	0,18	432,0			432,0	59,2		5,01
Stahlbetondecke, Stärke 18 cm mit schwimmendem Zementestrich, d = 6,5 cm, s' = 50 MN/m³ (Wohnungsfußboden)									
–	2400	0,180	432,0	59,2	130,0	3,7	62,9	5,01	

Tabelle 54 Berechnung des bewerteten Schalldämmmaßes R_w für die flankierenden Bauteile (Spalten 1 bis 8) und die gemeinsame Kopplungslänge für die Trennbauteile Wohnungstrennwand (Spalte 9) und Wohnungstrenndecke (Spalte 10)

Die Außenwand ist ausschließlich durch T-Stöße verbunden. Hierbei sind die folgenden Wege zu unterscheiden (vgl. Bild 52 in Kapitel 4.5.5 und Bild 84):

- Weg 13 (Anregung der Nachbarfassaden und Längsübertragung in das Außenbauteil)
- Weg 12 (Anregung des Außenbauteils und Übertragung in die flankierenden Wände und Decken)

Die Hilfsgrößen M (Gleichung 57 auf Seite 154) und das Stoßstellendämmmaß (vgl. Tabelle 36 auf Seite 153) werden zur Übersicht in Tabelle 55 zusammengefasst.

Weg	Beschreibung	$m'_{\perp,i}$ [kg/m ²]	m'_i [kg/m ²]	M [dB]	K_{ij} [dB]
Fd	Fassade – Außenwand (Tragschalen), gehalten durch Wände	504,0	356,5	0,150	$K_{13} = 7,9$
Fd	Fassade – Außenwand (Tragschalen), gehalten durch Decken	432,0	356,5	0,083	$K_{13} = 6,9$
Ff	Fassade – Wände, gehalten durch Außenwand	356,5	356,5	0	$K_{12} = 4,7$
Ff	Fassade – Decken, gehalten durch Außenwand	356,5	356,5	0	$K_{12} = 4,7$
Df	Außenwand – Wände, gehalten durch Außenwand	356,5	356,5	0	$K_{12} = 4,7$
Df	Außenwand – Decken, gehalten durch Außenwand	356,5	356,5	0	$K_{12} = 4,7$

Tabelle 55 Berechnung der Hilfsgröße M und der Stoßstellendämmmaße K_{ij}

Die Berechnung des Flankendämmmaßes $R_{f,w}$ erfolgt nach (Gl. 56). Die Wirkung der Verblendschale ist beim Schalldämmmaß direkt angeregter flankierender Bauteile (Weg Df) zu berücksichtigen, da die Verblendschale dann lärmseitig liegt. Bei der Abstrahlung in den Senderraum wird sie nicht angesetzt, da sie nicht raumseitig angeordnet ist. Nur auf einzelnen Wegen ergeben sich durch die lärmseitige Verblendschale und den raumseitigen schwimmenden Estrich zwei zusätzlich angebrachte Vorsatzkonstruktionen. In diesem Fall ist die Wirkung der jeweils lärm- bzw. raumseitigen Vorsatzkonstruktionen nach Abschnitt 4.2.2.2 der Norm DIN 4109-2:2018 anteilig zu berücksichtigen, z. B.:

$$\Delta R_{Ff,w} = 8 \text{ dB} + 3,7/2 = 9,9 \text{ dB}$$

Die Ergebnisse werden in Tabelle 56 dargestellt. Auf die Berücksichtigung der Wirkung abknickender T-Stöße nach Abschnitt 5.2.4.1.6 der Norm DIN 4109-32:2016 wird hier verzichtet. Diese kann ggf. zusätzlich berücksichtigt werden.

Außenwand: Übertragungsweg Ff				
Stoßstellendämmmaß				
angeregtes Bauteil	Fassade	Fassade	Fassade	Fassade
Stoßart	T-Stoß	T-Stoß	T-Stoß	T-Stoß
m'_i [kg/m ²]	558	558	558	558
festhaltendes Bauteil	Außenwand	Außenwand	Außenwand	Außenwand
$m'_{\perp i}$ [kg/m ²]	558	558	558	558
Hilfsgröße M	0	0	0	0
Stoßstellendämmmaß	K12	K12	K12	K12
K_{Ff} [dB]	4,7	4,7	4,7	4,7
Schalldämmmaße der flankierenden Bauteile				
angeregtes Bauteil	Fassade	Fassade	Fassade	Fassade
$R_{i,w}$ [dB]	62,7	62,7	62,7	62,7
abstrahlendes Bauteil	Wohnungs-TW	Decke (oben)	Treppenraum-W	Decke (Boden)
$R_{j,w}$ [dB]	61,3	59,2	61,3	59,2
$\Delta R_{Ff,w}$ [dB]	8	8	8	9,9
Geometrie				
Fläche Trennbauteil S_s [m ²]	11,83	11,83	11,83	11,83
Kopplungslänge l_f [m]	2,625	4,51	2,625	4,51
$10 \lg (S_s/l_f \cdot l_0)$ [dB]	6,5	4,2	6,5	4,2
bewertetes Flankendämmmaß für Ff				
$R_{Ff,w}$ [dB]	81,2	77,9	81,2	79,7

Übertragungsweg Df				
Stoßstellendämmmaß				
angeregtes Bauteil	Außenwand	Außenwand	Außenwand	Außenwand
Stoßart	T-Stoß	T-Stoß	T-Stoß	T-Stoß
m'_i [kg/m ²]	558	558	558	558
festhaltendes Bauteil	Fassade	Fassade	Fassade	Fassade
$m'_{\perp i}$ [kg/m ²]	558	558	558	558
Hilfsgröße M	0	0	0	0
Stoßstellendämmmaß	K12	K12	K12	K12
K_{Df} [dB]	4,7	4,7	4,7	4,7
Schalldämmmaße der flankierenden Bauteile				
angeregtes Bauteil	Außenwand	Außenwand	Außenwand	Außenwand
$R_{i,w}$ [dB]	62,7	62,7	62,7	62,7
abstrahlendes Bauteil	Wohnungs-TW	Decke (oben)	Treppenraum-W	Decke (Boden)
$R_{j,w}$ [dB]	61,3	59,2	61,3	59,2
$\Delta R_{Df,w}$ [dB]	8	8	8	9,9
Geometrie				
Fläche Trennbauteil S_s [m ²]	11,83	11,83	11,83	11,83
Kopplungslänge l_f [m]	2,625	4,51	2,625	4,51
$10 \lg (S_s / l_f \cdot l_0)$ [dB]	6,5	4,2	6,5	4,2
bewertetes Flankendämmmaß für Df				
$R_{Df,w}$ [dB]	81,2	77,9	81,2	79,7

Übertragungsweg Fd				
Stoßstellendämmmaß				
angeregtes Bauteil	Fassade	Fassade	Fassade	Fassade
Stoßart	T-Stoß	T-Stoß	T-Stoß	T-Stoß
m_i' [kg/m²]	558	558	558	558
festhaltendes Bauteil	Wohnungs-TW	Decke (oben)	Treppenraum-W	Decke (Boden)
$m_{\perp i}'$ [kg/m²]	504,0	432	504,0	432
Hilfsgröße M	0,083	0,150	0,083	0,150
Stoßstellendämmmaß	K13	K13	K13	K13
K_{Fd} [dB]	7,9	6,9	7,9	6,9
Schalldämmmaße der flankierenden Bauteile				
angeregtes Bauteil	Fassade	Fassade	Fassade	Fassade
$R_{i,w}$ [dB]	62,7	62,7	62,7	62,7
abstrahlendes Bauteil	Außenwand	Außenwand	Außenwand	Außenwand
$R_{j,w}$ [dB]	56,7	56,7	56,7	56,7
$\Delta R_{Fd,w}$ [dB]	8	8	8	8
Geometrie				
Fläche Trennbauteil S_s [m²]	11,83	11,83	11,83	11,83
Kopplungslänge l_f [m]	2,625	4,51	2,625	4,51
$10 \lg (S_s/l_f \cdot l_0)$ [dB]	6,5	4,2	6,5	4,2
bewertetes Flankendämmmaß für Fd				
$R_{Fd,w}$ [dB]	82,1	78,8	82,1	78,8

Tabelle 56 Berechnung der bewerteten Flankendämmmaße

Das auf die Fassadenfläche bezogene Schalldämmmaß der Außenwand berechnet sich nach Gleichung 74 zu:

$$R_{e,1,w} = 70,7 + 10 \cdot \lg \left(\frac{11,8}{9,3} \right) = 71,7 \text{ dB}$$

Das auf die Fassadenfläche bezogene Schalldämmmaß des Fensters beträgt (Gl. 74):

$$R_{e,2,w} = 40 + 10 \cdot \lg \left(\frac{11,8}{2,5} \right) = 46,7 \text{ dB}$$

5 Schallimmissionsschutz

5.1 Einführung

5.1.1 Emission und Immission

Der Schallimmissionsschutz ist ein technisch umfangreiches, teilweise juristisch geprägtes Fachgebiet, das im Rahmen dieses Kapitels einführend vorgestellt wird. Die physikalischen Grundlagen wurden in Kapitel 2 behandelt. Einige grundlegende Aspekte des Schallimmissionsschutzes wurden bereits in Kapitel 4 im Zusammenhang mit dem Schutz gegen Außenlärm besprochen.

Als Schallemission wird das Abstrahlen von Schall bezeichnet. Typische Geräuschquellen, die insbesondere im urbanen Kontext zu beurteilen sind, werden in Tabelle 57 zusammengefasst.

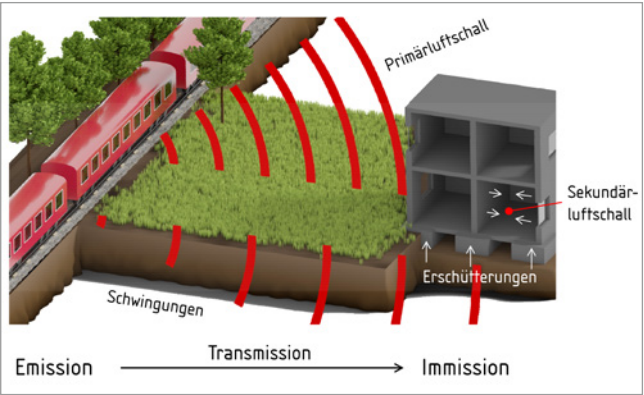
Schallemission	Quelle für Immissionsgrenzwerte
Straßenverkehr, Parkplätze	<ul style="list-style-type: none"> 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung) Parkplatzlärmstudie (Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt)
Schienenverkehr, Rangierbahnhöfe	<ul style="list-style-type: none"> 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung)
Luftverkehr	<ul style="list-style-type: none"> Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der Fluglärmimmissionen in der Umgebung von Landeplätzen (Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz)
gewerbliche Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm)
Schiffsverkehr	<ul style="list-style-type: none"> 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung)
Sportanlagen	<ul style="list-style-type: none"> 18. BImSchV (Sportanlagenlärmschutzverordnung)
Freizeitanlagen (z. B. Open-Air-Lifemusik, Freizeitparks, Badeplätze, Hundedressurplatz usw.)	<ul style="list-style-type: none"> Freizeitlärmrichtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz der Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland Freizeitlärmrichtlinien der Länder örtliche Festsetzungen
Geräte und Maschinen zur Verwendung im Freien	<ul style="list-style-type: none"> 32. BImSchV (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung)
Schießanlagen (bis Kaliber <20 mm)	<ul style="list-style-type: none"> TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm)
Baulärm	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen

Schallemission	Quelle für Immissionsgrenzwerte
Lärm am Arbeitsplatz	<ul style="list-style-type: none">▪ Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV) und Technische Regeln für Arbeitsstätten »Lärm« (ASR A3.7)▪ Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV)
Windkraftanlagen	<ul style="list-style-type: none">▪ TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm)▪ Länderausschuss für Immissionsschutz: Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen (WKA)

Tabelle 57 Übersicht zu Schallemissionen und Auswahl zugrunde liegender Quellen für Immissionsgrenzwerte

Die Schallimmission beschreibt das Einwirken von Schall auf den Menschen [DIN 1320]. Bild 89 gibt einen beispielhaften Überblick. Die Schallemission wird durch Schienenverkehr hervorgerufen. Die Schallausbreitung (Transmission) erfolgt durch die Luft und das Erdreich. Während der Luftschall als sogenannter Primärschall unmittelbar auf die Außenbauteile einwirkt, können die Schwingungen im Erdreich zu Erschütterungen des Tragwerks führen und sich als sogenannter Sekundärschall in das Gebäude ausbreiten. Sekundärschall entsteht durch Resonanzen angeregter Decken und Wände, die als Brummgeräusche oder z. B. auch als Gläserklirren in Schränken wahrgenommen werden. Die Störwirkung des Sekundärschalls kann erheblich sein, insbesondere nachts. Der messtechnische Nachweis ist häufig schwierig, da ein komplexes räumlich-zeitliches Wirkungsgefüge vorliegen kann (sogenannte Brummpänomene in der Nachbarschaft) und die auftretenden Pegel gering sind.

Bild 89 Schallemission und Schallimmission: Luftschall wirkt unmittelbar auf die Fassade ein. Durch Erschütterungen kann Sekundärschall hervorgerufen werden.



Die Wirkung des Sekundärschalls verdeutlicht das Beispiel der in Bild 90 gezeigten Notstromanlage. Die mobile Notstromanlage steht auf einem Fahrgestell unmittelbar neben einer Halle. Im Diagramm in Bild 91 werden die unbewerteten äquivalenten Schalldruckpegel L_{eq} außen vor der Halle (gelb) und in der Halle (blau) im Frequenzbereich zwischen 10 und 10 000 Hz dargestellt. Es ist zu erkennen, dass

die Schallpegeldifferenz überwiegend zwischen 20 und 30 dB liegt, mit einem ausgeprägten Minimum bei 80 Hz. Bei 80 Hz beträgt die L_{eq} -Differenz zwischen innen und außen weniger als 5 dB. Die Ursache liegt im Sekundärschall, der bei dieser Frequenz in der Halle durch Resonanzen der Tragkonstruktion entsteht.



Bild 90 Beispiel zur Wirkung von Sekundärschall: mobile Notstromanlage neben einer Halle mit Büros und Arbeitsflächen (rechts im Bild)

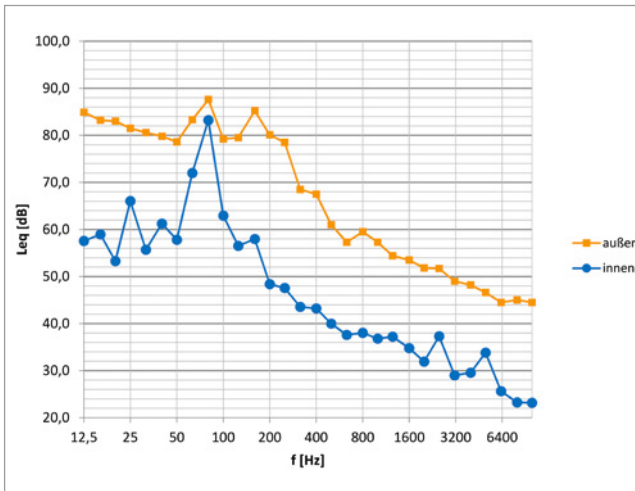


Bild 91 Unbewerteter mittlerer äquivalenter Schalldruckpegel durch Betrieb der Notstromanlage

Für alle in Tabelle 57 genannten Schallemissionen werden in den jeweils angegebenen Quellen Immissionsgrenzwerte zum Schutz der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen definiert. Die Rechtslage kann komplex sein, da Bundesrecht, Landesrecht, Verwaltungsvorschriften und Vorgaben der städtebaulichen Planung oder Bauleitplanung sowie Technische Regeln parallel zu beachten sind. Auch örtliche nutzungsbezogene Verordnungen sind möglicherweise zu berücksichtigen, wie Biergarten-Verordnungen usw. und zeitlich begrenzte

Ausnahmen, z. B. »Verordnung über den Lärmschutz bei öffentlichen Fernsehdarbietungen im Freien über die Fußball-Weltmeisterschaft«. Die zugrunde liegenden Immissionsgrenzwerte sind daher im Einzelfall sorgfältig zu prüfen. Planerisch zu beachten sind insbesondere die sachgerechte Erfassung und Dokumentation der zu beurteilenden Emissionen und ihres zeitlichen Verlaufes sowie ggf. vorhandene Überlagerungen unterschiedlicher Geräuschquellen.

Zur Beschreibung der Schallausbreitung sind Modellannahmen erforderlich, auf die bereits im Kapitel 2 eingegangen wird. Dies betrifft die Art der Schallquelle (Punkt-, Linien- oder Flächenschallquelle) und die Richtwirkung der Schallabstrahlung. Zusätzliche Einflussgrößen sind Abschirmung, Reflexion oder Dämpfung durch Vegetation und topografische Einflüsse.

Auch für den Immissionsort sind Annahmen zu treffen. Im Unterschied zur Bauakustik liegen die Immissionsorte beim Schallimmissionsschutz häufig außerhalb von Gebäuden. Die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) definiert den maßgeblichen Immissionsort wie folgt [TA Lärm]:

- bei bebauten Flächen 0,5 m außerhalb vor der Mitte des geöffneten Fensters des vom Geräusch am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raumes nach DIN 4109, Ausgabe November 1989,
- bei unbebauten Flächen oder bebauten Flächen, die keine Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen enthalten, an dem am stärksten betroffenen Rand der Fläche, wo nach dem Bau- und Planungsrecht Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen erstellt werden dürfen,
- bei mit der zu beurteilenden Anlage baulich verbundenen schutzbedürftigen Räumen, bei Körperschallübertragung sowie bei der Einwirkung tieffrequenter Geräusche in dem am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raum.

Beispiel 5.1a)

Für ein Kühlaggregat wird ein Schallleistungspegel L_W von 66 dB angegeben. Welcher Schalldruckpegel L wird am 18 m entfernten maßgeblichen Immissionsort, 0,5 m vor der Mitte des geöffneten Schlafzimmerfensters eines Wohngebäudes, erreicht (Annahme: halbkugelförmige Ausbreitung)?

Lösung:

$$L_W = L + 10 \cdot \lg(A) \rightarrow L = L_W - 10 \lg(2 \cdot \pi \cdot 18^2) = 66 - 33 = 33 \text{ dB}$$

Der Schalldruckpegel beträgt am maßgeblichen Immissionsort $L = 33 \text{ dB}$.

Bei Anlagen zur zentralen Kälteproduktion (Fernkühle) ist z. B. planerisch zu berücksichtigen, dass die Kälte vorwiegend im Sommer benötigt wird und dann aus Gründen der Energieeffizienz vorrangig nachts produziert wird. Für die Bewohner des angegebenen Wohngebäudes ist hierdurch ein ungestörter Schlaf bei geöffnetem Fenster im Sommer u. U. nicht möglich.

Im Schallimmissionsschutz sind präzise und vollständige Betriebsbeschreibungen eine unerlässliche Planungsgrundlage. Hierbei sind die Betriebsgeräusche vollständig zu berücksichtigen. Typischerweise handelt es sich um die betriebsbedingten Geräusche auf dem Betriebsgelände, auch um An- und Abfahrten und Parkplatzlärm. Besonders störend sind nächtliche Geräusche. Die TA Lärm [TA Lärm] definiert die Nachtzeit von 22.00 bis 6.00 Uhr, um eine achtstündige Nachtruhe der Nachbarschaft sicherzustellen. Aus Gründen des Lärmschutzes wird im Beispiel in Bild 92 die nächtliche Zufahrt zu einem Betriebsgelände untersagt. Eine vollständige Lärmvermeidung wird hierdurch nicht unbedingt erreicht: Vor 6.00 Uhr eintreffende Fahrzeuge warten möglicherweise auf einer öffentlichen Straße. Der hierbei entstehende Lärm zählt dann jedoch nicht zum unmittelbaren Betriebslärm, sondern ist dem Straßenverkehrslärm zuzurechnen. Unter bestimmten Randbedingungen ist er als anlagenbezogene Zusatzbelastung zu berücksichtigen.



Bild 92 Zur Vermeidung nächtlicher Betriebsgeräusche wird die Zufahrt zum Betriebsgelände vor 6.00 Uhr untersagt.

5.1.2 Beurteilungsgrößen

Maßgebende Beurteilungsgrößen sind der Schallleistungspegel bei Schallemissionen und der Schalldruckpegel bei Schallimmissionen, vgl. Kapitel 2.3. Beim Schallimmissionsschutz stehen die Schalldruckpegel am maßgeblichen Immissionsort im Vordergrund. Schallleistungspegel werden typischerweise gerätebezogen durch den Hersteller angegeben und als Grundlage für rechnerische Schallemissionsprognosen benötigt.

Bei der Beurteilung von Schallimmissionen ist insbesondere die Zeitabhängigkeit der Pegelverläufe zu bewerten. Bild 93 zeigt als Beispiel einen A-bewerteten Schalldruckpegel, der an einem beschränkten innerstädtischen Bahnübergang

gemessen wurde. Es ist erkennbar, dass der Schalldruckpegel erheblichen zeitlichen Schwankungen unterliegt.

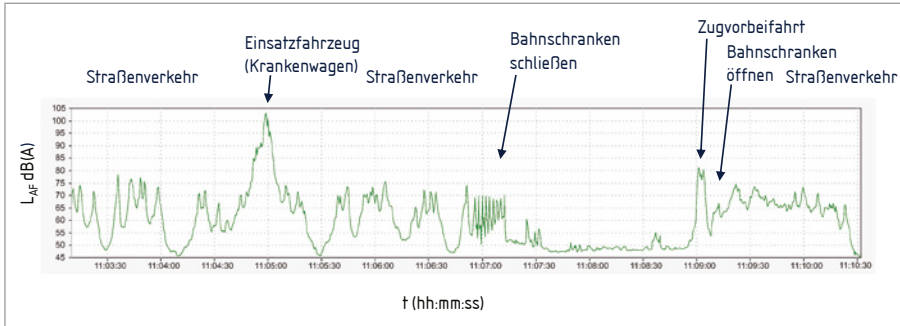


Bild 93 Messung des A-bewerteten Schalldruckpegels an einem innerstädtischen Bahnübergang. (Abb.: Autor und Institut für Akustik der Fachhochschule Lübeck)

Zur Beurteilung wird ein Einzelwert benötigt, der den Schalldruckpegelverlauf im Mittel ausreichend genau beschreibt. Hierzu wird als repräsentative Größe der energieäquivalente Dauerschalldruckpegel L_{AFeq} verwendet. Er wird abkürzend als äquivalenter Schalldruckpegel, als Dauerschalldruckpegel oder auch als Mittelungspegel bezeichnet. Es handelt sich im Prinzip um einen über die Zeit gemittelten integrierten Schalldruckpegel (Gl. 80). Der Index AF steht für die Frequenzbewertung A (vgl. Kapitel 2.4) und die Zeitbewertung F (»Fast«). Diese Bewertungen werden bei Schallimmissionsmessungen durch das Schallpegelmessgerät automatisch durchgeführt. Die Definition des äquivalenten Dauerschalldruckpegels kann abhängig von der Art der zu beurteilenden Schallimmission im Detail variieren.

$$L_{AFeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_{AF}^2}{p_0^2} \right) dt \right] [\text{dB}] \quad (80)$$

Die Frequenzbewertung A und die Zeitbewertung F sind der Regelfall [TA Lärm]. Sie erfolgen messtechnisch bereits vor der Anzeige des gemessenen Schalldruckpegels, bezogen auf ein elektrisches Eingangssignal. Die Zeitbewertung ist eine Exponentialfunktion, mit der das Schalldrucksignal bewertet wird. Hierbei werden definierte Anstiegszeitkonstanten und Abklingzeitkonstanten verwendet [DIN EN 61672-1 und DIN 45657]. Bei der Zeitbewertung F betragen sie 0,125 s und sind vergleichbar mit der Hörempfindung des Menschen. Die früher üblichen Zeitbewertungen S (Slow) und I (Impulse) werden heute nicht mehr verwendet.

Bild 94 verdeutlicht das Prinzip der zeitlichen Integration durch logarithmisches Aufsummieren. Zur Erläuterung wird vereinfachend von einem linearen Schalldruckpegelverlauf ausgegangen: Der Schalldruck L_{AFeq} steigt innerhalb von

10 Sekunden linear von 40 auf 60 dB(A), s. Bild 94, links. Eine näherungsweise Bestimmung des äquivalenten Dauerschalldruckpegels durch zwei Integrations-schritte in einem Intervall von 5 Sekunden ergibt $L_{AFeq} = 52,4$ dB(A), s. Bild 94, Mitte. Eine genauere Integration in Intervallen von 1 Sekunde ergibt den präziseren Wert $L_{AFeq} = 53,3$ dB(A), s. Bild 94, rechts. Moderne Schallpegelmesser integrieren in den vorgegebenen Intervallen automatisch. Das Beispiel zeigt, dass die Regeln der Pegelrechnung (vgl. Kapitel 2.3.5) auch bei der Bildung des äquivalenten Schall-druckpegels zu beachten sind, da L_{AFeq} nicht gleich 50 dB ist, wie man irrtümlich bei Bild 94, links annehmen könnte.

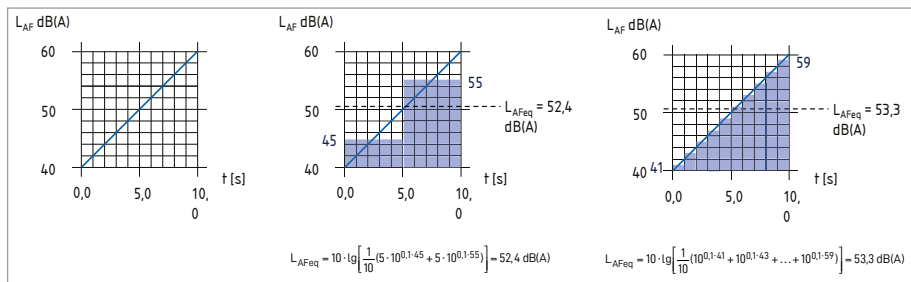


Bild 94 Beispielhafte Ermittlung des äquivalenten Dauerschalldruckpegels L_{AFeq} bei einem linear zunehmenden Schalldruckpegel. Aufgrund der erforderlichen energie-äquivalenten Mittelung («unter dem Logarithmus», vgl. Kapitel 2.3.5) ist L_{AFeq} nicht gleich 50 dB. Die Genauigkeit des Ergebnisses steigt mit der gewählten Anzahl der Integrations-schritte.

Weitere Beurteilungsgrößen sind [TA Lärm]:

- Maximalpegel L_{AFmax}
- Taktmaximalpegel L_{AFT}
- Taktmaximalmittlungspegel L_{AFTeq}

Der Maximalpegel L_{AFmax} ist der maximale Schalldruckpegel, der während des bestimmungsgemäßen Betriebsablaufs durch Einzelereignisse hervorgerufen wird. Im Sinne der TA Lärm handelt es sich hierbei um sogenannte kurzzeitige Geräuschspitzen.

Der Taktmaximalpegel L_{AFT} wird zur Beurteilung impulshaltiger Geräusche verwendet. Impulsartige Geräusche sind Schallsignale mit kurzer Dauer und hohem, rasch ansteigendem Schalldruckpegel, die häufig auch ein Erschrecken des Hörers hervorrufen, z.B. Hundebellen, lautes Klatschen oder Baustellenlärm. Von impuls-haltigen Geräuschen geht eine besondere Störwirkung aus, die in der TA Lärm durch Zuschläge berücksichtigt wird.

Der Taktmaximalpegel ist definiert als Maximalwert des Schalldruckpegels L_{AF} während der zugehörigen Taktzeit T. Die Taktzeit beträgt stets 5 Sekunden. Zur Auswertung wird ein Raster von Takten zu je 5 Sekunden über den gemessenen Schall-

druckpegel L_{AF} gelegt. Zur Bildung des Taktmaximalpegels wird L_{AF} in jedem Takt durch den Maximalwert ersetzt. Der Maximalwert wird hierbei über die Taktzeit als konstant angenommen (Bild 95).

Der Taktmaximalmittelungspegel L_{AFTeq} ergibt sich durch zeitliche Mittelung (vgl. Kapitel 2.3.5) der insgesamt zehn Taktmaximalpegel. Die Einwirkzeit T_j ist jeweils die Taktzeit von 5 Sekunden, die Bezugszeit T_r entspricht hier der Messdauer von insgesamt 50 Sekunden. Der Taktmaximalmittelungspegel entspricht damit einer Integration des Taktmaximalpegels in den vorgegebenen 5-Sekunden-Takten. Alle Beurteilungsgrößen werden mit der Frequenzbewertung A und der Zeitbewertung F angegeben.

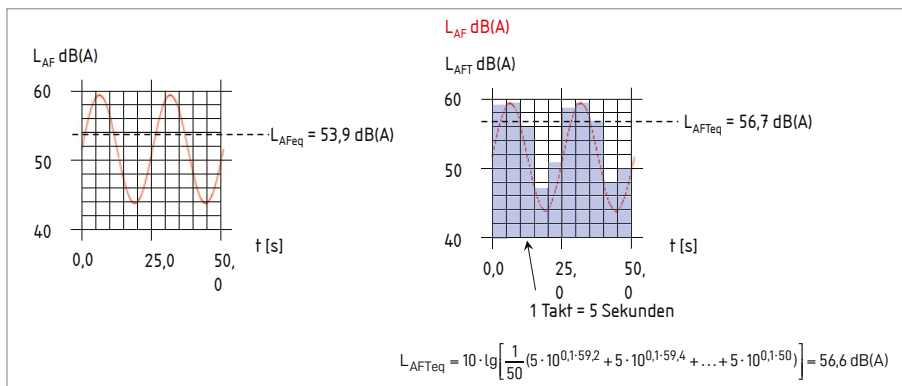


Bild 95 Beispielhafte Ermittlung des Taktmaximalpegels L_{AFT} für einen sinusförmigen Schalldruckpegel. Die Messdauer beträgt insgesamt 50 Sekunden. Links: gemessener Schalldruckpegel L_{AF} (rot) und äquivalenter Schalldruckpegel L_{AFeq} ; rechts: Ermittlung des Taktmaximalpegels L_{AFT} in den vorhandenen 10 Takten. Der Taktmaximalmittelungspegel L_{AFTeq} ergibt sich durch zeitliche Mittelung der 10 Taktmaximalpegel.

Bei Schallimmissionsmessungen werden manchmal auch sogenannte Prozentpegel verwendet, z. B. $L_{AF,95\%}$ oder abgekürzt L_{AF95} . Die Prozentangabe bezieht sich hierbei auf die Messdauer. L_{AF95} ist ein Schalldruckpegel, der in 95 % der gesamten Messzeit überschritten wurde. Er entspricht dem Fremdgeräuschpegel während der Messung. $L_{AF,5\%}$ ist ein Schalldruckpegel, der in 5 % der gesamten Messzeit überschritten wurde, entsprechend handelt es sich um Geräuschspitzen.

5.1.3 Soundscape

Soundscape ist eine weitergehende Beschreibung der menschlichen Wahrnehmung akustischer Umgebungen. Die zugrunde liegenden Begriffe werden in der Norm DIN ISO 12913-1 definiert. Soundscape beschreibt nicht die akustische Umgebung selbst, sondern ausschließlich deren Wirkung unter Berücksichtigung der folgenden Einflüsse [DIN ISO 12913-1]:

- Kontext (Beziehung zwischen Person, Aktivität, Ort und Zeit, z. B. Witterungsbedingungen, Einstellung zur Schallursache, Tageszeit, Lichteinfall, emotionaler Zustand, Erwartungshaltungen),
- Schallquellen (z. B. Straßenverkehrsgeräusche, Vogelzwitschern, Stimmen, Schritte, Musik),
- akustische Umgebung (Innenraum, im Freien, Absorption, Nachhall usw.),
- Hörempfindung (individueller neurologischer Prozess),
- Interpretation der Hörempfindung (die bewusste und unbewusste Verarbeitung akustischer Signale zur Orientierung oder zum Verständnis der akustischen Umgebung),
- Reaktionen (z. B. Emotionen, Stress),
- Folgen (u. a. Einstellungen, Annahmen, Beurteilungen, Gewohnheiten, Handlungen und Befindlichkeiten, Gesundheit, Wohlbefinden, Lebensqualität sowie reduzierte soziale Kosten für die Gesellschaft).

Ziel von Soundscape ist die Beschreibung und Beeinflussung von Reaktionen bzw. Belastungen durch die akustische Umgebung. Geräusche können Stressreaktionen hervorrufen, insbesondere, wenn sie unvorhersehbar sind, als störend wahrgenommen werden und Anpassungen erfordern. Stressverursachender Anpassungsdruck ist z. B. das Schließen von Fenstern bei lauten Außengeräuschen, das Verlassen eines Gartens bei einsetzendem Fluglärm oder das Unterbrechen von Gesprächen bei lauten Geräuschen. Stressauslösend können auch Geräusche sein, die nicht zum Kontext passen, z. B. das Klingeln von Mobiltelefonen beim Skifahren oder unerklärliche Geräusche in gewohnter Umgebung. Die Erfassung von Umgebungen durch die menschliche Hörwahrnehmung ist sehr ausgeprägt. Bereits an Straßenverkehrsgeräuschen lässt sich hören, ob gerade Winter oder Sommer ist (z. B. Musikgeräusche aus Fahrzeugen bei geschlossenen bzw. geöffneten Autofenstern, Motorradverkehr), ob es trocken ist oder regnet usw.

Abhängig von der Art der akustischen Umgebung können individuelle Verbesserungen nicht nur durch Reduzierung von Geräuschen, sondern auch durch Hinzufügen angenehmer Geräuschquellen erreicht werden. Hierzu ist die Erfassung und Bewertung akustischer, sozialer und psychologischer Faktoren erforderlich. In diesem Sinne gehen die Konzepte von Soundscape über die einfache Lärm-minderung hinaus.

Zur Interventionsplanung ist eine Evaluation der zugrunde liegenden Situation erforderlich. Diese wird durch die Vernetzung von Datenstrukturen und den zunehmenden Einsatz einer Vielzahl von Sensoren erleichtert. Verbesserungsmaßnahmen können z. B. die Einrichtung von ruhigen Zonen (Inseln) in urbanen Räumen oder von Zonen mit veränderter Akustik in Einkaufszentren umfassen. Soundscape ermöglicht eine vertiefte Beeinflussung von Lärmexpositionen und ist ein Forschungsfeld mit zunehmender Aktivität.

5.2 Rechtliche Grundlagen

5.2.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz

Rechtliche Grundlage des Schallimmissionsschutzes ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [BImSchG]. Allgemeines Ziel des Gesetzes ist der Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen, des Bodens, des Wassers, der Atmosphäre sowie von Kultur- und sonstigen Sachgütern vor schädlichen Umwelteinwirkungen. Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Alle genannten Begriffe unterliegen weitergehenden juristischen Definitionen. Planerinnen und Planer im Schallimmissionsschutz sollten mit der rechtlichen Interpretation der Begrifflichkeiten vertraut sein. Beispielsweise ist der Begriff der Erheblichkeit bei jedem Projekt bewertungsbedürftig. Zu den Immissionen und Emissionen zählen auch Geräusche und Erschütterungen. Die Vorschriften des Gesetzes sind insbesondere mit der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen verknüpft. Hierzu zählen

- Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen,
- Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen sowie bestimmte Arten von Fahrzeugen,
- Grundstücke, auf denen Stoffe gelagert oder abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können, ausgenommen öffentliche Verkehrswege.

Die Bundesregierung wird durch § 23 des BImSchG ermächtigt, per Rechtsverordnung vorzuschreiben, dass

- die Errichtung, die Beschaffenheit und der Betrieb nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen bestimmten Anforderungen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen genügen muss,
- Anlagen, die gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden, der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen genügen müssen.

Hierzu darf vorgeschrieben werden, dass die Anlagen bestimmten technischen Anforderungen entsprechen müssen, die von Anlagen ausgehenden Emissionen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten dürfen und die Betreiber von Anlagen Messungen von Emissionen und Immissionen nach in der Rechtsverordnung näher zu bestimmenden Verfahren vorzunehmen haben oder von einer in der Rechtsverordnung zu bestimmenden Stelle vornehmen lassen müssen [BImSchG].

Auf Grundlage der Ermächtigung nach § 23 BImSchG wurden mehr als 40 Verordnungen erlassen. Eine Auswahl häufig benötigter Verordnungen für den Schallimmissionsschutz und eine Übersicht zu Schallemissionen und Grenzwerten findet sich in Tabelle 58 und Tabelle 59.

Verordnung	Titel	Inhalt
4. BImSchV	Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen	Zuordnung von Anlagen nach Art und Produktionsleistung in das Genehmigungsverfahren (§ 10 BImSchG) und das Vereinfachte Verfahren (§ 19 BImSchG)
9. BImSchV	Verordnung über das Genehmigungsverfahren	Regelung der Durchführung der Genehmigungsverfahren und der Prüfung der Umweltverträglichkeit
16. BImSchV	Verkehrslärmschutzverordnung	Immissionsgrenzwerte und Berechnungsverfahren für den Beurteilungspegel für Straßen- und Schienenwege
18. BImSchV	Sportanlagenlärmschutzverordnung	Immissionsrichtwerte für den Betrieb von Sportanlagen
24. BImSchV	Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung	Festlegung von Schallschutzmaßnahmen für schutzbedürftige Räume in baulichen Anlagen zum Schutz vor Verkehrsgläuschen
32. BImSchV	Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung	Regelungen für Kennzeichnung und Betrieb von Geräten und Maschinen, die im Freien verwendet werden
34. BImSchV	Verordnung über die Lärmkartierung	Anforderungen an die Kartierung von Lärmkarten für die strategische Lärmplanung

Tabelle 58 Rechtsverordnungen mit besonderer Bedeutung für den Schallimmissionsschutz (Auswahl)

Lärmart/ Emissionsquelle	Quellen (Auswahl)	Ziele/Hinweise zum Immissionsschutz
Umgebungslärm	<ul style="list-style-type: none"> ■ EU-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG ■ 34. BImSchV (Verordnung über die Lärmkartierung) ■ Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lärmkartierung und Lärminderung zur strategischen Lärmplanung (Straßen, Schienenwege, Flugplätze, Industrie- oder Gewerbegebiete)
Verkehrslärm	<ul style="list-style-type: none"> ■ 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung) ■ RLS-90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gesundheitsschutz der Bevölkerung (Lärm von Autos, Eisenbahnen und Flugzeugen)
Gewerbelärm	<ul style="list-style-type: none"> ■ TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) ■ Parkplatzlärmstudie (Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt) ■ DIN 4109:1989 ■ DIN 4109-1:2018 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schutz der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche von gewerblich oder industriell genutzten Anlagen. Betrifft auch Gaststätten, Diskotheken, Einkaufsmärkte usw.

Lärmart/ Emissionsquelle	Quellen (Auswahl)	Ziele/Hinweise zum Immissionsschutz
Geräte- und Maschinenlärm	<ul style="list-style-type: none">▪ EU-Richtlinie 2000/14/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen▪ 32. BImSchV (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung)	<ul style="list-style-type: none">▪ Kennzeichnung von Geräten und zeitliche Beschränkungen für den Betrieb diverser Gerätearten in lärmempfindlichen Gebieten
Freizeitlärm und Sportlärm	<ul style="list-style-type: none">▪ 18. BImSchV (Sportanlagenlärmschutzverordnung)▪ Freizeitlärmrichtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz der Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland▪ Freizeitlärmrichtlinien der Länder▪ Örtliche Festsetzungen	<ul style="list-style-type: none">▪ Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Lärm von Sportanlagen oder Freizeitanlagen (z. B. Abenteuer-Spielplätze, musikalische Veranstaltungen).▪ Die Abgrenzung zu gewerblichen Anlagen führt häufig zu Rechtstreitigkeiten.
Nachbar- schaftslärm	<ul style="list-style-type: none">▪ Landesimmissionsschutzgesetze▪ Regelungen der Kommunen (insbesondere zur „Nachtruhe“)▪ Hausordnungen	<ul style="list-style-type: none">▪ Schutz vor verhaltensbezogenem Lärm (z. B. laute Unterhaltungen, lautes Feiern)
Kinderlärm	<ul style="list-style-type: none">▪ BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz)	<ul style="list-style-type: none">▪ Kinderspielplätze und ähnliche Einrichtungen stellen im Regelfall keine schädlichen Umwelteinwirkungen dar

Tabelle 59 Übersicht zu Schallemissionen und Auswahl zugrundeliegender Quellen für Immissionsgrenzwerte, sowie Hinweise zu den Zielen des Immissionsschutzes

5.2.2 4. BImSchV (genehmigungsbedürftige Anlagen)

Die Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [4. BImSchV] präzisiert den Begriff des Anlagenbetriebs für die Genehmigungsverfahren. Im Anhang der Verordnung werden Anlagen nach ihrer Leistung und Größe beschrieben und in drei Verfahrensarten unterteilt:

- G: Genehmigungsverfahren gemäß § 10 BImSchG (mit Öffentlichkeitsbeteiligung)
- V: vereinfachtes Verfahren gemäß § 19 BImSchG (ohne Öffentlichkeitsbeteiligung)
- E: Anlagen nach der Industrieemissions-Richtlinie (Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010)

In der baulichen Praxis steht das vereinfachte Verfahren im Vordergrund. In der Verordnung sind überwiegend industrielle und landwirtschaftliche Anlagen verzeichnet. Eine Genehmigung ist grundsätzlich erforderlich, wenn die Anlagen länger

als zwölf Monate nach Inbetriebnahme an demselben Ort betrieben werden. Von besonderer Bedeutung ist das Kriterium des gewerblichen Zweckes.

Ein mögliches Streitbeispiel ist eine Hundeschule. Geräusche in der Nachbarschaft entstehen durch andauerndes Hundegebell, gelegentliche Pfiffe, Rufe und Applaus. Der Betreiber könnte davon ausgehen, dass es sich um eine gewerbliche Nutzung handelt, weil gegen Entgelt Dienstleistungen zur Erziehung von Hunden angeboten werden. Wenn der Betrieb jedoch zu Zeiten typischer Freizeitaktivität erfolgt und Freizeitlärm überwiegt, kann es sich auch um eine Freizeitanlage handeln (Hundedressurplatz), an die zu bestimmten Zeiten strengere Anforderungen gestellt werden. Im Zweifelsfall sollte daher vom ungünstigeren Fall ausgegangen werden.

Geräuscheinwirkungen, die von Kindertageseinrichtungen, Kinderspielplätzen und ähnlichen Einrichtungen wie beispielsweise Ballspielplätzen durch Kinder hervorgerufen werden, sind nach § 22 BImSchG im Regelfall keine schädliche Umwelteinwirkung.

Der Betriebsbegriff wird nach dem BImSchG sehr weit ausgelegt und betrifft auch typische urbane Bauprojekte, z. B. gastronomische Nutzungen, Supermärkte oder kombiniert genutzte Wohn- und Einzelhandelsflächen. Hierbei können zunächst unerwartete Konflikte entstehen, z. B. in einem Wohngebäude mit Balkonen und Gewerbeeinheiten und gastronomischer Nutzung mit Außensitzplätzen im Erdgeschoss (Bäckerei mit Cafébetrieb, Eiscafé u. a.). Lärmimmissionen durch die Außensitzplätze können zur Überschreitung der Immissionsrichtwerte führen. In der Grundlagenermittlung [HOAI] sollte daher der Betriebscharakter der zu errichtenden baulichen Anlage sorgfältig geprüft werden. Bei Unverträglichkeiten, z. B. bei von einer Gemeinde gewünschter gewerblicher oder gastronomischer Teilnutzung in Wohngebäuden, muss im Bebauungsplan auf die zulässigen Emissionen und Immissionen eingegangen werden. Entsprechende Konflikte sind in der im Jahr 2017 eingeführten Baugebietskategorie »urbane Gebiete« [BauNVO] zu befürchten, da hier in den Bebauungsplänen festgesetzt werden kann, dass Wohnnutzungen im Erdgeschoss gegenüber gewerblichen Nutzungen zurücktreten. Die Gebietskategorie »urbane Gebiete« soll den Kommunen zur Erleichterung des Bauens in stark verdichteten städtischen Gebieten mehr Flexibilität einräumen, »ohne dabei das grundsätzlich hohe Lärmschutzniveau zu verlassen«. Daher sind hier einige Planungsaufgaben im Schallimmissionsschutz zu erwarten.

5.2.3 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung)

Die 16. BImSchV [16. BImSchV] gilt für den Bau oder die wesentliche Änderung von öffentlichen Straßen einschließlich öffentlicher Parkplätze sowie von Schienenwegen für Eisenbahnen und Straßenbahnen. Sie enthält Immissionsgrenzwerte (Tabelle 60) und Berechnungsverfahren für den Beurteilungspegel für Straßen und

für Schienenwege. Die Berechnungen sind getrennt für die Beurteilungszeiträume Tag (6.00 Uhr bis 22.00 Uhr) und Nacht (22.00 Uhr bis 6.00 Uhr) durchzuführen.

Nr.	Gebiet	Tag dB(A)	Nacht dB(A)
1	an Krankenhäusern, Schulen, Kurheimen und Altenheimen	57	47
2	in reinen und allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	59	49
3	in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	64	54
4	in Gewerbegebieten	69	59

Tabelle 60 Immissionsgrenzwerte nach der 16. BImSchV. Die Gebietsbezeichnung ergibt sich aus den Festsetzungen in den Bebauungsplänen, vgl. [BauNVO]. Gebiete, für die keine Festsetzungen bestehen, sind entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen [16. BImSchV].

Straßenverkehrslärmberechnungen werden typischerweise softwarebasiert durchgeführt, wobei die Qualität der Ergebnisse von der Genauigkeit des Umgebungsmodells abhängt. Grundlage sind die RLS-90 [RLS-90] und der Anhang 1 der 16. BImSchV. Bei tabellarischen Berechnungen wird typischerweise vereinfachend ein »langer gerader Fahrstreifen« [16. BImSchV] angesetzt. Der maßgebende Immissionspegel hängt von der Verkehrsstärke, vom Lkw-Anteil sowie von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit ab (Bild 96). Die Auswirkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sinkt bei zunehmendem Lkw-Anteil (Bild 97). Weitere Einflüsse sind u. a. die Art der Straßenoberfläche, Steigungen und die Wirkung von Kreuzungen. Witterungseinflüsse (z. B. nasse Fahrbahn) werden vernachlässigt.

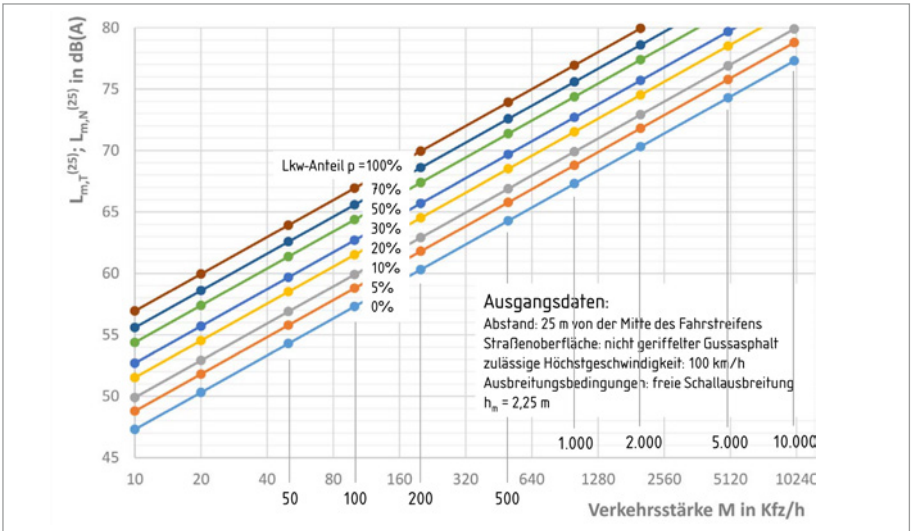


Bild 96 Emissionspegel $L_{m,T}^{(25)}$ bzw. $L_{m,N}^{(25)}$ als Funktion von Verkehrsstärke M und Lkw-Anteil p (>2,8 t) nach (Gl. 82), [16. BImSchV]

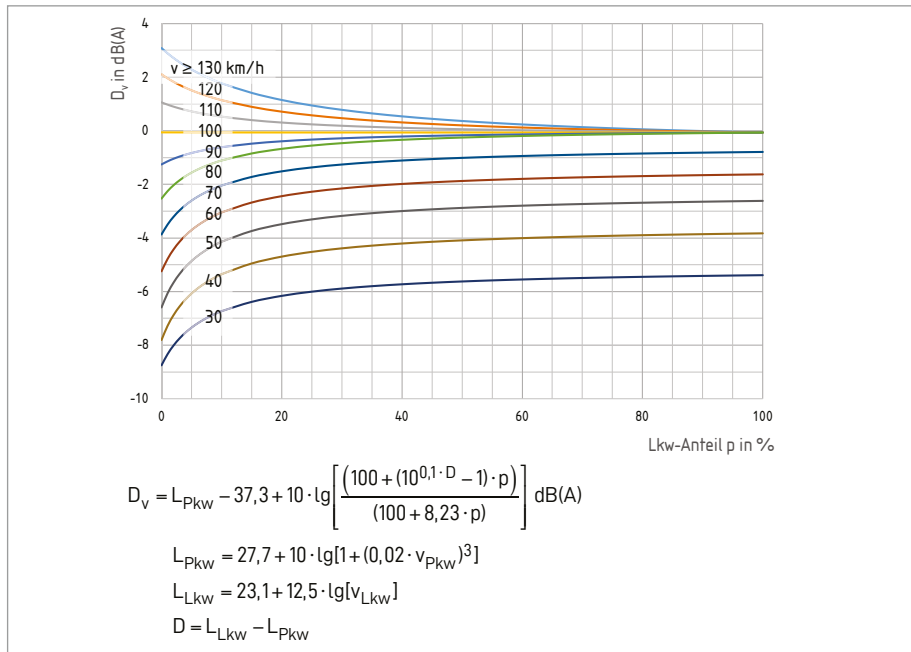


Bild 97 Korrekturwert D_v für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Lkw-Anteil p ($>2,8 \text{ t}$), [16. BImSchV]; bei $p = 0$ und $v_{PKW} = 30 \text{ km/h}$ beträgt $D_v = -8,8 \text{ dB}$

Maßgebender rechnerischer Emissionspegel ist der Mittelungspegel L_r , der sich nur auf einen Fahrstreifen bezieht. Der gesamte Emissionspegel aller Fahrstreifen einer Straße wird durch zusätzliche Berechnungsansätze ermittelt [RLS 90]. Der Beurteilungspegel $L_{r,T}$ in dB (A) für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr) kann für einen modellhaften Fahrstreifen nach den Gleichungen 81 und 82 berechnet werden [16. BImSchV].

$$L_{r,T} = L_{m,T}^{(25)} + D_v + D_{Str0} + D_{Stg} + D_{S_{\perp}} + D_{BM} + D_B + K \text{ dB(A)} \quad (81)$$

$L_{r,T}$: Beurteilungspegel in dB(A) für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr) für einen Fahrstreifen

D_v : Korrektur für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Lkw-Anteil p

D_{Str0} : Korrektur für unterschiedliche Straßenoberflächen

D_{Stg} : Korrektur für Steigungen und Gefälle

$D_{S_{\perp}}$: Pegeländerung durch unterschiedliche Abstände S_{\perp} zwischen dem Emissionsort (0,5 m über der Mitte des betrachteten Fahrstreifens) und dem maßgebenden Immissionsort

D_{BM} : Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung

D_B : Pegeländerung durch topographische Gegebenheiten, bauliche Maßnahmen und Reflexionen

K: Zuschlag für erhöhte Störwirkung von lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen

$$L_{m,T}^{(25)} = 37,3 + 10 \cdot \lg[M \cdot (1 + 0,082 \cdot p)] \text{ dB(A)} \quad (82)$$

$L_{m,T}^{(25)}$: Mittelungspegel in dB(A) für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)

M: maßgebende stündliche Verkehrsstärke M für einen Fahrstreifen in Kfz/h

p: maßgebender Lkw-Anteil (über 2,8 t zulässiges Gesamtgewicht) in % des Gesamtverkehrs

Der Beurteilungspegel $L_{r,N}$ in dB(A) für die Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) wird analog mit Gleichung 82 berechnet. Die Beurteilungspegel werden für Verkehrswege als Emissionspegel anstelle des Pegels der längenbezogenen Schallleistung L'_W verwendet. Der Emissionspegel $L_{m,E}$ ist etwa 19 dB niedriger als der Pegel der längenbezogenen Schallleistung L'_W [DIN 18005-1].

Möglichkeiten zur Lärminderung sind u. a. (vgl. Bild 98):

- verkehrsrechtliche Maßnahmen (Verkehrsbeschränkungen, Geschwindigkeitsbeschränkungen, »grüne Welle«)
- Lärmschutzmaßnahmen (Lärmschutzwände, Tunnel)
- lärmarme Straßenoberflächen
- Linienführung (ausreichender Abstand, Vermeidung von bremsenden und anfahrens Kraftfahrzeugen durch kreuzungsfreie Straße)

Bild 98 Nächtliche Lärminderung im innerstädtischen Bereich durch Geschwindigkeitsbeschränkung



5.2.4 18. BImSchV (Sportanlagenlärmschutzverordnung)

Die 18. BImSchV wurde im Juni 2017 durch den Bundestag neu verordnet. Die Immissionsrichtwerte wurden heraufgesetzt, um die wohnortnahe Sportausübung zu fördern.

Hierfür wurden gegenüber der Fassung von 2006 die Immissionsrichtwerte für die abendlichen Ruhezeiten zwischen 20.00 bis 22.00 Uhr sowie zusätzlich für die Ruhezeiten an Sonn- und Feiertagen von 13.00 bis 15.00 Uhr um fünf Dezibel erhöht. Außerdem wurden die »urbanen Gebiete« neu aufgenommen, vgl. Tabelle 61.

In den zurückliegenden Jahren hatten Beschwerden von Anwohnern zunehmend zur Begrenzung der Nutzungszeiten von Sportanlagen geführt. Die nachfolgende Verlagerung von Sportanlagen in Außenbereiche erschwert den Kinder- und Jugendsportbetrieb (Bild 99) und führt zu unerwünschtem innerstädtischen Verkehrsaufkommen. Zur Berücksichtigung des Schutzbedürfnisses der Nachbarschaft sind die Immissionsrichtwerte in den morgendlichen Ruhezeiten unberührt geblieben.

Die Sportanlagenlärmschutzverordnung gilt für die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Sportanlagen, soweit sie zum Zwecke der Sportausübung betrieben werden und einer Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz nicht bedürfen. Zur Sportanlage zählen auch Einrichtungen, die mit der Sportanlage in einem engen räumlichen und betrieblichen Zusammenhang stehen. Zur Nutzungsdauer der Sportanlage gehören die Zeiten des An- und Abfahrverkehrs sowie des Zu- und Abgangs [18. BImSchV]. Die Immissionsrichtwerte beziehen sich auf die Zeiträume tags, nachts und »Ruhezeit«.



Bild 99 Durch die um 5 dB erhöhten Immissionsrichtwerte für die abendlichen Ruhezeiten und die nachmittäglichen Ruhezeiten an Sonn- und Feiertagen der Sportanlagenlärmschutzverordnung 2017 sollen die wohnortnahe Sportausübung und der Kinder- und Jugendsportbetrieb gefördert werden.

Nr.	Beurteilungszeit	Tags dB(A)	Nachts dB(A)	Ruhezeit dB(A)
	werktags	6.00–22.00 Uhr	22.00–6.00 Uhr	6.00–8.00 Uhr
	Sonn- und Feiertage	7.00–22.00 Uhr	22.00–7.00 Uhr	7.00–9.00 Uhr
	Gebietsbezeichnung			
1	in Gewerbegebieten	65	50	60
1a	in urbanen Gebieten	63	45	58
2	in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	60	45	55
3	in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	55	40	50
4	in reinen Wohngebieten	50	35	45
5	in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35	45

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen sollen die Immissionsrichtwerte tags um nicht mehr als 30 dB(A) sowie nachts um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten; ferner sollen einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen die Immissionsrichtwerte innerhalb von Gebäuden um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten.

Die Ruhezeit von 13.00 bis 15.00 Uhr an Sonn- und Feiertagen ist nur zu berücksichtigen, wenn die Nutzungsdauer der Sportanlage oder der Sportanlagen an Sonn- und Feiertagen in der Zeit von 9.00 bis 20.00 Uhr 4 Stunden oder mehr beträgt. Die Art der bezeichneten Gebiete und Anlagen ergibt sich aus den Festsetzungen in den Bebauungsplänen. Sonstige in Bebauungsplänen festgesetzte Flächen für Gebiete und Anlagen sowie Gebiete und Anlagen, für die keine Festsetzungen bestehen, sind nach Tabelle 62 (S. 256) entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen. Weicht die tatsächliche bauliche Nutzung im Einwirkungsbereich der Anlage erheblich von der im Bebauungsplan festgesetzten baulichen Nutzung ab, ist von der tatsächlichen baulichen Nutzung unter Berücksichtigung der vorgesehenen baulichen Entwicklung des Gebietes auszugehen.

Tabelle 61 Immissionsrichtwerte nach der Sportanlagenlärmschutzverordnung, Fassung 2017. Die Gebietsbezeichnung ergibt sich aus den Festsetzungen in den Bebauungsplänen, vgl. auch [BauNVO]. Gebiete, für die keine Festsetzungen bestehen, sind entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen. Weicht die tatsächliche bauliche Nutzung im Einwirkungsbereich der Anlage erheblich von der im Bebauungsplan festgesetzten baulichen Nutzung ab, ist von der tatsächlichen baulichen Nutzung unter Berücksichtigung der vorgesehenen baulichen Entwicklung des Gebietes auszugehen [18. BImSchV].

Zu berücksichtigen sind Geräusche durch technische Einrichtungen und Geräte, durch die Sporttreibenden, durch die Zuschauer und sonstige Nutzer, und Geräusche, die von Parkplätzen auf dem Anlagengelände ausgehen.

Weitere Grenzwerte gelten für baulich, aber nicht betrieblich mit der Sportanlage verbundene Aufenthaltsräume von Wohnungen. Erforderliche Maßnahmen zum Lärmschutz durch den Betreiber umfassen [18. BImSchV]

- Lärminderung an Lautsprecheranlagen (z. B. Einbau von Schallpegelbegrenzern),
- technische und bauliche Schallschutzmaßnahmen (z. B. lärm mindernde Ballfangzäune, Bodenbeläge und Schallschutzwände),

- Vorkehrungen gegen die Verwendung übermäßig lärmerzeugender Instrumente durch Zuschauer (z. B. pyrotechnische Gegenstände, druckgasbetriebene Lärmfanfaren),
- Gestaltung der An- und Abfahrtswege und Parkplätze durch Maßnahmen betrieblicher und organisatorischer Art so, dass schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Der maßgebliche Immissionsort ist nach der 18. BImSchV

- bei bebauten Flächen 0,5 m außerhalb, etwa vor der Mitte des geöffneten, vom Geräusch am stärksten betroffenen Fensters eines zum dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmten Raumes einer Wohnung, eines Krankenhauses, einer Pflegeanstalt oder einer anderen ähnlich schutzbedürftigen Einrichtung,
- bei unbebauten Flächen, die aber mit zum Aufenthalt von Menschen bestimmten Gebäuden bebaut werden dürfen, an dem am stärksten betroffenen Rand der Fläche, wo nach dem Bau- und Planungsrecht Gebäude mit zu schützenden Räumen erstellt werden dürfen,
- bei mit der Anlage baulich, aber nicht betrieblich verbundenen Wohnungen in dem am stärksten betroffenen, nicht nur dem vorübergehenden Aufenthalt dienenden Raum.

Der maßgebliche Immissionsort der Sportanlagenlärmschutzverordnung entspricht damit dem maßgeblichen Immissionsort der TA Lärm. Im Unterschied zur TA Lärm gelten folgende Beurteilungszeiten:

- An Werktagen
 - tags außerhalb der Ruhezeiten (8.00 bis 20.00 Uhr): 12 Stunden,
 - tags während der Ruhezeiten (6.00 bis 8.00 Uhr und 20.00 bis 22.00 Uhr): 2 Stunden,
 - nachts (22 bis 6 Uhr): 1 Stunde (ungünstigste volle Stunde).
- An Sonn- und Feiertagen
 - tags außerhalb der Ruhezeiten (9.00 bis 13.00 Uhr und 15.00 bis 20.00 Uhr): 9 Stunden,
 - tags während der Ruhezeiten (7.00 bis 9.00 Uhr, 13.00 bis 15.00 Uhr und 20.00 bis 22.00 Uhr): jeweils 2 Stunden,
 - nachts (0.00 bis 7.00 Uhr und 22.00 bis 24.00 Uhr): 1 Stunde (ungünstigste volle Stunde).
- Beträgt die gesamte Nutzungszeit der Sportanlage oder Sportanlagen zusammenhängend weniger als 4 Stunden und fallen mehr als 30 Minuten der Nutzungszeit in die Zeit von 13.00 bis 15.00 Uhr, gilt als Beurteilungszeit ein Zeitabschnitt von 4 Stunden, der die volle Nutzungszeit umfasst.

Zu berücksichtigen sind u. a.:

- Geräusche durch technische Einrichtungen und Geräte,
- Geräusche durch die Sporttreibenden,
- Geräusche durch die Zuschauer und sonstigen Nutzer,
- Geräusche, die von Parkplätzen auf dem Anlagengelände ausgehen.

Da die Geräuscheinwirkungen nicht über einen vollen Tageszeitraum von 16 Stunden unter Anrechnung lärmarmen Zeiten rechnerisch gemittelt werden, sondern z. B. während der Ruhezeiten jeweils auf zwei Stunden zu beziehen sind, ergibt sich im Vergleich zur TA Lärm für tags ein höheres Anforderungsniveau.

5.2.5 34. BImSchV (Verordnung über die Lärmkartierung)

Die 34. BImSchV gilt für die Kartierung von Umgebungslärm. Sie konkretisiert Anforderungen an Lärmkarten nach § 47c des BImSchG. Die Lärmkartierung dient der strategischen Lärminderungsplanung. Sie gilt nicht für die Berechnung von Straßenverkehrslärm. Diese erfolgt nach der 16. BImSchV, vgl. Kapitel 5.2.3. Aus Lärmkarten kann nicht auf maßgebende Außenlärmpegel zur schalltechnischen Dimensionierung von Außenbauteilen geschlossen werden, vgl. Kapitel 4.9. Lärmkarten werden in vielen Fällen online zur Verfügung gestellt.

Die Verordnung definiert die folgenden Lärmindizes:

- L_{Day} : 12 Stunden, beginnend um 6.00 Uhr,
- L_{Evening} : 4 Stunden, beginnend um 18.00 Uhr,
- L_{Night} : 8 Stunden, beginnend um 22.00 Uhr.

Hierbei handelt es sich um die A-bewerteten äquivalenten Dauerschalldruckpegel. Der Beurteilungszeitraum ist das für die Schallemission ausschlaggebende und hinsichtlich der Witterungsbedingungen durchschnittliche Kalenderjahr.

Zusätzlich wurde der Tag-Abend-Nacht-Index (day-evening-night (noise) level) L_{DEN} eingeführt, der den Straßenverkehrslärm rechnerisch über 24 Stunden bewertet und mit Abend- und Nachtzuschlägen von 5 bzw. 10 dB wie folgt berechnet wird (Gl. 83):

$$L_{\text{DEN}} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Day}}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Evening}}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Night}}+10}{10}} \right) \right] [\text{dB}] \quad (83)$$

Die Berechnung folgt den Vorläufigen Berechnungsmethoden für den Umgebungslärm an Straßen [VBUS]. Die VBUS berücksichtigen den maßgebenden Lkw-Anteil ab 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht. Sie unterscheiden sich damit von den Richtlinien RLS-90 [RLS-90], die den Lkw-Anteil bereits ab 2,8 t zulässigem Gesamtgewicht berücksichtigen. Die Ausarbeitung von Lärmkarten erfolgt getrennt für jede Lärmart (Straßenlärm, Schienenlärm, Fluglärm, Industrie- und Gewerbelärm einschließlich Hafenlärm) für die Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} .

5.3 Gewerbelärm (TA Lärm)

5.3.1 Anwendungsbereich

Die TA Lärm (Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) wird zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der Bundes-Immissionsschutzverordnungen nach § 48 des BImSchG durch die Bundesregierung als allgemeine Verwaltungsvorschrift erlassen. Sie dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche. Die TA Lärm definiert Immissions- und Emissionsrichtwerte sowie Verfahren zur Ermittlung der Immissionen und Emissionen und hat für den Nachweis des Immissionsschutzes eine große Bedeutung erlangt.

Im Prinzip handelt es sich bei der TA Lärm um eine Verwaltungsvorschrift, die sich an die zuständigen Verwaltungsbediensteten richtet. Weder Gerichte noch freiberufliche Planerinnen und Planer oder weitere Sachverständige sind formal an eine Verwaltungsvorschrift gebunden. Von den fachlich beteiligten Kreisen wird die TA Lärm jedoch als sachlich und technisch zutreffend angesehen. Sie ist daher in der Praxis die wichtigste Planungsgrundlage für Schallimmissionen. Gutachten und Geräuschimmissionsprognosen auf Grundlage der TA Lärm müssen allerdings sachverständig begründet und vollständig nachvollziehbar sein. Die Immissionsrichtwerte nach der TA Lärm (Tabelle 55) werden beim Betrieb von Gewerbeanlagen im Regelfall als Grenzwerte für unzumutbare Lärmimmissionen angesehen.

Die TA Lärm gilt für Anlagen, die als genehmigungsbedürftige oder nicht genehmigungsbedürftige Anlagen den Anforderungen des zweiten Teils des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [BImSchG] unterliegen, mit Ausnahme folgender Anlagen [TA Lärm]:

- Sportanlagen, die der Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV) unterliegen,
- sonstige nicht genehmigungsbedürftige Freizeitanlagen sowie Freiluftgaststätten,
- nicht genehmigungsbedürftige landwirtschaftliche Anlagen,
- Schießplätze, auf denen mit Waffen ab Kaliber 20 mm geschossen wird (Truppenübungsplätze werden gesondert beurteilt),
- Tagebaue und die zum Betrieb eines Tagebaus erforderlichen Anlagen,
- Baustellen,
- Seehafenumschlagsanlagen,
- Anlagen für soziale Zwecke.

Sie wurde am 1. Juni 2017 als allgemeine Verwaltungsvorschrift neu erlassen. Die Änderungen gegenüber der Fassung von 1998 umfassen die Aufnahme der »urbanen Gebiete«.

Die Vorschriften der TA Lärm sind u. a. zu beachten [TA Lärm]

a) für genehmigungsbedürftige Anlagen bei

- der Prüfung der Anträge auf Erteilung einer Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb einer Anlage sowie zur Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebs einer Anlage,
- der Prüfung der Anträge auf Erteilung einer Teilgenehmigung oder eines Vorbescheids,
- der Entscheidung über nachträgliche Anordnungen (§ 17 BImSchG) und
- der Entscheidung über die Anordnung erstmaliger oder wiederkehrender Messungen (§ 28 BImSchG);

b) für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen bei

- der Prüfung der Einhaltung des § 22 BImSchG im Rahmen der Prüfung von Anträgen auf öffentlich-rechtliche Zulassungen nach anderen Vorschriften, insbesondere von Anträgen in Baugenehmigungsverfahren,
- Entscheidungen über Anordnungen und Untersagungen im Einzelfall (§§ 24 und 25 BImSchG);

c) für genehmigungsbedürftige und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen bei der Entscheidung über Anordnungen zur Ermittlung von Art und Ausmaß der von einer Anlage ausgehenden Emissionen sowie der Immissionen im Einwirkungsbereich der Anlage (§ 26 BImSchG).

Bei der Projektplanung führt der Anwendungsbereich der TA Lärm immer wieder zu Diskussionen. Daher gibt es diverse weiterführende Quellen zur Auslegung der TA Lärm. Auch die Umweltministerkonferenz (UMK) veröffentlicht entsprechende Hinweise. Zu den Anlagen, die vom Geltungsbereich der TA Lärm ausgenommen wurden, werden hier z. B. die folgenden Hinweise gegeben [LAI 2017]:

- Bei Freiluftgaststätten ist zu differenzieren zwischen Freiluftgaststätten und Gaststätten mit Außengastronomie. Im Unterschied zu Letzteren wird im Falle einer Freiluftgaststätte nicht nur der Betrieb der Gaststätte auf einige im Freien liegende Plätze erweitert, sondern der im Freien liegende Bereich tritt als eigenständiger Teil hinzu, er wird z. B. für sich bewirtschaftet.
- Hilfestellung für die Bestimmung, was eine landwirtschaftliche Anlage ist, bietet beispielsweise der § 201 Baugesetzbuch 2. Da die genehmigungsbedürftigen landwirtschaftlichen Anlagen im Anhang zur 4. BImSchV abschließend aufgeführt sind, gehören alle anderen landwirtschaftlichen Anlagen in die Gruppe der nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen.

- Der Begriff Tagebaue ist gemäß § 4 Abs.2 BImSchG auszulegen. Deshalb sind nur Anlagen ausgenommen, die unter den Geltungsbereich des Bundesberggesetzes fallen.
- Seehafenumschlagsanlagen sind eindeutig zu begrenzen auf diejenigen Anlagen, die unmittelbar zum Löschen und Beladen von Schiffen dienen. Die Herausnahme dieser Anlagen aus dem Geltungsbereich der TA Lärm 98 soll den Besonderheiten des Schiffsverkehrs Rechnung tragen und darf nicht dazu führen, dass möglicherweise alle im Hafenbereich befindlichen Anlagen privilegiert werden.
- Der Begriff Anlagen für soziale Zwecke ist im Sinne der Baunutzungsverordnung [BauNVO] und der TA Lärm identisch zu interpretieren. Wie in der BauNVO sind Anlagen für soziale Zwecke von solchen für kirchliche, kulturelle, gesundheitliche oder sportliche Zwecke abzugrenzen. Krankenhäuser sind Einrichtungen, die gesundheitlichen Zwecken dienen, Feuerwachen dienen gemeinnützigen Zwecken.

Vereinfacht zusammengefasst ist die TA Lärm zur Beurteilung von Geräuschimmissionen von gewerblich betriebenen Anlagen heranzuziehen, die ein wirtschaftliches Ziel verfolgen. Da in manchen Fällen die Abgrenzung zwischen gewerblichen und nichtgewerblichen Anlagen (z. B. Freizeitanlagen) Streitigkeiten hervorruft, sollte der betriebliche Rahmen vor Planungsbeginn sorgfältig geprüft und dokumentiert werden.

5.3.2 Richtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden

Die Immissionsrichtwerte beziehen sich auf die folgenden maßgeblichen Immissionsorte:

- bei bebauten Flächen 0,5 m außerhalb vor der Mitte des geöffneten Fensters des vom Geräusch am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raumes nach DIN 4109, Ausgabe November 1989,
- bei unbebauten Flächen oder bebauten Flächen, die keine Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen enthalten, an dem am stärksten betroffenen Rand der Fläche, wo nach dem Bau- und Planungsrecht Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen erstellt werden dürfen,
- bei mit der zu beurteilenden Anlage baulich verbundenen schutzbedürftigen Räumen, bei Körperschallübertragung sowie bei der Einwirkung tieffrequenter Geräusche in dem am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raum.

Der Verweis auf die schutzbedürftigen Räume nach der Norm DIN 4109:1989 [DIN 4109:1989] führt gelegentlich zu Diskussionen, da z. B. auch Büroräume schutzbedürftige Räume sind, aber typischerweise nachts nicht den gleichen Schutzanspruch benötigen wie Schlafräume. Hier ist bei der Planung eine Abklärung im Einzelfall erforderlich.

Die TA Lärm definiert folgende Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden (Tabelle 62):

Nr.	Gebietsbezeichnung	tags dB(A)	nachts dB(A)	Ruhezeit
a)	in Industriegebieten	70	70	
b)	in Gewerbegebieten	65	50	
c)	in urbanen Gebieten	63	45	
d)	in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	60	45	
e)	in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	55	40	Zuschlag von 6 dB: ▪ an Werktagen 6.00–7.00 Uhr 20.00–22.00 Uhr ▪ an Sonn- und Feiertagen 6.00–9.00 Uhr 13.00–15.00 Uhr 20.00–22.00 Uhr
f)	in reinen Wohngebieten	50	35	
g)	in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35	
Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tage um nicht mehr als 30 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.				
Die Art der bezeichneten Gebiete ergibt sich aus den Festlegungen in den Bebauungsplänen. Sonstige in Bebauungsplänen festgesetzte Flächen für Gebiete und Einrichtungen sowie Gebiete und Einrichtungen, für die keine Festsetzungen bestehen, sind entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen.				

Tabelle 62 Immissionsrichtwerte nach der TA Lärm. Die Gebietsbezeichnung ergibt sich aus den Festsetzungen in den Bebauungsplänen. Gebiete, für die keine Festsetzungen bestehen, sind entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen [TA Lärm]. Zu den Gebietsbezeichnungen s. auch: Baunutzungsverordnung [BauNVO]. (Anmerkung: Samstage zählen als Werktage.)

Die Gebietsbezeichnung »urbane Gebiete« wurde in die Fassung 2017 der TA Lärm neu aufgenommen. Nach der Baunutzungsverordnung [BauNVO] dienen urbane Gebiete dem Wohnen sowie der Unterbringung von Gewerbebetrieben und sozialen, kulturellen und anderen Einrichtungen, die die Wohnnutzung nicht wesentlich stören. Die Nutzungsmischung muss nicht gleichgewichtig sein. Vergnügungsstätten oder Tankstellen können zugelassen werden. Weiterhin kann für urbane Gebiete festgesetzt werden, dass in Gebäuden eine im Bebauungsplan bestimmte Größe der Geschossfläche für gewerbliche Nutzungen zu verwenden ist. Eine mögliche Ausweisung urbaner Gebiete wird derzeit in vielen Städten geprüft.

Zusätzliche Immissionsrichtwerte gelten für »seltene Ereignisse«, die über eine begrenzte Zeitdauer, aber an nicht mehr als zehn Tagen oder Nächten eines Kalenderjahres und nicht an mehr als an jeweils zwei aufeinanderfolgenden Wochenenden auftreten. Wenn seltene Ereignisse voraussehbar sind (z. B. Volksfeste, Osterfeuer mit Bewirtung, Jugendlager usw.), sollten behördliche Regelungen getroffen werden, um Streitigkeiten zu vermeiden.

Bei seltenen Ereignissen betragen die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden in Gebieten nach Tabelle 62, Buchstaben b bis g

- tags 70 dB(A),
- nachts 55 dB(A).

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen diese Werte

- in Gebieten nach Tabelle 62, Buchstabe b am Tag um nicht mehr als 25 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 15 dB(A),
- in Gebieten nach Tabelle 62, Buchstaben c bis g am Tag um nicht mehr als 20 dB(A) und in der Nacht um nicht mehr als 10 dB(A)

überschreiten [TA Lärm].

5.3.3 Richtwerte für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden

Bei Geräuschübertragungen innerhalb von Gebäuden oder bei Körperschallübertragung betragen die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel für betriebsfremde schutzbedürftige Räume nach DIN 4109, Ausgabe November 1989 unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der in Tabelle 62 unter a bis g genannten Gebiete

- tags 35 dB(A),
- nachts 25 dB(A).

Einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen dürfen diese Immissionsrichtwerte um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten. Weitergehende baurechtliche Anforderungen bleiben unberührt. Die Immissionsrichtwerte innerhalb von Gebäuden beziehen sich auf den am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Raum [TA Lärm].

5.3.4 Rechnerische Ermittlung des Beurteilungspegels

Die Immissionsrichtwerte der TA Lärm werden durch zeitliche Mittelung berechnet (vgl. Kapitel 2.3.5). Sie beziehen sich auf die beiden Zeiträume

- tags 6.00 bis 22.00 Uhr,
- nachts 22.00 bis 6.00 Uhr.

Die Nachtzeit kann bis zu einer Stunde hinausgeschoben oder vorverlegt werden, soweit dies wegen der besonderen örtlichen oder wegen zwingender betrieblicher Verhältnisse unter Berücksichtigung des Schutzes vor schädlichen Umwelteinwirkungen erforderlich ist. Eine achtstündige Nachtruhe der Nachbarschaft im Einwirkungsbereich der Anlage ist sicherzustellen [TA Lärm].

Die Immissionsrichtwerte gelten während des Tages für eine Beurteilungszeit von 16 Stunden. Maßgebend für die Beurteilung der Nacht ist die volle Nachtstunde (z. B. 1.00 bis 2.00 Uhr) mit dem höchsten Beurteilungspegel, zu dem die zu beurteilende Anlage relevant beiträgt [TA Lärm]. Bei der zeitlichen Mittelung ist als Bezugszeit daher stets anzusetzen: 16 Stunden (tags) oder 1 Stunde (nachts). Rechnerische Grundlage ist nachts immer eine volle Stunde, also z. B. 22.00 bis 23.00 Uhr und nicht z. B. 22.30 bis 23.30 Uhr. Die volle Stunde mit der höchsten betrieblichen Lärmbelastung ist im Zuge der Planung zu ermitteln.

Ein weiterer Aspekt der TA Lärm sind die sogenannten Gemengelagen, wenn gewerbliche Gebiete mit Wohngebieten aneinandergrenzen. Hier sind ggf. geeignete Zwischenwerte der Immissionsrichtwerte zu bilden. Kleinräumige Mischungen unterschiedlicher Nutzungen fallen nicht unter den Begriff Gemengelage. Für tief-frequente Geräusche, mit vorherrschenden Energieanteilen im Frequenzbereich unter 90 Hz, ist die Frage, ob von ihnen schädliche Umwelteinwirkungen ausgehen, im Einzelfall nach den örtlichen Verhältnissen zu beurteilen.

Der Beurteilungspegel L_r wird nach der TA Lärm für jeden maßgeblichen Immissionsort getrennt für Tag und Nacht folgendermaßen berechnet (Gl. 84):

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_r} \cdot \sum_{j=1}^N T_j \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{Aeq,j} - C_{met} + K_{T,j} + K_{I,j} + K_{R,j})} \right] \text{ dB(A)} \quad (84)$$

- T_r : Bezugszeit, $T_r = 16 \text{ h}$ (tags), $T_r = 1 \text{ h}$ (nachts, volle Stunde)
 T_j : Teilzeit j , Dauer eines Betriebsgeräusches
 N : Zahl der gewählten Taktzeiten in Abhängigkeit vom Betriebsablauf
 $L_{Aeq,j}$: Mittelungspegel während der Teilzeit T_j , in dB(A), vgl. Kapitel 5.1.2
 C_{met} : meteorologische Korrektur nach DIN ISO 9613-2, Entwurf Ausgabe September 1997, Gleichung (6)
 $K_{T,j}$: Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit in der Teilzeit T_j in dB
 $K_{I,j}$: Zuschlag für Impulshaltigkeit in der Teilzeit T_j in dB
 $K_{R,j}$: Zuschlag für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit (Ruhezeit) nach Tabelle 62 in der Teilzeit T_j , $K_R = 6 \text{ dB}$

Eine meteorologische Korrektur wird üblicherweise nicht angesetzt, da die benötigten Wetterdaten lokal nicht in der erforderlichen statistischen Präzision vorliegen.

Der Zuschlag K_T wird für die Teilzeiten angesetzt, in denen aus den zu beurteilenden Geräuschimmissionen ein oder mehrere Töne hervortreten oder in denen das Geräusch informationshaltig ist. Je nach Auffälligkeit ist der Wert 3 oder 6 dB anzusetzen, Zwischenwerte sind nicht zulässig. Bei Anlagen, deren Geräusche nicht ton- oder informationshaltig sind, ist $K_T = 0 \text{ dB}$ [TA Lärm]. Geräusche sind informationshaltig, wenn sie in besonderer Weise die Aufmerksamkeit einer Person wecken und

sie zum Mithören unerwünschter Informationen anregen. Der Wert K_T ist sachverständig festzulegen.

Auch der Zuschlag für Impulshaltigkeit K_I wird für die Teilzeiten angesetzt, in denen das zu beurteilende Geräusch Impulse enthält. Je nach Störwirkung beträgt der Zuschlag $K_I = 3$ dB oder $K_I = 6$ dB, Zwischenwerte sind nicht zulässig. Bei Anlagen, deren Geräusche keine Impulse enthalten, ist $K_I = 0$ dB [TA Lärm]. Grundlage der Festlegung des Zuschlages ist eine sachverständige Bewertung nach dem Höreindruck. Der Impulzzuschlag ist nur für die Teilzeiten zu vergeben, in denen die Impulse nach dem Höreindruck auftreten.

5.3.5 Prognoseverfahren

Für die Prognose der Geräuschimmissionen gibt die TA Lärm zwei Verfahren an:

- die detaillierte Prognose (DP),
- die überschlägige Prognose (ÜP).

Die überschlägige Prognose ist für die Vorplanung und in Fällen ausreichend, in denen die nach ihr berechneten Beurteilungspegel zu keiner Überschreitung der Immissionsrichtwerte führen. In allen anderen Fällen ist eine detaillierte Prognose durchzuführen. Detaillierte Prognosen werden typischerweise auf Grundlage von softwarebasierten Modellen erstellt, die sich an der TA Lärm orientieren. Die erzielte Genauigkeit hängt von der Präzision der Eingabewerte und der sachgerechten Modellierung ab. Die Genauigkeit softwarebasierter Modelle sollte nicht überschätzt werden, da z. B. Absorptions- und Reflexionswerte innerstädtischer Fassadenflächen nicht genau angegeben werden können.

Bei der Immissionsprognose sind alle Schallquellen der Anlage einschließlich Transport- und Verkehrsvorgängen auf dem Betriebsgrundstück der Anlage zu berücksichtigen. Wenn zu erwarten ist, dass kurzzeitige Geräuschspitzen von der Anlage die zulässigen Höchstwerte überschreiten können, sind auch deren Pegel zu berechnen [TA Lärm].

Bei Schallimmissionsprognosen für bauliche Anlagen wird häufig die überschlägliche Prognose nach Abschnitt A.2.4 der TA Lärm angewendet. Hierbei werden die Mittelungspegel am maßgeblichen Immissionsort mithilfe der zugrunde liegenden mittleren A-bewerteten Schallleistungspegel, der Einwirkzeiten und der Richtwirkungskorrekturen der Schallquellen sowie einer vereinfachten Schallausbreitungsrechnung ermittelt [TA Lärm]. Es wird von schallausbreitungsgünstigen Randbedingungen ausgegangen (Wetterlage, Jahreszeit, Abschirmung usw.). Besondere Fälle werden durch pauschale Sicherheitszuschläge abgedeckt, z. B. bei tieffrequenten Schallkomponenten, die ins Freie abgestrahlt werden.

Auf Grundlage der TA Lärm erfolgt die überschlägige Schallausbreitungsrechnung nach (Gl. 85). Die TA Lärm geht hierbei von einer Punktschallquelle mit kugelförmiger Schallausbreitung aus. Daher ergibt sich bei der Umrechnung vom Schallleistungspegel auf den Schalldruckpegel ein Abschlag von 11 dB. Dieser ist auf einen Radius von einem Meter bezogen, vgl. Abschnitt 2.3.7.

$$L_{\text{Aeq,Sm}} = L_{\text{W,Aeq}} + DI + K_0 - 20 \cdot \lg(s_m) - 11 \text{ dB(A)} \quad (85)$$

$L_{\text{Aeq,Sm}}$: Mittelungspegel am Immissionsort für die zugrunde liegende Einwirkzeit T_j

DI: Richtwirkungsmaß nach VDI 2714, Abschnitt 5.1, Bild 2 (nur bei Eigenabschirmung durch das Gebäude) [VDI 2714]

K_0 : nach VDI 2714, Abschnitt 5.2, Tabelle 2 [VDI 2714]

s_m : Abstand des Immissionsortes in Metern vom Zentrum der Schallquelle.
Wenn der Abstand des Immissionsortes vom Mittelpunkt der Anlage mehr als das Zweifache ihrer größten Ausdehnung beträgt, kann für alle Schallquellen einheitlich statt s_m der Abstand des Immissionsortes vom Mittelpunkt der Anlage eingesetzt werden, vgl. hierzu auch Kapitel 2.2.

Außer der Eigenabschirmung von schallabstrahlenden Gebäuden sind keine Abschirmungen zu berücksichtigen. Mit $DI \leq -10$ dB für die dem Immissionsort abgewandte Seite des Gebäudes darf nur gerechnet werden, wenn sich ihr gegenüber keine reflektierende Fläche (z.B. Wand eines Gebäudes) befindet. Reflexionen, die nicht im Raumwinkelmaß enthalten sind, sind nach VDI 2714, Abschnitt 7.1 [VDI 2714] durch die Annahme von Spiegelschallquellen zu berücksichtigen [TA Lärm]. Die VDI-Richtlinie 2714 wurde bereits im Jahr 2006 zurückgezogen, ist aber nach der TA Lärm 2017 weiterhin zugrunde zu legen.

Spiegelschallquellen werden zur vereinfachten Berücksichtigung von Reflexionen angesetzt, z. B. bei senkrechten Fassadenflächen [DIN ISO 9613-2]. Der Begriff bedeutet, dass am Ort der Reflexion eine neue Schallquelle angesetzt wird. Bei Berücksichtigung der Richtwirkung gilt das Spiegelprinzip für Reflexionen (Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel).

Das Richtwirkungsmaß DI wird bei schallabstrahlenden Gebäudeflächen angewendet und beschreibt näherungsweise die Eigenabschirmung in abgewandten Schallausbreitungsrichtungen (Bild 100).

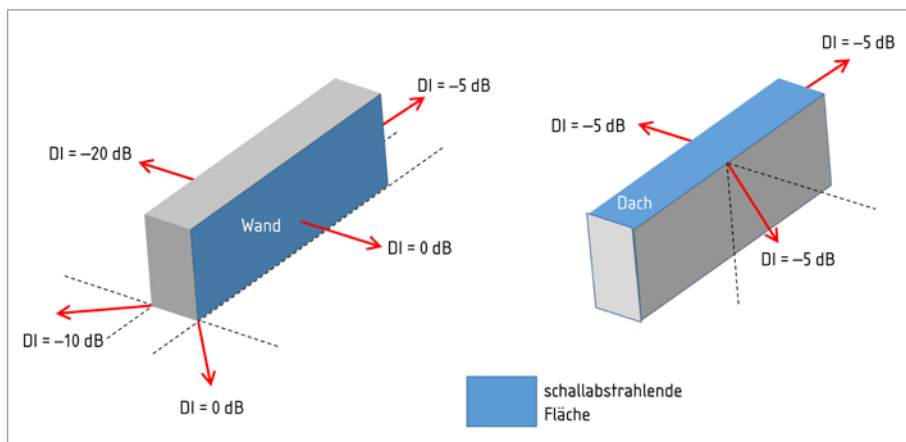


Bild 100 Näherungswerte für die Richtwirkungsmaße von schallabstrahlenden Gebäudeflächen nach [VDI 2714]

Das Raumwinkelmaß K_0 wird zur vereinfachten Berücksichtigung der Wirkung reflektierender Oberflächen in der Nähe der Schallquelle angesetzt (Tabelle 56). Ein Beispiel sind Schallemissionen durch Gespräche auf den Außensitzplätzen einer Terrasse: Bei einem harten Bodenbelag wäre $K_0 = 3$ dB anzusetzen. Bei zusätzlichen Reflexionen an einer Außenwand oder einer Gartenmauer wären insgesamt $K_0 = 3 + 3 = 6$ dB zu berücksichtigen.

Lage der Geräuschquelle	K_0 in dB
frei im Raum, hoch über dem Boden	0
in oder unmittelbar vor (über) einer stark reflektierenden Fläche (z. B. Dach, Boden)	+3
vor zwei senkrecht aufeinander stehenden Flächen (auch Wandfläche über Boden)	+6
vor drei senkrecht aufeinander stehenden Flächen	+9

Tabelle 63 Raumwinkelmaß K_0 entsprechend der Lage der Schallquelle unmittelbar vor reflektierenden Flächen nach [VDI 2714]

Bei der Berechnung von Zwischenwerten wird üblicherweise eine Nachkommastelle angegeben. Der Beurteilungspegel sollte in vollen dB angegeben werden und keine Genauigkeit vortäuschen, die nicht vorhanden ist. Bei der Abschätzung der Genauigkeit ist im Regelfall von ± 3 dB auszugehen, vgl. [DIN ISO 9613-2]. Nur für den Nahbereich kann bei nicht stark schwankenden Geräuschen ± 1 dB Genauigkeit ausgewiesen werden. Die Runderegel der Norm DIN 1333, Abschnitt 4.5.1 ist anzuwenden [LAI 2017].

Dies erfolgt formal für eine positive Zahl wie folgt: »Zu ihr wird der halbe Stellenwert der Rundestelle addiert, und im Ergebnis werden die Ziffern hinter der Rundestelle weggelassen.« [DIN 1333]. Hierbei handelt es sich um die übliche mathematische Rundung, d. h. Abrunden bei $\leq 0,4$ und Aufrunden bei $\geq 0,5$. Da es zu der Formulierung in der Norm DIN 1333 häufig Rückfragen gibt, wird das Verfahren beispielhaft in Tabelle 64 dargestellt.

zu rundender Zwischenwert	halber Stellenwert der Rundestelle	Summe	gerundeter Endwert
49,9	0,5	50,4	50
50,0	0,5	50,5	50
50,1	0,5	50,6	50
50,2	0,5	50,7	50
50,3	0,5	50,8	50
50,4	0,5	50,9	50
50,5	0,5	51,0	51
usw.			

Tabelle 64 Beispielhafte Rundung positiver ganzer Zahlen nach der Norm DIN 1333. Rundestelle ist die Einerstelle, der halbe Rundestellenwert ist daher hier immer 0,5.

Im Schallimmissionsschutz sind auch andere Rechenregeln üblich. Beispielsweise sind bei der Berechnung von Verkehrslärm auf Grundlage der RLS-90 Zwischenwerte auf 0,1 dB(A) zu runden und Gesamtbeurteilungspegel auf volle dB(A) aufzurunden [RLS-90].

5.3.6 Rechenbeispiele

Beispiel 5.2 a)

Von einem Logistikzentrum ist am maßgeblichen Immissionsort vor einem Wohnhaus in einem allgemeinen Wohngebiet nur zwischen 18.00 und 23.00 Uhr in jeder dieser Stunden ein mittlerer Schalldruckpegel von 53 dB(A) zu hören. Man berechne die Beurteilungspegel nach der TA Lärm. Werden die Immissionsrichtwerte eingehalten?

Lösung:

Werktags und an Sonn- und Feiertagen, tags:

$$L_{r, \text{tags}} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{16} \cdot (2 \cdot 10^{0,1 \cdot (53)} + 2 \cdot 10^{0,1 \cdot (53+6)}) \right] = 51 \text{ dB(A)} \leq 55 \text{ dB(A)}$$

nachts:

$$L_{r, \text{nachts}} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{1} \cdot (1 \cdot 10^{0,1 \cdot (53)}) \right] = 53 \text{ dB(A)} > 40 \text{ dB(A)}$$

Der Immissionsrichtwert der TA Lärm für nachts wird nicht eingehalten.

Ergänzungsfrage:

Wie lange darf das Logistikzentrum nach 22.00 Uhr arbeiten, um den Richtwert einzuhalten (vgl. Kapitel 2.3.5)?

Lösung:

Auflösen nach der Einwirkzeit ergibt:

$$40 \text{ dB(A)} \leq 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{1} \cdot (t_{\text{max}} \cdot 10^{0,1 \cdot (53)}) \right] \rightarrow t_{\text{max}} = \frac{10^{4,0}}{10^{5,3}} = 0,05 \text{ h} = 3 \text{ Min}$$

Das Logistikzentrum dürfte rechnerisch nur 3 Minuten weiterarbeiten, damit wäre ein nächtlicher Betrieb ausgeschlossen.

Beispiel 5.2 b)

Durch den Betrieb eines für private Veranstaltungen zu vermietendes Gemeinschaftshaus wirken auf den 80 m entfernten maßgeblichen Immissionsort an einem Wohnhaus an Freitagen und Samstagen die folgenden störenden Geräusche ein:

von 15.00 bis 22.00 Uhr: $L_{\text{Aeq}} = 45 \text{ dB(A)}$

und von 22.00 bis 2.00 Uhr: $L_{\text{Aeq}} = 33 \text{ dB(A)}$.

Zusätzlich sind Zuschläge von $K_T = 3 \text{ dB(A)}$ für Tonhaltigkeit und $K_I = 3 \text{ dB(A)}$ für Impulshaltigkeit der Geräusche zu berücksichtigen.

Außerdem entsteht Lärm durch eine Gruppe von Rauchern, die über den gesamten Zeitraum (15:00 bis 2.00 Uhr) vor dem Gemeinschaftshaus steht und sich angeregt unterhält. Für die Rauchergruppe kann ein Schallleistungspegel von 77 dB(A) angenommen werden.

- a) Wie groß sind die resultierenden Beurteilungspegel L_r für tags und nachts ohne Berücksichtigung der Rauchergruppe nach der TA Lärm? Werden die Immissionsrichtwerte der TA Lärm für tags und nachts für ein allgemeines Wohngebiet eingehalten?
- b) Wie groß sind die resultierenden Beurteilungspegel L_r für tags und nachts mit Berücksichtigung der Rauchergruppe nach der TA Lärm? Werden die Immissionsrichtwerte der TA Lärm für tags und nachts für ein allgemeines Wohngebiet eingehalten?

Lösung:

- a) Zeitliche Mittelung mit den betrieblichen Teilzeiten und den Zuschlägen nach (Gl. 84). Da der nächtliche Lärm konstant verläuft, kann eine beliebige volle Stunde zwischen 22.00 und 2.00 Uhr zur Beurteilung herangezogen werden. Tags ist der Zuschlag für die Ruhezeit (6 dB) über zwei Stunden von 20.00 bis 22.00 Uhr anzusetzen.

$$L_{r,nachts} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{1} \cdot (1 \cdot 10^{0,1 \cdot (33+3+3)}) \right] = 39 \text{ dB(A)} \leq 40 \text{ dB(A)}$$

$$L_{r,tags} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{16} \cdot (5 \cdot 10^{0,1 \cdot (45+3+3)} + 2 \cdot 10^{0,1 \cdot (45+3+3+6)}) \right] = 50 \text{ dB(A)} \leq 55 \text{ dB(A)}$$

Die Immissionsrichtwerte der TA Lärm für ein allgemeines Wohngebiet werden tags und nachts eingehalten.

Anmerkung: Es handelt sich um ein vereinfachtes Beispiel. Typischerweise sind weitere Betriebsgeräusche durch Anlieferung, Parkvorgänge usw. zu erwarten. Diese würden zusätzlich in die Berechnung einfließen.

- b) Zunächst ist der Mittelungspegel des Lärms der Rauchergruppe am maßgeblichen Immissionsort nach (Gl. 84) aus dem angegebenen Schallleistungspegel zu berechnen. Es wird von kugelförmiger Schallausbreitung ausgegangen. Für Reflexionen an der Hauswand wird angenommen: $K_0 = 3 \text{ dB}$.

$$L_{Aeq,sm} = 77 + 0 + 3 - 20 \cdot \lg(80) - 11 = 31 \text{ dB(A)}$$

Dann werden die Immissionsrichtwerte nach der TA Lärm (Gl. 84) unter Berücksichtigung der Geräusche der Raucher neu berechnet. Aufgrund des ausreichenden Abstandes wird auf einen Zuschlag für Informationshaltigkeit verzichtet.

$$L_{r,nachts} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{1} \cdot (1 \cdot 10^{0,1 \cdot (33+3+3)} + 1 \cdot 10^{0,1 \cdot (31)}) \right] = 40 \text{ dB(A)} \leq 40 \text{ dB(A)}$$

$$\begin{aligned} L_{r,tags} &= 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{16} \cdot (5 \cdot 10^{0,1 \cdot (45+3+3)} + 2 \cdot 10^{0,1 \cdot (45+3+3+6)} + 5 \cdot 10^{0,1 \cdot (31)} \right. \\ &\quad \left. + 2 \cdot 10^{0,1 \cdot (31+6)}) \right] \\ &= 50 \text{ dB(A)} \leq 55 \text{ dB(A)} \end{aligned}$$

Auch bei Berücksichtigung der Geräusche der Rauchergruppe werden die Immissionsrichtwerte der TA Lärm für ein allgemeines Wohngebiet tags und nachts eingehalten.

Aufgrund des knappen Rechenergebnisses für nachts wären die Annahmen bei einer überschlägigen Prognose nochmals sorgfältig zu hinterfragen. Ggf. ist für die Rauchergruppe zur Lärminderung eine Einhausung (z. B. Raucherkabine) erforderlich.

Beispiel 5.2 c)

Nutzungskonflikt bei Wohn- und Geschäftshäusern

Anhand des Wohn- und Geschäftshauses in Bild 101 wird beispielhaft der Nutzungskonflikt zwischen einem Eiscafé mit gastronomisch genutzter Außenterrasse im Erdgeschoss und darüberliegenden Wohnungen betrachtet. Vereinfachend wird nur die Terrassennutzung untersucht. Die weiteren betriebsbedingten Geräuschquellen wie Lüftungsanlage, Parkplatznutzung und Warenanlieferung (Anfahrt, Hebebühnenbetrieb, Transport von Paletten, Rollcontainern, Gitterwagen usw.) werden nicht einbezogen.

In der Praxis wäre außerdem zu berücksichtigen, dass die Gewerbeinheit und die darüberliegenden Wohnnutzungen baulich verbunden sind. Daher sind im Gebäude die Immissionen durch Körperschallübertragung und Einwirkung tieffrequenter Geräusche zu beurteilen, die z. B. durch das Kühltager im Keller hervorgerufen werden. Kühltager oder Kühltaschen können aufgrund des kontinuierlichen Betriebs insbesondere nachts Störungen durch Geräusche hervorrufen.

Der Schallleistungspegel für n gleichzeitig sprechende Personen berechnet sich wie folgt:

$$L_{WAeq} = L_{WAeq,je\ Person} + 10 \cdot \lg(n).$$

Der in der Entfernung von s_m in Metern vom Zentrum der Punktschallquelle zu erwartende Schalldruckpegel L_{Aeq} (Immissionspegel) wird nach Gleichung G4 der TA Lärm berechnet:

$$L_{Aeq} = L_{WAeq} + K_0 - 20 \cdot \lg(s_m) - 11 \text{ dB(A)}.$$

Zusätzlich wird ein Zuschlag $K_T = 3 \text{ dB}$ für die Informationshaltigkeit der Geräusche angesetzt (TA Lärm, Abschnitt A.2.5.2). Die Informationshaltigkeit wirkt sich im Nahbereich durch das direkte Mithören der Unterhaltungen besonders störend aus, ist aber in einem Eiscafé weniger kritisch als z. B. beim Ausschank alkoholischer Getränke. Auf den Ansatz eines Zuschlages K_I für Impulshaltigkeit (z. B. plötzliche laute Rufe oder Lachen) wird hier beim Cafébetrieb verzichtet. Diese sind ebenfalls eher bei gastronomischen Nutzungen in den Abendstunden zu erwarten. Für die angenommene Betriebszeit ist der Zuschlag für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit (Ruhezeiten) $K_R = 6 \text{ dB}$ im Zeitraum von 13.00 bis 15.00 Uhr anzusetzen, vgl. Tabelle 57 (S. 234).

Bei angenommenen zehn Gästen, von denen fünf gleichzeitig sprechen, folgt für den Beurteilungspegel L_r nach Gleichung (G2) der TA Lärm:

$$L_{WAeq} = 70 + 10 \cdot \lg(0,5 \cdot 10) = 77 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aeq} = 77 + 3 - 20 \cdot \lg(5 \text{ m}) - 11 \text{ dB(A)} = 55 \text{ dB(A)}$$

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{16} \cdot \left(7 \cdot 10^{\frac{55+3}{10}} + 2 \cdot 10^{\frac{55+3+6}{10}} \right) \right] = 58 \text{ dB(A)}$$

Die Vorgaben der TA Lärm wären damit für ein Kerngebiet eingehalten, für ein allgemeines Wohngebiet jedoch überschritten, vgl. Tabelle 62. Die rechnerisch maximal mögliche Anzahl von Sitzplätzen unter den zugrunde liegenden Annahmen wird für die unterschiedlichen Gebiete in Tabelle 65 zusammengefasst. Wie dargestellt, sind weitere Betriebsgeräusche in der Prognose noch nicht enthalten. Es wird davon ausgegangen, dass in den restlichen Stunden des Tages kein betriebsbedingter Lärm entsteht. Zu berücksichtigen ist auch, dass durch benachbarte gewerbliche Nutzungen (Ladenzeile, vgl. Bild 102) ggf. weitere Lärmanteile hinzukommen.

Nr.	Gebiet	Immissionsrichtwert TA Lärm 2017 L _r tags dB(A)	maximal mögliche Anzahl Sitzplätze Terrasse Eiscafé (Sonn- und Feiertage)
b)	Gewerbegebiet	65	52
c)	urbanes Gebiet	63	32
d)	Kerngebiete	60	16
e)	allgemeines Wohngebiet	55	4
f)	reines Wohngebiet	50	0

Tabelle 65 Prognose der Geräuschemissionen durch die gastronomische Terrassennutzung (Bild 101) nach der TA Lärm an Sonn- und Feiertagen (Betriebszeit: 10.00 bis 19.00 Uhr). Betrachtet werden nur die Schallimmissionen durch Gespräche unter den angegebenen Randbedingungen. Aufgrund der geringen Entfernung von 5 m zwischen Zentrum der Terrasse und Fenster des nächstgelegenen schutzbedürftigen Aufenthaltsraumes ist eine gewerbliche Terrassennutzung in reinen und allgemeinen Wohngebieten praktisch nicht möglich. Die neue Gebietskategorie »urbane Gebiete« erlaubt rechnerisch eine Verdoppelung der Gästezahl im Vergleich zu Kerngebieten.

Bild 102 Bei Ladenzeilen oder in Szenevierteln überlagern sich die Immissionen benachbarter gastronomischer Außennutzungen. Die Ausweisung der neu eingeführten »urbanen Gebiete« in entsprechend geeigneten Bereichen wird derzeit in vielen Städten geprüft.



Die überschlägige Prognose zeigt, dass aufgrund der geringen Entfernung von 5 m zwischen Zentrum der Terrasse und Fenster des nächstgelegenen schutzbedürftigen Aufenthaltsraumes eine gewerbliche Terrassennutzung in reinen und allgemeinen Wohngebieten praktisch nicht möglich ist. Die neue Gebiets-

kategorie »urbane Gebiete« erlaubt rechnerisch eine Verdoppelung der Gästezahl im Vergleich zu Kerngebieten. Bei ansteigender Gästezahl wäre aufgrund der zunehmenden flächenhaften Ausdehnung der Schallquelle die Entfernung zum Immissionsort zu überprüfen.

Es wird deutlich, dass die Vereinbarkeit von gewerblichen gastronomischen Nutzungen und Wohnnutzungen bei Wohn- und Geschäftshäusern eine anspruchsvolle Entwurfsaufgabe ist. Maßnahmen zur Schallabschirmung oberhalb von Terrassen wie z. B. schalldämmende Sonnensegel sind oftmals nur sehr bedingt wirksam. Eine Lösungsmöglichkeit wäre die Anordnung der schutzbedürftigen Wohnräume zur lärmabgewandten Gebäudeseite. Möglicherweise lassen sich auch im direkt oberhalb liegenden Geschoss gewerbliche Nutzungen unterbringen. Die neue Gebietskategorie »urbane Räume« erleichtert Nutzungsmischungen wie im Beispiel aus Bild 101, führt jedoch zu einer erhöhten Lärmbelastung der Bewohnerinnen und Bewohner. In schalltechnischer Hinsicht sind daher Diskussionen zu erwarten.

5.4 Weitere Richtlinien zum Schallimmissionsschutz

5.4.1 Freizeitlärmrichtlinien

Freizeitlärmrichtlinien werden länderweise durch Erlass der zuständigen Ministerien herausgegeben. Juristischer Hintergrund ist der Vollzug der §§ 22 bis 26 und 52 des BImSchG. Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz der Umweltministerkonferenz hat eine Musterfassung veröffentlicht. Möglicherweise sind zusätzliche lokale Vorschriften zu beachten. Die Rechtslage sollte daher vor Planungsbeginn sorgfältig geprüft werden. Die Freizeitlärmrichtlinien beziehen sich auf Anlagen nach dem BImSchG (vgl. Kapitel 5.2) und Geräuschimmissionen die durch die Anlagenutzung hervorgerufen werden. Aufgrund der Vielzahl der Vorschriften kann das folgende Kapitel nur einen Überblick über die Bewertung der Schallimmissionen von Freizeitanlagen geben. Die Rechtslage und die anzuwendenden Nachweisverfahren und Grenzwerte sind im Einzelfall zu prüfen.

Als Freizeitanlagen gelten u. a. die folgenden Anlagen:

- Grundstücke, auf denen in Zelten oder im Freien Freiluft- einschließlich Musikveranstaltungen, Diskothekenveranstaltungen, Rockmusikdarbietungen, Platzkonzerte, regelmäßige Feuerwerke, Volksfeste, Schützenfeste, Traditionsveranstaltungen o. Ä. stattfinden,
- Jahrmärkte,
- Freilichtbühnen,
- Autokinos,
- Freizeit- und Vergnügungsparks,

- Abenteuerspielplätze (nicht Kinderspielplätze, die Wohnnutzungen ergänzen; deren Geräusche gelten als sozialadäquat und müssen von den Nachbarn hingenommen werden),
- Flächen für sonstige Freizeitaktivitäten, z. B. Grillplätze,
- Badestellen und Strandabschnitte, die der besonderen Freizeitbetätigung dienen
- Erlebnisbäder, auch soweit sie in Verbindung mit Hallenbädern als Außenanlage betrieben werden,
- Anlagen für Modellfahrzeuge und -flugzeuge, Wasserflächen für Schiffsmodelle
- Sommerrodelbahnen,
- Zirkusse,
- Hundedressurplätze.

Freizeitlärm ist häufig impuls-, ton- oder informationshaltig.

Genehmigungsbedürftige Anlagen nach dem BImSchG, Sportanlagen und Gaststätten zählen nicht zu den Freizeitanlagen. Geräuscheinwirkungen, die von Kindertageseinrichtungen, Kinderspielplätzen und ähnlichen Einrichtungen wie beispielsweise Ballspielplätzen durch Kinder hervorgerufen werden, sind nach § 22 BImSchG im Regelfall keine schädliche Umwelteinwirkung. Gleiches gilt im Prinzip für Kinderspielplätze und ähnliche Einrichtungen, die die Wohnnutzung in dem betroffenen Gebiet ergänzen (z. B. Ballspielplätze, Boule-Bahnen). Die mit ihrer Nutzung unvermeidbar verbundenen Geräusche gelten als sozialadäquat und sind deshalb im Regelfall von der Nachbarschaft hinzunehmen [LAI – Freizeitlärmrichtlinie].

Die soziale Adäquanz kann ein juristischer Streitpunkt bei der Genehmigung von Veranstaltungen sein. Bei seltenen Veranstaltungen mit hoher Standortgebundenheit oder sozialer Adäquanz und Akzeptanz kann möglicherweise eine Sonderfallbeurteilung erfolgen.

Eine hohe Standortgebundenheit ist bei besonderem örtlichem oder regionalem Bezug gegeben, z. B. »Kieler Woche«, Feste mit kommunaler Bedeutung oder einzelne Konzerte in exponierter Innenstadtlage. Von sozialer Adäquanz und Akzeptanz ist auszugehen, wenn die Veranstaltung eine soziale Funktion und Bedeutung hat [LAI – Freizeitlärmrichtlinie].

Die Ermittlung der Beurteilungspegel L_r bei Freizeitanlagen (Gl. 86) orientiert sich an dem Verfahren der TA Lärm (vgl. Kapitel 5.3.4). Es sind jedoch andere Beurteilungszeiten zu berücksichtigen. Der maßgebliche Immissionsort entspricht der 18. BImSchV, vgl. Kapitel 5.2.4. Typische Beurteilungszeiten für Freizeitanlagen werden in Tabelle 66 zusammengefasst.

$$L_r = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_r} \cdot \sum_{j=1}^N T_j \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{Aeq,j} + K_{l,j} + K_{r,j})} \right] \text{ dB(A)} \quad (86)$$

- T_r : Bezugszeit, $T_r = 9$ oder 12 h (tags), $T_r = 2$ h (tags, Ruhezeiten), $T_r = 1$ h (nachts)
 T_j : Teilzeit j , Dauer eines Betriebsgeräusches
 N : Zahl der gewählten Taktzeiten in Abhängigkeit vom Betriebsablauf
 $L_{Aeq,j}$: Mittelungspegel während der Teilzeit T_j in dB(A), vgl. Kapitel 5.1.2
 $K_{l,j}$: Zuschlag für Impulshaltigkeit und/oder auffällige Pegeländerungen in der Teilzeit T_j in dB; $K_{l,j} = L_{AFTeq,j} - L_{Aeq,j}$
(Differenz aus Taktmaximalmittelungspegel und Mittelungspegel)
 $K_{r,j}$: Zuschlag K_r für Tonhaltigkeit und Informationshaltigkeit in der Teilzeit T_j in dB

	Werktage	Sonn- und Feiertage
tags	8.00–20.00 Uhr (12 Stunden)	9.00–13.00 Uhr und 15.00–20.00 Uhr (9 Stunden)
Ruhezeit	6.00–8.00 Uhr (2 Stunden)	7.00–9.00 Uhr (2 Stunden)
	20.00–22.00 Uhr (2 Stunden)	13.00–15.00 Uhr (2 Stunden)
		20.00–22.00 Uhr (2 Stunden)
nachts	22.00–6.00 Uhr (1 Stunde)	22.00–7.00 Uhr (1 Stunde)

Tabelle 66 Beurteilungszeiten für Freizeitanlagen [LAI – Freizeitlärmrichtlinie]. Nachts ist jeweils die ungünstigste volle Stunde anzusetzen, z. B. 22.00 bis 23.00 Uhr, nicht 22.30 bis 23.30 Uhr. (Anmerkung: Samstage zählen als Werktage)

In ruhebedürftigen Zeiten und an Sonn- und Feiertagen gelten niedrigere Immissionsrichtwerte. Daher wird im Unterschied zu Gleichung 84 kein Zuschlag für Ruhezeiten angesetzt. Die Immissionsrichtwerte (Tabelle 67) entsprechen den Richtwerten der TA Lärm für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden, vgl. Kapitel 5.3.2.

Der wesentliche Unterschied zwischen TA Lärm und Freizeitlärmrichtlinien ist der Bezugszeitraum am Tage. Während die Geräusche bei TA Lärm-Immissionsprognosen immer auf 12 Stunden bezogen werden, ist nach der Freizeitlärmrichtlinie (LAI – Freizeitlärmrichtlinie) in den Ruhezeiten nur eine Bezugszeit von 2 Stunden vorgesehen. Hierdurch ergeben sich z. B. bei Betrieb an Sonn- und Feiertagen zwischen 13.00 und 15.00 Uhr rechnerisch höhere Anforderungen, vgl. Beispiel 5.4 a).

Nr.	Gebietsbezeichnung	tags (Werktag) dB(A)	tags (Ruhezeit), Sonn- und Feiertage dB(A)	nachts dB(A)
a)	in Industriegebieten	70	70	70
b)	in Gewerbegebieten	65	60	50
c)	in Urbanen Gebieten	noch keine Angabe, ggf. an TA Lärm orientieren		
d)	in kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	60	55	45
e)	in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	55	50	40
f)	in reinen Wohngebieten	50	45	35
g)	in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	45	35
Einzelne Geräuschspitzen sollen die Immissionsrichtwerte »Außen« tags um nicht mehr als 30 dB(A) sowie nachts um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten. Ferner sollen einzelne Geräuschspitzen die Immissionsrichtwerte »innen« um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten.				

Tabelle 67 Immissionsrichtwerte für Freizeitanlagen auf Grundlage der Freizeitlärmrichtlinie [LAI – Freizeitlärmrichtlinie] (Anmerkung: Samstag zählen als Werktag.)

Bei Geräuschübertragung innerhalb von Gebäuden und bei Körperschallübertragung betragen die Richtwerte für Wohnräume unabhängig von der Lage des Gebäudes in einem der in Tabelle 67 genannten Gebiete

- tags 35 dB(A),
- nachts 25 dB(A).

Beispiel 5.4 a)

Durch den Betrieb eines Hundedressurplatzes wirken auf den maßgeblichen Immissionsort an einem Wohngebäude in einem reinen Wohngebiet an Sonntagen die folgenden störenden Geräusche (durchgängiges Hundebellen, Pfiffe, Applaus) ein:

von 10.00 bis 14.30 Uhr: $L_{Aeq} = 43 \text{ dB(A)}$

Wie groß sind die resultierenden Beurteilungspegel L_r nach der Freizeitlärmrichtlinie [LAI – Freizeitlärmrichtlinie]? Werden die Immissionsrichtwerte eingehalten?

Lösung:

Es werden Zuschläge $K_I = 3 \text{ dB(A)}$ für Impulshaltigkeit und/oder auffällige Pegeländerungen und $K_r = 3 \text{ dB(A)}$ für Tonhaltigkeit und Informationshaltigkeit der Freizeitgeräusche angesetzt. Die zeitliche Mittelung erfolgt für die Bezugszeiträume tags (an Sonn- und Feiertagen 9 Stunden) und Ruhezeit (2 Stunden von 13.00 bis 15.00 Uhr). Die Teilzeiten der Geräuscheinwirkungen

betragen 3 Stunden für tags (von 10.00 bis 13.00 Uhr) und 1,5 Stunden für die Ruhezeit (von 13.00 bis 14.30 Uhr).

$$L_{r,tags} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{9} \cdot (3 \cdot 10^{0,1 \cdot (43+3+3)}) \right] = 44 \text{ dB(A)} \leq 45 \text{ dB(A)}$$

$$L_{r,Ruhezeit} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{2} \cdot (1,5 \cdot 10^{0,1 \cdot (43+3+3)}) \right] = 48 \text{ dB(A)} > 45 \text{ dB(A)}$$

In der Ruhezeit werden die Immissionsrichtwerte der Freizeitlärmrichtlinie nicht eingehalten. Es ist daher von Belästigungen durch schädliche Umwelteinwirkungen auszugehen.

5.4.2 Nichtöffentliche Parkplätze (Parkplatzlärmstudie)

Die Lärmemissionen nichtöffentlicher Parkplätze können nach der Parkplatzlärmstudie [Parkplatzlärmstudie] ermittelt werden. Hierbei stehen gewerblich genutzte Parkplatzanlagen im Vordergrund. Die Parkplatzlärmstudie geht umfassend auf die schalltechnische Bewertung von Parkplätzen ein, auch auf Parkbauten und Tiefgaragen. Sie berücksichtigt, dass der Lärm von nichtöffentlichen Parkplätzen eher den Geräuschen von Anlagen entspricht als den Geräuschen von fließendem Verkehr. Ein typisches Beispiel sind Parkplätze von Supermärkten, bei denen die Roll- und Klappergeräusche von Einkaufswagen die Verkehrsgeräusche übertönen. Die Prognose der Geräuschimmissionen erfolgt daher wie bei einer Anlage nach der TA Lärm, vgl. Kapitel 5.3.4.

In diesem Kapitel wird die vereinfachte Emissionsberechnung nach der Parkplatzlärmstudie für nichtöffentliche ebenerdige Parkplätze vorgestellt [Parkplatzlärmstudie, Abschnitt 8.2].

Öffentliche Parkplätze sind nach der 16. BImSchV zu beurteilen. Die Unterscheidung zwischen öffentlichen und nichtöffentlichen Parkplätzen ist nicht immer eindeutig, vgl. Bild 103. Parkplätze gelten nicht schon dann als öffentlich, wenn sie der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen, sondern erst dann, wenn sie nach den Straßengesetzen öffentlich gewidmet sind [Parkplatzlärmstudie]. Bei der Projektplanung ist die Ausgangssituation als Grundlage erforderlicher Immissionsprognosen eindeutig zu klären.

Bild 103 Ist dieser Parkplatz öffentlich oder nichtöffentlich? Wenn es sich um ein Hochschulgrundstück handelt, wäre hinsichtlich des Immissionsschutzes zunächst von einem privaten, nicht »dem öffentlichen Verkehr gewidmeten« Parkplatz auszugehen.



Mit dem Rechenverfahren der Parkplatzlärmstudie wird für ebenerdige Parkplätze ein flächenbezogener Schallleistungspegel L'_w berechnet. Das Verfahren berücksichtigt für unterschiedliche Parkplatzarten jeweils vollständige Parkvorgänge mit allen charakteristischen Geräuschen je Fahrzeugbewegung, z. B.

- Omnibusparkplatz: laufende Dieselmotoren,
- Lkw-Parkplatz: Druckluftgeräusch (Bremsen),
- Supermarkt: Heck- bzw. Kofferraumklappenschließen, Einkaufswagen,
- Diskothek: Autoradios, laute Unterhaltung, »beschleunigte Anfahrt«,
- alle Parkplatzarten: Parksuchverkehr, Ein- und Ausparken, Türensclagen, Motorstart usw.

Ausgangswert ist der Schallleistungspegel $L_{W0} = 63 \text{ dB(A)}$ für eine Bewegung je Stunde auf einem P+R-Parkplatz. Zu dem Ausgangswert werden Zuschläge für die Parkplatzart, für die Impulshaltigkeit, für den Parksuchverkehr und für die Art der Fahrbahnoberflächen addiert. Dieser Wert wird mit allen Fahrzeugbewegungen je Stunde auf der Parkplatzfläche multipliziert, wobei diese Multiplikation bei der Pegelgröße als logarithmische Addition durchgeführt wird, vgl. Kapitel 2.3.5.

Rechnerische Eingangsgröße für die Ermittlung der Fahrzeugbewegungen ist die Bewegungshäufigkeit N . Sie beschreibt die Anzahl der Fahrzeugbewegungen je Einheit B_0 der Bezugsgröße B des Projektes und Stunde in Abhängigkeit von der Parkplatzart (Tabelle 68). Als Grundlage für Immissionsprognosen nach der TA Lärm wird die Bewegungshäufigkeit in der Tabelle für tags, nachts und für die ungünstigste Nachtstunde angegeben.

Parkplatzart	Einheit B ₀ der Bezugsgröße B	Tag 6–22 Uhr	Nacht 22–6 Uhr	ungünstigste Nachtstunde
P+R-Platz				
P+R-Platz, stadtnah, gebührenfrei, Abstand zur Stadtmitte unter 20 km	1 Stellplatz	0,30	0,06	0,16
P+R-Platz, stadtnah, gebührenfrei, Abstand zur Stadtmitte über 20 km	1 Stellplatz	0,30	0,10	0,50
Tank- und Rastanlage				
a) Bereich Tanken (keine Bezugsgröße, Angaben in Bewegungen je Stunde)				
Pkw	–	40	15	30
Lkw	–	10	6	15
b) Bereich Rasten				
Pkw	1 Stellplatz	3,50	0,70	1,40
Lkw	1 Stellplatz	1,50	0,50	1,20
Wohnanlage				
Tiefgarage	1 Stellplatz	0,15	0,02	0,09
Parkplatz (oberirdisch)	1 Stellplatz	0,40	0,05	0,15
Diskotheek				
Diskotheek	1 m ² Netto-Gastraumfläche	0,02	0,30	0,60
Einkaufsmarkt				
kleiner Verbrauchermarkt (Netto- verkaufsfläche bis 5 000 m ²)	1 m ² Nettoverkaufsfläche	0,10	–	–
großer Verbrauchermarkt bzw. Warenhaus (Nettoverkaufsfläche über 5 000 m ²)	1 m ² Nettoverkaufsfläche	0,07	–	–
Discounter und Getränkemarkt	1 m ² Nettoverkaufsfläche	0,17	–	–
Elektrofachmarkt	1 m ² Nettoverkaufsfläche	0,07	–	–
Bau- und Möbelmarkt	1 m ² Nettoverkaufsfläche	0,04	–	–
Speisegaststätten				
Gaststätte in Großstadt	1 m ² Nettogastraumfläche	0,07	0,02	0,09
Gaststätte im ländlichen Bereich	1 m ² Nettogastraumfläche	0,12	0,03	0,12
Ausflugs-gaststätte	1 m ² Nettogastraumfläche	0,10	0,01	0,09
Schnellgaststätte (mit Selbstbedienung)	1 m ² Nettogastraumfläche	0,40	0,15	0,60
Autoschalter in Schnellgaststätte (keine Bezugsgröße, Angaben in Bewegungen je Stunde)				
Drive-in	–	40	6	36

Parkplatzart	Einheit B_0 der Bezugsgröße B	Tag 6–22 Uhr	Nacht 22–6 Uhr	ungünstigste Nachtstunde
Hotel				
Hotel mit weniger als 100 Betten	1 Bett	0,11	0,02	0,09
Hotel mit mehr als 100 Betten	1 Bett	0,07	0,01	0,06
Parkplatz oder Parkhaus in der Innenstadt, allgemein zugänglich				
Parkplatz, gebührenpflichtig	1 Stellplatz	1	0,03	0,16
Parkhaus, gebührenpflichtig	1 Stellplatz	0,50	0,01	0,04

Tabelle 68 Anhaltswerte N der Bewegungshäufigkeit bei verschiedenen Parkplatzarten für schalltechnische Prognosen [Parkplatzlärmstudie, Tabelle 33]

Zur Ermittlung der Fahrzeugbewegungen ist die Bewegungshäufigkeit mit der jeweils angegebenen Bezugsgröße zu multiplizieren.

Beispiel 5.4 a)

Wie viele Fahrzeugbewegungen sind auf dem Parkplatz einer Diskothek mit 460 m² Nettogastraumfläche in der ungünstigsten Nachtstunde zu erwarten?

Lösung:

$$B \cdot N = 460 \cdot 0,6 = 276 \text{ Fahrzeugbewegungen/Stunde}$$

Beispiel 5.4 b)

Wie viele Fahrzeugbewegungen sind auf dem Parkplatz eines Hotels mit 80 Betten stündlich am Tag zu erwarten?

Lösung:

$$B \cdot N = 80 \cdot 0,11 = 9 \text{ Fahrzeugbewegungen/Stunde}$$

Anmerkung: Hierbei handelt es sich um Anhaltswerte nach der Parkplatzlärmstudie. Projektbezogen sollten zur gebührenden Sorgfalt eigene Kontrollzählungen durchgeführt werden.

Die Zuschläge für die Parkplatzart und die Impulshaltigkeit werden in Tabelle 69 aufgeführt.

Parkplatzart	Zuschläge in dB(A)	
	K_{PA}	K_I
Pkw-Parkplätze	0	4
▪ P+R-Parkplätze		
▪ Parkplätze an Wohnanlagen		
▪ Besucher- und Mitarbeiterparkplätze		
▪ Parkplätze am Rand der Innenstadt		
Parkplätze an Einkaufszentren		
▪ Standardeinkaufswagen auf Asphalt	3	4
▪ Standardeinkaufswagen auf Pflaster	5	4
Parkplätze an Diskotheken (mit Nebengeräuschen von Gesprächen und Autoradio)	4	4
Gaststätten	3	4
Schnellgaststätten	4	4
zentrale Omnibushaltestellen		
▪ Omnibusse mit Dieselmotor	10	4
▪ Omnibusse mit Erdgasantrieb	7	3
Abstellplätze bzw. Autohöfe für Lastkraftwagen	14	3
Motorradparkplätze	3	4

Tabelle 69 Zuschläge K_{PA} und K_I für verschiedene Parkplatzarten [Parkplatzlärmstudie, Tabelle 34]

Zur Ermittlung der Pegelerhöhung infolge des Durchfahr- und Parksuchverkehrs wird die Anzahl der vorhandenen Stellplätze benötigt. Diese ergibt sich aus der Bezugsgröße des Projektes und der Anzahl der Stellplätze f je Einheit der Bezugsgröße (Tabelle 70). Hierbei handelt es sich um Planungsgrößen für die Emissionsrechnung, nicht um Werte für Stellplatznachweise o. Ä.

Parkplätze	Bezugsgröße B_0	Stellplätze f je Einheit der Bezugsgröße
bei Diskotheken	m^2 Nettogastraumfläche	0,50
bei Gaststätten	m^2 Nettogastraumfläche	0,25
bei Verbrauchermärkten und Warenhäusern	m^2 Nettoverkaufsfläche	0,07
bei Discountmärkten	m^2 Nettoverkaufsfläche	0,11
bei Elektrofachmärkten	m^2 Nettoverkaufsfläche	0,04
bei Bau- und Möbelfachmärkten	m^2 Nettoverkaufsfläche	0,03
bei Hotels	Bett	0,50
sonstige Parkplätze (P+R-Plätze, Mitarbeiterparkplätze u. Ä.)	Stellplatz	1,00

Tabelle 70 Stellplätze f je Einheit der Bezugsgröße B_0 [Parkplatzlärmstudie, Abschnitt 8.2.1]

Beispiel 5.4 c)

Wie viele Stellplätze sind auf dem Parkplatz einer Diskothek mit 460 m² Netto-Gastraumfläche vorhanden?

Lösung:

$f = 0,5$ Stellplätze je m² Nettogastraumfläche

$f \cdot B = 0,5 \cdot 460 = 230$ Stellplätze

Beispiel 5.4 d)

Wieviele Stellplätze sind auf dem Parkplatz eines Hotels mit 80 Betten vorhanden?

Lösung:

$f = 0,5$ Parkplätze/Bett

$f \cdot B = 0,5 \cdot 80 = 40$ Stellplätze

Die Pegelerhöhung durch Parksuchverkehr ist nur bei mehr als 10 Stellplätzen anzusetzen. Bei kleineren Parkplätzen wird kein Parksuchverkehr angenommen, da der Parkplatz vollständig einsichtig ist.

Mit den genannten Eingangswerten berechnet sich der flächenbezogene Schallleistungspegel eines ebenerdigen Parkplatzes näherungsweise nach (Gl. 87). Die Anwendung der Gleichung ist sachverständig zu prüfen. Zum Beispiel kann es in Abhängigkeit von der Immissionssituation erforderlich sein, die Parkplatzfläche in mehrere Punktschallquellen aufzuteilen. Möglicherweise treten zusätzliche Effekte auf, die in der Parkplatzzlärmstudie nicht berücksichtigt werden, z.B. Pegelerhöhungen bei tageszeitlich bedingter Benutzung von Drive-in-Schaltern durch ein überwiegend junges Publikum infolge von lauten Autoradios bei geöffneten Fenstern (sog. Roll-Disco-Effekt). Außerdem ist das Verkehrsaufkommen in den einzelnen Fahrgassen schalltechnisch zu bewerten.

$$L_W = L_{W0} + K_{PA} + K_I + K_D + K_{Str0} + 10 \cdot \lg(B \cdot N) - 10 \cdot \lg\left(\frac{S}{1 \text{ m}^2}\right) \text{ dB(A)} \quad (87)$$

L_{W0} : flächenbezogener Schallleistungspegel aller Vorgänge auf dem Parkplatz (einschließlich Durchfahranteil)

$L_{W0} = 63$ dB(A) Ausgangsschallleistungspegel für eine Bewegung/h auf einem P+R-Parkplatz

K_{PA} : Zuschlag für die Parkplatzart nach Tabelle 69

K_I : Zuschlag für die Impulshaltigkeit nach Tabelle 69

K_D : Pegelerhöhung infolge des Durchfahr- und Parksuchverkehrs;

$K_D = 2,5 \cdot \lg(f \cdot B - 9)$ dB(A), $f \cdot B > 10$ Stellplätze, $K_D = 0$ für $f \cdot B \leq 10$

f : Stellplätze je Einheit der Bezugsgröße nach Tabelle 70

K_{Str0} : Zuschlag für unterschiedliche Fahrbahnoberflächen:

$K_{Str0} = 0 \text{ dB(A)}$ für asphaltierte Oberflächen

$K_{Str0} = 0,5 \text{ dB(A)}$ bei Betonsteinpflaster mit Fugen $\leq 3 \text{ mm}$

$K_{Str0} = 1,0 \text{ dB(A)}$ bei Betonsteinpflaster mit Fugen $> 3 \text{ mm}$

$K_{Str0} = 2,5 \text{ dB(A)}$ bei wassergebundenen Decken (Kies)

$K_{Str0} = 3,0 \text{ dB(A)}$ bei Natursteinpflaster

Der Zuschlag K_{Str0} entfällt bei Parkplätzen an Einkaufsmärkten, da die Pegelerhöhung durch klappernde Einkaufswagen pegelbestimmend und im Zuschlag K_{PA} für die Parkplatzart bereits berücksichtigt ist.

B: Bezugsgröße (Anzahl der Stellplätze, Nettoverkaufsfläche in m^2 , Nettogastraumfläche in m^2 oder Anzahl der Betten);

Bei mehreren räumlich getrennten Parkplätzen, die zu einer bestimmten Bezugsgröße gehören, ist für die Berechnung des Schallleistungspegels die Bezugsgröße proportional zu den einzelnen Parkplatzflächen aufzuteilen.

N: Bewegungshäufigkeit (Bewegungen je Einheit der Bezugsgröße und Stunde)
Falls für N keine exakten Zählungen vorliegen, sind sinnvolle Annahmen zu treffen. Anhaltswerte für N sind in Tabelle 68 zusammengestellt.

B · N: alle Fahrzeugbewegungen je Stunde auf der Parkplatzfläche

S: Gesamtfläche bzw. Teilfläche des Parkplatzes

Beispiel 5.4 e)

Man berechne überschläglich den Schallleistungspegel eines $4\,250 \text{ m}^2$ großen, ebenerdigen Parkplatzes (asphaltierte Fahrgassen) für eine Diskothek mit 460 m^2 Netto-Gastraumfläche in der ungünstigsten Nachtstunde.

Lösung:

Für die erforderlichen 230 Stellplätze (vgl. Beispiel 5.4 c) folgt:

$$L_W'' = 63 + 4 + 4 + 2,5 \cdot \lg(230 - 9) + 0 + 10 \cdot \lg(460 \cdot 0,60) - 10 \cdot \lg(4\,250) = 65 \frac{\text{dB(A)}}{\text{m}^2}$$

Beispiel 5.4 f)

Man berechne überschläglich den Schallleistungspegel eines 650 m^2 großen ebenerdigen Parkplatzes (Betonsteinpflaster mit Fugen $> 3 \text{ mm}$) für ein Hotel mit 80 Betten am Tage.

Lösung:

Ausgehend von der Parkplatzart »Parkplätze an Wohnanlagen« folgt für die erforderlichen 40 Stellplätze (vgl. Beispiel 5.4 d):

$$L_W'' = 63 + 0 + 4 + 2,5 \cdot \lg(40 - 9) + 1 + 10 \cdot \lg(80 \cdot 0,11) - 10 \cdot \lg(650) = 53 \frac{\text{dB(A)}}{\text{m}^2}$$

Der längenbezogene Schallleistungspegel aus Durchfahrverkehr auf dem Parkplatz wird nach der Parkplatzlärmstudie gemäß Gleichung 88 berechnet:

$$L'_W = L_{m,E} + 19 \text{ dB(A)} \quad (88)$$

Dies entspricht der Definition nach der Norm DIN 18005-1, vgl. Kapitel 5.2.3. Dabei ist eine Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h anzusetzen und die Schallausbreitung gemäß TA Lärm [TA Lärm] nach der Norm DIN ISO 6913-2 [DIN ISO 9613-2] zu berechnen.

Beispiel 5.4 g)

Welcher längenbezogene Schallleistungspegel ergibt sich für eine 70 m lange Fahrgasse auf einem Pkw-Parkplatz bei 28 Durchfahrten je Stunde?

Lösung (vgl. Kapitel 5.2.3, Gl. 82):

$$L_{m,T}^{(25)} = 37,3 + 10 \cdot \lg[28 \cdot (1 + 0,082 \cdot 0)] = 51,8 \text{ dB(A)}$$

Für die Geschwindigkeitskorrektur ergibt sich bei dem Pkw-Anteil $p = 0$ und $v_{Pkw} = 30 \text{ km/h}$ nach Bild 97 (Kapitel 5.2.3):

$$D = -8,8 \text{ dB.}$$

Es folgt:

$$L_{m,E} = 51,8 - 8,8 = 43 \text{ dB(A)}$$

$$L'_W = 43 + 19 = 62 \text{ dB(A)/m}$$

Die Fahrgassenlänge wird bei der Berechnung nach der Parkplatzlärmstudie vernachlässigt.

Eine Vergleichsberechnung zum Verständnis unter Ansatz der Fahrgassenlänge von 70 m ergibt für die Korrektur D_L zur Berücksichtigung der Teilstück-Länge nach Abschnitt 4.4.2.1 der RLS 90 [RLS 90]:

$$D_L = 10 \cdot \lg(L) = 10 \cdot \lg(70) = 18,5 \text{ dB.}$$

Es zeigt sich, dass der pauschale Zuschlag von 19 dB in der Gleichung 88 in etwa der Differenz D_L bei der Umrechnung des längenbezogenen Emissionspegels $L_{m,E}$ auf eine Fahrgassenlänge von 70 m entspricht.

5.4.3 Baulärm

Baulärm führt relativ selten zu Beschwerden, da er typischerweise in der Nachbarschaft als zeitlich begrenzte Störung wahrgenommen wird. Zudem ist die individuelle Einstellung zum Baulärm häufig positiv, da zwar zeitweise erhebliche Belästigungen entstehen, aber insgesamt ein unterstützenswerter Effekt erreicht wird (verbesserte Straße, neues Gebäude, intakte Entsorgungsanlagen usw.). Eine

erhöhte Sensibilität gegenüber Baulärm besteht bei Störungen durch nächtliche Baumaßnahmen, insbesondere im urbanen Bereich, sowie bei langandauernden Bauvorhaben oder bei erwartungswidrigen Bauzeitverlängerungen.

Grundlage für die Beurteilung von Geräuschimmissionen durch Baulärm ist die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm [AVV Baulärm]. Diese Vorschrift wurde bereits im Jahr 1970 veröffentlicht. Ihr hohes Alter bestätigt die relativ geringen Konflikte im Zusammenhang mit Baulärm.

Die Vorschrift gilt für den Betrieb von Baumaschinen auf Baustellen, soweit die Baumaschinen gewerblichen Zwecken dienen oder im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmungen Verwendung finden. Sie enthält Bestimmungen über Richtwerte für die von Baumaschinen auf Baustellen hervorgerufenen Geräuschemissionen [AVV Baulärm]. Die Immissionsrichtwerte werden in der Tabelle 71 zusammengefasst.

Nr.	Gebiet	Tag dB(A)	Nacht dB(A)
a)	Gebiete, in denen nur gewerbliche oder industrielle Anlagen und Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind	70	70
b)	Gebiete, in denen vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	65	50
c)	Gebiete mit gewerblichen Anlagen und Wohnungen, in denen weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	60	45
d)	Gebiete, in denen vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	55	40
e)	Gebiete, in denen ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	50	35
f)	Kurzegebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35

Tabelle 71 Immissionsrichtwerte für den Betrieb von Baumaschinen auf Baustellen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm [AVV Baulärm]

Als Nachtzeit gilt die Zeit von 20.00 Uhr bis 7.00 Uhr. Der Immissionsrichtwert wird nicht berechnet, sondern durch Messung des Taktmaximalpegels (vgl. Kapitel 5.1.2) überprüft. Er gilt als überschritten, wenn der aus den Messergebnissen ermittelte Beurteilungspegel den Richtwert nach Tabelle 71 überschreitet. Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm gibt zur Ermittlung des Beurteilungspegels ein Mittelungs- und Beurteilungsverfahren vor, in dem Zeitkorrekturen für die Betriebsdauer der Baumaschinen berücksichtigt werden. Der maßgebliche Immissionsort entspricht der TA Lärm (vgl. Kapitel 5.3): Wirken die von der Baustelle ausgehenden Geräusche auf ein zum Aufenthalt von Menschen bestimmtes Gebäude ein, so ist der Schallpegel 0,5 m vor dem geöffneten, von dem Geräusch am stärksten betroffenen Fenster zu messen. Der Immissionsrichtwert für die Nachtzeit gilt bereits als überschritten, wenn der Messwert ohne Beurteilung den Immissionsrichtwert um mehr als 20 dB(A) überschreitet [AVV Baulärm].

5.4.4 Geräuschkontingentierung

Bei der Geräuschkontingentierung werden Emissionskontingente für Teilflächen vorgegeben. Hintergrund ist die städtebauliche Planung. Sie soll sicherstellen, dass beispielsweise Geräuscheinwirkungen aus einem Gewerbegebiet nicht zu Störungen in einem benachbarten Wohngebiet führen. Hierzu können Festsetzungen in Bebauungsplänen erfolgen, z. B.:

[...] Es sollte von den Betrieben ein flächenbezogener Schall-Leistungspegel von 60 dB am Tage und 45 dB in der Nacht nicht überschritten werden. [...]

Hierbei entsteht das Problem, dass der erste Betrieb nicht bereits so viel Lärm emittieren sollte, dass weitere Betriebe unzulässig wären. Daher sind Emissionskontingente erforderlich, die sich auf Teilflächen eines Plangebietes beziehen. Verfahren zur Emissionskontingentierung werden in der Norm DIN 45691 [DIN 45691] definiert.

Im projektbezogenen Genehmigungsverfahren kann auf Grundlage des Emissionskontingentes geprüft werden, ob die Immissionsrichtwerte für eine Teilfläche eingehalten werden. Hierzu wird Gleichung 89 angewendet. Das Emissionskontingent wurde früher »immissionswirksamer flächenbezogener Schallleistungspegel – IFSP« genannt.

$$L_{r,j} \leq L_{EK,i} - \Delta L_{i,j} \text{ dB(A)} \quad (89)$$

- $L_{r,j}$: zum Zeitpunkt der Genehmigung nach der TA Lärm (vgl. Kapitel 5.3) berechneter Immissionspegel
- $L_{EK,i}$: Emissionskontingent, Wert des Pegels der flächenbezogenen Schalleistung der Teilfläche i , der der Berechnung der Immissionskontingente zugrunde gelegt wird
- $\Delta L_{i,j}$: Differenz zwischen dem Emissionskontingent $L_{EK,i}$ und dem Immissionskontingent $L_{IK,i,j}$ einer Teilfläche i am Immissionsort j

Die Differenz zwischen dem Emissionskontingent $L_{EK,i}$ und dem Immissionskontingent $L_{IK,i,j}$ wird nach Gleichung 90 berechnet. Hierbei sind gewisse Randbedingungen für die größte Ausdehnung der Teilfläche zu beachten, vgl. [DIN 45691].

$$\Delta L_{i,j} = -10 \cdot \lg \left[\frac{S_i}{(4 \cdot \pi \cdot s_{i,j}^2)} \right] \text{ dB} \quad (90)$$

- $\Delta L_{i,j}$: Differenz zwischen dem Emissionskontingent $L_{EK,i}$ und dem Immissionskontingent $L_{IK,i,j}$ einer Teilfläche i am Immissionsort j
- S_i : Größe der Teilfläche in m^2
- $s_{i,j}$: horizontaler Abstand des Immissionsortes vom Schwerpunkt der Teilfläche in m

Die Differenz $\Delta L_{i,j}$ beschreibt die Ausbreitungsdämpfung zwischen der Teilfläche i und dem maßgebenden Immissionsort j . Durch Ansatz der Teilfläche im Zähler des logarithmierten Bruches wird der flächenbezogene Wert der Schallleistung auf einen Schallleistungspegel umgerechnet. Im Nenner des Bruchs erfolgt die Umrechnung des Schallleistungspegels in einen Schalldruckpegel am Immissionsort unter Ansatz einer kugelförmigen Schallausbreitung, vgl. Kapitel 2.3.6.

Beispiel 5.4 h)

Berechneter Beurteilungspegel nach der TA-Lärm am maßgebenden Immissionsort 1:

$$L_{r,1} = 34 \text{ dB(A)}$$

Der Bebauungsplan setzt als flächenbezogenen Schallleistungspegel der Teilfläche fest:

$$L_{EK,i} = 60 \text{ dB(A)}$$

$$\text{Größe der Teilfläche } S_1 = 10\,000 \text{ m}^2$$

Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Teilfläche und dem maßgeblichen Immissionsort:

$$s_{1,1} = 230 \text{ m}$$

Erforderlicher Nachweis bei der Genehmigung:

$$L_{r,1} \leq L_{EK,1} + 10 \cdot \lg \left[\frac{S_1}{(4 \cdot \pi \cdot s_{1,1}^2)} \right] = 60 + 10 \cdot \lg \left[\frac{10\,000}{(4 \cdot \pi \cdot 230^2)} \right] = 42 \text{ dB(A)}$$

$$L_{r,1} = 34 \text{ dB(A)} \leq L_{EK,1} = 42 \text{ dB(A)}$$

Der Immissionsrichtwert wird am maßgeblichen Immissionsort eingehalten.

5.5 Tieffrequente Geräuscheinwirkungen

5.5.1 Einführung

Gemäß § 16 der Landesbauordnungen sind Geräusche, Erschütterungen oder Schwingungen, die von ortsfesten Einrichtungen in baulichen Anlagen ausgehen, so zu dämmen, dass unzumutbare Belästigungen nicht entstehen.

Schwingungen durch den Betrieb haustechnischer Anlagen werden bei unzureichender Dämmung in die angrenzenden Bauteile übertragen und als wahrnehmbare Vibrationen und Körperschall weitergeleitet. Insbesondere Geräuschanteile tiefer Frequenz breiten sich in Gebäuden gut aus und werden an weiter entfernten Stellen als Luftschall abgestrahlt. Die in die Bauteile übertragenen Schwingungen

werden im Bauwesen auch als Erschütterungen bezeichnet. Dieser Begriff soll auf eine mögliche belästigende Wirkung hinweisen.

Die Messung tieffrequenter Geräusche wurde in Kapitel 4.2.5 beschrieben. Bei den folgenden haustechnischen Anlagen treten häufig Geräusche mit tieffrequenten Anteilen auf [DIN 45680 Bbl. 1:2013]:

- Heizungs- und Warmwasseranlagen,
- Kompressoren (z. B. in Luft-Wasser-Wärmepumpen),
- Brenner in Verbindung mit Heizungsanlagen,
- Ventilatoren mit tieffrequenten Einzeltönen.

Tieffrequente Geräuschanteile und mechanische Schwingungen können auch bei anderen haustechnischen Anlagen nicht ausgeschlossen werden. Sie können auch bei ansonsten regelgerechter Luft- und Trittschalldämmung (vgl. Kapitel 4.3) erhebliche Störungen hervorrufen.

Da das Hörempfinden im Bereich der tiefen Frequenzen unterschiedlich ausgeprägt ist, kann die Störwirkung individuell verschieden ausfallen. Gleiches gilt für Schwingungen, deren Störwirkung ebenfalls individuell ausgeprägt ist. Beispielsweise sind Menschen unterschiedlich empfindlich gegen Ganzkörperschwingungen, z. B. auf Seereisen bei Schwingungen mit Frequenzen unterhalb von 1 Hz (Seekrankheit). Bei andauernder Exposition (längere Seereise, tägliches Führen von Lastkraftwagen usw.) sinkt das Störempfinden. Von tieffrequenten Geräuschen in Gebäuden betroffene Personen beklagen häufig Brummgeräusche und Vibrationen unterschiedlicher Intensität zu verschiedenen Zeiten an mehreren Orten ihrer Wohnung. Die Bewertung tieffrequenter Geräusche und mechanischer Schwingungen aus haustechnischen Anlagen ist ein interdisziplinäres Fachgebiet, auf dem Ingenieure unterschiedlicher Fachrichtungen zusammenarbeiten. Hier sind auch medizinische und physiologische Aspekte zu berücksichtigen. Zu unterscheiden sind Emissionen außerhalb von Gebäuden und Emissionen innerhalb von Gebäuden.

Die Definition von Grenzwerten für die Einwirkung von Schwingungen auf Gebäude und Menschen ist bereits bei Emissionen außerhalb von Gebäuden (z. B. durch Schienenverkehr, gewerbliche Anlagen, Baustellen usw.) nicht ohne Weiteres möglich. Zur Beurteilung können die Hinweise des Länderausschusses für Immissionsschutz zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen [LAI – Erschütterungen], sowie die Normen DIN 4150-2 [DIN 4150-3] und 4150-3 [DIN 4150-3] herangezogen werden.

Bei Emissionen innerhalb eines Gebäudes, z. B. bei haustechnischen Anlagen in Geschosshäusern mit Wohnungen und Arbeitsräumen, liegen keine allgemeinverbindlichen Grenzwerte vor. Entsprechende Bewertungen werden derzeit in einzelfallbezogenen Gutachten vorgenommen. Hierdurch entstehen Unsicherheiten bei der Planung und Ausführung haustechnischer Anlagen, da nicht vorhersehbar

ist, zu welchen Aussagen Sachverständige gelangen. Beispielsweise können unterschiedliche Literaturwerte für Wahrnehmungsschwellen herangezogen werden. Dieses Kapitel erläutert die fachlichen Randbedingungen und gibt Hinweise für das Vorgehen in der Praxis.

Der Frequenzbereich der Erschütterungen liegt nach Definition der Norm DIN 4150-2 zwischen 1 Hz und 80 Hz. Schwingungen rufen sogenannte Sekundäreffekte hervor. Hierzu zählen z. B. »Rütteln« von Fenstern, Vibrieren von Möbeln, Gläserklirren oder Bewegungen von Einrichtungsgegenständen sowie durch Raumbegrenzungen abgestrahlter Luftschall.

Während Luftschall im Prinzip durch Mikrofone zuverlässig erfasst werden kann, ist die Messung von Schwingungen oder Körperschall schwieriger. Mit der Norm DIN 52221 [DIN 52221] liegt zwar eine Vorschrift über Körperschallmessungen bei haustechnischen Anlagen vor, durch die erforderliche Befestigung der Körperschallaufnehmer an Prüfflächen entstehen jedoch Ungenauigkeiten. Abhängig von der gewählten Befestigung beeinflussen Körperschallaufnehmer die zu messende Körperschallabstrahlung. Hinzu kommen messtechnische Ungenauigkeiten durch die Empfindlichkeit und mögliche Resonanz der Körperschallaufnehmer. Weiterführende Hinweise finden sich z. B. in der Norm DIN ISO 5348 [DIN ISO 5348].

Der Bereich tiefer Frequenzen wird in anderen Quellen unterschiedlich definiert, s. Tabelle 72:

Quelle	Angabe
TA Lärm	<90 Hz
DIN 4109-11:2010/DIN EN 16283-1:2014	50, 63 und 80 Hz
DIN 45680:1997	10–80 Hz
E DIN 45680:2013	8–125 Hz

Tabelle 72 Bereich tiefer Frequenzen nach unterschiedlichen Quellen

Bei 10 Hz beträgt die Schallwellenlänge in der Luft 34 m, bei 50 Hz beträgt sie 6,8 m. Wellen dieser Länge sind in Gebäuden aufgrund von Beugungen und Reflexion an Raumbegrenzungen messtechnisch schwierig zu erfassen.

5.5.2 Anforderungen

Anforderungen zu Schwingungen, die außerhalb von Gebäuden angeregt werden, finden sich in der Norm DIN 4150-2:1999. Nach der Norm sollte der Mensch in Gebäuden, insbesondere in Wohnungen, grundsätzlich so wenig wie möglich wahrnehmbaren Erschütterungen ausgesetzt werden.

Die Belästigung des Menschen durch Erschütterungen hängt insbesondere ab von

- der Größe (Stärke) der auftretenden Erschütterungen,
- der Frequenz,
- der Einwirkungsdauer,
- der Häufigkeit und Tageszeit des Auftretens und der Auffälligkeit (Überraschungseffekt),
- der Art und Betriebsweise der Erschütterungsquelle.

Weiterhin sind u. a. folgende individuelle Eigenschaften und situative Bedingungen von Bedeutung:

- der Gesundheitszustand (physisch, psychisch),
- die Tätigkeit während der Erschütterungsbelastung,
- der Grad der Gewöhnung,
- die Einstellung zum Erschütterungserzeuger,
- die Erwartungshaltung in Bezug auf ungestörtes Wohnen, die unter Umständen von der Art des Wohngebietes (Wohnumfeld) abhängig ist,
- die Sekundäreffekte.

Zur Beurteilung nach der Norm wird die Schwinggeschwindigkeit als frequenz- und zeitbewertete Schwingstärke herangezogen. Immissionswerte für die Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen auf Menschen sind in den Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen des Länderausschusses für Immissionsschutz [LAI – Erschütterungen] zusammengefasst. Weitere Hinweise finden sich z. B. in den Technischen Fachinformationen zur Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg [Menges 2005].

Bei Schwingungen, die innerhalb von Gebäuden angeregt werden, orientieren sich Sachverständige an der Wahrnehmbarkeitsschwelle. Diese ist individuell unterschiedlich ausgeprägt. Bei Ganzkörperschwingungen hängt sie von der Position (sitzend, stehend, liegend) und ggf. ausgeübten Tätigkeiten ab. Beispielsweise gibt Mansfield [Mansfield 2003] als Wahrnehmungsschwelle im Sitzen maximale Werte für die Schwingbeschleunigung zwischen $0,01$ und $0,015 \text{ m/s}^2$ an.

Die Norm DIN 4150-3 [DIN 4150-3] orientiert sich an den Schwinggeschwindigkeiten und definiert die horizontalen Schwinggeschwindigkeiten in der obersten Deckenebene als maßgebend für die Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungen in Gebäuden. Für die oberste Deckenebene in Wohngebäuden wird z. B. angegeben: $v_{\max} = 15 \text{ mm/s}$ (horizontal).

Auch beim Nachweis von Geräuschen tiefer Frequenz werden Wahrnehmungsschwellen als Anforderungswerte herangezogen. Tabelle 72 gibt einen Überblick. Bei tieffrequenter Geräuschimmission im Gebäude werden die Grenzwerte nach

der Norm DIN 45680:1997 angewendet (Tabelle 72, Spalte 2). Angegeben werden die Hörschwellenpegel L_{HS} in Dezibel. Ziel der Norm ist die Beurteilung tieffrequenter Geräusche zum Schutz vor erheblichen Belästigungen. Zum Vergleich sind in Tabelle 72, Spalte 3 die Wahrnehmungsschwellen aus dem Normentwurf E DIN 45680:2013 aufgeführt. Diese liegen um 10 dB unter der in der Norm DIN ISO 226 angegebenen Hörschwelle (Spalte 4). Der Normentwurf legt ein Verfahren zur Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen innerhalb von Gebäuden in schutzbedürftigen Räumen bei Luft- und/oder Körperschallübertragung fest. Im Normentwurf wird gegenüber der derzeitigen Norm die Wahrnehmungsschwelle abgesenkt.

1	2	3	4	5
Frequenz [Hz]	DIN 45680:1997 L_{HS} [dB]	E DIN 45680:2013 W_{Terz} [dB]	DIN EN ISO 389-7:2017	
			Freifeld	Diffusfeld
8	103,0	100,0		
10	95,0	92,0		
12,5	87,0	84,0		
16	79,0	76,0		
20	71,0	68,5	78,5 (78,1)	78,5 (78,1)
25	63,0	58,7	68,7	68,7
31,5	55,5	49,5	59,5	59,5
40	48,0	41,1	51,1	51,1
50	40,8	34,0	44,0	44,0
63	33,5	27,5	37,5	37,5
80	28,0	21,5	31,5	31,5
100	23,5	16,5	26,5	26,5

Tabelle 73 Hör- bzw. Wahrnehmungsschwellen bei tiefen Frequenzen, vgl. Kapitel 4.2.5

Beide Normen orientieren sich im Frequenzbereich von 20 Hz und darüber an den vorliegenden Hörschwellenkurven und ergänzen die Werte für tiefere Frequenzen aus Literaturangaben. Die Werte aus den Hörschwellenkurven werden in Spalte 4 angegeben. Diese beziehen sich auf Freifeld- oder Diffusfeldbedingungen. Innerhalb von Gebäuden ist von diffusen Schallfeldern auszugehen. Hierbei überlagert sich der Direktschall mit reflektierten Schallanteilen von den Raumbegrenzungen, sodass der Schall aus allen Richtungen mit annähernd gleicher Intensität einwirkt. Zugrunde liegen die Normen DIN ISO 226:2004 [DIN ISO 226] und DIN EN ISO 389-7:2017 [DIN EN ISO 389-7].

Bild 104 gibt einen Überblick über die Anforderungssituation zu Schwingungen und tieffrequenten Geräuscheinwirkungen für Emissionsorte innerhalb und außerhalb von Gebäuden.

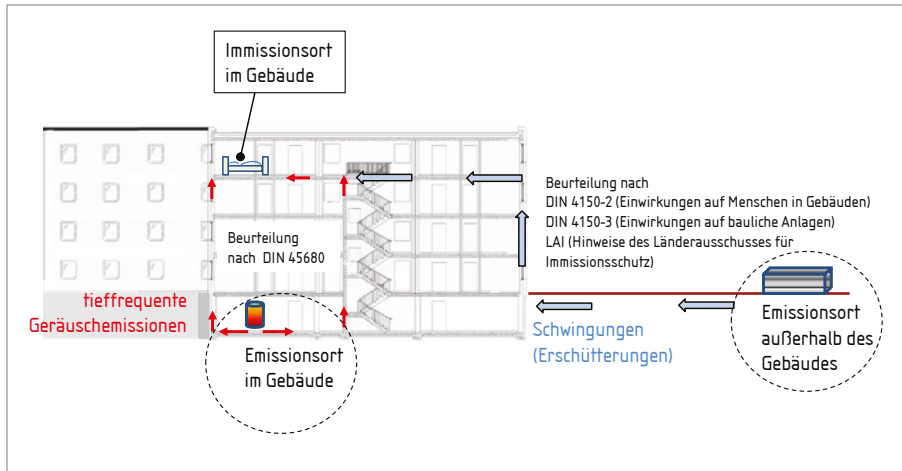


Bild 104 Anforderungen bezüglich Schwingungen und tieffrequenten Geräuscheinwirkungen

5.5.3 Hinweise für die Objektplanung

Schwingungseinwirkung aus der Nachbarschaft

Liegen Schwingungseinwirkungen aus der Nachbarschaft vor, sind geeignete bauliche Maßnahmen erforderlich. Dies betrifft beispielsweise Gebäude, die im Einwirkungsbereich von Schienenverkehrswegen errichtet werden. Hier ist eine ausreichende Entkoppelung der Fundamente erforderlich, um die Auswirkungen von Schwingungen auf die Bewohner zu reduzieren. Zur Auswahl geeigneter Entkopplungssysteme ist eine sachkundige Fachplanung empfehlenswert. Es ist zu beachten, dass die gewählten Lösungen eine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweisen, damit sich keine Abnahme der Dämpfungswirkung einstellt.

Bei ausreichender Entkopplung der Fundamente und Kelleraußenwände werden im Regelfall auch die Sekundäreffekte auf ein erträgliches Maß begrenzt. Bei Gebäuden ohne ausreichende Dämpfung ist eine bauliche Reduzierung von Sekundäreffekten schwierig. In manchen Fällen ist es nicht möglich, die Ursache tieffrequenter Geräuschemissionen überhaupt eindeutig zu identifizieren (sog. Brummpphänomene in der Nachbarschaft). Lässt sich die Emissionsquelle zuordnen, sollte zunächst untersucht werden, ob die Emission durch Änderung oder Anpassung der betrieblichen Abläufe reduziert werden kann. Ist dies nicht mög-

lich, kann durch Messungen nach der TA Lärm [TA Lärm] und der Norm DIN 45680 [DIN 45680] festgestellt werden, ob schädliche Umwelteinwirkungen vorliegen, die möglicherweise eine Veränderung der Betriebszeiten nach sich ziehen.

Bauliche Maßnahmen umfassen die Entdröhnung oder Dämmung von Bauteilen, die vorrangig tieffrequenten Schall abstrahlen. Häufig handelt es sich um Bauteile im Bereich der von den Bewohnern empfundenen größten Störungen. Zur Entdröhnung« ist anzustreben, die Resonanzfrequenz der betroffenen Konstruktion zu verändern oder eine zusätzliche Dämpfung anzuordnen. Dieses kann durch Vorsatzschalen, zusätzliche Halterung bzw. Aussteifung oder Massenänderungen (z. B. anderes Putzsystem) erfolgen. Da sich diese Maßnahmen auf tiefe Frequenzen <100 Hz beziehen, liegen wenig Erfahrungen zu den jeweils meistwirksamen baulichen Änderungen vor, sodass ggf. ein probeweises Annähern an den bestmöglichen Zustand erforderlich wird.

Bei planerischen Projekten, von denen Schwingungsemissionen in die Nachbarschaft ausgehen, ist auf ausreichende Dämpfung zu achten, um mögliche Betriebseinschränkungen zu verhindern. Nach den Landesbauordnungen sind auch *»Geräusche, Erschütterungen oder Schwingungen, die von ortsfesten Einrichtungen in baulichen Anlagen oder auf Baugrundstücken ausgehen, so zu dämmen, dass Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen.«*. Dies betrifft insbesondere gewerblich genutzte Anlagen, die Belästigungen in benachbarten Wohngebäuden hervorrufen können. Aber auch durch private Anlagen, wie z. B. Luftwärmepumpen in unmittelbarer Nähe benachbarter Wohngebäude, können infolge Kompressor- oder Ventilatorbetriebs Vibrations- und Geräuschemissionen entstehen. Ähnliches kann für Blockheizkraftwerke gelten.

Da Schwingungen in Wohnräumen stets störend wirken, kommt es bei entsprechenden Einwirkungen häufig zu unmittelbaren Beschwerden. Gleiches gilt für die bereits genannten Sekundäreffekte durch Resonanzen. Zu Fragen der baulichen Dämpfung oder Entkoppelung sind ggf. geeignete Fachplaner hinzuzuziehen. Im Allgemeinen ist es zur Schwingungsminderung einfacher, die Emissionen der Anlage selbst zu begrenzen, als durch bauliche Maßnahmen zu dämmen.

Schwingungsemission innerhalb von Gebäuden

Eine weitere Planungsaufgabe ist die Begrenzung von Schwingungen, die durch haustechnische Anlagen entstehen und innerhalb des Gebäudes einwirken. Die Schwingungsemissionen haustechnischer Anlagen sind zumeist so gering, dass keine spürbaren Vibrationen wie z. B. Gläserklirren oder Rütteln von Fenstern und Türen hervorgerufen werden. Als Sekundäreffekt kann es in Aufenthaltsräumen zu tieffrequenten Schallimmissionen kommen, die zu individuell unterschiedlich ausgeprägten Belästigungen führen. Tieffrequente Geräuschemissionen brei-

ten sich in Gebäuden gut aus und werden auch in weiter entfernten Wohnungen wahrgenommen.

Belästigungen durch tieffrequente Geräusche können auftreten, obwohl die zulässigen Schalldruckpegel für die haustechnischen Anlagen eingehalten werden. Dies liegt insbesondere daran, dass sich die bauteilbezogene Schalldämmung nicht auf Frequenzen unter 100 Hz bezieht. Auf entsprechende tieffrequente Geräuschquellen wurde bereits in der Einleitung hingewiesen. Wie beschrieben, können tieffrequente Geräuschimmissionen zu erheblichen individuellen Beeinträchtigungen wie Schwingungs- und Druckgefühlen, Schlafstörungen und Leistungsminderung führen.

Zur Vermeidung entsprechender Belästigungen sollten haustechnische Anlagen vibrations- und lärmarm konstruiert sein und körperschallisoliert eingebaut werden. Hierzu sind bauliche Trennungen zwischen Anlagenfundament und Baukonstruktion sowie eine ausreichende Dämpfung erforderlich. Gerätegehäuse müssen vibrationsfrei sein. Eine sachkundige Fachplanung ist dringend zu empfehlen, insbesondere auch bei der Nachrüstung haustechnischer Anlagen im Bestand. Beispielsweise werden tieffrequente Geräuschimmissionen auch bei nachträglich eingebauten Wärmepumpen und neuen Heizungsanlagen (z. B. Brennwertkessel) beklagt. Durch zunehmende technische Ausstattung steigt auch die Anzahl der Emissionsquellen, bei Brennwertkesseln z. B. durch zusätzliche Gebläse im Brennraum. Bei energieeffizient ausgelegten Anlagen kommt ggf. ein nächtliches Störpotential durch die Ausnutzung von Nachtstromtarifen hinzu. Nachträgliche Einhausungen wie in Bild 105 reduzieren zwar den abgestrahlten Luftschall, nicht jedoch die Einleitung von Schwingungen in Fußboden und Wände. Hierfür ist eine geeignete, entkoppelte Auflagerung vorzusehen.

Bild 105 Heizungsanlage mit nachträglichem angebrachten Gehäuse



Beim Anlagenbetrieb sind tieffrequente Tonhaltigkeiten und Pegeländerungen unbedingt zu vermeiden, da sie als besonders störend empfunden werden. Das Störempfinden ist in ruhiger Wohnlage üblicherweise höher ausgeprägt. Heizungsanlagen und Wärmepumpen können infolge der angeschlossenen Heizkreisläufe nicht vollständig entkoppelt werden. Um die bestmögliche Schwingungs- und Geräuschisolierung zu erreichen, ist eine entsprechend zielführende Planung und Ausführung erforderlich.

Infolge der zunehmenden technischen Gebäudeausstattung ist davon auszugehen, dass die planerische Berücksichtigung der Schwingungsminderung zur Vermeidung tieffrequenter Geräuschimmissionen zukünftig weiter an Bedeutung gewinnt. Bei Nachhaltigkeitsbetrachtungen entsprechend der Norm DIN EN 16309 [DIN EN 16309] wird eine bauliche Schwingungsminderung unter dem Aspekt der sozialen Qualität berücksichtigt. Beispielsweise liegt ein hohes Behaglichkeitsniveau vor, wenn Lärm und Erschütterungen durch die Heizungsanlage in den benachbarten Schlafräumen des Bewertungsgegenstandes nicht wahrzunehmen sind.

6 Verzeichnis der verwendeten bau- und raumakustischen Größen

A_0 :	die Bezugsabsorptionsfläche; $A_0 = 10 \text{ m}^2$ (typischer Wert für Wohneinheiten)
A :	äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m^2 (in der Regel ist $A = 0,8 \cdot \text{Grundfläche } S_G$ des Raumes)
$A_{\text{obj},j}$:	äquivalente Schallabsorptionsfläche A_{obj} des j-ten Objekts im Raum (Ausstattung und Personen)
B :	Bezugsgröße (Anzahl der Stellplätze, Nettoverkaufsfläche in m^2 , o.Ä.)
C_{met} :	meteorologische Korrektur nach DIN ISO 9613-2, Entwurf Ausgabe September 1997, Gleichung (6)
c :	Schallausbreitungsgeschwindigkeit in der Luft (m/s), näherungsweise wird angesetzt: $c = 340 \text{ m/s}$
D_{BM} :	Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung
D_{B} :	Pegeländerung durch topographische Gegebenheiten, bauliche Maßnahmen und Reflexionen
DI :	Richtwirkungsmaß nach VDI 2714, Abschnitt 5.1
$D_{n,e,i,w}$:	bewertete Norm-Schallpegeldifferenz eines Elementes i in dB
$D_{n,e,w}$:	bewertete Norm-Schallpegeldifferenz in dB
$D_{n,f,w}$:	Bewertete Norm-Flankenschallpegeldifferenz eines flankierenden Bauteils in dB
D_{nT} :	Standard-Schallpegeldifferenz in dB
$D_{S_{\perp}}$:	Pegeländerung durch unterschiedliche Abstände S_{\perp} zwischen dem Emissionsort (0,5 m über der Mitte des betrachteten Fahrstreifens) und dem maßgebenden Immissionsort
D_{Stg} :	Korrektur für Steigungen und Gefälle
D_{StrO} :	Korrektur für unterschiedliche Straßenoberflächen

E:	In einem Luftvolumenelement bei Schallausbreitung momentan gespeicherte Energie als Summe aus potenzieller Energie E_{pot} und kinetischer Energie E_{kin}
f_0 :	Resonanzfrequenz in Hz
K	Korrekturwert
k:	Nachhallmaß
K_0 :	Raumwinkelmaß nach VDI 2714, Abschnitt 5.2, Tabelle 2 [VDI 2714]
K_{AL} :	Korrekturwert für das erforderliche Schalldämmmaß für den Außenlärm
K_i :	Korrekturwert zur Berücksichtigung der Flankenübertragung
K_{ij} :	Stoßstellendämmmaß auf dem Übertragungsweg ij in dB
$K_{I,j}$:	Zuschlag für Impulshaltigkeit in der Teilzeit T_j in dB
K_I :	Zuschlag für die Impulshaltigkeit nach Tabelle 74
$K_{I,j}$:	Zuschlag für für Impulshaltigkeit und/oder auffällige Pegeländerungen in der Teilzeit T_j in dB
K_{Raumart} :	Zuschlag für die Raumart
$K_{R,j}$:	Zuschlag für Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit (Ruhezeit) in der Teilzeit T_j
$K_{T,j}$:	Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit in der Teilzeit T_j in dB
l_0 :	Bezugskopplungslänge; $l_0 = 1 \text{ m}$
L_i :	Schalldruckpegel im Raum i bzw. im Abstand r im Senderraum in dB
$L_{\text{Aeq},j}$:	Mittelungspegel während der Teilzeit T_j in dB(A)
$L_{\text{Aeq},\text{Sm}}$:	Mittelungspegel am Immissionsort für die zugrunde liegende Einwirkzeit T_j
L_{AES} :	effektbezogener Substitutionspegel in dB(A)
L_{A} :	maßgeblicher Außenlärmpegel nach DIN 4109-2:2018-01 in dB
$L_{\text{a,res}}$:	resultierender Außenlärmpegel in dB(A)
$L_{\text{EK},i}$:	Emissionskontingent, Wert des Pegels der flächenbezogenen Schallleistung der Teilfläche i, der der Berechnung der Immissionskontingente zugrunde gelegt wird

l_f :	gemeinsame Kopplungslänge der Verbindungsstelle zwischen dem trennenden und dem flankierenden Bauteil in m
L_j :	energetisch gemittelter Trittschallpegel in dB
L_i :	maßgeblicher A-bewerteter Innenschalldruckpegel, der im zu beurteilenden Raum nicht überschritten werden soll, in dB
$L'_{n,eq,0,w}$:	äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel in dB
L' :	Norm-Trittschallpegel in dB
$L_{r,j}$:	zum Zeitpunkt der Genehmigung nach der TA Lärm berechneter Immissionspegel
$L_{r,T}$:	Beurteilungspegel in dB(A) für den Tag
M :	Hilfsgröße zur Berechnung des Stoßstellendämmmaßes
m'_0 :	Bezugsgröße mit $m'_0 = 1 \text{ kg/m}^2$
m'_j :	flächenbezogene Masse des Bauteils bzw. der Bekleidung in kg/m^2
$m'_{f,m}$:	mittlere flächenbezogene Masse der nicht mit Vorsatzkonstruktionen bekleideten massiven flankierenden Bauteile in kg/m^2
m'_{ges} :	die flächenbezogene Masse des Bauteils
p :	Schalldruck (Pa)
R' :	Bauschalldämmmaß in dB
$R_{Dd,w}$:	bewertetes Schalldämmmaß für den direkten Schallübertragungsweg in dB
$R_{e,i,w}$:	auf die Fassadenfläche bezogenes Schalldämmmaß der einzelnen Bauteile und Elemente in der Fassade (Bestimmung nach der Norm DIN 4109-2:2018, vgl. Abschnitt 4.6.2) in dB
$R_{e,i,w}$:	bewertetes und auf die übertragende Gesamtfläche S_S bezogenes Schalldämmmaß des Bauteiles i in dB
$R_{ij,w}$:	bewertetes Flankendämmmaß für den Schallübertragungsweg vom Bauteil (i) auf das Bauteil (j) in dB
R_w :	bewertetes Schalldämmmaß in dB
$R_{w,R,i}$:	bewertetes Schalldämmmaß (Rechenwert) des i -ten Elements des Bauteils, entweder $R'_{w,r}$ für Wände oder $R_{w,r}$ in dB
S :	Bauteilfläche in m^2

- $s_{i,j}$: horizontaler Abstand des Immissionsortes vom Schwerpunkt der Teilfläche in m
- s_m : Abstand des Immissionsortes vom Zentrum der Schallquelle in m

7 Literatur

[4. BImSchV]

Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV). Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440).

[16. BImSchV]

16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV). Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269) geändert worden ist. (16. BImSchV).

[18. BImSchV]

Achtzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Sportanlagenlärmschutzverordnung – 18. BImSchV), Sportanlagenlärmschutzverordnung vom 18. Juli 1991 (BGBl. I S. 1588, 1790), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 1. Juni 2017 (BGBl. I S. 1468) geändert worden ist

[32. BImSchV]

32. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung vom 29. August 2002 (BGBl. I S. 3478), die zuletzt durch Artikel 83 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist. (32. BImSchV)

[34. BImSchV]

34. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006 (BGBl. I S. 516), die zuletzt durch Artikel 84 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist. (34. BImSchV).

[AVV Baulärm]

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm, Geräuschimmissionen, vom 19. August 1970 (Beil. zum BAnz. Nr. 160 vom 1.9.1970)

[ASR A1.2]

ASR A1.2. Technische Regeln für Arbeitsstätten, Raumabmessungen und Bewegungsflächen. Ausgabe: September 2013 (GMBI 2013, S. 910)

[ASR A3.7]

ASR A3.7. Technische Regeln für Arbeitsstätten, Lärm. Ausgabe Mai 2018 (GMBI 2018, S. 456)

[ArbStättV 1975]

ArbStättV 1975. Verordnung über Arbeitsstätten. Datum: 20. März 1975, Fundstelle: BGBl. I 1975, 729

[ArbStättV 2016]

ArbStättV 2016. Verordnung über Arbeitsstätten. Datum: 12. August 2004, Stand vom 30.11.2016, Fundstelle: BGBl. I S. 2179 und BGBl. I S. 2681

[Aufzugsverordnung]

Aufzugsverordnung: Zwölfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Aufzugsverordnung) vom 17. Juni 1998 (BGBl. I S. 1393), die zuletzt durch Artikel 22 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist.

[BauNVO]

Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)

[BImSchG]

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG), Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771) geändert worden ist, 2017

[EC WGDER 2002]

European Commission Working Group on Dose-Effect Relations: »Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance«, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002

[EU-Umgebungslärmrichtlinie]

EU-Umgebungslärmrichtlinie: Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, ABL. L 189 vom 18.7.2002 (Amtsblatt der Europäischen Union)

[HOAI]

HOAI 2013. Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen, Honorarordnung für Architekten und Ingenieure vom 10. Juli 2013 (BGBl. I S. 2276)

[Bartolomaeus 2007]

Wolfram Bartolomaeus: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinien in Deutsches Recht. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Verkehrstechnik Heft V 155, April 2007

[Bodin-Danielsson et al. 2014]

Bodin-Danielsson C, Chungkham HS, Wulff C, Westerlund H. Office design's impact on sick leave rates. *Ergonomics* 57:139-147. In: Pirker-Binder, I.: »Prävention von Erschöpfung in der Arbeitswelt«, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016

[EEA 2010]

European Environment Agency: »Good practice guide on noise exposure and potential health effects«. Copenhagen: 2010 (EEA Technical report No 11/2010)

[EVE 2012]

Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE 2012). FGSV Verlag GmbH, 50999 Köln, 2012

[Fuchs 2017]

Fuchs, Helmut V. Raum-Akustik und Lärm-Minderung, Konzepte mit innovativen Schallabsorbieren und -dämpfen. Berlin: Springer Vieweg, Springer-Verlag, 4. Auflage, 2017

[Gigla 2015]

Gigla, Birger: Zweischaliges Verblendmauerwerk. In Mauerwerk-Kalender 2015, Seiten 263 – 292, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2015

[Gigla 2017]

Gigla, Birger: Resistance of Masonry Veneer Walls against Rain Penetration. 13th Canadian Masonry Symposium Halifax, Canada, June 4th – June 7th, 2017

[Gösele 1997]

Gösele, Karl; Schüle, Walter; Künzel, Helmut. Schall – Wärme – Feuchte, Grundlagen, neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau. Wiesbaden und Berlin, Bauverlag, 10. Auflage, 1997

[HOAI]

Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI), Honorarordnung für Architekten und Ingenieure vom 10. Juli 2013 (BGBl. I S. 2276)

[Höfker 2017]

Willems, Wolfgang M. (Hrsg.); Häupl, Peter; Höfker, Gerrit; Homann, Martin; Kölzow, Christian; Maas, Anton; Nocke, Christian; Riese, Olaf. Lehrbuch der Bauphysik, Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima, 8. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, Springer Fachmedien, 2017

[Jovicic 1980]

Jovicic, S.: Raumakustik in Wohn- und Arbeitsräumen. Hrsg.: Bundesministerium für Raumordnung und Städtebau, Bonn, 14.3.1980

[Jud et al. 2010]

Jud, Axel; Hennings, Jan; Streubel, Benedict; Schulze, Gabriele: Vergleich der Berechnungsergebnisse nach VBUS und RLS-90 am Beispiel von vier Lärmschwerpunkten im Rahmen der Lärmaktionsplanung 'Oberschwaben', Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg, Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart, 2010

[Kloepfer et al. 2006]

Kloepfer, M.; Griefahn, B.; Kaniowski, A. M.; Klepper, G.; Lingner, S.; Steinebach, G. Leben mit Lärm? Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich. Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung, Band 28, Springer-Verlag, 2006

[LAI 2017]

LAI-Hinweise zur Auslegung der TA Lärm (Fragen und Antworten zur TA Lärm) in der Fassung des Beschlusses zu TOP 9.4 der 133. LAI-Sitzung am 22. und 23. März 2017. Hrsg.: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz der Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland

[LAI Erschütterungen]

Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen in der Fassung des Beschlusses des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. Mai 2000. Hrsg.: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz der Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland

[LAI Freizeitlärmrichtlinie]

Freizeitlärm-Richtlinie der LAI, Stand 06.03.2015. Hrsg.: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz der Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland

[Lazarus et al. 2007]

Lazarus, Hans; Sust, Charlotte A.; Steckel, Rita; Kulka, Marko; Kurtz, Patrick. Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007

[Long 2006]

Long, Marshall. Architectural Acoustics. Elsevier Academic Press; Burlington, USA und London, UK, 2006

[Mansfield 2003]

Mansfield, J. Human Response to Vibration. CRC Press, London, Washington, 2005

[Menges 2005]

Menges, H.; Kiesel, K.-J. Technische Fachinformationen zur Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen. Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Januar 2005

[MBO]

Musterbauordnung – MBO, in der Fassung vom 1. November 2002, zuletzt geändert durch den Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016

[Möser 2010]

Möser, Michael. Messtechnik der Akustik. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010

[Möser 2012]

Möser, Michael. Technische Akustik. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012

[Moll + Szabunia 1985]

Moll, W. und Szabunia, R.: Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile; Messtechnische Untersuchungen der Relation zwischen bewertetem Bauschalldämmmaß und A-Schallpegeldifferenz. Forschungsbericht 10504511 des Umweltbundesamtes, Berlin, Nov. 1985

[NORAH]

Lärmwirkungsstudie NORAH (»Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health«), Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum. Diverse Publikationen, auch im Web verfügbar via »www.norah-studie.de«

[E VVTB:2016]

Entwurf Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB). Stand: 25.04.2016, Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (Bauministerkonferenz)

[MVVTB:2017]

Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB). Stand: 31. 08. 2017 (mit Druckfehlerkorrektur vom 11. Dezember 2017), Konferenz der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder (Bauministerkonferenz)

[Parkplatzlärmstudie]

Parkplatzlärmstudie, 6. Überarbeitete Auflage, August 2007, Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

[RASt 2006]

Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 2006), Ausgabe 2006. Richtlinie, Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) – Arbeitsgruppe »Straßenentwurf«, FGSV Verlag GmbH, 50999 Köln

[RLS-90]

Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90). Richtlinie, Ausgabe 1990, Hrsg.: Bundesminister für Verkehr, Amtsblatt des Bundesministers für Verkehr der Bundesrepublik Deutschland (VkBt.) Nr. 7 vom 14. April 1990

[Schmitz 2014]

Schmitz, Alfred: Raumakustik und Beschallung im Widerstreit. Vortrag auf der VMPA-Informationsveranstaltung am 17. September 2014 an der PTB Braunschweig (www.vmpa.de)

[Schnoor et al. 2014]

Schnoor, M.; Waldmann, A.; Pritzkeleit, R.; Tchorz, J.; Gigla, B.; Katalinic, A.: Reduktion der Lärmbelastung durch Geschwindigkeitsmessenanlagen? Eine Interventionsstudie in Lüneburg. Are speed cameras able to reduce traffic noise disturbance? An intervention study in Lüneburg. Gesundheitswesen 2014 (28.10.2014), Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, New York

[TA Lärm]

TA Lärm: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26.08.1998 in der geänderten Fassung vom 01.06.2017 (BAnz. S. 4643, Ausgabe vom 8. Juni 2017, in Kraft getreten am 9. Juni 2017)

[VBUS]

Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS), 22. Mai 2006. Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

[VDI 2058 Blatt 3]

VDI 2058 Blatt 3. Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. VDI-Richtlinie, April 1981, Februar 1999 und August 2014. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 2566 Blatt 1]

VDI 2566 Blatt 1. Schallschutz bei Aufzugsanlagen mit Triebwerksraum. VDI-Richtlinie, April 2011. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 2566 Blatt 2]

VDI 2566 Blatt 2. Schallschutz bei Aufzugsanlagen ohne Triebwerksraum. VDI-Richtlinie, Mai 2004. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 2569]

VDI 2569. Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. VDI-Richtlinie, Januar 1990. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 2569:2016]

VDI 2569:2016. Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. VDI-Richtlinienentwurf, Februar 2016. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 2714]

VDI 2714. Schallausbreitung im Freien. VDI-Richtlinie, Januar 1988. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 2719]

VDI 2719. Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. VDI-Richtlinie, August 1987. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 3722 Blatt 2]

VDI 3722 Blatt 2. Wirkung von Verkehrsräuschen, Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten. VDI-Richtlinie, Mai 2013. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VDI 4100]

VDI 4100:2007. Schallschutz von Wohnungen — Kriterien für Planung und Beurteilung. VDI-Richtlinie, August 2007. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

[VStättVO-SH 2014]

Landesverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Versammlungsstättenverordnung – VStättVO) für das Land Schleswig-Holstein vom 11. September 2014

Normen

[DIN EN 81-20]

DIN EN 81-20:2014-11. Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Aufzüge für den Personen- und Gütertransport – Teil 20: Personen- und Lastenaufzüge. Norm, November 2014 und Normentwurf, März 2018

- [DIN ISO 226]
DIN ISO 226:2006-04. Akustik – Normalkurven gleicher Lautstärkepegel. Norm, April 2006
- [DIN EN ISO 354]
DIN EN ISO 354:2003-12. Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen. Norm, Dezember 2003
- [DIN EN ISO 389-7]
DIN EN ISO 389-7:2017-01. Akustik – StandardBezugspegel für die Kalibrierung von audiometrischen Geräten – Teil 7: Bezugshörschwellen unter Freifeld und Diffusfeldbedingungen. Norm, Januar 2017
- [DIN EN ISO 717-1]
DIN EN ISO 717-1:2016-06. Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen; Teil 1: Luftschalldämmung. Norm, Ausgabe Juni 2013
- [DIN EN ISO 717-2]
DIN EN ISO 717-2:2013-06. Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung. Norm, Juni 2013
- [DIN EN 998-1]
DIN 998-1:2017-02. Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel. Norm, Februar 2017
- [DIN EN 1279-5]
DIN EN 1279-5:2010-11. Glas im Bauwesen – Mehrscheiben-Isolierglas – Teil 5: Konformitätsbewertung. Norm, November 2010 und Normentwurf, August 2015
- [DIN 1304-1]
DIN 1304-1:1994-03. Formelzeichen, Allgemeine Formelzeichen. Norm, März 1994
- [DIN 1311-2]
DIN 1311-2:2002-08. Schwingungen und schwingungsfähige Systeme Teil 2: Lineare, zeit-invariante schwingungsfähige Systeme mit einem Freiheitsgrad. Norm, August 2002
- [DIN 1314]
DIN 1314:1977-02. Druck, Grundbegriffe, Einheiten. Norm, Februar 1977
- [DIN 1333]
DIN 1333:1992-02. Zahlenangaben. Norm, Februar 1992
- [DIN 1320]
DIN 1320:2009-12. Akustik – Begriffe. Norm, Dezember 2009
- [DIN EN ISO 1683]
DIN EN ISO 1683:2015-09. Akustik – Bevorzugte Bezugswerte für Pegel in der Akustik und Schwingungstechnik. Norm, September 2015
- [DIN EN 1991-1-1]
DIN EN 1991-1-1:2010-12. Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. Norm, Dezember 2010
- [DIN EN 1991-1-1/NA]
DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12. Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. Norm, Dezember 2010

[DIN EN ISO 3746]

DIN EN ISO 3746:2011-03. Akustik – Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 3 über einer reflektierenden Ebene. Norm, März 2011

[DIN EN ISO 3382:2000]

DIN EN ISO 3382:2000-03. Akustik – Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter. Norm, März 2000

[DIN EN ISO 3382-1]

DIN EN ISO 3382-1:2009-10. Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 1: Auführungsräume. Norm, Oktober 2009

[DIN EN ISO 3382-2]

DIN EN ISO 3382-2:2009-09. Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen. Norm, September 2008, mit Berichtigung 1 vom September 2009

[DIN EN ISO 3382-3]

DIN EN ISO 3382-3:2012-05. Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Großraumbüros. Norm, Mai 2012

[DIN 4109:1989]

DIN 4109:1989-11. Schallschutz im Hochbau. Anforderungen und Nachweise. Norm, November 1989

[DIN 4109/A1:1989]

DIN 4109/A1:2001-01. Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise. Änderung A1. Norm, Januar 2001

[DIN 4109 Bbl. 1:1989]

DIN 4109 Beiblatt 1:1989-11. Schallschutz im Hochbau. Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren. Norm, November 1989

[DIN 4109 Bbl. 2:1989]

DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11. Schallschutz im Hochbau. Hinweise für Planung und Ausführung, Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz, Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. Norm, November 1989

[DIN 4109-1:2016]

DIN 4109-1:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen. Norm, Juli 2016

[DIN 4109-1:2018]

DIN 4109-1:2018-01. Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen. Norm, Januar 2018

[DIN 4109-2:2016]

DIN 4109-2:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen. Norm, Juli 2016

[DIN 4109-2/A1:2017]

DIN 4109-2/A1:2017-01. Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen; Änderung A1. Normentwurf, Januar 2017

[DIN 4109-2:2018]

DIN 4109-2:2018-01. Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen. Norm, Januar 2018

[DIN 4109-4:2016]

DIN 4109-4:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 4: Bauakustische Prüfungen. Norm, Juli 2016

[DIN 4109-11:2010]

DIN 4109-11:2010-05. Schallschutz im Hochbau – Teil 11: Nachweis des Schallschutzes – Güte- und Eignungsprüfung. Norm, Mai 2010

[DIN 4109-31:2016]

DIN 4109-31:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 31: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Rahmendokument. Norm, Juli 2016

[DIN 4109-32:2016]

DIN 4109-32:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau. Norm, Juli 2016

[DIN 4109-33:2016]

DIN 4109-33:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau. Norm, Juli 2016

[DIN 4109-34:2016]

DIN 4109-34:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzkonstruktionen vor massiven Bauteilen. Norm, Juli 2016

[DIN 4109-35:2016]

DIN 4109-35:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 35: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Elemente, Fenster, Türen, Vorhangfassaden. Norm, Juli 2016

[DIN 4150-1]

DIN 4150-1:2001-06. Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen. Norm, Juni 2001

[DIN 4150-2]

DIN 4150-2:1999-06. Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Norm, Juni 1999

[DIN 4150-3]

DIN 4150-3:2016-12. Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Norm, Dezember 2016

[DIN 4109-36:2016]

DIN 4109-36:2016-07. Schallschutz im Hochbau – Teil 36: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Gebäudetechnische Anlagen. Norm, Juli 2016

[DIN ISO 5348]

DIN ISO 5348:1999-07. Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern. Norm, Juli 1999

[DIN 7396]

DIN 7396:2016-06. Bauakustische Prüfungen – Prüfverfahren zur akustischen Kennzeichnung von Entkopplungselementen für Massivtreppen. Norm, Juni 2016

[DIN EN ISO 8996]

DIN EN ISO 8996:2005-01. Ergonomie der thermischen Umgebung – Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes. Norm, Januar 2005

[DIN EN ISO 9612]

DIN EN ISO 9612:2009-09. Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren). Norm, September 2009

[DIN ISO 9613-2]

DIN ISO 9613-2:1999-10. Akustik, Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Norm, Oktober 1999

[DIN EN ISO 9921]

DIN EN ISO 9921:2004-02. Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation. Norm, Februar 2004

[DIN EN ISO 10052]

DIN EN ISO 10052:2010-10. Akustik – Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Kurzverfahren. Norm, Oktober 2010

[DIN EN ISO 10848-1]

DIN EN ISO 10848-1. Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau – Teil 1: Rahmendokument. Norm, Februar 2018

[DIN EN ISO 10848-2]

DIN EN ISO 10848-2. Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau – Teil 2: Anwendung auf Typ-B-Bauteile, wenn die Verbindung geringen Einfluss hat. Norm, Februar 2018

[DIN EN ISO 10848-3]

DIN EN ISO 10848-3:2018-02. Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau – Teil 3: Anwendung auf Typ-B-Bauteile, wenn die Verbindung wesentlichen Einfluss hat. Norm, Februar 2018.

[DIN EN ISO 10848-4]

DIN EN ISO 10848-4:2018-02. Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau – Teil 4: Anwendung auf Stoßstellen mit mindestens einem Typ-A-Bauteil. Norm, Februar 2018

[DIN EN ISO 11654:1997]

DIN EN ISO 11654:1997-07. Akustik – Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden, Bewertung der Schallabsorption. Norm, Juli 1997

[DIN EN ISO 11654:2017]

DIN EN ISO 11654:2017-10. Akustik – Schallabsorber – Bewertung von Schallabsorptionsgraden. Normentwurf, Oktober 2017

[DIN EN ISO 12354-1]

DIN EN ISO 12354-1:2017-11. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Norm, November 2017

[DIN EN ISO 12354-2]

DIN EN ISO 12354-2:2017-11. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räume. Norm, November 2017

[DIN EN ISO 12354-3]

DIN EN ISO 12354-3:2017-11. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 3: Luftschalldämmung von Außenbauteilen gegen Außenlärm. Norm, November 2017

- [DIN EN ISO 12354-4]
DIN EN ISO 12354-4:2017-11. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie. Norm, November 2017
- [DIN EN 12354-5]
DIN EN 12354-5:2009-10. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche. Norm, Oktober 2009
- [DIN EN 12354-6]
DIN EN 12354-6:2004-04. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen. Norm, April 2004
- [DIN ISO 12913-1]
DIN ISO 12913-1:2018-02. Akustik – Soundscape – Teil 1: Definition und Rahmenkonzept. Norm, Februar 2018
- [DIN 15306]
DIN 15306:2002-06. Aufzüge – Personenaufzüge für Wohngebäude Baumaße, Fahrkorbmaße, Türmaße. Norm, Juni 2002
- [DIN 15309]
DIN 15309:2002-12. Aufzüge – Personenaufzüge für andere als Wohngebäude sowie Bettenaufzüge, Baumaße, Fahrkorbmaße, Türmaße. Norm Dezember 2002
- [DIN 15905-5]
DIN 15905-5:2007-11. Veranstaltungstechnik – Tontechnik – Teil 5: Maßnahmen zum Vermeiden einer Gehörgefährdung des Publikums durch hohe Schallemissionen elektroakustischer Beschallungstechnik. Norm, November 2007
- [DIN 15906]
DIN 15906:2009-06. Tagungsstätten. Norm, Juni 2009
- [DIN EN 16309]
DIN EN 16309:2014-12. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der sozialen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethoden. Norm, Dezember 2014
- [DIN EN ISO 16283-1:2018]
DIN EN ISO 16283-1:2018-04. Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung. Norm, April 2018
- [DIN EN ISO 16283-2:2016]
DIN EN ISO 16283-2:2016-05. Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung. Norm, Mai 2016
- [DIN EN ISO 16283-3]
DIN EN ISO 16283-3:2016-09. Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 3: Fassadenschalldämmung. Norm, September 2016
- [DIN EN ISO 17624]
DIN EN ISO 17624:2005-03. Akustik – Leitfaden für den Schallschutz in Büros und Arbeitsräumen durch Schallschirme. Norm, März 2005
- [DIN 18005-1]
DIN 18005-1:2002-07. Schallschutz im Städtebau, Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung. Norm, Juli 2002 bzw. Fassung Mai 1987
- [DIN 18202]
DIN 18202:2013-04. Toleranzen im Hochbau – Bauwerke. Norm, April 2013

- [DIN 18032-1]
DIN 18032-1:2014-11. Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung – Teil 1: Grundsätze für die Planung. Norm, November 2014
- [18032-3]
18032-3:1997-04. Sporthallen – Hallen für Turnen und Spielen und Mehrzwecknutzung – Teil 3: Prüfung der Ballwurfsicherheit. Norm, April 1997
- [DIN 18040-1]
DIN 18040-1:2010-01. Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude. Norm, Oktober 2010
- [DIN 18040-2]
Norm DIN 18040-2:2011-09. Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 2: Wohnungen. Norm, September 2011
- [DIN 18041:2004]
DIN 18041:2004-05. Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Norm, Mai 2004
- [DIN 18041:2016]
DIN 18041:2016-03. Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Norm, März 2016
- [DIN 18353]
DIN 18353:2016-09. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Estricharbeiten«, Norm, September 2016
- [DIN 18355]
DIN 18355:2016-09. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Tischlerarbeiten. Norm, September 2016
- [DIN 18385]
Norm DIN 18385:2012-09. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Förderanlagen, Aufzugsanlagen, Fahrtreppen und Fahrsteige. Norm, September 2012
- [DIN 18560-2]
DIN 18560-2:2012-05. Estriche im Bauwesen – Teil 2: Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche). Norm, September 2009 mit Berichtigung 1 vom Mai 2012
- [DIN 20000-402:2017]
DIN 20000-402:2017-01. Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11. Norm, Januar 2017
- [DIN EN ISO 28802]
DIN EN ISO 28802:2012-06. Ergonomie der physikalischen Umgebung – Beurteilung von Umgebungsbedingungen auf der Grundlage von Erhebungen unter Einbeziehung physikalischer Umgebungsmessungen und Angaben der Betroffenen. Norm, Juni 2012
- [DIN EN 290521]
DIN EN 290521:1992-08. Akustik; Bestimmung der dynamischen Steifigkeit; Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden. Norm, August 1992
- [DIN EN 29053]
DIN EN 29053:1993-05. Akustik; Materialien für akustische Anwendungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes. Norm, Mai 1993

- [DIN 45645-2]
DIN 45645-2:2012-09. Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Teil 2: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereiches der Gehörgefährdung. Norm, September 2012
- [DIN 45641]
DIN 45641:1990-06. Mittelung von Schallpegeln. Norm, Juni 1990
- [DIN 45657]
DIN 45657:2014. Schallpegelmesser – Zusatzanforderungen für besondere Messaufgaben. Norm, Juli 2014
- [DIN 45680:1997]
DIN 45680:1997-03. Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft. Norm, März 1997
- [DIN 45680 Bbl. 1:1997]
Beiblatt 1 zu DIN 45680:1997-03. Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen. Norm, März 1997
- [DIN 45680]
DIN 45680:2013-09. Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen. Normentwurf, September 2013
- [DIN 45680 Bbl. 1:2013]
Beiblatt 1 zu DIN 45680 Bbl. 1:2013-09. Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen, Hinweise zur Beurteilung, Technische Anlagen. Normentwurf, September 2013
- [DIN 45691]
DIN 45691:2006-12. Geräuschkontingentierung. Norm, Dezember 2006
- [DIN 52221]
DIN 52221:2006-01. Bauakustische Prüfungen - Körperschallmessungen bei haustechnischen Anlagen. Norm, Januar 2006
- [DIN EN 60268-16]
DIN EN 60268-16:2012-05. Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex. Norm, Mai 2012
- [DIN EN 61672-1]
DIN EN 61672-1:2014-07. Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen. Norm, Juli 2014
- [DIN SPEC 91314:2017-01]
DIN SPEC 91314:2017-01. Schallschutz im Hochbau – Anforderungen für einen erhöhten Schallschutz im Wohnungsbau. Standard, Januar 2017.
- [DIN 45684-1]
DIN 45684-1:2013-07. Akustik – Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Landeplätzen – Teil 1: Berechnungsverfahren. Norm, Juli 2013
- [DIN 45684-2]
DIN 45684-2:2015-12. Akustik – Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Landeplätzen – Teil 2: Bestimmung akustischer und flugbetrieblicher Kenngrößen. Norm, Dezember 2015
- [DIN 45689-1]
DIN 45689-1:2018-04. Akustik – Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Flugplätzen – Teil 1: Berechnungsverfahren. Normentwurf, April 2018

8 Stichwortverzeichnis

A

A-Bewertung	41, 43
Abklingkurve	50
Abklingrate	88
Ablenkungsabstand	90
Abschirmung	88, 202
Absorbersystem	76
Anlagenbetrieb	244, 291
äquivalenter Schalldruckpegel	238
Arbeitsstätte	76, 83–86, 90
Ausbreitungsdämpfung	283
Außenlärm	139, 200, 203
Außenlärmpegel	128, 210, 214
Außenschalldämmung	140, 222

B

Barrierefreiheit	61
Bauschalldämmmaß	96–104, 128, 140
Bauteilkatalog	119
Bauteilmasse, flächenbezogene	141
Beeinträchtigung	200
Belästigung	24, 200
Beschallungsanlage	61
Bestandsbauwerk	179, 184
Betriebsgeräusch	59
Beurteilungspegel	128, 211, 262
Beurteilungszeit	112, 251
Bezugs-Nachhallzeit	114
Breitbandabsorber	51
Breitbandrauschen	49
Brummgeräusch	24, 234, 284

D

Dachfläche	103
Dämpfung	22
Dauerschallpegel	110

diffusen Schalleinfall	218
Direktschalldämmmaß	150
dynamische Steifigkeit	148

E

Eigenabschirmung	260
Eigenfrequenz	144, 145
eingeprägte Eigenfrequenz	143
Einwirkzeit	108
Einzahlwert	23, 99, 100
Einzelgeräusch	108
Einzelton	108, 110–111
Emissionskontingent	282
Emissionspegel	247
Entdröhnung	289
Entkopplungselement	184, 186
Erheblichkeit	242
Erschütterung	284, 286
Estrichdröhnen	148

F

Fahrgeräusch	194
flächenbezogene Masse	150
Flankendämmmaß	152–153
Flankendämmung	157
Fluglärm	122
Freizeitanlage	245, 269
Frequenz	23, 25
frequenzabhängige Dämmwirkung	223
Frequenzbewertung	238
Frequenzbewertung C	43
Frequenzspektrum	25, 140
Fußbodenbelag	147

G

Gemengelage	258
Geräuschminderung	85
Geräuschspitze	240
Geräuschübertragung	257, 272
gesundheitliche Lärmauswirkung	200
Grenzfrequenz	142
Großraumbüro	80
Grundgeräuschpegel	121

H

Hallfeld	106
Hörbereich	23
Höreindruck	108, 259
Hörempfinden	41
Hörgrenze	24
Hörsamkeit	45, 61
Hörschwelle	26, 29–30, 110
Hörschwellenpegel	110–112
Hörversuch	41

I

Immissionsgrenzwert	245
Immissionsort	236
Immissionsrichtwert	200, 210, 249
Impulshaltigkeit	267
Impulszuschlag	259
Informationshaltigkeit	267
Infraschall	24
Inklusion	80
Innenschallpegel	139

K

Kinderspielplatz	245, 270
Klarheitsmaß	60
Konzertsaal	49
Kopplungseffekt	140
kurzzeitige Geräuschspitze	257

L

Landesbauordnung	12
Lärmindex	211, 252
Lärmkarte	128, 200, 205–206, 252
Lärmpegelbereich	207
Lärmschutzwand	19
Lautstärkepegel	41
Line Array	22
Linien-schallquelle	20–21, 39, 128
Logarithmus	27, 30–31
Lombard-Effekt	49, 72
Lüftungsöffnung	219
Luftverkehrslärm	209

M

Maskierung	85
Maximalpegel	239
Messdauer	108
Mittelungspegel	110–111, 205, 238
Möblierung	104, 107

N

Nachhallzeit	47–51, 58–61, 73, 77, 114
nächtliche Lärmstörung	208
nachträgliche Öffnung	223
Nahbereich	82
Normhammerwerk	97
Norm-Trittschallpegel	98, 99
Nutzungsart	62

O

Oktave	25
--------	----

P

Pegeladdition	30–31
Planungsleistung	12
Primärschall	234
Privatsphäre	90
Prüfschall	95
Punktschallquelle	20–21, 36–39, 260, 266

R	
Randdämmstreifen	143, 146, 183
Raumbedämpfung	87
Raumgeometrie	156
Raumgruppe	62
raumluftechnische Anlage	119
Raumwinkelmaß	260–261, 266
Rauschen	35
Resonanz	144
Resonanzfrequenz	143, 148, 289
Richtwirkungsmaß	260
Ruhezeit	271

S	
Sabinesche Formel	54
Schallabsorber	45
Schallabsorption	23
Schallabsorptionsfläche	70
Schallausbreitungsmodell	20, 28–29, 35
Schallausbreitungsweg	153
Schallbrücke	95, 146, 183
Schalldruckpegel	120
Schalleinfallswinkel	103
Schallenergie	22
Schallfeld	49
Schallintensität	17, 23
Schallkennimpedanz	35–36
Schall-Längsdämmmaß	157
Schallleistungspegel	266
Schallschirm	85
Schallschnelle	16
Schallschutzstufen (SSt)	134
Schallschutzwand	202
Schalltransparenz	60
Schienenverkehrslärm	208
schutzbedürftiger Raum	93, 121, 134, 188, 255
schwimmender Estrich	146–148
Schwinggeschwindigkeit	286
Schwingstärke	286
Schwingungsverhalten	140
Sekundärschall	234
Spektrumanpassungswert	102, 113
Spiegelschallquelle	260
Sportanlage	249

Sprachverständlichkeit	22, 45, 49, 50
Standard-Schallpegeldifferenz	113
Störgeräusch	59, 80
Störwirkung	43, 211
Stoßstellenart	152
Stoßstellendämmmaß	152–153
Straßenverkehrslärm	205, 207
Substitutionspegel	203
Summenpegel	203
Systemgrenze	12, 156–157

T	
Tagungsraum	59–60
Taktmaximalpegel	239, 281
Terz	25
Terzmittenfrequenz	110
tieffrequentes Geräusch	23, 209, 258, 290
Transmission	234

U	
Umgebungslärm	199
Unterdecke	147–148
urbanes Gebiet	256

V	
Verblendschale	165
Verkehrsbelastung	205
Verkehrslärm	206
Vertraulichkeit	185
Vertraulichkeitsabstand	90
Vibration	106, 108, 284
Vorsatzkonstruktion	144–145
Vorsatzschale	289

W	
Wahrnehmungsschwelle	110, 287
Wasserverkehrslärm	209
Wellenlänge	23, 25
Wohnungseingangstür	185

Z	
Zeitbewertung	108, 238

Birger Gigla

Schallschutz

Immissionsschutz, Bau- und Raumakustik
verstehen – planen – nachweisen

Die Anforderungen an den Schallschutz in Gebäuden wurden in den jüngsten Fassungen der DIN 4109 und der TA Lärm völlig neu geregelt. Dieses Buch vermittelt die physikalischen Grundlagen für Planungsleistungen in der Bau- und Raumakustik nach den aktuellen Regelwerken. Dabei werden drei Fachgebiete unterschieden:

- › Die bauakustische Planung dient dem Schutz von Aufenthaltsräumen gegen Geräusche aus fremden Räumen, gegen Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen und gegen Außenlärm.
- › Ziel der Raumakustik ist die Sicherstellung der gewünschten akustischen Qualität für die vorgesehene Nutzung. Im Vordergrund steht die einwandfreie Sprachkommunikation.
- › Der Schallimmissionsschutz dient der Begrenzung von Geräusch- und Schwingungsübertragung in benachbarte Gebäude.

Der Autor legt besonderen Wert auf eine praxisverständliche Gesamtdarstellung der Fachgebiete. Das Buch richtet sich an Planerinnen und Planer, die ihr eigenes Verständnis verbessern möchten und Schallschutz eigenständig planen wollen. Aufgrund der gut durchdachten didaktischen Aufbereitung und der konkreten Rechenbeispiele eignet sich das Buch auch für Studierende und alle, die sich fundiert in die Thematik einarbeiten wollen.

Der Autor **Prof. Dr.-Ing. Birger Gigla** ist Bauingenieur und arbeitet seit vielen Jahren auf den Gebieten Schallschutz im Hochbau und Immissionsschutz. Er ist ö.b.u.v. Sachverständiger für Schallschutz im Hochbau (IHK Lübeck) und leitet die sachverständige Prüfstelle für Güteprüfungen nach DIN 4109 im Institut für Akustik an der Technischen Hochschule Lübeck. Dort vertritt er den Schallschutz auch als Professor im Fachbereich Bauwesen.

ISBN 978-3-7388-0047-0



Fraunhofer IRB  Verlag