

RAUMAKUSTIK

8

Akustische Bedingungen
am Arbeitsplatz
effektiv gestalten.

3., überarbeitete Auflage 2016



Themen

Vorwort	3
Raumakustik versus Bauakustik	5
Grundlagen der Akustik	7
Subjektive Raumakustik	21
Raumakustische Größen	22
Raumakustische Anforderungen	28
Schallabsorption und akustisch wirksame Materialien	35
Raumakustische Büroplanung	47
Planungsbeispiele	53
Anhang	59
Stichwortverzeichnis	60
Literaturverzeichnis	66

Vorwort

Der Wunsch nach Ruhe bei der Büroarbeit gewinnt immer mehr an Bedeutung. Unerwünschte Geräusche bzw. Lärm werden zunehmend als Belastung am Arbeitsplatz wahrgenommen. Demgegenüber stehen gestalterische und bauphysikalische Trends in der modernen Architektur von Bürogebäuden, die die Schaffung angemessener raumakustischer Bedingungen deutlich erschweren. So erfordert beispielsweise der Einsatz thermoaktiver Bauteile (z. B. Betondecken) ein Umdenken im Hinblick auf die Positionierung von schalltechnisch wirksamen Elementen in der Raumplanung.

Die akustische Eignung eines Raums für bestimmte Nutzungen, kurz die Hörsamkeit eines Raums, wird von vielen Faktoren beeinflusst. Neben den akustischen Eigenschaften der Raumbegrenzungsflächen können auch Einrichtungsgegenstände wesentlich zu den Sprech- und Hörbedingungen in dem jeweiligen Raum beitragen.

Letztlich bedeutet raumakustische Planung eine berechenbare Tätigkeit, die als Ergebnis ein konkret messbares Resultat erzielt: im besten Fall eine der Nutzung angemessene Hörsamkeit des Raums, in dem wir uns wohlfühlen, in dem wir uns ohne Mühe verständigen können und den wir nicht als zu laut oder zu leise empfinden.

Vorwort zur 2. Auflage

Die Raumakustik in Büros hat seit der 1. Auflage dieser Fachschrift im Jahr 2008 einen weiteren Aufschwung erlebt. Nicht zuletzt durch das Erscheinen der DIN EN ISO 3382-3 im Jahr 2012 wurden neue raumakustische Kennwerte speziell für Großraumbüros international vereinheitlicht. Aktuell befinden sich mit der DIN 18041 und der VDI 2569 zwei wichtige Regelwerke zur Raumakustik in der Überarbeitung. Diese Entwicklung war Anlass für die Erarbeitung der 2. Auflage der buero-forum-Fachschrift „Raumakustik“.

Vorwort zur 3. Auflage

Von besonderer Bedeutung für die raumakustische Planung ist die Neufassung der DIN 18041, die im März 2016 veröffentlicht wurde und deren Anforderungen und Empfehlungen in die 3. Auflage dieser Fachschrift aufgenommen wurden. Auch die Empfehlungen des im Februar 2016 erschienenen Entwurfs zur Neufassung der VDI 2569, die eng mit der Neufassung der DIN 18041 abgestimmt sind, finden sich hier wieder. Dies war Anlass für die Erarbeitung der aktuellen, 3. Auflage der Fachschrift „Raumakustik“. Gleichzeitig wurde die Fachschrift in die Schriftenreihe des Industrieverbandes Büro und Arbeitswelt e. V. (IBA) überführt.

Autoren: Dr. Catja Hilge
Dr. Christian Nocke
Dr. Mats Exter

Die Physiker Dr. Catja Hilge und Dr. Christian Nocke betreiben seit 2001 ein schalltechnisches Beratungsbüro in Oldenburg und sind als Fachplaner, Sachverständige und Berater im Bereich Akustik tätig. Ein Schwerpunkt der Arbeit ist die Raumakustik von Schulen, Büros und anderen Gebäuden. Der Linguist und Phonetiker Dr. Mats Exter arbeitet nach einem Studium der Hörtechnik und Audiologie seit 2016 als Akustiker im selben Beratungsbüro in Oldenburg.

Kontakt:
Akustikbüro Oldenburg
Sophienstr. 7
26121 Oldenburg
Telefon +49 441 957993-10
Telefax +49 441 957993-21
www.akustikbuero-oldenburg.de
info@akustikbuero-oldenburg.de

Hinweise/Zeichenerklärungen



= Zusammenfassungen und Merkgeln



= vertiefende Informationen

Das Stichwortverzeichnis im Anhang enthält eine komprimierte Erläuterung akustischer Fachbegriffe. Auf eine Kennzeichnung der dort erklärten Begriffe im laufenden Text wurde verzichtet.

Raumakustik versus Bauakustik

Auf den ersten Blick scheinen sich die Bereiche Raumakustik und Bauakustik mit ähnlichen Aspekten zu befassen; erst bei näherer Betrachtung wird der wesentliche Unterschied klar.

Die Frage in der Bauakustik lautet stets:

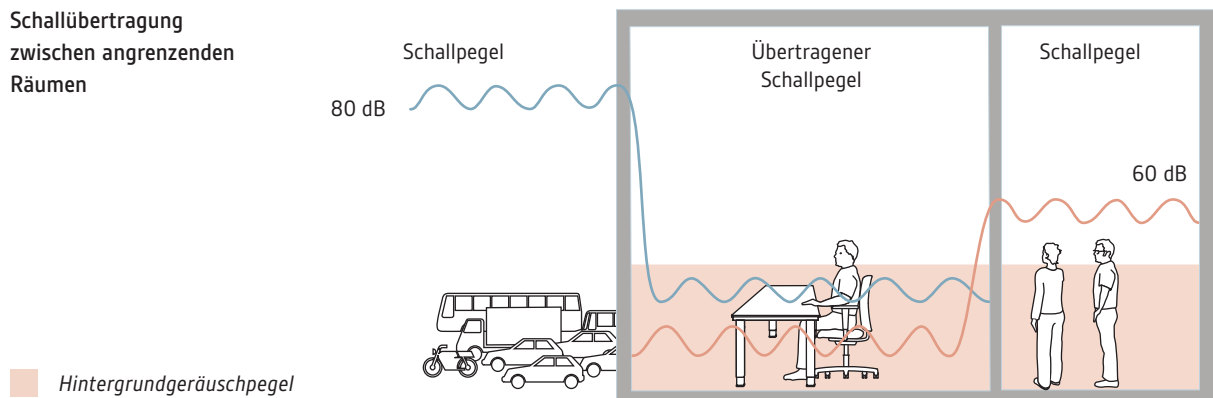
Welcher Anteil des Schalls kommt auf der anderen Seite des betrachteten Bauteils an?

Entscheidende Eigenschaft ist die Schalldämmung des trennenden Bauteils zwischen zwei Räumen. Im Wesentlichen geht es um die Fähigkeit von Bauteilen – Wänden, Decken, Türen, Fenstern usw. –, den Schallübergang zwischen zwei Räumen zu minimieren. Eine hohe Schalldämmung wird in der Regel durch massive, schwere Bauteile erreicht, die den Schall an seiner Ausbreitung hindern.

Abb. 1

Bauakustik

Schallübertragung
zwischen angrenzenden
Räumen



In der Raumakustik dagegen lautet die Frage:

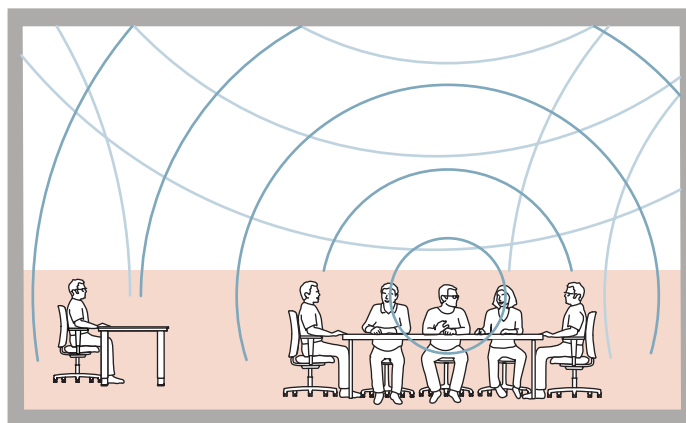
Durch welche Oberflächen schaffe ich optimale Hörbedingungen im Raum? Entscheidende Eigenschaft ist in diesem Fall die Schalldämpfung der Materialien im Raum. Schalldämpfung beschreibt die Fähigkeit von Materialien, Schall zu absorbieren bzw. die auftreffende Schallenergie in andere Energieformen umzuwandeln. Schalldämpfung wird durch Schallabsorber erreicht, die ganz unterschiedlich aussehen können: Schaumstoffe, Resonanzplatten, Lochplatten mit Vliesen, Akustikputze usw. Auf die Eigenschaften und die Vielfalt von Schallabsorbern wird im Laufe der Broschüre noch differenzierter eingegangen.

Abb. 2

Raumakustik

Hörsamkeit
innerhalb eines Raums

■ Hintergrundgeräuschpegel



Grundverschieden ist folglich die Bedeutung der Begriffe „Schalldämmung“ und „Schalldämpfung“. Fühlt man sich durch Geräusche aus einem benachbarten Raum belästigt, so trägt die Erhöhung der Schalldämmung im Wesentlichen dazu bei, die Situation zu verbessern. Die Schalldämpfung dient dagegen der Verbesserung der Hörsamkeit innerhalb eines Raums.

Bauakustische Anforderungen zum Schallschutz im Gebäude sind durch baurechtlich eingeführte Regelungen klar definiert. Weiterhin existieren eindeutige Empfehlungen und Vorgaben, die im Planungsprozess Berücksichtigung finden sollten. Für die Schallübertragungen innerhalb von Bürogebäuden sollten die Vorgaben des Beiblatts 2 der DIN 4109 (siehe Tabelle im Anhang) angewendet werden. Da sich die vorliegende Broschüre in erster Linie mit Aspekten der raumakustischen Gestaltung befasst, werden die bauakustischen Aspekte der Planung von Gebäuden hier nicht weiter vertieft.

Grundlagen der Akustik

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Kenngrößen der Akustik als Basis für die spätere Betrachtung raumakustischer Maßnahmen vorgestellt.

Schalldruck

Schall, das können wohklingende Töne, Musik, Knalle, Rauschen, Knistern, aber auch gesprochene Sprache sein. All diesen Schallereignissen ist gemeinsam, dass sie in der Luft eine kleine Schwankung des Luftdrucks auslösen, die sich in der Umgebung ihrer Erzeugung ausbreitet. Aus diesem Grund spricht man von dem Schalldruck eines Tons, eines Geräusches, von Sprache oder von Musik. Je lauter ein Schallereignis, desto stärker ist diese Druckschwankung, und desto höher ist der Schalldruck.

In Abbildung 3 ist die beschriebene Schwankung des Luftdrucks über der Zeit aufgetragen.

In Abbildung 4 ist die Ausbreitung des Schalls von einer punktförmigen Schallquelle schematisch dargestellt.

Abb. 3 Schallwellen

Schallwellen sind Schwankungen des Luftdrucks über die Zeit, die sich im Raum ausbreiten

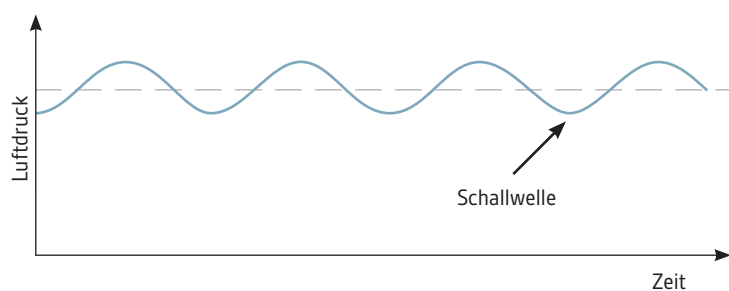
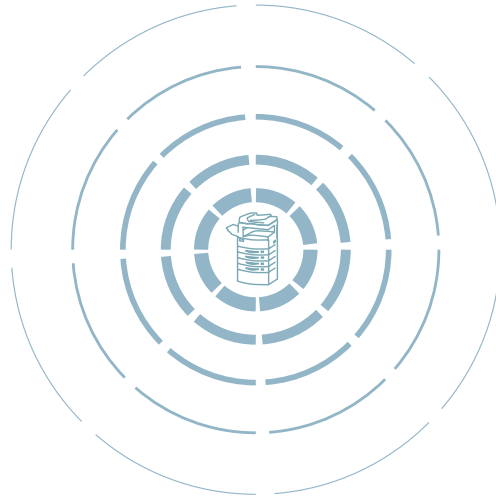


Abb. 4

Schallausbreitung

Geräuschquelle und
Schallausbreitung in
alle Richtungen



Prinzipiell breitet sich Schall stets in alle drei Raumrichtungen aus. Viele Schallquellen zeigen eine Abhängigkeit der Schallabstrahlung von ihrer Ausrichtung; vielfach genügt es jedoch näherungsweise, von einer gleichmäßigen Schallabstrahlung in alle Richtungen auszugehen. Derartige Schallquellen werden als Kugelschallquellen bezeichnet; der Schalldruckpegel der von ihnen abgestrahlten Schallwelle nimmt mit 6 dB je Abstandsverdopplung ab. Mit speziellen Lautsprechern lassen sich heutzutage auch sehr eng begrenzte Abstrahlrichtungen des Schalls einstellen, so dass der abgestrahlte Schall gezielt auf bestimmte Positionen gerichtet werden kann. Dies wird z. B. bei der elektroakustischen Ausstattung von Vorträgsräumen ausgenutzt.

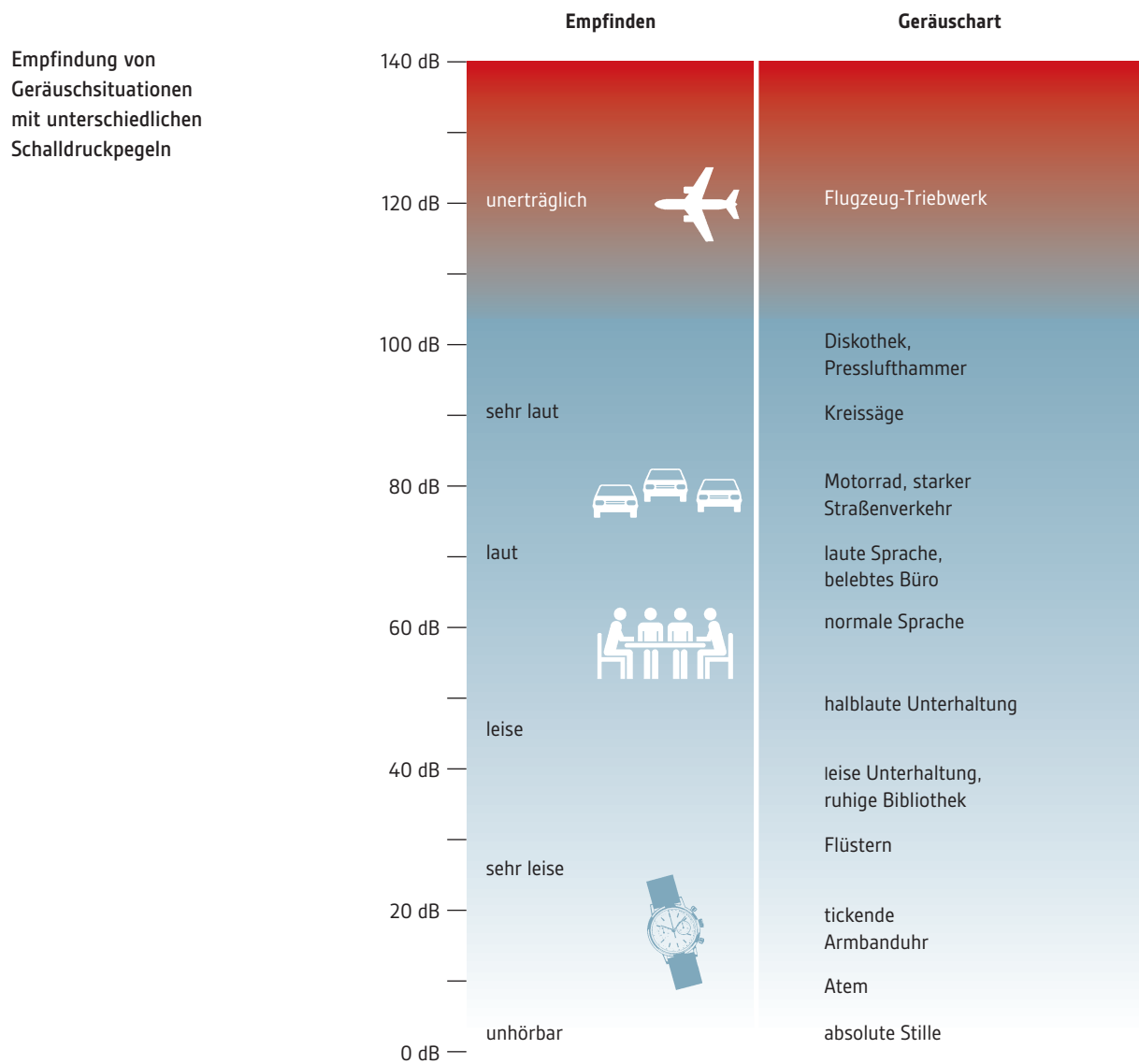
Dezibelskala

Vergleicht man das leiseste vom Menschen wahrnehmbare Schallereignis (den kleinsten wahrnehmbaren Schalldruck) mit Geräuschen, die sich an der Schmerzgrenze unserer Gehörempfindung bewegen, dann stellt man fest, dass sich der Schalldruck in diesem Bereich um einen Faktor von zehn Millionen verändert. Darstellung und Handhabung eines derart großen Wertebereichs des Schalldrucks erwiesen sich als umständlich, und so wurde mit dem Schalldruckpegel eine logarithmisch definierte Größe, das Dezibel, eingeführt, die auf die niedrigen Schalldruckwerte wenig Einfluss

hat, die großen Werte hingegen auf eine überschaubare Größe reduziert. Damit steht eine Skala zwischen 0 Dezibel (kurz: dB) und etwa 140 dB zur Verfügung. Die willkürliche Festlegung des Wertes für 0 dB orientiert sich an dem gerade von Menschen wahrnehmbaren Schalldruck.

Abbildung 5 zeigt die Dezibelskala mit einigen Beispielen bekannter Geräuschsituationen.

Abb. 5 Geräuschsituationen





Aus den logarithmischen Eigenschaften der Dezibelskala ergeben sich besondere Regeln beim Rechnen mit Schalldruckpegeln, die der einschlägigen Fachliteratur im Detail zu entnehmen sind.

Allerdings lassen sich einige nützliche Merkgeregeln zusammenfassen:



Schalldruckerhöhung bei gleichen Schallquellen

Eine Verdopplung der Anzahl der Schallquellen bedeutet immer eine Pegelerhöhung um 3 dB, eine Verzehnfachung einer Erhöhung um 10 dB und eine Verhundertfachung einer Erhöhung um 20 dB.

Abb. 6 Schalldruckerhöhung

Schalldruckerhöhung bei gleichen Schallquellen

Beispiel: Anzahl Kopierer/Drucker	Zunahme des dB-Wertes
1	62 dB
2	62 + 3 = 65 dB
3	62 + 5 = 67 dB
4	62 + 6 = 68 dB
5	62 + 7 = 69 dB
10	62 + 10 = 72 dB
15	62 + 12 = 74 dB
20	62 + 13 = 75 dB
50	62 + 17 = 79 dB
100	62 + 20 = 82 dB



Geräusch von 10 identischen Kopierern mit einem Schalldruckpegel von je 62 dB = 72 dB (62 + 10)



Geräusch von 2 identischen Kopierern mit einem Schalldruckpegel von je 62 dB = 65 dB (62 + 3)

Der in der Praxis häufigere Fall ist, dass der gesamte wahrgenommene Schall von unterschiedlichen Geräuschquellen mit unterschiedlichem Schalldruckpegel verursacht wird. Für den Fall von zwei Schallquellen im Raum lässt sich folgende vereinfachte Berechnung vornehmen:



Schalldruckerhöhung bei zwei unterschiedlichen Schallquellen

Zunächst ist zu prüfen, welche Differenz zwischen den beiden Pegeln besteht. Diese legt die Spalte fest. Im zweiten Schritt ist der in der zweiten Zeile der betreffenden Spalte genannte Wert der Pegelzunahme zum höheren der beiden Pegelwerte zu addieren:

Pegeldifferenz zwischen zwei Pegeln	0 bis 1 dB	2 bis 3 dB	4 bis 9 dB	mehr als 10 dB
Pegelzunahme (zum höheren Pegel zu addieren)	+ 3 dB	+2 dB	+ 1 dB	+ 0 dB

Beispiel:

Bei zwei Quellen mit 50 dB und 57 dB ergibt sich aufgrund der Differenz von 7 dB eine Zunahme um 1 dB, d. h. addiert zu 57 dB ein Gesamtpegel von 58 dB.

Zur Addition und Multiplikation beliebig vieler Pegelwerte im Raum kommen folgende Formeln zum Einsatz:



Addition von Pegeln

Bedingt durch die logarithmische Schreibweise kann man Schalldruckpegelwerte nicht einfach addieren und subtrahieren, sondern muss sie zunächst aus der logarithmischen Form herausführen. Es ergibt sich die folgende Formel, mit deren Hilfe sich beliebig viele Pegelwerte addieren oder subtrahieren lassen:

$$L_1 \pm L_2 \pm \dots \pm L_n = 10 \cdot \log_{10}(10^{L_1/10} \pm 10^{L_2/10} \pm \dots \pm 10^{L_n/10}) \text{ dB}$$

Beispiel aus der Praxis:

In einem Büroraum stehen ein Drucker (Schalldruckpegel 60 dB), ein Faxgerät (Schalldruckpegel 54 dB) und ein Kopierer (Schalldruckpegel 62 dB) auf einer Arbeitsplatte zusammen. Mit welchem Gesamtschalldruckpegel ist zu rechnen?

$$L_{\text{Drucker}} + L_{\text{Fax}} + L_{\text{Kopierer}} = 10 \cdot \log_{10}(10^{60/10} + 10^{54/10} + 10^{62/10}) \text{ dB} = 65 \text{ dB}$$



Multiplikation von Pegeln

Die oben genannte Formel vereinfacht sich, wenn nicht verschiedene Pegel addiert werden, sondern ein einziger Pegel sich vervielfacht:

$$L_{\text{gesamt}} = 10 \cdot \log_{10}(n \cdot 10^{L/10}) \text{ dB}$$

Beispiel aus der Praxis:

In einem Büroraum sollen zu einem Kopierer (Schalldruckpegel 62 dB) zwei baugleiche Modelle hinzustellen werden. Mit welchem Gesamtschalldruckpegel ist zu rechnen?

$$L_{\text{gesamt}} = 10 \cdot \log_{10}(3 \cdot 10^{62/10}) \text{ dB} = 67 \text{ dB}$$

Frequenz

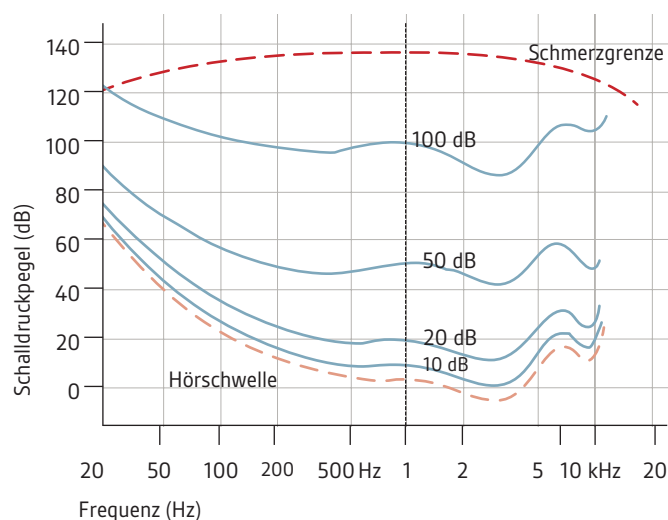
Der Schalldruckpegel wird vom Menschen als Lautstärke wahrgenommen und ist somit eine wichtige Eigenschaft des Schalls. Ebenso große Bedeutung wie der Schalldruckpegel hat die Frequenzzusammensetzung des Schalls – kurz das Spektrum. Reine Töne sind Schallereignisse mit einer einzelnen Frequenz. Eine Überlagerung von Tönen mit unterschiedlichen Frequenzen wird, je nach Frequenzzusammensetzung, als Geräusch oder Klang bezeichnet.

Die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs ist stark frequenzabhängig. Besonders empfindlich ist unser Gehör im Frequenzbereich der menschlichen Sprache zwischen 250 Hz und 2000 Hz. Dies ist einerseits sinnvoll, wenn wir einem Sprecher zuhören, andererseits sind Störungen in diesem Frequenzbereich auch besonders lästig und können Kommunikation stark beeinträchtigen. Zu hohen und tiefen Frequenzen nimmt die Hörfähigkeit ab.

In Abbildung 7 sind sogenannte Isophone, d. h. Kurven gleicher Lautstärke-wahrnehmung, dargestellt. Es ist beispielsweise ablesbar, dass ein Ton mit 100 Hz ca. 25 dB laut sein muss, um wahrgenommen zu werden, bei 1000 Hz reicht dagegen ein 5 dB lauter Ton, um gehört zu werden. Neben der Hörschwelle sind für verschiedene Pegelwerte ausgehend von 1000 Hz die Kurven gleicher Lautstärkewahrnehmung dargestellt. Die oberste Kurve in Abbildung 7 kennzeichnet den Verlauf der Schmerzgrenze in Abhängigkeit von der Frequenz. Bei derart hohen Pegeln kann das Gehör bereits durch ein sehr kurzes Geräuschereignis, z. B. durch einen wenige Millisekunden dauernden Knall, nachhaltig geschädigt werden.

Abb. 7 Isophone

Lautstärke/
Wahrnehmung
von Schall





Akustische Planungen müssen grundsätzlich die für den Menschen relevanten Frequenzen des Schalls berücksichtigen, um für die menschliche Wahrnehmung optimale Bedingungen zu schaffen.

Für eine Lautstärkebewertung von Geräuschen, die dem menschlichen Gehör gerecht wird, ist die Frequenzcharakteristik des menschlichen Gehörs zu berücksichtigen. Die mittleren Frequenzen, bei denen das menschliche Gehör besonders empfindlich ist, werden stärker berücksichtigt als die hohen und tiefen Frequenzen. Diese Gewichtung führt zu der Bezeichnung dB(A) für Schalldruckpegel, dem so genannten A-bewerteten Schalldruckpegel. Nahezu sämtliche Vorschriften, Richtlinien, Richtwerte, Grenzwerte, Empfehlungen und Hinweise zu Schalldruckpegeln nutzen Werte in dB(A).

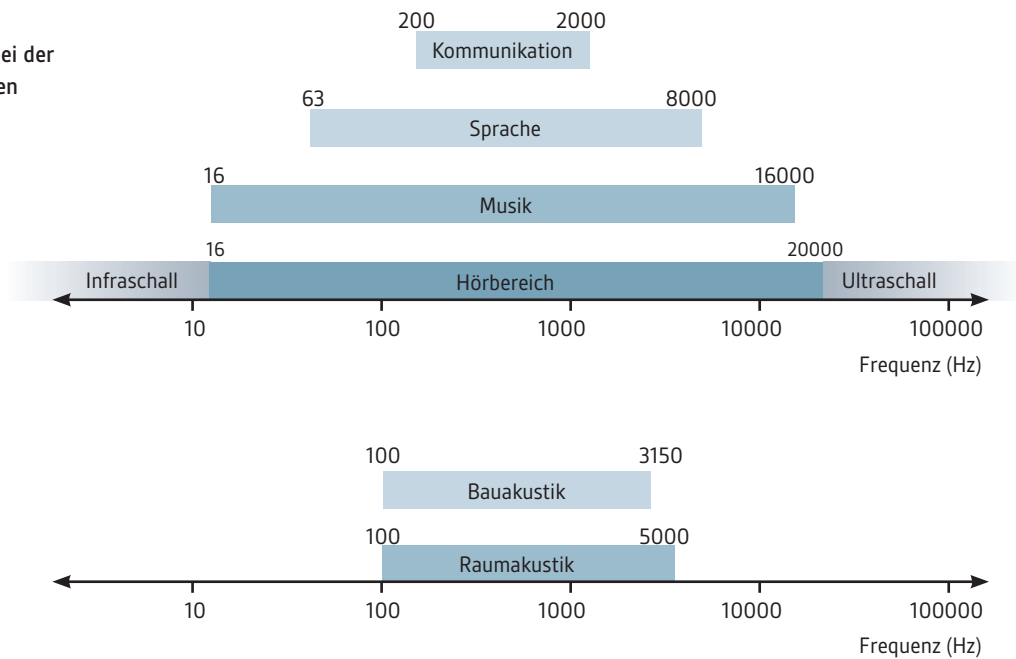
Relevante Frequenzbereiche bei der Planung von Räumen

Der für die Planung von Räumen relevante Frequenzbereich orientiert sich einerseits am menschlichen Gehör und andererseits daran, was technisch sinnvoll und realisierbar ist. Frequenzen oberhalb von 5000 Hz werden bereits von der Luft so stark gedämpft, dass es technisch nicht sinnvoll ist, diese Frequenzen in die raumakustische Planung einzubeziehen. Unterhalb von 100 Hz sind andere physikalische Zusammenhänge der Schallausbreitung zu beachten.

Die international genormten Prüfverfahren zur Bestimmung der Schallabsorption von Materialien beziehen sich auf den Frequenzbereich von 100 Hz bis 5000 Hz. So wurde entsprechend festgelegt, raumakustische Planungen üblicherweise auf den Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5000 Hz zu konzentrieren.

Abb. 8 Frequenzbereich

Relevante Frequenzbereiche bei der Planung von Räumen





Frequenz in Schritten: Terzen und Oktaven

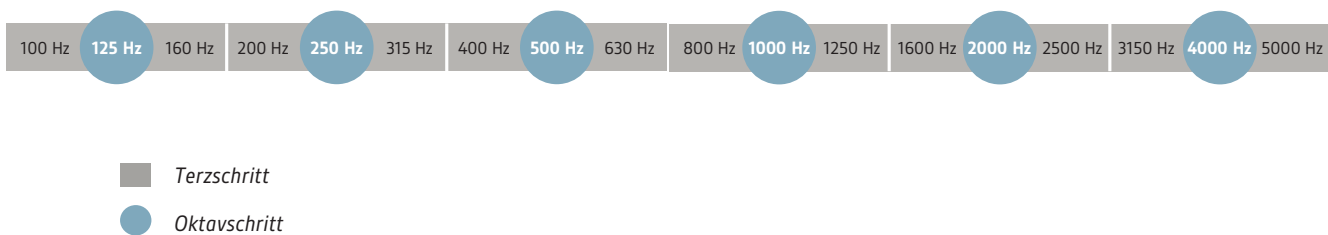
Viele raumakustische Größen, z. B. Nachhallzeit, Schallabsorption oder auch Schalldruckpegel, sind frequenzabhängig, d. h. sie nehmen bei unterschiedlichen Frequenzen verschiedene Werte an. Eine Angabe dieser Größen ist deshalb nur unter dem Hinweis sinnvoll, welche Frequenzen bzw. welcher Frequenzbereich betroffen ist.

Wie in Abbildung 8 dargestellt wurde, wird in der Raumakustik der Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5000 Hz betrachtet. Dieser Bereich lässt sich in sechs Oktavabschnitte (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz) oder in 18 Terzabschnitte (100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, ..., 4000 Hz, 5000 Hz) untergliedern, je nachdem, wie genau das Abbild der betreffenden Größe sein soll.

Der Schritt von einer Oktave zur nächsten wird immer durch eine Frequenzverdopplung erreicht. Eine Oktave enthält wiederum drei Terzen; die Schrittgröße ist entsprechend kleiner und bietet somit den Vorteil einer größeren Aussagekraft und Genauigkeit. Bei der Lösung raumakustischer Probleme unter Zuhilfenahme messtechnischer Methoden sollte deshalb grundsätzlich die Auflösung in Terzschritten gewählt werden, denn viele akustische Probleme vollziehen sich in schmalen Frequenzbereichen und erfordern entsprechend genau zugeschnittene Lösungen. Abbildung 9 zeigt die Abfolge der Oktav- bzw. Terzwerte in dem für die Raumakustik relevanten Frequenzbereich.

Abb. 9

Terz- und Oktavmittenfrequenzen





Nach DIN 18041 sollen Planungen in Bandbreiten von jeweils einer Oktave durchgeführt werden, wobei nur die Oktaven mit Mittenfrequenzen von 125 Hz bis 4000 Hz betrachtet werden sollen. Die im Juni 2014 veröffentlichte „Gemeinsame Stellungnahme des DIN-Arbeitskreises zur Überarbeitung der DIN 18041 und des Fachausschusses Bau- und Raumakustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik zur Thematik tiefer Frequenzen in der Akustik kleiner bis mittelgroßer Räume“ bestätigt diesen Frequenzbereich für raumakustische Planungen. Eine gelegentlich in Expertenkreisen diskutierte Erweiterung des Frequenzumfangs, die auch Auswirkungen auf Messmethoden wie z. B. das Hallraumverfahren hätte, ist nach Meinung der beteiligten Fachkreise nicht erforderlich.

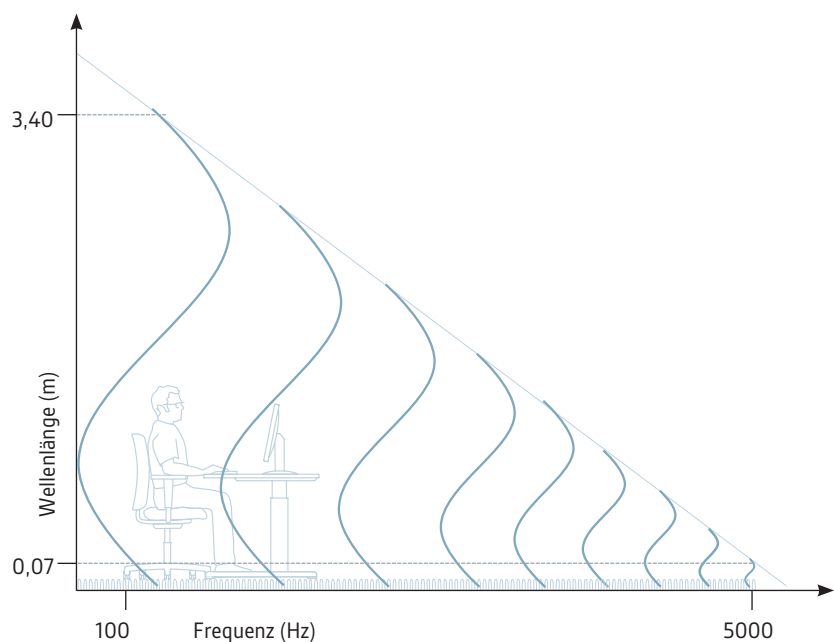
Wellenlänge des Schalls

Zu jeder Frequenz des Schalls gehört eine Schallwelle mit einer bestimmten Wellenlänge λ . Eine 100 Hz-Welle hat in der Luft eine Ausdehnung von 3,40 Metern, eine 5000 Hz-Welle dagegen eine Wellenlänge von nur ca. 7 Zentimetern. Die relevanten Schallwellenlängen in der Raumakustik sind demnach zwischen 0,07 m und 3,40 m lang. Somit liegen die Abmessungen von Schallwellen durchaus in der Größenordnung der Abmessungen von Räumen und Einrichtungsgegenständen. Abbildung 10 zeigt den Bereich aller Schallwellenlängen, die für die Raumakustik relevant sind.

Abb. 10

Schallwellenlänge

Relevante
Wellenlängen in
der Raumakustik



Pegelwerte

Der Beurteilungspegel

Die maßgebliche Größe zur objektiven Bewertung der Lärmbelastung an einem Arbeitsplatz ist der sogenannte Beurteilungspegel, der sich zum einen aus dem gemessenen zeitlich gemittelten Schalldruckpegel im Raum und zum anderen aus Zu- bzw. Abschlägen je nach Charakteristik der Geräusche ergibt. Mögliche Zuschläge werden für Impulshaltigkeit und Tonhaltigkeit von Geräuschen vergeben. Enthält das zu bewertende Geräusch Knalle oder ähnliche Impulse, oder treten einzelne Töne deutlich hervor, so werden über den reinen Messwert hinaus Zuschläge vergeben und das Geräusch wird effektiv lauter bewertet.



Pegelwerte zur Schallbelastung am Arbeitsplatz

Mit Inkrafttreten der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung wurde die zuvor gültige UVV „Lärm“ außer Kraft gesetzt. Der Auslösewert gemäß der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung beträgt 80 dB(A).

Hinweise für den maximal zulässigen Schalldruckpegel in Arbeitsräumen enthält auch die VDI 2058 Blatt 3, auf die wiederum in der E VDI 2569 verwiesen wird. Diese Werte sind bezogen auf den Beurteilungspegel L_r :

$L_r \leq 55$ dB(A) für geistige Tätigkeiten

Beispiele: wissenschaftliches Arbeiten, Entwerfen, Untersuchen, Berechnen, Besprechungen etc.

$L_r \leq 70$ dB(A) für einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeiten

Beispiele: Datenerfassen, Arbeiten mit Textverarbeitungsgeräten, Verkaufen, Arbeiten in Betriebsbüros

Ab 80 dB(A) Dauerschallpegel und ab 130 dB(A) Impulsgeräusch können irreversible Schädigungen des Gehörs auftreten.



Bestimmung des Beurteilungspegels

Der Beurteilungspegel L_r wird nach DIN 45645-2 wie folgt bestimmt:

$$L_r = L_{pAeq} + K_I + K_T$$

mit

L_{pAeq} : A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel

K_I : Zuschlag für Impulshaltigkeit

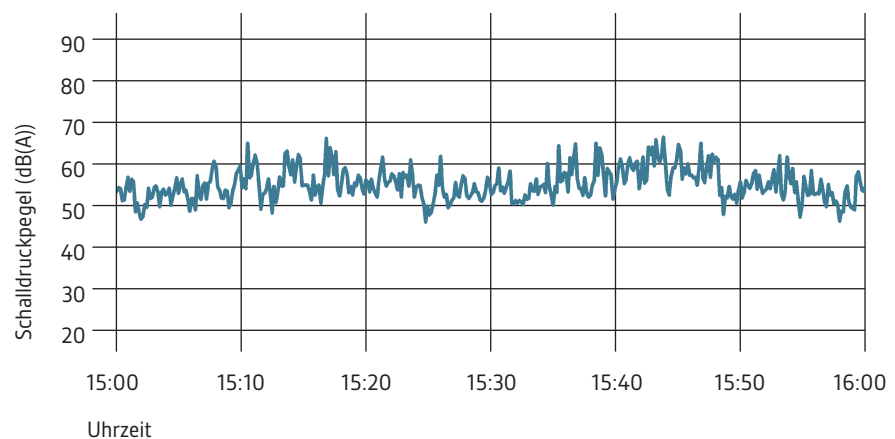
K_T : Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit

Der Impulzzuschlag K_I kann messtechnisch ermittelt werden; er kann 0 dB oder 3 dB bis 6 dB betragen. Der Zuschlag K_T ist mit der Neufassung der DIN 45645-2 (September 2012) um den Anteil der Informationshaltigkeit ergänzt worden. Geräusche sind informationshaltig, wenn sie in besonderer Weise die Aufmerksamkeit einer Person wecken und sie zum Mithören unerwünschter Informationen anregen. Der Zuschlag K_T kann messtechnisch nicht ermittelt werden, sondern ist aufgrund von Erfahrungswerten zu vergeben; er kann die Werte 0 dB, 3 dB oder 6 dB annehmen.

Abbildung 11 zeigt das Ergebnis einer Messung des Schalldruckpegels in einem Call Center, das zu einem Beurteilungspegel von 58 dB(A) führt. In der Regel genügt es, kurze repräsentative Zeitabschnitte zu erfassen.

Abb. 11

Beispiel einer Schalldruckpegelmessung



Der Hintergrundgeräuschpegel

In Der Hintergrundgeräuschpegel in einem Raum wird durch die baulichen Gegebenheiten innerhalb des Gebäudes wie auch durch die schalltechnisch relevante Ausstattung der Räume bestimmt. Neben raumluftechnischen Anlagen tragen z. B. Büromaschinen oder auch Geräusche von außerhalb, etwa Verkehrslärm, zum Hintergrundgeräuschpegel in einem Raum bei.

In Büroräumen sind bei hohen Hintergrundgeräuschpegeln Einschränkungen der Leistungsfähigkeit zu erwarten. Aus diesem Grund finden sich in verschiedenen Regelwerken Empfehlungen für den maximal zulässigen Hintergrundgeräuschpegel.

Die folgende Tabelle zeigt empfohlene Höchstwerte für den Hintergrundgeräuschpegel aus der DIN EN ISO 11690-1:

Raumart	Höchstwert Hintergrundgeräuschpegel
Konferenzräume	30 dB(A) bis 35 dB(A)
Einzelbüros	30 dB(A) bis 40 dB(A)
Großraumbüros	35 dB(A) bis 45 dB(A)
Industrielle Arbeitsstätten	65 dB(A) bis 70 dB(A)

Exkurs: Schalldruckpegel von Sprache

Die Vorhersage des Schalldruckpegels in einem mit Menschen besetzten Raum ist ein häufig gewünschtes Ergebnis der raumakustischen Planung. Eine exakte Vorhersage von Geräuschen, die von Menschen durch Kommunikation oder andere Tätigkeiten ausgelöst werden, ist allerdings nicht möglich. Bereits die Sprechlautstärke einer einzelnen Person unterliegt starken Schwankungen zumal der Mensch sehr empfindlich auf die akustischen Bedingungen in seiner Hörumwelt reagiert und seine Sprechweise der jeweiligen Situation anpasst. Die von einem Menschen abgegebene Schalleistung hängt somit von vielen Faktoren und Einflüssen ab. Häufig wird zur Beschreibung der Schalldruckpegel in 1 m Abstand vom Mund des Sprechers verwendet. Dieser wird dann als A-bewerteter Schalldruckpegel von Sprache oder kurz auch als Sprachdruckpegel $L_{p,A,1m}$ bezeichnet. Die folgende Tabelle nennt verschiedene Werte des 1-m-Sprachpegels $L_{p,A,1m}$:

Sprechweise	Sprachpegel
entspannt	$L_{p,A,1m} = 54 \text{ dB(A)}$
normal	$L_{p,A,1m} = 60 \text{ dB(A)}$
angehoben	$L_{p,A,1m} = 66 \text{ dB(A)}$
laut	$L_{p,A,1m} = 72 \text{ dB(A)}$
sehr laut	$L_{p,A,1m} = 78 \text{ dB(A)}$

Subjektive Raumakustik

Die Wahrnehmung und Einschätzung eines Geräusches ist immer auch subjektiv geprägt. Die subjektive Reaktion auf Geräusche hängt von der persönlichen Einstellung und den Erwartungen des Hörers zur Geräuschquelle ab.

Beispielhaft sei angeführt, dass etwa Mitarbeiter von Flughäfen gänzlich andere Bewertungen zur Belästigung durch Fluglärm abgeben als andere betroffene Anwohner. Im Büroumfeld ist eine häufige Erfahrung, dass Personen, die Einzelbüros gewohnt sind, oft nicht mit der ungewohnten Geräuschsituation oder andersartigen Hörumgebung in Mehrpersonenbüros zurechtkommen, selbst wenn sehr ähnliche raumakustische Bedingungen vorliegen.

Die Psychoakustik als Teilgebiet der Akustik oder auch die Lärmwirkungsforschung beschäftigen sich mit dem Zusammenhang zwischen der subjektiven Wahrnehmung und den objektiv vorhandenen Schallsignalen. Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass schon Geräusche ab 30 dB(A) als belästigend empfunden werden können.

Aus den objektiven Größen

- Schalldruckpegel in dB(A),
- Frequenzzusammensetzung bzw. Spektrum des Schalls
- zeitlicher Verlauf und
- Dauer des Geräusches

kann auf den Grad der subjektiven Belästigung geschlossen werden.

Weiterhin wird die subjektive Störwirkung eines Geräusches oder einer Geräuschumgebung – wie beispielsweise in einem Großraumbüro – auch durch individuelle Faktoren, wie die innere Einstellung oder auch Erfahrungswerte, geprägt. Eine quantitative Erfassung derartiger Einflussfaktoren für die subjektive Belästigung ist nur durch umfangreiche Befragungen der betroffenen Personen möglich. Eine zuverlässige Prognose des Grades der subjektiven Belästigung kann prinzipiell nicht erfolgen.

Ausführliche Informationen zur subjektiven Raumakustik und Lärmwirkung enthält die IBA-Fachschrift 11 „Schall- und Lärmwirkung“.

Raumakustische Größen

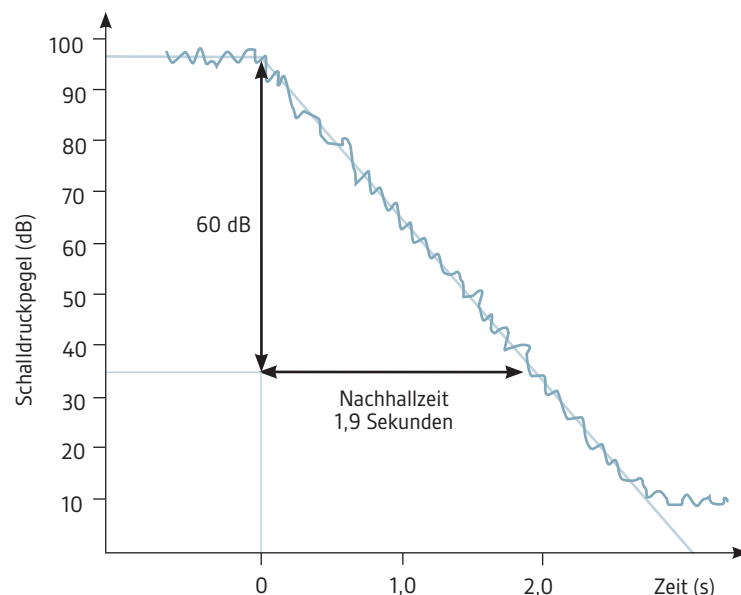
Ob ein Raum von seinen Nutzern als akustisch angenehm empfunden wird, lässt sich im Rahmen einer raumakustischen Planung mit einem hohen Maß an Genauigkeit vorab berechnen. Ebenso lässt sich abschätzen, welche Maßnahmen welchen Erfolg versprechen, welche Flächen an Schallabsorbieren erforderlich sind und wie diese am günstigsten zu positionieren sind. Hierzu soll im Folgenden die Nachhallzeit als wesentliche raumakustische Kenngröße vorgestellt werden. Anschließend wird die Funktionsweise von Schallabsorbieren beschrieben.

Nachhallzeit

Jeder kennt den imposanten Höreindruck von Orgelmusik in einer Kirche. Doch was hat dieser oft sogar körperlich spürbare Nachhall mit der Raumakustik eines Großraumbüros oder eines Konzertsaals gemeinsam?

Die Nachhallzeit lässt sich in jedem geschlossenen Raum bestimmen und liefert so die Grundlage für eine Bewertung der raumakustischen Bedingungen. Sie gibt – einfach ausgedrückt – die Zeitdauer an, die ein Schalleignis benötigt, um unhörbar zu werden. Technisch wurde die Zeitdauer für eine Abnahme des Schalldruckpegels im Raum um 60 dB als Nachhallzeit T definiert. Das bedeutet: Wird ein Raum mit einem Knall von 95 dB angeregt, so gibt die Nachhallzeit den Zeitraum an, innerhalb dessen der Geräuschpegel auf 35 dB zurückgegangen ist. Dies können wenige Zehntelsekunden bis zu mehreren Sekunden sein.

Abb. 12 Ermittlung der Nachhallzeit





Anmerkung zur Messung der Nachhallzeit

Die Definition, dass sich die Nachhallzeit auf eine Abnahme des Schallpegels von 60 dB bezieht, erfolgte historisch und willkürlich. In der Messtechnik sind derartige Pegelabnahmen gerade in größeren Raumvolumina nur mit sehr energiereichen Schallquellen wie beispielsweise Pistolen erreichbar. Aus diesem Grund wird bei Messungen die Nachhallzeit aus einem kleineren Dynamikbereich ermittelt. In diesem Zusammenhang wird häufig von T_{30} - oder auch T_{20} -Werten gesprochen; dies sind Nachhallwerte, die aus einer Messung mit einem Dynamikbereich von 30 dB bzw. 20 dB ermittelt wurden, aus der durch Extrapolation die ursprünglich zur Definition verwendete Pegelabnahme von 60 dB errechnet werden kann.

Durch die objektiv messbare Größe der Nachhallzeit werden unterschiedlichste Räume miteinander vergleichbar und können in ihrer raumakustischen Qualität bewertet werden. Sind 4 bis 8 Sekunden Nachhall in einer Kirche durchaus üblich, so bewegen sich die angestrebten Werte für die Nachhallzeit in Konferenz- oder Büroräumen in ganz anderen Größenordnungen. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über typische Nachhallzeiten verschiedener Raumarten.

Raumtyp	Nachhallzeit (exemplarisch)
Kirche	ca. 4 bis 8 Sekunden
Schwimmbad	maximal 1,7 Sekunden
Konzertsaal für klassische Musik	ca. 1,5 Sekunden
Klassenraum mittlerer Größe	ca. 0,6 Sekunden
Konferenzraum	je nach Größe ca. 0,8 bis 1,2 Sekunden
Büroraum	je nach Größe ca. 0,5 bis 0,8 Sekunden

Die Nachhallzeit stellt die raumakustische Visitenkarte des Raums dar. An ihr lässt sich die akustische Qualität eines Raums schnell und objektiv ablesen. Klagen über eine schlechte Akustik sind meistens mit nicht angemessenen Werten für die Nachhallzeit verknüpft, wenngleich umgekehrt eine optimale Nachhallzeit nicht automatisch optimale raumakustische Bedingungen garantiert. Insofern verfügt der Akustikplaner mit der Nachhallzeit über eine sehr gut handhabbare und klar definierte Größe.

Anhand des subjektiven Eindrucks von der Klangqualität eines Raums kann selbst der raumakustische Laie Hinweise auf den Verlauf der Nachhallzeit in den verschiedenen Frequenzbereichen erhalten. Klingt beispielsweise Sprache in einem Raum verwaschen und erfordert es große Anstrengungen, etwas zu verstehen, so ist davon auszugehen, dass die Nachhallzeit insgesamt zu lang ist. Akustisch „trocken“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Schall unnatürlich schnell geschluckt wird. Geschieht dies nur bei hohen Frequenzen, klingt der Raum eher „dumpf“ oder „dröhnend“, bei tiefen Frequenzen hingegen eher „schrill“, „klirrend“ oder „spitz“.



Auswirkungen der Nachhallzeit auf den Klang von Sprache

Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen	Nachhallzeit bei hohen Frequenzen	Subjektiver Eindruck
zu lang	zu lang	verwaschen, schlecht zu verstehen
zu lang	zu kurz	dumpf, dröhnend, aber gut zu verstehen
zu kurz	zu lang	schrill, klirrend, spitz, schlecht zu verstehen
zu kurz	zu kurz	trocken, aber gut zu verstehen

Wovon hängt die Nachhallzeit ab?

Die Nachhallzeit hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

- vom Volumen des Raums,
- von den Oberflächen im Raum sowie
- von den vorhandenen Einrichtungsgegenständen.

Grundsätzlich gilt:



Merkmale zur Nachhallzeit

Je größer der Raum, desto länger ist in der Regel die Nachhallzeit.

Je mehr Absorption im Raum vorhanden ist, desto kürzer ist die Nachhallzeit.

Mit zunehmender Raumhöhe wird ein Raum in der Regel halliger. Absorbierende Flächen – wie Teppiche, Gardinen und schallabsorbierende Decken, aber auch Mobiliar oder anwesende Menschen – verringern dagegen die Nachhallzeit.

Das Volumen und die Absorptionsflächen in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen, ist eine wesentliche Aufgabe der raumakustischen Planung. In einem zweiten Schritt ist über die optimale Positionierung von reflektierenden und absorbierenden Flächen im Raum nachzudenken.

Die Raumform spielt in der Regel eine untergeordnete Bedeutung für die Nachhallzeit und erlangt erst bei sehr hohen raumakustischen Anforderungen (z. B. bei Konzertsälen) oder bei ausgefallenen Formen, wie z. B. gewölbten Flächen oder stark schwankenden Raumhöhen, eine wesentliche Bedeutung.

Sprachverständlichkeit

Neben der Nachhallzeit als akustischer Kenngröße eines Raums existieren weitere raumakustische Parameter, von denen bei der Planung von Büroräumen immer auch die Sprachverständlichkeit berücksichtigt werden sollte. Selbst bei gleicher Nachhallzeit in verschiedenen Räumen kann es zu einem sehr unterschiedlichen Maß an Sprachverständlichkeit kommen. Im Allgemeinen gilt jedoch: Je kürzer die Nachhallzeit ist, desto besser ist die Sprachverständlichkeit. Soweit die Sprachverständlichkeit nicht durch starke Hintergrundgeräusche oder andere störende Schalle beeinträchtigt wird, deutet eine schlechte Sprachverständlichkeit somit auf eine zu lange Nachhallzeit hin.

Bei der Planung von Büroräumen spielt die Sprachverständlichkeit eine wichtige Rolle. Oft fühlen sich Mitarbeiter gerade durch gut verständliche Gespräche von Kollegen untereinander oder am Telefon gestört. Aufgabe der raumakustischen Planung ist es dann, die Sprachverständlichkeit zu reduzieren. Andererseits ist in Konferenzräumen und Auditorien die Sprachverständlichkeit ohne eine gezielte Optimierung häufig zu gering.

Die klassische Methode zur Messung der Sprachverständlichkeit in Räumen ist die systematische Befragung einer ausreichend großen Anzahl von Personen mit genormten Listen von Silben und Sätzen. Dieses Vorgehen ist jedoch mit großem Aufwand verbunden und wird daher meist nur im Zusammenhang mit Forschungsfragen durchgeführt.

Auf der Grundlage derartiger subjektiver Untersuchungen wurden physikalische Messgrößen zur Beschreibung der Sprachverständlichkeit entwickelt. Eine weit verbreitete Größe ist der Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index, STI). Der STI-Wert oder auch vereinfacht der RASTI (Rapid Speech Transmission Index) berücksichtigt sowohl den Einfluss von Nachhall als auch den Schalldruckpegel von Störgeräuschen.

Die folgende Tabelle gibt eine Zuordnung zwischen messbaren STI- bzw. RASTI-Werten und der zugehörigen Sprachverständlichkeit.

Wertebereich STI	Sprachverständlichkeit
0,75 bis 1,00	sehr gut
0,60 bis 0,75	gut
0,45 bis 0,60	ausreichend
0,30 bis 0,45	mangelhaft
0,00 bis 0,30	schlecht

Grundlage der STI-Messung ist eine Erfassung der Übertragung zwischen einer Schallquelle (Sprecher) und einem Empfangspunkt (Hörer). Je stärker die Übertragung durch den Einfluss des Raums (Nachhall, Abschirmung, Echos, ...) oder die akustische Umgebung (Hintergrundpegel, weitere Schallquellen, ...) gestört wird, desto geringer ist die Sprachverständlichkeit bzw. desto kleiner ist der STI-Wert.

Dieser Effekt ist zu beobachten, wenn bei ungünstigen raumakustischen Bedingungen eine schlechte Sprachverständlichkeit durch ein Anheben der Sprechlautstärke (Pegelerhöhung) kompensiert wird.

In einigen spezifischen Anwendungsfällen kann eine zu hohe Sprachverständlichkeit durch künstliches Einspielen von Geräuschen (meist Rauschsignale) reduziert werden. Dieser Effekt wird technisch durch sogenannte „Sound masking“-Systeme umgesetzt. Für die Büroraumgestaltung geeigneter ist jedoch der Einsatz von Schallschirmen, die z. B. in Form von Raumgliederungswänden oder Schränken in vielfältiger Form zur Verfügung stehen. Ihre Wirkungsweise wird im Abschnitt „Schallschirmung“ erläutert.

Zusätzliche Kenngrößen für Großraumbüros

Mit der Verabschiedung der DIN EN ISO 3382-3 im Mai 2012 wurden Kenngrößen zur objektiven Bewertung der akustischen Situation im Großraumbüro eingeführt. Die folgenden in der DIN EN ISO 3382-3 eindeutig definierten raumakustischen Parameter stehen zur Beschreibung der akustischen Situation in einem Großraumbüro zur Verfügung:

- räumliche Abklingrate des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache je Abstandsverdopplung (in dB(A)), kurz $D_{2,S}$;
- A-bewerteter Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m (in dB(A)), kurz $L_{p,A,S,4m}$;
- Ablenkungsabstand (in m), kurz r_D ;
- Vertraulichkeitsabstand (in m), kurz r_p .



Zu den Kenngrößen der DIN EN ISO 3382-3 kann prinzipiell angemerkt werden:

Je größer der Wert der räumlichen Abklingrate $D_{2,S}$, desto wirkungsvoller wird die Ausbreitung des Schalls im Raum behindert.

Der Wert des Sprachschalldruckpegels in 4 m Abstand $L_{p,A,S,4m}$ ist ein Maß für die Lautstärke im Raum – je kleiner er ist, desto leiser ist es im Raum.

Je kleiner der Wert des Ablenkungsabstands r_D und des Vertraulichkeitsabstands r_p , desto schneller sinkt die Sprachverständlichkeit im Raum ab.

Die Ableitung dieser Einzahlwerte erfolgt auf Grundlage von Messungen des Schalldruckpegels, des Sprachübertragungsindex STI sowie des Fremdgeräuschpegels entlang zuvor definierter Messpfade zwischen Arbeitsplätzen.

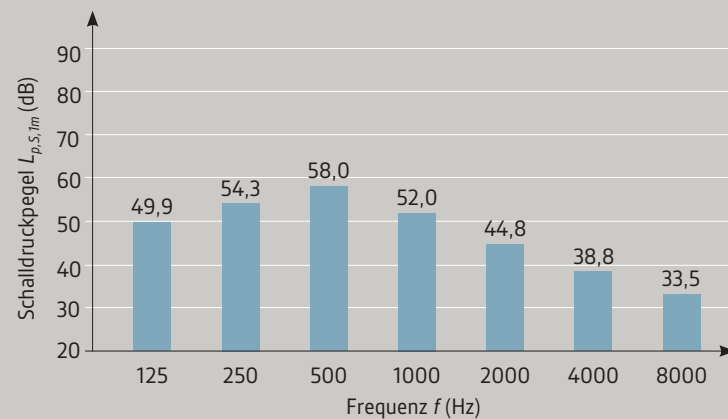
Die vier Größen sind als unabhängige Raumparameter zu sehen. Je nach Zusammenspiel von Schallabsorption, Schallreflexion und Schallabschirmung ergeben sich die Werte im Raum.



Normiertes Sprachspektrum

Die räumliche Abklingrate $D_{2,5}$ und der Sprachschalldruckpegel in 4 m Abstand $L_{p,A,S,4m}$ beziehen sich auf ein normiertes Spektrum normaler Sprache. Dieses normierte Sprachspektrum, das einen Summenpegel von 57,4 dB(A) besitzt, ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Es handelt sich um einen Mittelwert aus männlichen und weiblichen Stimmen bei normaler Sprechanstrengung. Außerdem wird von einer ungerichteten Schallabstrahlung ausgegangen.

Normiertes Sprachspektrum gemäß DIN EN 3382-3



Aus der Abnahme des Schalldruckpegels auf einem Messpfad im Raum wird unter Berücksichtigung des normierten Sprachspektrums der Einzahlwert $D_{2,5}$ durch lineare Regression ermittelt. Das gleiche Vorgehen wird zur Bestimmung des Ablenkungsabstands r_D für die Messgröße STI durchgeführt. Auch die raumakustischen Parameter r_p und $L_{p,A,S,4m}$ werden rechnerisch aus den Kurven zur Abnahme der Messwerte im Raum bestimmt.

Raumakustische Anforderungen

Die optimale Nachhallzeit

Grundlage für Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise zur raumakustischen Planung und Gestaltung von Räumen bildet die DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“.

Die DIN 18041 unterscheidet zwischen Räumen der Gruppe A und Räumen der Gruppe B. In Räumen der Gruppe A ist Hörsamkeit (also die Eignung für bestimmte Schalldarbietungen) über mittlere und größere Entfernungen anzustreben; Beispiele dafür sind Unterrichtsräume oder Hörsäle. In Räumen der Gruppe B hingegen ist das Ziel, Hörsamkeit über geringe Entfernungen zu erreichen; Beispiele wären Speiseräume oder auch Büros.

Bei Räumen der Gruppe A wird die Hörsamkeit erreicht durch eine nutzungsspezifische Nachhallzeit sowie durch eine Lenkung des Schalls mittels einer sinnvollen Positionierung absorbierender und reflektierender Flächen im Raum. Eine wesentliche Rolle spielt hier die Berücksichtigung (Inklusion) der Bedürfnisse von Personen mit eingeschränktem Hörvermögen. Die DIN 18041 unterscheidet bei Räumen der Gruppe A zwischen fünf Nutzungsarten:

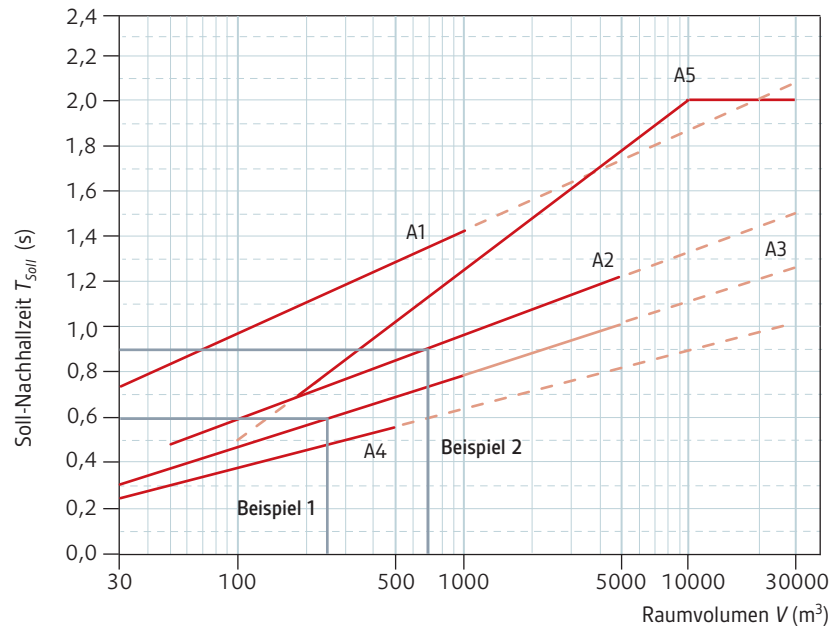
- A1: „Musik“;
- A2: „Sprache/Vortrag“;
- A3: „Unterricht/Kommunikation“ sowie „Sprache/Vortrag inklusiv“;
- A4: „Unterricht/Kommunikation inklusiv“;
- A5: „Sport“.

Der Sollwert T der Nachhallzeit ist bei Räumen der Gruppe A abhängig von Nutzungsart und Raumvolumen und bezieht sich auf den Zustand des Raums mit 80 % der Regelbesetzung. Abbildung 13 zeigt die Soll-Nachhallzeit für die Nutzungsarten A1 bis A5.

Abb. 13

Nachhallzeiten gemäß DIN 18041

Anforderungen der DIN 18041 für die Nachhallzeit in einem Raum in Abhängigkeit von dessen Nutzungsart und Volumen (Nutzungsarten A1 bis A5)

**Beispiel 1:**

Ein Konferenzraum (Nutzungsart A3, „Unterricht/ Kommunikation“) mit einem Raumvolumen von 250 m^3 sollte eine Nachhallzeit von $0,60 \text{ s}$ aufweisen.

Beispiel 2:

Ein Gerichtssaal (Nutzungsart A2, „Sprache/Vortrag“) mit einem Raumvolumen von 650 m^3 sollte über eine Nachhallzeit von $0,90 \text{ s}$ verfügen.

Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit

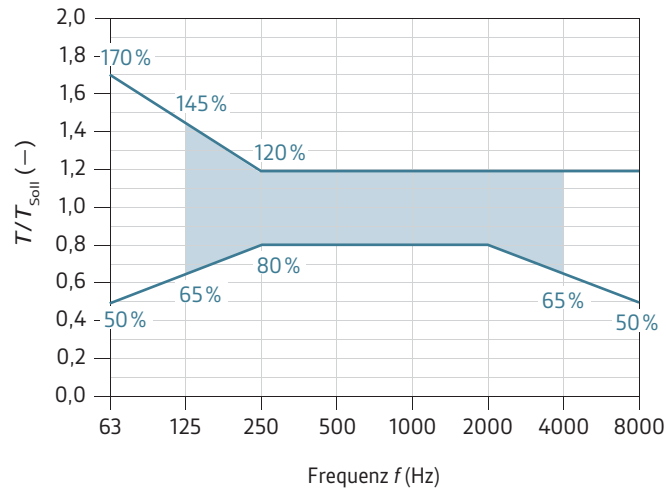
Wie im Kapitel „Raumakustische Größen“ erläutert wurde, ist die Nachhallzeit eine frequenzabhängige Größe, deren Werte sich in der Regel im Frequenzverlauf unterscheiden. Deshalb wird die Nachhallzeit meistens in Frequenzschrittweiten von Oktaven oder Terzen angegeben.

Die DIN 18041 spricht eine eindeutige Anforderung für den Verlauf der Nachhallzeit über der Frequenz bei Räumen der Gruppe A aus: Die Nachhallzeit sollte über alle Oktavbänder von 250 Hz bis 2000 Hz möglichst konstant mit einer Toleranz von $\pm 20 \%$ sein; bei tieferen und höheren Frequenzen sind etwas größere Abweichungen tolerierbar. Abbildung 14 zeigt den Toleranzbereich für die Nutzungsarten A1 bis A4 bezogen auf die Soll-Nachhallzeit T_{Soll} , innerhalb derer sich die Nachhallzeitkurve bewegen sollte. (Für die Nutzungsart A5 ist lediglich der Toleranzbereich von $\pm 20 \%$ zwischen 250 Hz und 2000 Hz vorgegeben.)

Abb. 14

Toleranzbereich gemäß DIN 18041

Toleranzbereich für den Verlauf der Nachhallzeit über der Frequenz in Abhängigkeit von der Nutzung (Nutzungsarten A1 bis A4)



Bei Räumen der Gruppe B ist die Hörsamkeit durch eine Senkung des mittleren Grundgeräuschpegels im Raum und eine Begrenzung der Halligkeit mittels einer angemessenen Raumbedämpfung (Absorption) zu erreichen. Die DIN 18041 unterscheidet auch bei Räumen der Gruppe B zwischen fünf Nutzungsarten, für die nutzungsspezifische Empfehlungen ausgesprochen werden:

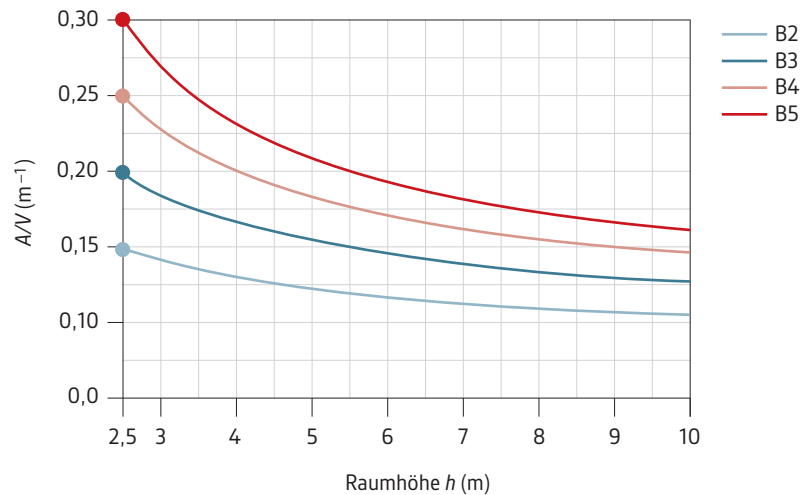
- B1: „Räume ohne Aufenthaltsqualität“ (ohne Anforderung);
- B2: „Räume zum kurzfristigen Verweilen“;
- B3: „Räume zum längerfristigen Verweilen“;
- B4: „Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort“;
- B5: „Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort“.

Für Räume der Gruppe B empfiehlt die DIN 18041 zum Erreichen der Hörbarkeit ein (jeweils nutzungsspezifisch festgelegtes) minimales Verhältnis der äquivalenten Absorptionsfläche des Raums zum Volumen des Raums, A/V , das bei Raumhöhen bis zu 2,50 m konstant ist und bei höheren Räumen allein von der Raumhöhe abhängt.

Abb. 15

Empfehlungen für die äquivalenten Absorptionsfläche im Verhältnis zum Volumen

Empfehlungen der DIN 18041 für das Verhältnis der äquivalenten Absorptionsfläche eines Raums zum Volumen des Raums in Abhängigkeit von dessen Höhe (Nutzungsarten B2 bis B5)



Einzelbüros können nach der DIN 18041 in die Nutzungsart B3 eingeordnet werden, Mehrpersonenbüros in die Nutzungsart B4. Genauere Vorgaben speziell für Büroräume macht jedoch der Entwurf zur Neufassung der Richtlinie VDI 2569 „Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro“, der in enger Abstimmung mit der Neufassung der DIN 18041 entstanden ist.

Spezielle Anforderungen an Büroarbeitsräume

Sowohl Einzel- als auch Mehrpersonenbüros werden von der E VDI 2569 in drei Raumakustik-Klassen eingeteilt:

- A: „Erwartungsniveau hoch“;
- B: „Erwartungsniveau mittel“;
- C: „Erwartungsniveau gering“.

Für Einzelbüros definiert die E VDI 2569 Kriterien für das Erreichen einer Raumakustik-Klasse, die auf der maximal zulässigen Nachhallzeit T_{max} sowie auf dem maximal zulässigen Störschallpegel bauseitiger Geräusche $L_{NA,Bau}$ beruhen. Die nachfolgende Tabelle fasst die Kriterien zusammen (für das Erreichen einer Raumakustik-Klasse müssen beide Kriterien erfüllt sein).

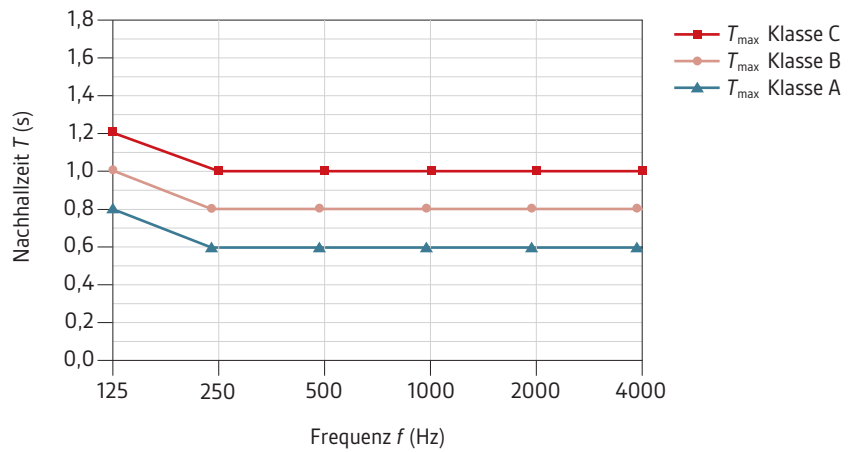
Raumakustik-Klasse	T_{max} in Oktavbändern		$L_{NA,Bau}$
	125 Hz	250 Hz bis 4000 Hz	
A	≤ 0,8 s	≤ 0,6 s	≤ 30 dB
B	≤ 1,0 s	≤ 0,8 s	≤ 35 dB
C	≤ 1,2 s	≤ 1,0 s	≤ 40 dB



Abbildung 16 zeigt die Anforderungen der E VDI 2569 an die maximal zulässigen Nachhallzeiten T_{max} in Einzelbüros.

Abb. 16

Nachhallzeiten in Einzelbüros gemäß E VDI 2569



Für Mehrpersonenbüros sieht die E VDI 2569 Kriterien für das Erreichen einer Raumakustik-Klasse vor, die neben der maximal zulässigen Nachhallzeit T_{max} und dem maximal zulässigen Störschallpegel bauseitiger Geräusche $L_{NA,Bau}$ auf zwei weiteren Größen beruhen, die eher die kognitive Leistungsfähigkeit betreffen: der räumlichen Abklingrate des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache je Abstandsverdopplung $D_{2,S}$ und dem A-bewerteten Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m $L_{p,A,S,4m}$. Hierbei werden in einem ersten Schritt sogenannte Stufen der Schallausbreitung definiert. Die folgende Tabelle zeigt die Kriterien für die Stufen der Schallausbreitung.

Stufe der Schallausbreitung	$D_{2,S}$	$L_{p,A,S,4m}$
1	≤ 8 dB	≤ 47 dB
2	≤ 6 dB	≤ 49 dB
3	≤ 4 dB	≤ 51 dB

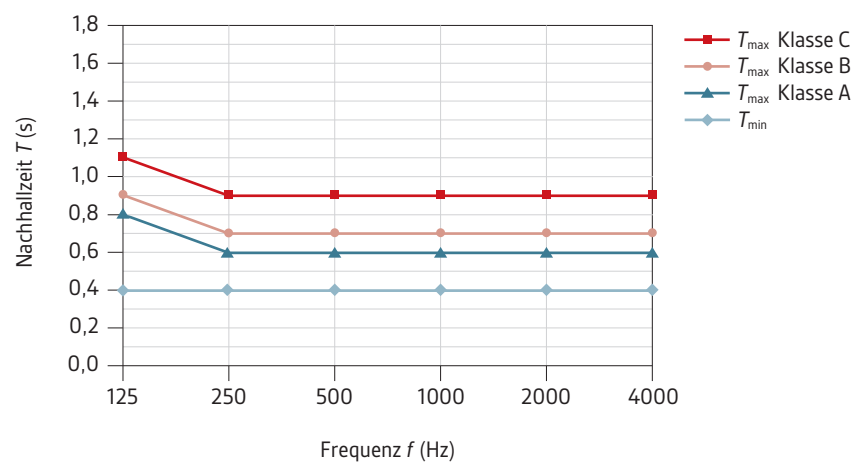
Die Stufen der Schallausbreitung gehen dann wiederum in die Bestimmung der Raumakustik-Klasse ein. Die nachfolgende Tabelle fasst die Kriterien für die Raumakustik-Klassen in Mehrpersonenbüros zusammen (für das Erreichen einer Klasse müssen alle Kriterien erfüllt sein).

Raumakustik-Klasse	Anforderungen an die Stufe der Schallausbreitung	T_{\max} in Oktavbändern		$L_{NA, \text{Bau}}$
		125 Hz	250 Hz bis 4000 Hz	
A	2/3 der Pfade in Stufe 1 Restliche Pfade mindestens in Stufe 2	$\leq 0,8$ s	$\leq 0,6$ s	≤ 35 dB
B	2/3 der Pfade in Stufe 2 Restliche Pfade mindestens in Stufe 3	$\leq 0,9$ s	$\leq 0,7$ s	≤ 40 dB
C	1/3 der Pfade in Stufe 2 Restliche Pfade mindestens in Stufe 3	$\leq 1,1$ s	$\leq 0,9$ s	≤ 40 dB

Abbildung 17 zeigt die Anforderungen der E VDI 2569 an die maximal zulässigen Nachhallzeiten T_{\max} sowie die Empfehlungen an die minimale Nachhallzeit in Mehrpersonenbüros.

Abb. 17

Nachhallzeiten in Mehrpersonenbüros gemäß E VDI 2569





Festlegung der Messpfade (Messwege)

Möglichst klare Anforderungen für die Auswahl, Anordnung und Anzahl der Messpfade sind erforderlich, weil diese ausschlaggebend für die Ergebnisse und damit für die Gesamtbewertung von Räumen sind. In der DIN EN ISO 3382-3 wird lediglich definiert, wie die Messpfade zu wählen sind. Die Messungen sind entlang einer Linie (die nicht gerade sein muss) durchzuführen. Die erste Messposition muss am zur Schallquelle nächstgelegenen Arbeitsplatz liegen. Es sind mindestens vier, idealerweise sechs bis zehn Positionen auf dem Messpfad in einem Bereich zwischen 2 m und 16 m von der Schallquelle zu untersuchen. Die Anzahl der Messpfade wird in der E VDI 2569 geregelt und ist von der Anzahl der Arbeitsplätze abhängig.



Exemplarische Messpfade gemäß DIN EN ISO 3382-3

Die Messungen sind ohne Personen im betriebsfertigen Raum durchzuführen. In der Norm wird darauf hingewiesen, dass durch von Menschen erzeugte Geräusche positive Maskierungseffekte entstehen können. Im Raum vorhandene künstliche Maskierungssysteme sind bei der Messung einzuschalten.

Feste Vorgaben in Form von Empfehlungen, Richtwerten oder gar Grenzwerten für die raumakustischen Kenngrößen Ablenkungsabstand r_D sowie Vertraulichkeitsabstand r_P der DIN EN ISO 3382-3 gibt es im Moment noch nicht. Im informativen Anhang der DIN EN ISO 3382-3 wird lediglich angemerkt, dass „Großraumbüros mit guten akustischen Bedingungen selten“ seien, aber bezüglich des Ablenkungsabstands r_D bei einem Zielwert von $r \leq 5$ m vorliegen könnten. Dieser Richtwert hat aber keine Verbindlichkeit und wird im Rahmen der Arbeiten zur Neufassung der VDI 2569 intensiv diskutiert.

Schallabsorption und akustisch wirksame Materialien

Zur optimalen Einstellung von Nachhallzeiten werden bei der Gestaltung von Büroräumen schallabsorbierende Materialien eingesetzt. Im Folgenden wird zunächst die Wirkung von Schallabsorbern erläutert. Anschließend werden verschiedene Materialien mit schallabsorbierenden Eigenschaften vorgestellt.

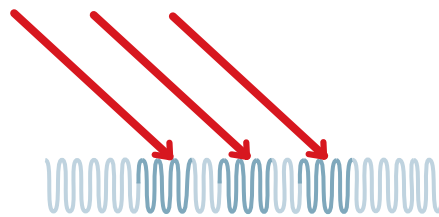
Schallabsorptionsgrad

Der Schallabsorptionsgrad α beschreibt die Eigenschaft eines Materials, auftreffenden Schall in andere Energieformen – z. B. Wärme- oder Bewegungsenergie – umzuwandeln und somit zu absorbieren. Ein idealer Schallabsorber, der 100 % des auftreffenden Schalls „schluckt“, hat einen Schallabsorptionsgrad von 1, eine vollständig reflektierende Fläche dagegen einen Schallabsorptionsgrad von 0. Beide Extreme sind nicht erreichbar: Reale Materialien haben stets einen Schallabsorptionsgrad zwischen 0 und 1.

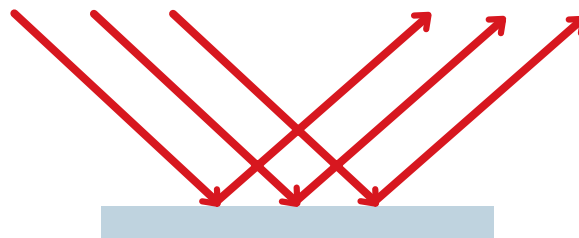
Abb. 18

Schallabsorption

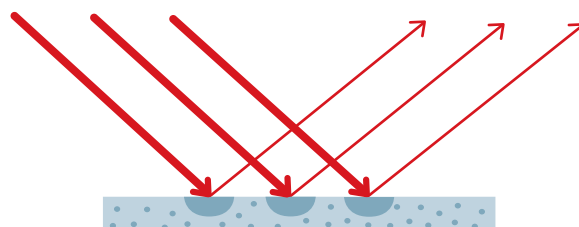
Fall 1:
Vollständige Schallabsorption
(Schallabsorptionsgrad $\alpha = 1$)
keine Reflexion



Fall 2:
Vollständige Schallreflexion
(Schallabsorptionsgrad $\alpha = 0$),
keine Absorption



Fall 3:
Teilweise Schallabsorption
(Schallabsorptionsgrad
 α zwischen 0 und 1)



Der Schallabsorptionsgrad eines Materials ist in hohem Maße von der Frequenz abhängig. Daher muss auch die Absorptionswirkung von Materialien frequenzabhängig betrachtet werden. So besitzt ein Material möglicherweise bei 125 Hz einen Schallabsorptionsgrad von 0,1, reflektiert also den Schall zu 90 %, weist hingegen bei 4000 Hz einen Schallabsorptionsgrad von nahe 1 auf, absorbiert also bei dieser Frequenz fast den gesamten auftreffenden Schall. Dies ist beispielsweise bei vielen porösen Absorbentien der Fall, also Mineralfasern, Schäumen, Vorhangstoffen etc.

Die Bedämpfung tiefer Frequenzen (mit großen Wellenlängen) erfordert entweder sehr voluminöse Schallabsorber aus porösen Materialien (Steinwolle, Glaswolle, Schaumstoff etc.) oder aber Aufbauten, die einen Resonanzmechanismus, z. B. ein abgeschlossenes Luftvolumen oder eine schwingende Oberfläche, ausnutzen. Diese Schallabsorber zeigen in der Regel ein Maximum in einem begrenzten Frequenzbereich, genau der Frequenz, die deren Luftvolumen oder Oberfläche zu Schwingungen anregt. Den physikalischen Vorgang bezeichnet man als Resonanz, die zugehörigen Absorber als Resonanzabsorber.

Viele der klassischen Schallabsorber – z. B. Akustikdecken oder Wandpaneele – nutzen Kombinationen beider Schallabsorbentypen (poröser Absorber und Resonanzabsorber), um die Absorptionsfähigkeit des Materials auf einen großen Frequenzbereich auszudehnen, d. h. breitbandig wirksam zu sein.



Frequenzabhängige Wirkung von Schallabsorbentien

Verallgemeinert gilt: Hohe Frequenzen lassen sich in der Regel durch Schallabsorber mit geringer Aufbauhöhe bedämpfen; zur Bedämpfung tiefer Frequenzen sind dagegen eher Schallabsorber mit größerer Aufbauhöhe oder großen Abmessungen erforderlich.

Die Ermittlung des Schallabsorptionsgrades

Der frequenzabhängige Schallabsorptionsgrad eines Materials wird durch eine schalltechnische Materialprüfung – das so genannte Hallraumverfahren – ermittelt. Hierbei wird eine Probe des Materials in den Hallraum eingebracht, dessen Nachhallzeit zunächst ohne Probe bestimmt wurde. Aus der Veränderung der Nachhallzeit mit der Probe im Raum lässt sich – für jede Terz zwischen 100 Hz und 5000 Hz (vgl. Kapitel „Grundlagen der Akustik“) – der Schallabsorptionsgrad α_5 ermitteln.

Man erhält somit 18 Terzwerte, die eindeutig das Absorptionsverhalten des Materials beschreiben, d. h. bei welchen Frequenzen das Material den Schall in welchem Maß absorbiert. Diese Eigenschaften bestimmen maßgeblich den Einsatzbereich des jeweiligen Schallabsorbers.

Äquivalente Schallabsorptionsfläche

Für die schallabsorbierende Wirkung im Raum ist jedoch nicht allein die Auswahl des Materials ausschlaggebend. Entscheidend ist, welche Fläche von diesem Material im Raum vorliegt. Um ein Maß für die schallabsorbierende Wirkung eines real vorhandenen Schallabsorbers zu haben, wurde die Größe der äquivalenten Schallabsorptionsfläche eingeführt. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines flächigen Absorbers A_{eq} (in m^2) ist definiert als das Produkt der Fläche S eines Absorbers und dem Schallabsorptionsgrad α des Absorbers.

10 m^2 eines Schallabsorbers mit einem Schallabsorptionsgrad von 0,50 besitzen eine äquivalente Schallabsorptionsfläche von 5 m^2 und haben somit dieselbe Wirkung im Raum wie z. B. 20 m^2 eines Schallabsorbers mit einem Schallabsorptionsgrad von 0,25.

Von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche eines flächigen Absorbers A_{eq} unterschieden wird die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Einzelobjekts (z. B. eines Schrankes), A_{obj} (in m^2). Diese Größe ist zu verstehen als die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche eines einzelnen Prüfobjekts im Hallraum.

Betrachtet man einen vollständig eingerichteten Raum mit verschiedenen Oberflächen, so kann man jedem Material (z. B. Teppich, Putz, Akustikdecke, Vorhänge, Fenster, Regalfläche, usw.) einen Schallabsorptionsgrad zuordnen und durch Multiplikation mit der vorliegenden Fläche seine äquivalente Schallabsorptionsfläche berechnen. Anschließend addiert man die äquivalenten Schallabsorptionsflächen für alle Materialien und erhält so die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raums A (wiederum in m^2).



Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche eines Raums:

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n$$

A : Gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raums

S_1 : Fläche von Material 1, z. B. Akustikdecke

α_1 : Schallabsorptionsgrad von Material 1

S_2 : Fläche von Material 2, z. B. Teppichboden

α_2 : Schallabsorptionsgrad von Material 2

...

S_n : Fläche von Material n

α_n : Schallabsorptionsgrad von Material n

Schallabsorptionsgrad und Nachhallzeit

Aus der berechneten gesamten äquivalenten Schallabsorptionsfläche lässt sich mit Hilfe der Sabineschen Nachhallformel die Nachhallzeit im Raum ableiten.



Sabinesche Nachhallformel:

$$T = 0,163 \cdot V/A$$

T : Nachhallzeit

V : Raumvolumen

A : gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raums

Aus diesen Zusammenhängen lassen sich einige grundsätzliche Erkenntnisse für den Einsatz von Schallabsorbern ableiten:



Wirkung von Schallabsorbern

- Je höher der Schallabsorptionsgrad eines Materials ist, desto stärker senkt es die Nachhallzeit in einem Raum.
- Selbst ein hoch absorbierender Schallabsorber erzielt erst durch den Einsatz einer bestimmten Fläche die gewünschte Wirkung im Raum.
- Umgekehrt kann auch ein relativ schwach absorbierender Schallabsorber den angestrebten Effekt erzielen, wenn seine Fläche entsprechend groß gewählt wird.
- Man kann zur Bedämpfung eines Raums entweder einen einzelnen Schallabsorber oder auch eine Kombination aus zahlreichen verschiedenen Schallabsorbern verwenden.
- Entscheidend für die Nachhallzeit im Raum ist immer die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raums.

Akustisch wirksame Materialien

Grundsätzlich besitzt jede Oberfläche eine akustische Wirksamkeit. Eine glatte, harte Oberfläche wie eine Betonwand oder eine gekachelte Fläche wirkt nahezu vollständig reflektierend. Ein dickes textiles Polster, eine hochabsorbierende Akustikdecke oder ein spezielles akustisches Wandpaneel verfügt über einen hohen Schallabsorptionsgrad. Für jedes Material lässt sich der frequenzabhängige Absorptionsgrad ermitteln. Diese Werte können im Planungsprozess gezielt eingesetzt werden, um die Nachhallzeit eines Raums optimal einzustellen. In der folgenden Aufzählung werden ohne Anspruch auf Vollständigkeit gängige Materialien beschrieben, die in den unterschiedlichen Produkten zur Schallabsorption in Räumen zum Einsatz kommen.

a) Glas- und Mineralfaserplatten

Hierbei handelt es sich um poröse Absorber, die entweder direkt auf einen schallharten Untergrund oder – was häufiger der Fall ist – mit einem gewissen Abstand davor montiert werden. Häufig anzutreffen sind gerasterte Einlegesysteme unterschiedlichster Ausprägung. Für die schallabsorbierende Wirkung ist der Luftraum hinter den Einlegeplatten von besonderer Bedeutung. Ein geringer Abstand bzw. ein kleines Luftvolumen hinter der Absorberplatte bedeutet in der Regel Einschränkungen in der Absorption der tiefen Frequenzen.

b) Schaumstoffe

Offenporige Schäume zeigen bei üblichen Dicken im Zentimeterbereich ihre Schallabsorptionswirkung vor allem bei den hohen Frequenzen. Man findet Schäume auch als Auflage von gelochten oder geschlitzten Paneelen oder Streckmetalloberflächen. Zur Verbesserung der Schallabsorptionswirkung – insbesondere bei den tiefen Frequenzen – wird die Oberfläche des Schaums mit einem Vlies, einem Gewebe oder einer dünnen Schicht aus einem schallharten Material versehen. Es eröffnen sich damit ganz unterschiedliche Einsatzbereiche.

c) Gelochte Gipskartonplatten

Gelochte Gipskartonplatten findet man als fugenlose Systeme oder auch als Einlegeplatten in Rastersystemen. In beiden Fällen wird die akustische Wirkung im Wesentlichen durch die Lochung in Verbindung mit einem aufbrachten Vlies vor einem dahinter liegenden Luftvolumen erzielt und diese gegebenenfalls noch durch Auflage einer Mineralfasermatte erhöht. Es handelt sich hierbei um Resonanzabsorber. Je nach Abhänghöhe verändert sich die Absorptionswirkung des Aufbaus.

d) Geschlitzte oder perforierte Holzpaneele

Holzpaneele sind in der Regel Resonanzabsorber, deren Schallabsorptionswirkung sich durch das Zusammenspiel von gelochter Platte, Vlies und dahinter liegendem geschlossenem Luftvolumen ergibt. Wie bei den gelochten Gipskartonplatten wird häufig zusätzlich ein poröser Absorber in das Luftvolumen eingebracht, um die schallabsorbierende Wirkung auf einen größeren Frequenzbereich auszudehnen.

Der Vorteil der Holzpaneele liegt in ihrer mechanischen Robustheit, die einen Einsatz auch an Stellen mit starker Beanspruchung zulässt. Deswegen werden Holzpaneele vorrangig als Absorber im Wandbereich, aber auch für Büromöbel wie z. B. als Schrankoberflächen eingesetzt.

e) Akustikputze

Bei Akustikputzen handelt es sich um poröse Absorber in unterschiedlichen Ausprägungen: Putze, die direkt am Objekt auf den Untergrund aufgesprüht werden oder aber vorab auf glatten, porösen oder gelochten Trägerplatten aufgebracht und am Objekt montiert werden. Im zweiten Fall ist eine Abhängung möglich, die sich gegebenenfalls günstig auf das Absorptionsverhalten des Materials auswirkt.

Aus optischer Sicht besteht ein Vorteil der Akustikputze darin, dass sie über ein fugenloses Erscheinungsbild verfügen und somit optisch sehr unauffällig sind. Gerade in modernen Gebäuden besteht vielfach der Wunsch nach glatten Oberflächen ohne erkennbare Rasterung.

f) Geschichtete Materialien

Geschichtete Schallabsorber kommen meist dort zum Einsatz, wo wenig Bautiefe oder Abhänghöhe zur Verfügung stehen. In geschichteten Schallabsorbern werden in der Regel poröse Absorber mit Resonanzabsorbern kombiniert. Kombinationen bestehen aus Putzen oder Plattenschwingern mit Mineralwolle. Sie sind daraufhin optimiert, bei einer geringen Aufbauhöhe Schallabsorptionswerte zu erzielen, die man sonst nur mit Systemen mit großer Bautiefe erhält.

g) Mikroperforierte Schallabsorber

Bei mikroperforierten Schallabsorbern handelt es sich um Materialien aus Plexiglas, Holz oder Folie. Die schallabsorbierende Wirkung wird durch die feine Lochung und durch das Luftvolumen hinter der Platte oder Folie erzielt. Durch Veränderung des Abstandes kann man die schallabsorbierenden Eigenschaften des Materials gezielt beeinflussen und auf die Erfordernisse am Objekt abstimmen.

Der besondere Reiz der mikroperforierten Schallabsorber liegt darin, dass sich neue Einsatzmöglichkeiten ergeben, indem die Schallabsorber auch in transparenter oder transluzenter Form hergestellt und so auch vor Fenstern und Beleuchtungseinrichtungen positioniert werden können. Auch die Möglichkeit schallabsorbierender Lichtdecken wird durch diesen Absorber geschaffen.

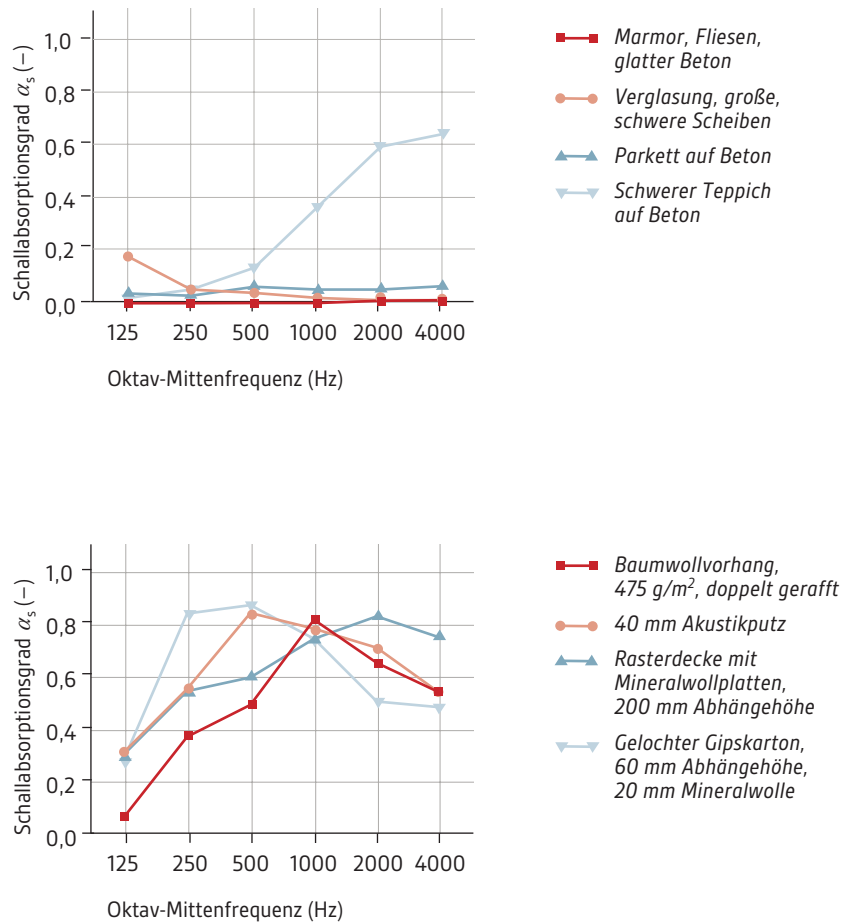


Für jedes Material lässt sich der frequenzabhängige Schallabsorptionsgrad ermitteln.

Im Folgenden werden Absorptionsgrade und äquivalente Absorptionsflächen ausgewählter Materialien exemplarisch dargestellt. Abbildung 19 gibt den Absorptionsgrad flächiger Schallabsorber (wie Akustikdecken, Putze, Teppiche) an. Durch Multiplikation des Schallabsorptionsgrades mit der Fläche des betreffenden Materials kann die äquivalente Absorptionsfläche errechnet werden (siehe Abschnitt „Äquivalente Schallabsorptionsfläche“).

Abb. 19

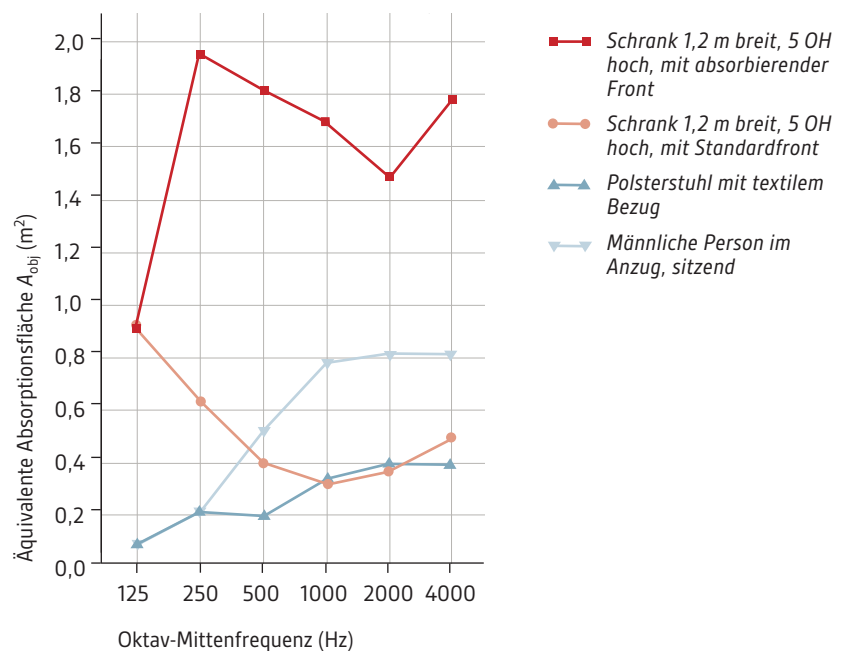
Absorptionsgrade verschiedener Materialien



Für Einzelobjekte im Sinne der DIN EN 354, wie z. B. Stellwände, Schränke, Sitzmöbel, aber auch Menschen, werden die Ergebnisse von Messungen im Hallraum im Allgemeinen in Form der äquivalenten Absorptionsfläche A_{obj} angegeben. Abbildung 20 zeigt diese am Beispiel von Schränken, Stühlen und Personen.

Abb. 20

Äquivalente Absorptionsfläche

**Exkurs: Äquivalenter Schallabsorptionsgrad eines Einzelobjekts**

Für Berechnungen mit raumakustischen Simulationsprogrammen bietet es sich vielfach an, die im Hallraum gemessenen Werte der äquivalenten Absorptionsfläche eines Einzelobjekts, A_{obj} , in Absorptionsgrade zu überführen. Da davon die Mehrzahl der Büroeinrichtungsprodukte betroffen ist und es bislang kein einheitliches Verfahren für die Umrechnung gibt, haben die Autoren dieser Fachschrift in Zusammenarbeit mit dem Industrieverband Büro und Arbeitswelt (IBA) eine für die Büroeinrichtungsbranche einheitliche Umrechnungsmethode definiert und hierfür den Schallabsorptionsgrad eines Einzelobjekts α_{obj} eingeführt. Zur Ermittlung von α_{obj} wird einem Objekt (= Möbelstück) zunächst eine vereinfachte Geometrie, die Details der Form und nicht akustisch relevante Flächen wie beispielsweise Gestelle ausblendet, zugewiesen. Anschließend wird α_{obj} durch Division von A_{obj} durch die Gesamtfläche S der zugehörigen vereinfachten Geometrie ermittelt. Es gilt somit: $\alpha_{\text{obj}} = A_{\text{obj}}/S$.

Exkurs: Einzahlwerte

In den vorangegangenen Abschnitten wurde ausführlich auf die Vorteile der frequenzabhängigen Betrachtung des Schalls, der Nachhallzeit und des Schallabsorptionsgrades eingegangen. Von verschiedenen Seiten wurde in der Vergangenheit allerdings der Wunsch geäußert, vereinfachte Größen anzubieten, die zwar keine differenzierte Planung erlauben, dafür aber eine grobe Vergleichsmöglichkeit von Schallabsorbern oder erste Aussagen über die prinzipielle Eignung von Produkten für bestimmte Anwendungen bieten. Auch eine vereinfachte Planung für Räume mit geringen Anforderungen an die raumakustische Güte sollte durch solche Größen möglich sein. Vor diesem Hintergrund wurden parallel in Europa und den USA Einzahlwerte für die Schallabsorption definiert, deren Zusammensetzung jeweils etwas unterschiedlich ist. In Europa ist der gängigste Einzahlwert der Schallabsorption der sogenannte bewertete Schallabsorptionsgrad α_w , während im englischsprachigen Raum als Einzahlwerte der Schallabsorption eher der Noise Reduction Coefficient (NRC) oder der Sound Absorption Average (SAA) verwendet werden.



In Europa gebräuchliche Einzahlangabe

Bewerteter Schallabsorptionsgrad α_w (DIN EN ISO 11654):
 Für die Ermittlung des bewerteten Schallabsorptionsgrades α_w wird zunächst aus jeweils drei Terzwerten für den Schallabsorptionsgrad α_s der Mittelwert für die Oktavmittelfrequenzen zwischen 125 Hz und 4000 Hz gebildet. Aus 18 Terzwerten werden so 6 Oktavwerte. Der Mittelwert für die jeweilige Oktave wird auf 0,05 gerundet und als praktischer Schallabsorptionsgrad α_p bezeichnet. Der praktische Schallabsorptionsgrad α_p zwischen 250 Hz und 4000 Hz wird anschließend mit einer Bezugskurve aus der DIN EN 11654 verglichen. Aus diesem Vergleich lässt sich der bewertete Schallabsorptionsgrad α_w als Einzahlwert ablesen. Abweichungen um mehr als 0,25 zwischen Kurve und Bezugskurve werden mit den Formindikatoren L, M oder H gekennzeichnet, je nachdem, ob sie bei 250 Hz (L), bei 500 Hz bzw. 1000 Hz (M) oder bei 2000 Hz bzw. 4000 Hz (H) auftreten. So ergeben sich Angaben wie z. B. $\alpha_w = 0,65$ (H), $\alpha_w = 0,20$ oder $\alpha_w = 0,80$ (LM).



In den USA gebräuchliche Einzahlangaben

NRC (ASTM C423):

Die im amerikanischen Raum verbreitete Größe NRC (Noise Reduction Coefficient) wird ermittelt, indem aus vier Terzwerten für den Schallabsorptionsgrad (bei 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz und 2000 Hz) der Mittelwert gebildet wird und dieser anschließend auf 0,05 genau gerundet wird. Fällt der Mittelwert genau zwischen zwei durch 0,05 teilbare Zahlen, so wird stets aufgerundet (Beispiel: 0,625 → 0,65; 0,675 → 0,70).

SAA (ASTM C423):

Die ebenfalls im amerikanischen Raum genutzte Größe SAA (Sound Absorption Average) wird ermittelt, indem aus den zwölf Terzwerten für den Schallabsorptionsgrad zwischen 200 Hz und 2500 Hz der Mittelwert gebildet wird und dieser anschließend auf 0,01 genau gerundet wird.

Anhand des Werts von α_w kann nach der DIN EN ISO 11654 eine Klassifizierung in Schallabsorberklassen vorgenommen werden. Werte für α_w von 0,90 und mehr werden beispielsweise der Schallabsorberklasse A zugeordnet, Werte von 0,15 bis 0,25 der Schallabsorberklasse E. Dabei ist zu beachten, dass die Schallabsorberklassen allenfalls für eine sehr grobe Einordnung flächenhafter Absorber geeignet ist. Sie sind nicht für die Klassifizierung von Einzelobjekten wie z. B. Möbeln, Stellwänden, Tischaufsätzen o. ä. anzuwenden.

Schallabsorberklasse	α_w -Wert
A	0,90 – 1,00
B	0,80 – 0,85
C	0,60 – 0,75
D	0,30 – 0,55
E	0,15 – 0,25
nicht klassifiziert	0,00 – 0,10



Vor- und Nachteile der Einzahlangaben

Vorteil: Schallabsorber lassen sich grob klassifizieren und sind damit untereinander vergleichbar.

Nachteil: Eine Einzahlangabe der Schallabsorption stellt grundsätzlich eine starke Vereinfachung dar. Schallabsorber mit ganz unterschiedlichen Absorptionsspektren können identische Werte als Einzahlangabe erhalten. Im Einzelfall kommt so vielleicht ein Schallabsorber zum Einsatz, der unter den gegebenen Bedingungen ungeeignet ist. Frequenzen unterhalb von 200 Hz werden nicht berücksichtigt. Eine Verwendung der Angaben in raumakustischen Simulationsprogrammen ist nicht möglich.

Raumakustische Büroplanung

Arten von Schallabsorbern

Schallabsorber lassen sich im Rahmen der akustischen Büroraumgestaltung an unterschiedlichsten Stellen im Raum einsetzen. Hierbei kann man vier Gruppen unterscheiden:

a) Schallabsorber für die Deckengestaltung

Die größte Gruppe schallabsorbierender Materialien stellen die Akustikdecken dar. Sie haben den Vorteil, dass meist genügend Fläche zur Verfügung steht.

Bei thermoaktiven Decken besteht jedoch in der Regel keine Möglichkeit, Akustikdecken flächig zu installieren. In diesem Fall können spezielle Bafelsysteme oder Segel eingesetzt werden, durch die die Rohdecke nach wie vor thermisch abstrahlen kann, die aber dennoch zumindest einen Teil der erforderlichen Schallabsorption in den Raum einbringen.

Es gibt zudem Schallabsorber, die im Deckenbereich gezielt in den Raumkanten positioniert werden, in der Regel, um eine Bedämpfung insbesondere der tiefen Frequenzen zu gewährleisten. Diese werden als Kantenabsorber bezeichnet (siehe Abbildung 21).

b) Schallabsorber für die Wandgestaltung

Neben den Schallabsorbern für die Deckengestaltung gibt es Schallabsorber, die in erster Linie für den Einsatz im Wandbereich entwickelt wurden. Diese Absorber sollten insbesondere in Bereichen, die im täglichen Gebrauch berührt oder angestoßen werden, ausgesprochen robust sein. Dennoch lassen sich auch textile Materialien wie Vorhänge oder Paneele mit Stoffoberflächen gezielt zur Schallabsorption einsetzen.

In einigen Fällen können Absorber an den Wänden als Alternative zu Akustikdecken eingesetzt werden. In der Regel findet man allerdings Kombinationen aus beiden, denn aus raumakustischer Sicht ist es grundsätzlich günstig, einen Raum in allen drei Dimensionen zu bedämpfen, da sich auch der Schall in allen drei Raumrichtungen ausbreitet.

c) Bodenbeläge

Bodenbeläge tragen durch verschiedene Wirkungen sowohl zum Schallschutz zwischen Räumen innerhalb eines Gebäudes als auch zur akustischen Optimierung und Reduzierung des Geräuschpegels in einem Raum bei. Hier sind insbesondere textile Bodenbeläge zu nennen.

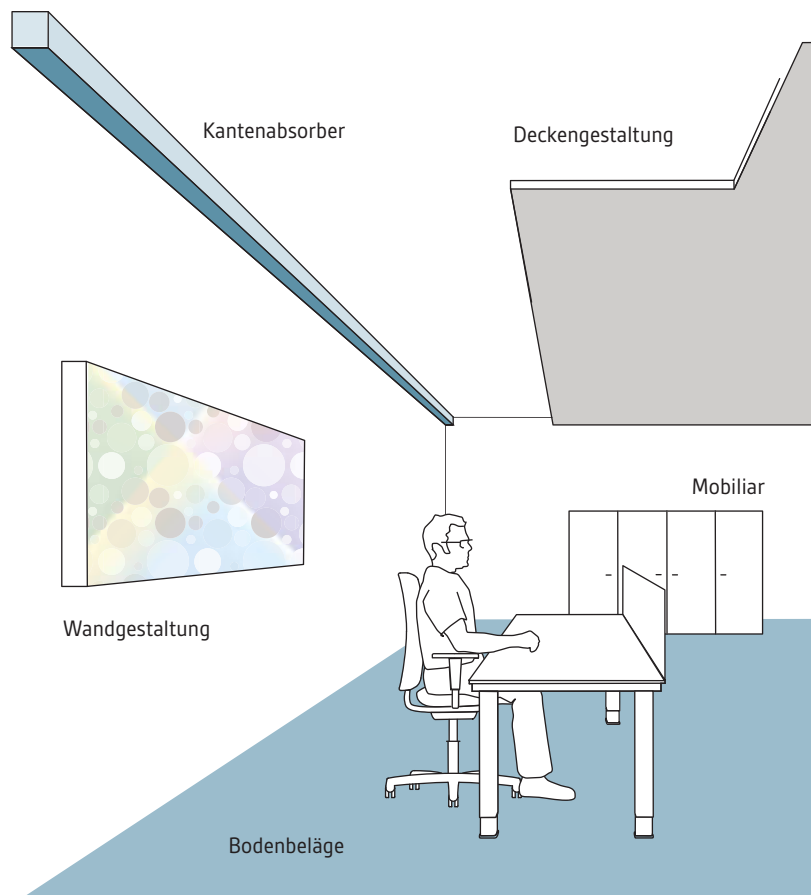
Die raumakustischen bzw. schallabsorbierenden Eigenschaften von Teppichen und anderen textilen Belägen sind im Wesentlichen durch deren poröse Struktur begründet. Aufgrund der im Allgemeinen geringen Dicke von Bodenbelägen sind diese jedoch meist nur im mittleren und oberen Frequenzbereich wirksam.

Als vierte Gruppe können Einrichtungselemente genannt werden, die auf ihre schallabsorbierende Wirksamkeit hin optimiert worden sind. Dies sind zum einen Stellwände mit schallabsorbierenden Oberflächen. Darüber hinaus gibt es mittlerweile ein umfassendes Angebot an schallabsorbierenden Schränken, Schreibtischelementen oder sogar ganzen Raum-in-Raum-Systemen, die in die raumakustische Planung von Büros einbezogen werden können. Auch Gegenstände wie z. B. Leuchten mit speziellen Segeln oder Heizkörper können mit entsprechenden Oberflächen schallabsorbierende Eigenschaften aufweisen.

Der Vorteil von Einrichtungselementen mit integrierten Absorbent liegt darin, dass sie zum einen sehr flexibel eingesetzt werden können, wenn an einem Gebäude keine baulichen Maßnahmen realisierbar sind. Zum anderen können sie im Rahmen ihrer Funktionalität dicht an Schallquellen im Raum positioniert und damit gezielt auch zur Lärmvermeidung eingesetzt werden.

Abb. 21 Schallabsorber

Arten von Schallabsorbent



Einstellung der Nachhallzeit

Wie bereits erläutert, ergibt sich der Wert für die optimale Nachhallzeit eines Raums entsprechend den Vorgaben und Empfehlungen der DIN 18041 unmittelbar aus dessen Größe und Nutzung.

Anhand der Sabine'schen Nachhallformel kann die Fläche an schallabsorbierenden Materialien ermittelt werden, die erforderlich ist, um die optimale Nachhallzeit zu erzielen.

Je nach vorhandener Ausstattung des Raums sorgen im Einzelfall ganz unterschiedliche Schallabsorber für ein ausgeglichenes Klangbild. Ist ein Teppich vorhanden, sind die Anforderungen an zusätzlich einzusetzende Absorber unter Umständen ganz andere als wenn ein glatter Bodenbelag vorhanden ist. Deshalb sollten bei der raumakustischen Planung zunächst die im Raum vorhandenen Oberflächen wie Fenster, Türen, Bodenbeläge usw. berücksichtigt werden. In einem zweiten Schritt können dann zusätzliche schallabsorbierende Objekte und Materialien eingeplant werden.

Schallschirmung

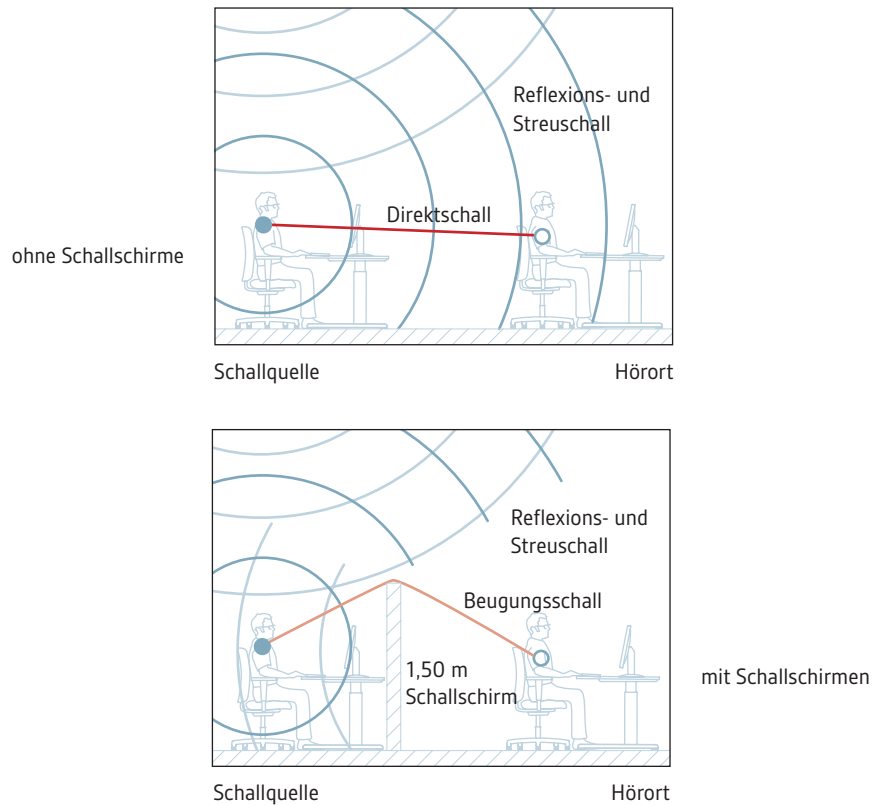
Um die Raumakustik in Büroräumen zu optimieren, ist das akustische Umfeld der Arbeitsplätze darüber hinaus so zu gestalten, dass die Störungen untereinander minimal gehalten werden.

Ausbreitung des Schalls

Für diese Herangehensweise ist es sinnvoll, sich die prinzipiellen Ausbreitungswege des Schalls in einem Raum zu vergegenwärtigen: In Abbildung 22 sind schematisch die verschiedenen Schallausbreitungswege in einem Raum dargestellt. Neben dem Direktschall kommt es zur Schallübertragung durch Reflexionen an Wänden und Decke. Je nach Schallabsorptionsgrad der vorhandenen Decke und der Wände wird stets ein Teil des auftreffenden Schalls zurückgeworfen, so dass es zu einer Rückwirkung des ausgesandten Schalls durch Reflexion bzw. Streuung kommt. Die Direktübertragung des Schalls von einer Quelle zu einem Empfänger kann durch den Einsatz von Schallschirmen unterbrochen werden. Schallschirme können Stellwände, Aufsätze auf Schreibtischen, ein frei im Raum positionierter Schrank oder auch eine freistehende Wand sein.

Abb. 22

Schematische Darstellung der Schallausbreitung in einem Raum



Bei der Planung und Auswahl geeigneter Schallschirme ist das Phänomen der Schallbeugung zu beachten. Der sogenannte Beugungsschall wird nicht an einer Raumbegrenzungsfläche reflektiert, sondern „beugt“ sich um die Kanten eines Hindernisses (z. B. eines Schallschirms). An einem Arbeitsplatz hinter einem Schallschirm (Hörort) kommt daher sowohl Schall in Form von Reflexionen von Decke, Wand und Boden als auch Beugungsschall an. Dessen Schalldruck ist jedoch immer geringer als der des Direkt-schalls ohne Schallschirmung. Wie viel Schall in Form von Beugungsschall übertragen wird, hängt zum einen von der Höhe des Schallschirms und zum anderen von dessen Form ab. Beugung und Reflexion sind zudem im Allgemeinen stark frequenzabhängige Effekt, was beim Einsatz von Schallschirmen berücksichtigt werden muss.

Begrenzung des Schalls

Schallschirme sollten ein gewisses Flächengewicht besitzen und zudem luftundurchlässig sein, um ein Mindestmaß an Schalldämmung aufzuweisen. Zusätzlich können Schallschirme auf einer oder auf beiden Seiten schallabsorbierend ausgestattet werden. Dann trägt neben dem Effekt der Schallschirmung auch die Schallabsorption zur Pegelminderung im Raum bei. Ist nur eine Seite eines Schallschirms absorbierend ausgestattet, so sollte diese der Geräuschquelle zugewandt sein, um eine Ausbreitung in den Raum hinein frühzeitig zu verhindern.

Bei der Ermittlung der optimalen Höhe eines Schallschirms ist insbesondere die Raumhöhe von Bedeutung. Das Verhältnis der Schirmhöhe zur Raumhöhe hat ebenso Einfluss auf die abschirmende Wirkung wie die Entfernung zwischen Quelle und Empfänger. Hohe Schirme sind bei kurzen Entfernungen zwischen Quelle und Empfänger am effektivsten. Anzustreben ist ein Verhältnis von Schirmhöhe zu Raumhöhe von mehr als 0,5. Durch Einfügen eines Schallschirms lässt sich so eine Pegelminderung von bis zu 10 dB erreichen.

DIN EN ISO 17624 nennt dafür die in Abbildung 23 aufgeführten Erfahrungswerte.

Abb. 23 Erfahrungswerte zur Minderung des Schalldruckpegels durch Schallschirme gemäß DIN EN 17624

Minderung des Schalldruckpegels gegenüber der Situation ohne Schirmung in Abhängigkeit von der Höhe und Position von Schallschirmen.

<i>h/H</i> Verhältnis der Schirmhöhe <i>h</i> zur Raumhöhe <i>H</i>	<i>s/H</i> Verhältnis des Abstands der Schallquelle zum Schirm <i>s</i> zur Raumhöhe <i>H</i>		
	< 0,3	0,3 bis 1	1 bis 3
< 0,3	7 dB	4 dB	–
0,3 bis 0,5	10 dB	7 dB	4 dB
> 0,5	–	9 dB	6 dB



Merkmale zum Einsatz von Schallschirmen

- Der Schallschirm sollte möglichst dicht an der Schallquelle positioniert sein, von der die Störungen ausgehen.
- Zum Schallschutz sind Schallschirme zu bevorzugen, die nicht nur eine einfache Wand darstellen (I-Aufsicht), sondern stattdessen ihre Raumrichtung ändern und so die Schallquelle zumindest teilweise umschließen (U- oder L-Aufsicht).
- Schallschirme entfalten nur dann ihre volle Wirksamkeit, wenn die sie umgebenden Flächen selbst nicht reflektierend sind.
- Schallschirme sollten nach Möglichkeit bündig an die angrenzenden Raumbegrenzungsflächen oder Einrichtungselemente anschließen.
- Für eine optimale Wirkung sollte die Schirmhöhe mehr als die Hälfte der Raumhöhe betragen.

Planungsbeispiele

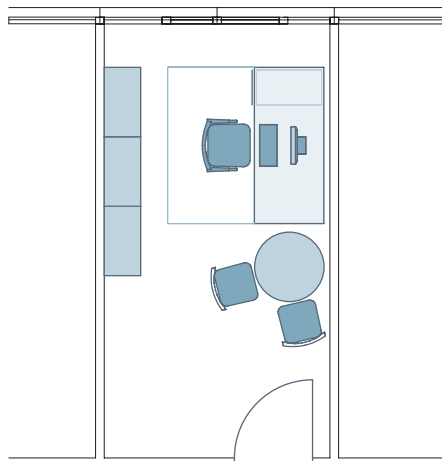
Einzelbüro

Im 1-Personen-Büro ist zunächst grundsätzlich zu beachten, dass die Nachhallzeit im Raum einen der Größe des Raums angemessenen Wert annimmt. Dies ist entweder durch die Belegung der Decke mit schallabsorbierenden Materialien oder durch andere Schallabsorber zu erreichen. Ein Teppichboden kann ein raumakustisches Konzept in günstiger Weise ergänzen und hat darüber hinaus grundsätzlich einen positiven Einfluss auf Geräusche, die durch Schritte, Fallgeräusche u. ä. entstehen können. Als einzige raumakustische Maßnahme ist ein Teppichboden hingegen nicht geeignet, da das Absorptionsverhalten von Teppichböden sehr frequenzspezifisch ist. Dies gilt grundsätzlich auch für alle anderen im Folgenden betrachteten Räume.

Ferner sollte durch die Einrichtung sichergestellt werden, dass sich keine glatten Wände gegenüberliegen. Parallele glatte Wände können im Raum, unabhängig von dessen Größe, zur Ausbildung deutlich hörbarer Reflexionen, so genannter Flatterechos, führen. Dies kann zu unangenehmen Effekten in der Schallwahrnehmung führen und somit die Nutzung des Raums gegebenenfalls sehr einschränken. Eine Vermeidung von größeren zusammenhängenden reflektierenden Oberflächen ist durch eine Einrichtung mit Schränken, Regalen, Bilderrahmen, Pinnwänden, Vorhängen oder Lamellen, Garderoben etc. denkbar. Eine gezielte Positionierung der Schallabsorber ist deshalb im Einzelbüro üblicher Größe in der Regel nicht erforderlich.

Abb. 24

Beispiel 1-Personen-Büro



2-Personen-Büro

Sobald sich mehr als eine Person in einem Büro aufhält und auch ein gleichzeitiges Sprechen erwünscht ist, sind neben einer angemessenen Nachhallzeit auch die Positionierung der Schallabsorber sowie abschirmende Maßnahmen in die Planung einzubeziehen.

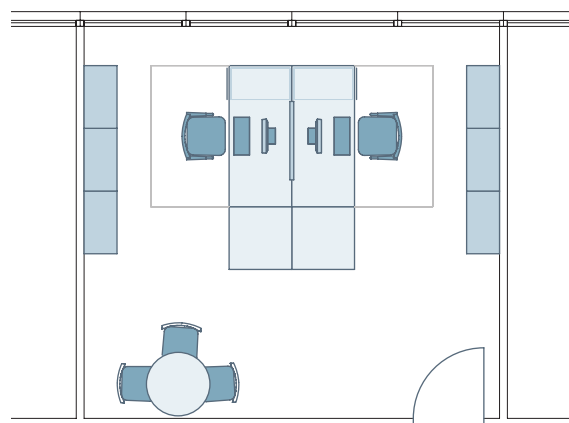
Als günstig für die Positionierung der Schallabsorber erweist sich in jedem Fall die Deckenfläche über den Arbeitsplätzen. Sofern eine Akustikdecke nicht realisierbar ist, kann stattdessen ein schallabsorbierendes Segel über den Arbeitsplätzen installiert werden.

Zudem sollte ein Aufsatz zwischen den Arbeitsplätzen, die sich in den dargestellten Beispielen gegenüberliegen, die Übertragung von Direkt-schall zwischen den Mitarbeitern unterbinden. Zu diesem Zweck sollte der Aufsatz schallabsorbierend sein und über eine Höhe von wenigstens 0,70 m verfügen, so dass die direkte Verbindung zwischen Sprecher und Hörer unterbrochen wird.

Sofern die Wände in die raumakustische Gestaltung einbezogen werden, sind alle Flächen nahe von Sprecherpositionen günstig für die Anordnung von Schallabsorbern, also eventuell die Wandflächen hinter den Mitarbeitern oder auch die Wandflächen flankierend am Besprechungsansatz. Auch im 2-Personen-Büro sollte im Rahmen der Einrichtungsplanung vermieden werden, dass sich größere glatte Wandabschnitte gegenüberliegen.

Abb. 25

Beispiel 2-Personen-Büro



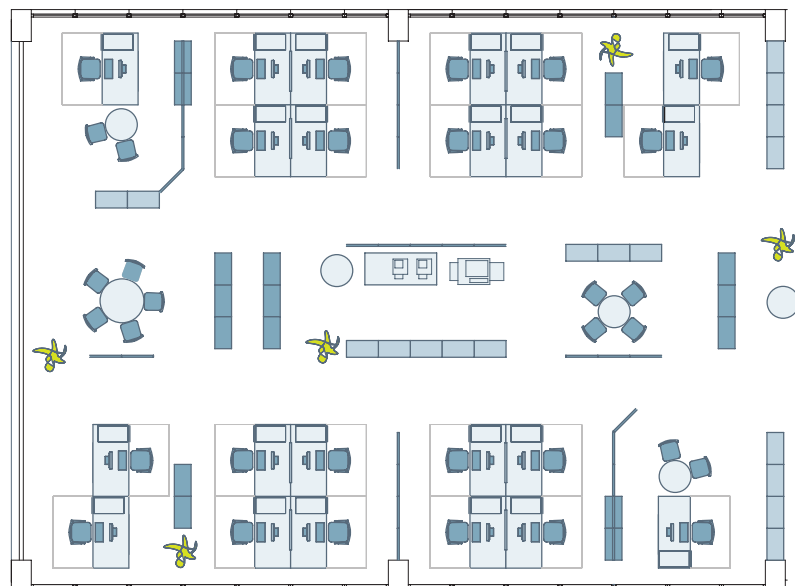
Gruppenbüro

Was für das 2-Personen-Büro gilt, ist ebenso im Hinblick auf das Gruppenbüro zu berücksichtigen: Erste Priorität hat zunächst das Einstellen der Nachhallzeit auf einen der Raumgröße angemessenen Wert. Die Decke als Position für Schallabsorber ist auch hier grundsätzlich günstig, zumindest aber über den Arbeitsplätzen und über lärmintensiven Bereichen wie z. B. den Tischen für Drucker, Fax und Kopierer dringend erforderlich. Zur Reduzierung des Direktschalls sollten gegenüberliegende Schreibtische durch einen mindestens 70 cm hohen, möglichst schallabsorbierenden Aufsatz voneinander abgeschirmt sein. Ferner können geschlossene Regale, Schränke, Stellwände oder spezielle Raumgliederungssysteme dazu herangezogen werden, Arbeitsbereiche auch akustisch voneinander abzugrenzen. Diese können gleichzeitig für Privatheit am Arbeitsplatz sorgen und bei Bedarf unerwünschten Lichteinfall abschirmen. Schallschirme sollten grundsätzlich bündig an Begrenzungsflächen anschließen, da bereits ein schmaler Spalt ausreicht, um die schalldämmende Wirkung eines solchen Elements deutlich herabzusetzen.

Insgesamt ist bei der raumakustischen Gestaltung eines Gruppenbüros stets eine Abwägung zwischen der meist beabsichtigten optisch offenen Gestaltung und der akustischen Abgrenzung zu treffen, denn beide Ziele sind zunächst einander entgegengesetzt. Am Ende des Planungsprozesses sollte ein Kompromiss beiden Aspekten genügend Raum geben. Im Gruppenbüro besteht durch die Einrichtung in der Regel weniger die Gefahr, dass sich größere glatte Wandabschnitte einander gegenüberliegen, durch die ein Flatterecho entstehen könnte. Dennoch sollte diesem Aspekt Beachtung geschenkt werden.

Abb. 26

Beispiel Gruppenbüro



Vortragsraum / Besprechungsraum

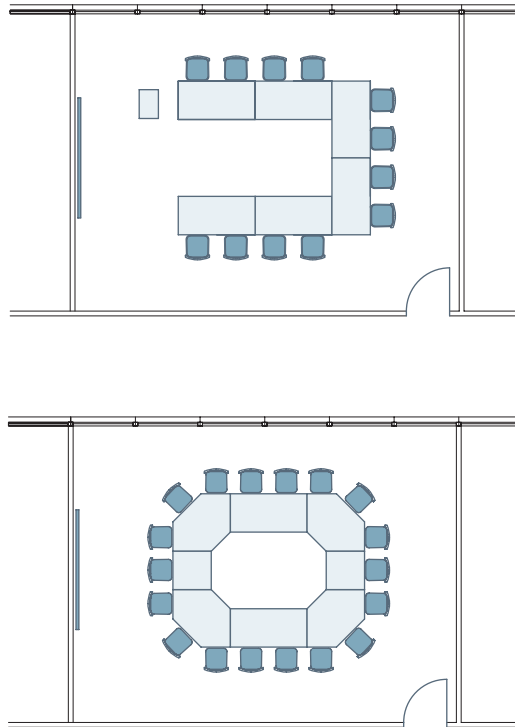
Die Besonderheit eines Vortragsraums besteht darin, dass durch die Vorgaben mit Die Besonderheit eines Vortragsraums besteht darin, dass durch die Vorgaben mit Leinwand, Beamer und gegebenenfalls Sprecherpult eine Raumrichtung vorgegeben ist, die sich auch in der raumakustischen Planung niederschlagen sollte. Die Anordnung der Schallabsorber und der reflektierenden Flächen sollte dazu beitragen, dass der Sprecher ohne besondere Anstrengungen auf allen Plätzen der Zuhörer gut verstanden werden kann. Schallabsorber im Deckenbereich sollten deshalb vornehmlich in hinteren Feldern des Raums sowie an den Seiten platziert werden, während in jedem Fall die Fläche über der Sprecherposition und nach Möglichkeit auch die mittlere Deckenfläche schallreflektierend zu belassen ist. Die Rückwand des Raums sollte – zumindest in Sprecher- und Hörerhöhe – schallabsorbierend gestaltet sein. Grund hierfür ist, dass es für die Wahrnehmung der Zuhörer günstiger ist, wenn ausschließlich der Direkt-schall des Sprechers und reflektierte Schallanteile von der Decke und den Seitenwänden und keine Reflexionen von der Rückwand bei den Zuhörern eintreffen. Hinsichtlich der Nachhallzeit ist bei einem Vortragsraum eher die Nutzungsart „Sprache/Vortrag“ anzuwenden, bei der die DIN 18041 grundsätzlich eine längere Nachhallzeit vorsieht als bei der Nutzungsart „Unterricht/Kommunikation“. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass in einem entsprechenden Raum stets nur eine Person zu einer Zeit spricht und hier ein Verstehen für alle Anwesenden generell erwünscht ist.

Sofern in einem Besprechungsraum weniger die Ein-Sprecher-Situation im Frontbereich gegeben ist, sondern Besprechungen eher „am runden Tisch“ in der Weise ablaufen, dass von verschiedenen Positionen und zum Teil auch gleichzeitig gesprochen wird, sollte sich dies auch in der Gestaltung der Decke niederschlagen, die dann zu allen Seiten schallabsorbierend ausgeführt sein und allenfalls über dem Tisch einen reflektierenden Bereich aufweisen sollte. Ferner muss sich in diesem Fall die Nachhallzeit eher an der Nutzungsart „Unterricht/Kommunikation“ orientieren.

Zu näheren Hinweisen und Beispielen für die Platzierung von absorbierenden und reflektierenden Flächen im Raum vgl. die einschlägige Literatur, z. B. die DIN 18041 oder C. Nocke, „Raumakustik im Alltag – Hören, Planen, Verstehen“.

Abb. 27

Beispiele Vortragsraum, Besprechungsraum



Cafeteria

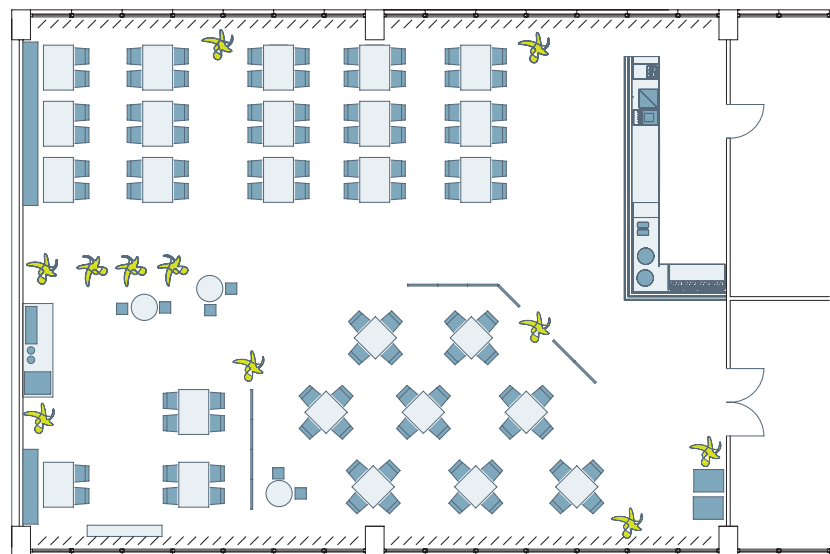
In Cafeterien hat zunächst die Einstellung einer optimalen Nachhallzeit oberste Priorität. Gemäß den Empfehlungen der DIN 18041 ist für Räume der Gruppe B ein minimales Verhältnis der äquivalenten Absorptionsfläche des Raums zum Volumen des Raums, A/V , anzustreben, das bei Raumhöhen bis zu 2,5 m konstant ist und bei höheren Räumen allein von der Raumhöhe abhängt. Ist also die Raumhöhe und das Volumen bekannt, so lässt sich daraus einfach die mindestens anzustrebende äquivalente Absorptionsfläche des Raums berechnen. Die benötigte zusätzliche Absorberfläche ergibt sich dann aus der Differenz zwischen diesem Wert und der äquivalenten Absorptionsfläche des Raums ohne Absorber.

Eine Abschirmung der Tische untereinander ist zunächst nicht erforderlich, sollte jedoch für solche Bereiche vorgesehen werden, die auch einer gewissen Vertraulichkeit genügen sollen.

Liegen sich, wie in dem in Abbildung 28 dargestellten Beispiel, stark reflektierende Flächen (z. B. zwei Glasfassaden) gegenüber, sollten schallabsorbierende Vorhänge eingeplant werden, die diese zusammenhängenden reflektierenden Flächen in regelmäßigen Abständen unterbrechen. Ebenso sind an den sich gegenüberliegenden Wandflächen entsprechende Maßnahmen zu treffen, sofern nicht bereits durch die Einrichtung eine Unterbrechung der glatten Oberflächen gegeben ist. Grundsätzlich ist es von Vorteil, wenn ca. ein Viertel bis ein Drittel der schallabsorbierenden Flächen im Wandbereich liegt.

Abb. 28

Beispiel Cafeteria



Anhang

Empfehlungen zum Schallschutz gemäß DIN 4109 Beiblatt 2, gültig für Wohn- und Arbeitsbereiche (R'_w : bewertetes Bau-Schalldämm-Maß, $L'_{n,w}$: bewerteter Norm-Trittschallpegel)

Bauteil	Empfehlungen für den normalen Schallschutz		Empfehlungen für den erhöhten Schallschutz	
	erforderliches R'_w	erforderliches $L'_{n,w}$	erforderliches R'_w	erforderliches $L'_{n,w}$
Decken, Treppen, Decken von Fluren und Treppenraumwände	52 dB	53 dB	≥ 55 dB	≤ 46 dB
Wände zwischen Räumen mit üblicher Bürotätigkeit	37 dB	–	≥ 42 dB	–
Wände von Räumen für konzentrierte geistige Tätigkeit oder zur Behandlung vertraulicher Angelegenheiten, z. B. zwischen Direktionszimmer und Vorzimmer	45 dB	–	≥ 52 dB	–
Türen zu Räumen mit üblicher Bürotätigkeit	27 dB	–	≥ 32 dB	–
Türen zu Räumen für konzentrierte geistige Tätigkeit oder zur Behandlung vertraulicher Angelegenheiten	37 dB	–	–	–

Stichwortverzeichnis

A-bewerteter Schalldruckpegel

Der A-bewertete Schalldruckpegel in dB(A) ist der gewichtete Mittelwert des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Frequenz eines Geräusches. Diese Gewichtung berücksichtigt die Eigenschaft des menschlichen Gehörs, Töne unterschiedlicher Frequenzen unterschiedlich stark wahrzunehmen. Besonders hoch ist die Empfindlichkeit im mittleren Frequenzbereich, dem Bereich der menschlichen Sprache. Nahezu alle Vorschriften und Richtlinien benennen Schalldruckpegelwerte in dB(A).

Ablenkungsabstand (r_D)

Der Ablenkungsabstand r_D (in m) ist definiert als der Abstand zur Schallquelle, an dem der STI-Wert auf 0,50 gesunken ist. Die Bestimmung erfolgt auf Grundlage einer Messung nach DIN EN ISO 3382-3 entlang eines Messpfades.

Äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Einzelobjekts (A_{obj})

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Einzelobjekts A_{obj} (in m^2) ist definiert als die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche der Prüfobjekte im Hallraumverfahren, geteilt durch die Anzahl der Objekte. (Gefordert sind in der Regel mindestens drei gleichartige Objekte).

Äquivalente Schallabsorptionsfläche eines flächigen Absorbers (A_{eq})

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines flächigen Absorbers A_{eq} (in m^2) ist definiert als das Produkt der Fläche S eines Absorbers und dem Schallabsorptionsgrad α des Absorbers.

Äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raums (A)

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raums A (in m^2) ergibt sich als Summe aller im Raum vorhandenen Flächen S , multipliziert mit dem zugehörigen Schallabsorptionsgrad α der jeweiligen Fläche: $A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$.

Auralisierung (Hörbarmachung)

Mit Hilfe der Auralisierung können im Rahmen der Gebäudeplanung die akustischen Bedingungen in einem Raum hörbar gemacht werden. Grundlage der raumakustischen Auralisierung können Simulationsrechnungen in einem Computermodell eines virtuellen Raums oder Messungen in einem realen Raum sein. So lassen sich die Hörbedingungen in Räumen vorab demonstrieren und Planungsvarianten direkter als durch Parameterwerte vergleichen.

Bauakustik

Bauakustik ist ein Gebiet der Bauphysik bzw. der Akustik, das sich mit der Auswirkung der baulichen Gegebenheiten auf die Schallausbreitung zwischen den Räumen eines Gebäudes bzw. zwischen dem Rauminneren und dem Bereich außerhalb des Gebäudes beschäftigt.

Beugungsschall

Trifft eine Schallwelle auf ein Hindernis, so erfährt sie an dessen Rändern eine Richtungsänderung. Ein Teil der Schallenergie gelangt dadurch in den Schattenbereich hinter dem Hindernis. Dieser quasi an der Kante „umgelenkte“ Teil des Schalls wird als Beugungsschall bezeichnet.

Beurteilungspegel (L_r)

Der Beurteilungspegel L_r (L für englisch *level* ‚Pegel‘, r für englisch *rating* ‚Beurteilung‘) ist die maßgebliche Größe zur objektiven Bewertung der Lärmbelastung an einem Arbeitsplatz. Neben der Gewichtung des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Frequenz (siehe A-bewerteter Schalldruckpegel) werden bei der Bestimmung des Schalldruckpegels Zu- und Abschläge je nach Charakteristik des Geräusches (z. B. Impulshaltigkeit oder deutliches Hervortreten einzelner Töne) berücksichtigt. Die Angabe des Beurteilungspegels erfolgt in dB(A).

Bewerteter Norm-Trittschallpegel ($L'_{n,w}$)

Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ (in dB) ist (vereinfacht gesagt) ein Einzahlwert, der den mittleren Trittschallpegel in einem Raum bei Übertragung aus einem anderen Raum durch ein Bauteil (z. B. eine Decke) charakterisiert.

Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß (R'_w)

Das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w (in dB) ist (vereinfacht gesagt) ein Einzahlwert, der das Verhältnis der auf ein Bauteil (z. B. eine Wand) auftreffenden Schalleistung zu der in einen benachbarten Raum übertragenen Schalleistung charakterisiert.

Dezibel (dB)

Logarithmisch definierte Maßeinheit zur Angabe des Schalldruckpegels. Die für den Menschen relevante Skala reicht von 0 dB bis 140 dB. 0 dB bezieht sich auf einen Schalldruck von 20 μPa (Mikropascal). Die Maßeinheit des A-bewerteten Schalldruckpegels wird mit dB(A) bezeichnet.

Einzahlwerte der Schallabsorption

Zur vereinfachten Darstellung der frequenzabhängigen Größe des Schallabsorptionsgrades sowie zum groben Vergleich unterschiedlicher Schallabsorber werden so genannte „Einzahlwerte“ genutzt. In Europa ist der bewertete Schallabsorptionsgrad α_w nach DIN EN ISO 11654 gebräuchlich. Im amerikanischen Raum verbreitete Einzahlwerte sind der NRC (Noise Reduction Coefficient) und der SAA (Sound Absorption Average). Allen genannten Werten liegen Messungen der Schallabsorption in Terzen bzw. Oktaven zugrunde. Für eine detaillierte raumakustische Planung ist die genaue Kenntnis dieser Schallabsorptionswerte in Terzen oder wenigstens in Oktaven erforderlich (siehe Oktave).

Flatterecho

Ein Flatterecho kommt dadurch zustande, dass sich ein Schallsignal zwischen wenigstens zwei stark reflektierenden Flächen mehrfach hin- und her bewegt. Ein Flatterecho kann subjektiv wahrgenommen werden: Ein Knall oder Händeklatschen klingt dann wie ein schnell schwächer werdendes Knattern. Flatterechos werden in der Regel als störend empfunden und sollten vermieden werden. Das kann durch die geometrische Raumgestaltung und/oder durch teilweises Belegen reflektierender Flächen mit absorbierendem Material erreicht werden.

Frequenz (f)

Die Frequenz bezeichnet die Anzahl von Schalldruckänderungen pro Sekunde. Schalleignisse mit einer hohen Frequenz werden vom menschlichen Ohr als hohe Töne wahrgenommen, Schalleignisse mit niedriger Frequenz als tiefe Töne. Geräusche wie Rauschen, Straßenverkehr usw. beinhalten in der Regel eine Vielzahl von Frequenzen. Die Maßeinheit der Frequenz ist Hertz (Hz), $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$. Menschliche Sprache bewegt sich im Bereich von 250 Hz bis 2000 Hz. Der Hörbereich des Menschen liegt zwischen 20 Hz und 20000 Hz.

Hallraum

Hallräume sind spezielle Laborräume, deren Wände die auftreffenden Schallwellen zu einem sehr hohen Anteil reflektieren. Hallräume verfügen über besonders lange Nachhallzeiten im gesamten Frequenzbereich.

Hallraumverfahren

Das Hallraumverfahren dient zur Bestimmung des frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrades. Hierbei wird eine Probe des zu testenden Materials in einen Hallraum eingebracht. Aus der Veränderung der Nachhallzeit im Raum lässt sich die Schallabsorption eines Materials rechnerisch ermitteln.

Hintergrundgeräuschpegel

Als Hintergrundgeräusche werden in der Regel informationsarme Geräusche (z. B. der Klimaanlage oder des Straßenverkehrs) bezeichnet. Der Hintergrundgeräuschpegel ist nach der DIN EN ISO 11690-1 definiert als A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel L_{pAeq} und wird in dB(A) angegeben. Er hat direkte Auswirkungen auf die Verständlichkeit von Sprache.

Hörsamkeit

Die Hörsamkeit eines Raumes bezeichnet dessen Eignung für bestimmte Schalldarbietungen. Einfluss auf die Hörsamkeit hat die Beschaffenheit der Raumbegrenzungsflächen (Wand, Decke, Boden), der Einrichtungsgegenstände und der anwesenden Personen.

Isophone

Isophone sind Kurven gleicher Lautstärkepegel. Durch sie wird beschrieben, welcher Schalldruckpegel für einen Einzelton bei welcher Frequenz erforderlich ist, um jeweils den gleichen Lautstärkeindruck bei Menschen zu erzielen.

Kugelschallquelle

Kugelschallquellen sind solche Schallquellen, die in alle drei Raumrichtungen gleichmäßig abstrahlen. Da kaum ein Lautsprecher in seinem Nahfeld über eine Kugelcharakteristik verfügt, gibt es für bestimmte Anwendungen in der akustischen Messtechnik spezielle Messlautsprecher, so genannte Dodekaeder-Lautsprecher, in denen zwölf Einzellautsprecher nahezu kugelförmig angeordnet sind und dadurch zwischen 100 Hz und 4000 Hz annähernd eine Kugelschallquelle bilden. Für eine von einer Kugelschallquelle abgestrahlte Schallwelle, eine sog. Kugelschallwelle, gilt, dass ihr Schalldruckpegel mit 6 dB je Abstandsverdopplung abnimmt.

Lärm

Als Lärm werden Geräusche bezeichnet, die durch ihre Lautstärke und Struktur für den Menschen und die Umwelt gesundheitsschädigend oder störend bzw. belastend wirken. Dabei hängt es von der Verfassung, den Vorlieben und der Stimmung eines Menschen ab, ob Geräusche als Lärm wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung von Geräuschen als Lärm und die Lärmwirkung auf den Menschen hängen zum einen von physikalisch messbaren Größen ab, z. B. dem Schalldruckpegel, der Tonhöhe, der Tonhaltigkeit und der Impulshaltigkeit. Zum anderen sind subjektive Faktoren maßgebend: Während der Schlafenszeit wirkt Lärm extrem störend. Gleiches gilt bei Tätigkeiten, die hohe Konzentration erfordern. Geräusche, die man mag, werden auch bei hohen Lautstärken nicht als störend empfunden, während Geräusche, die man nicht mag, schon bei kleinen Lautstärken als störend gelten (z. B. bestimmte Musik). Ferner beeinflusst die persönliche Befindlichkeit die Lärmempfindlichkeit. Von Lärmbelästigung wird dann gesprochen, wenn aufgrund eines oder mehrerer auftretender Geräusche eine Aktivität unterbrochen bzw. behindert wird. Besonders lärmempfindlich reagieren Personen, wenn die sprachliche Kommunikation gestört wird (z. B. wenn ein lautes Gespräch am Nachbartisch das Zuhören erschwert), wenn sie Denkleistungen erbringen oder wenn sie schlafen wollen.

Nachhallzeit (T)

Die Nachhallzeit T (in s) gibt vereinfacht ausgedrückt die Zeitdauer an, die ein Schallereignis benötigt, um unhörbar zu werden. Technisch wird die Nachhallzeit als die Zeitdauer definiert, während derer der Schalldruckpegel im Raum um 60 dB abfällt. Bei Messungen wird die Nachhallzeit häufig aus einem kleineren Dynamikbereich von 30 dB oder auch 20 dB ermittelt; in diesem Zusammenhang spricht man dann von T_{30} - bzw. T_{20} -Werten. In der Raumakustik wird die angestrebte Soll-Nachhallzeit nach DIN 18041 mit T_{Soll} bezeichnet; die EVDI 2569 bezeichnet die maximal zulässige Nachhallzeit mit T_{max} und die minimale empfohlene Nachhallzeit mit T_{min} .

Oktave

Akustische Kenngrößen wie der Schalldruckpegel oder der Schallabsorptionsgrad werden in der Regel in Schrittweiten von Oktaven und Terzen angegeben. Die Kenntnis akustischer Eigenschaften in möglichst kleinen Frequenzschritten ist Voraussetzung für eine genaue akustische Planung. Relevante Oktavfrequenzen in der Raumakustik sind 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz. Die Oktavschritte ergeben sich jeweils durch Verdopplung der vorhergehenden Frequenz. Jede Oktave umfasst drei Terzen (siehe auch Einzahlwerte der Schallabsorption).

Poröser Absorber

Zu den porösen Absorbentien zählen beispielsweise Mineralfasern, Schäume, Teppiche, Stoffe etc. Die Wirkungsweise der porösen Absorber beruht darauf, dass der Schall in die offenen Strukturen des Materials eindringen kann, wo dann die Schallenergie an der Oberfläche der Poren durch Reibung der Luftteilchen in Wärmeenergie umgewandelt wird. Poröse Absorber entfalten ihre Absorptionswirkung in erster Linie bei mittleren und hohen Frequenzen.

Psychoakustik

Teilgebiet der Akustik bzw. der Lärmwirkungsforschung, das sich mit der subjektiven Wahrnehmung objektiv vorhandener Schallsignale beschäftigt. Sie betrachtet ferner den Einfluss persönlicher Einstellungen und Erwartungen des Hörers auf die Wahrnehmung von Schallereignissen.

Raumakustik

Die Raumakustik ist das Gebiet der Akustik, das sich mit der Auswirkung der baulichen Gegebenheiten eines Raums auf die in ihm stattfindenden Schallereignisse beschäftigt. Hierbei kann es sich um Konzertsäle, Theater, Klassenräume, Studios, Kirchen, aber auch um Büros, Callcenter oder Konferenzräume handeln, in denen akustische Darbietungen (Sprache oder Musik) oder Kommunikation allgemein stattfinden. Zentrale Frage der Raumakustik ist, welche Oberflächen eingesetzt werden können, um optimale Hörbedingungen im Raum zu schaffen. Die entscheidende Eigenschaft der Materialien ist in diesem Zusammenhang der Schallabsorptionsgrad.

Räumliche Abklingrate ($D_{2,5}$)

Die räumliche Abklingrate des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache je Abstandsverdopplung $D_{2,5}$ (in dB(A)) wird unter Berücksichtigung des normierten Sprachspektrums der DIN EN ISO 3382-3 aus der räumlichen Abnahme des Schallpegels entlang eines Messpfades ermittelt.

Resonanzabsorber

Resonanzabsorber umfassen alle Arten von Absorbentien, die einen Resonanzmechanismus wie z. B. ein eingeschlossenes Luftvolumen oder eine schwingende Oberfläche nutzen. Sie eignen sich in erster Linie zur Absorption von Schall mittlerer bis tiefer Frequenzen. Die Wirkung der Resonanzabsorber ist im Maximum meist auf einen schmalen Frequenzbereich beschränkt (siehe auch poröser Absorber).

Sabinesche Nachhallformel

Bei Kenntnis des Raumvolumens V und der gesamten in einem Raum vorhandenen äquivalenten Schallabsorptionsfläche A lässt sich anhand der sog. Sabineschen Nachhallformel die Nachhallzeit T abschätzen. Die Entdeckung der engen Beziehung zwischen dem Volumen eines Raums, der Schallabsorption der im Raum vorhandenen Oberflächen und der Nachhallzeit des Raums geht auf den Physiker Wallace Clement Sabine (1868–1919) zurück. Sabine fand heraus, dass die Nachhallzeit T proportional zum Raumvolumen V und umgekehrt proportional zur äquivalenten Absorptionsfläche A ist: $T = 0,163 \cdot V/A$.

Schallabsorber

Schallabsorber sind Materialien, die auftreffenden Schall dämpfen bzw. in andere Energieformen umwandeln. Zu unterscheiden sind poröse Absorber und Resonanzabsorber sowie Kombinationen dieser Absorbertypen.

Schallabsorptionsgrad (α)

Der Schallabsorptionsgrad α eines Materials gibt an, wie groß der absorbierte Anteil der gesamten einfallenden Schallenergie ist. Ein Schallabsorptionsgrad von $\alpha = 0$ bedeutet, dass keine Absorption stattfindet; die gesamte einfallende Schallenergie wird reflektiert. Bei $\alpha = 0,5$ wird 50 % der Schallenergie absorbiert und 50 % reflektiert. Bei $\alpha = 1$ wird der gesamte einfallende Schall absorbiert, eine Reflexion findet nicht statt. In der Raumakustik trifft man meistens den durch die Hallraummethode ermittelten Sabineschen Schallabsorptionsgrad α_s (in Terzbändern) oder den davon abgeleiteten praktischen Schallabsorptionsgrad α_p (in Oktavbändern) an. Als Einzahlwert wird aus dem praktischen Schallabsorptionsgrad α_p schließlich der bewertete Schallabsorptionsgrad α_w gebildet.

Schalldämmung

Schalldämmung bezeichnet die Einschränkung der Schallausbreitung durch Raumbegrenzungen. Die Schalldämmung ist somit eine Maßnahme zur akustischen Trennung von Räumen gegen nicht erwünschten Schall von Nachbarräumen oder von draußen. Dies hat nichts mit der benötigten Schalldämpfung innerhalb des Raums zu tun (siehe Schalldämpfung). Die Schalldämmung ist eine grundlegende Größe der Bauakustik. Unterschieden werden die Luftschalldämmung und die Trittschalldämmung. Luftschall entsteht durch Schallquellen im Raum, die keine unmittelbare Anbindung an die Raumbegrenzungen haben, z. B. sprechende Menschen. Trittschall entsteht dagegen durch Körperschall (Schritte, Klopfen), der seinerseits Wände oder Decken zur Abstrahlung von Luftschall anregt. Sowohl für die Luftschalldämmung als auch für die Trittschalldämmung existieren baurechtlich eingeführte Anforderungen an Gebäude.

Schalldämpfung

Die Schalldämpfung, auch Schallabsorption, beschreibt die Fähigkeit von Materialien, Schall zu absorbieren, d. h. die auftretende Schallenergie in andere Energieformen, letztendlich in Wärmeenergie, umzuwandeln (siehe auch Schalldämmung). Schalldämpfung ist der zentrale Wirkmechanismus der Raumakustik.

Schalldruck (p)

Allen Schallereignissen ist gemeinsam, dass sie kleine Druckschwankungen auslösen, die sich in elastischen Medien wie Luft, Wasser oder auch Festkörpern ausbreiten können. Daher spricht man vom Schalldruck p eines Tons. Je stärker die Druckschwankungen ausfallen, desto lauter wird das Schallereignis wahrgenommen. Die Einheit des Schalldrucks ist Pascal (Pa).

Schalldruckpegel (L_p)

Der Schalldruckpegel (L von engl. *level* ‚Pegel‘, p von engl. *pressure* ‚Druck‘) ist eine logarithmische Größe zur Beschreibung der Stärke eines Schallereignisses. Häufig wird der Schalldruckpegel – nicht ganz korrekt – als „Schallpegel“ bezeichnet. Der Schalldruckpegel wird mit der Maßeinheit Dezibel (dB) gekennzeichnet. Die Messung von Schalldrücken und damit auch die Bestimmung von Schalldruckpegeln erfolgt mit Mikrofonen. Der messbare Pegelbereich beginnt nicht wesentlich unter 0 dB und endet bei einer Größenordnung von ca. 150 bis 160 dB.

Schalldruckpegel in 4 m Abstand ($L_{p,A,S,4m}$)

Der A-bewertete Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4 m, kurz $L_{p,A,S,4m}$ (in dB(A)), wird nach DIN EN ISO 3382-3 auf der Basis von Messungen entlang eines Messpfades ermittelt.

Schallereignis

Zusammenfassende Bezeichnung für Töne, Musik, Knalle, Rauschen, Knistern etc.

Schallgeschwindigkeit (c)

Die Schallgeschwindigkeit c in Luft (in m/s), also die Geschwindigkeit, mit der sich eine Schallwelle in der Luft fortbewegt, beträgt bei 20 °C ca. 343 m/s. Die Schallgeschwindigkeit in Luft ist stark von der Temperatur abhängig.

Schallmaskierung

Bei der Schallmaskierung (engl. sound masking) werden gezielt natürliche (z. B. Vogelgezwitscher) oder künstliche Geräusche (z. B. Rauschen) genutzt, um andere Geräusche zu überlagern. Diese Methode kann beispielsweise zur Verdeckung von informationshaltigen Geräuschen genutzt werden, wenn die sonstigen Hintergrundgeräusche zu gering sind, um diesen zu „maskieren“.

Schallschirm

Grundsätzlich ist ein Schallschirm ein Hindernis, das die direkte Ausbreitung des Schalls von einer Quelle zu einem Empfänger unterbricht. Dies kann eine Stellwand oder ein Aufsatz auf einen Schreibtisch sein. Auch Schränke und andere großflächige Einrichtungs-elemente können die Funktion eines Schallschirms übernehmen. Schallschirme können mit einer schallabsorbierenden Oberfläche ausgestattet sein, die die Schallausbreitung zusätzlich reduziert.

Schallspektrum

Das Schallspektrum beschreibt die Frequenzzusammensetzung des Schalls. Reine Töne sind Schallereignisse mit einer einzelnen Frequenz wird je nach Zusammensetzung als Klang, Geräusch oder auch Knall bezeichnet.

Schallwelle

Schwankungen des Drucks (z. B. des Luftdrucks), die durch Schallereignisse ausgelöst werden und sich im Raum ausbreiten, werden Schallwellen genannt. Die Länge der Schallwellen definiert die Frequenz, die Stärke der Schwankungen den Schalldruckpegel. Lange Schallwellen haben eine niedrige Frequenz und werden als tiefe Töne wahrgenommen. Kurze Schallwellen haben eine hohe Frequenz und werden als hohe Töne wahrgenommen.

Sprachübertragungsindex (STI)

Der Sprachübertragungsindex (engl. Speech Transmission Index, STI) ist ein Maß für die Verständlichkeit von Sprache, z. B. in Räumen mit Hall und Hintergrundgeräuschen. Der STI kann Werte von 0 bis 1 annehmen.

Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche ($L_{NA,Bau}$)

Der Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche $L_{NA,Bau}$ (in dB(A)) bezeichnet den A-bewerteten Schalldruckpegel im betrachteten Raum, der von Außengeräuschen, Geräuschen aus Nachbarräumen, von haustechnischen Anlagen, Sanitärinstallationen und den fest installierten medientechnischen Geräten erzeugt wird.

Terz

Siehe Oktave.

Vetraulichkeitsabstand (r_p)

Der Vertraulichkeitsabstand r_p (in m) ist definiert als der Abstand zur Schallquelle, an dem der STI-Wert auf 0,20 gesunken ist. Die Bestimmung erfolgt auf Grundlage einer Messung nach DIN EN ISO 3382-3 entlang eines Messpfades.

Wellenlänge (λ)

Die Wellenlänge λ einer Schallwelle (in m) hängt über die Schallgeschwindigkeit c mit der Frequenz f der Schallwelle zusammen: $\lambda = c/f$. Eine 100-Hz-Welle hat in der Luft eine Wellenlänge von ca. 3,43 m, eine 5000-Hz-Welle hingegen eine Wellenlänge von ca. 7 cm.

Literaturverzeichnis

Normen, Richtlinien, Empfehlungen

ASTM C423, Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficients by the reverberation room method, 2009

DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung, 2016

DIN 4109-1 Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen, 2016

DIN 4109 Beiblatt 2 Schallschutz im Hochbau – Hinweise für Planung und Ausführung – Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz – Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich, 1989 (in der Neufassung der DIN 4109 von 2016 ist das Beiblatt 2 nicht mehr enthalten)

DIN 45645-2 Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Teil 2: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereichs der Gehörgefährdung, 2012

DIN EN 60268-16 Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2011), 2012

DIN EN ISO 11654 Akustik – Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden – Bewertung der Schallabsorption, 1997

DIN EN ISO 11690-1 Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 1: Allgemeine Grundlagen, 1997

DIN EN ISO 17624 Akustik – Leitfaden für den Schallschutz in Büros und Arbeitsräumen durch Schallschirme, 2005

DIN EN ISO 3382-2 Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen, 2008 (bitte auch beachten: DIN EN ISO 3382-2 Berichtigung 1, 2009)

DIN EN ISO 3382-3 Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Großraumbüros, 2012

DIN EN ISO 354 Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen, 2003

VDI 2058 Blatt 3 Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten, 2014

E VDI 2569 Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro, 2013 (Entwurf zur Neufassung)

Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV), 2007

U. J. Kurze, H. Nürnberger, Schallschirme für Fertigungs- und Büroräume, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund/Berlin, 2000

B. Staubli, Belästigender Lärm am Arbeitsplatz, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern, 2006

C. A. Sust, H. Lazarus, Bildschirmarbeit und Geräusche – Auswirkungen von Geräuschen mittlerer Intensität auf simulierte Bürotätigkeiten unterschiedlicher Komplexität, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund/Berlin/Dresden, 2002

P. van den Brulle, Schalltechnische Gestaltung von Büroräumen mit Bildschirmen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund, 1995

Bücher

T. J. Cox, P. D'Antonio, Acoustic absorbers and diffusers, Taylor & Francis, London/New York, 2009

L. Cremer, H. A. Müller, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band I und II, Hirzel Verlag, Stuttgart, 1978 und 1976

W. Fasold, E. Sonntag, H. Winkler, Bau- und Raumakustik, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1987

W. Fasold, E. Veres, Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, Verlag Bauwesen, 2. Auflage, 2003

H. Lazarus, C. A. Sust, R. Steckel, M. Kulka, P. Kurtz, Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation, Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 2007

E. Mommertz, Akustik und Schallschutz – Grundlagen, Planung, Beispiele, Edition Detail, 2008

C. Nocke, Raumakustik im Alltag – Hören, Planen, Verstehen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2014

K. Weisse, Leitfaden der Raumakustik für Architekten, Verlag des Druckhauses Tempelhof, Berlin, 1949

Sonstiges

Absorptionsgradtabellen für gebräuchliche Materialien:
www.ptb.de (Fachabteilung 1.63) und www.iba.online

Herausgeber/Copyright



Industrieverband Büro und Arbeitswelt e.V. (IBA)



iba

INDUSTRIEVERBAND
BÜRO UND ARBEITSWELT

Industrieverband
Büro und Arbeitswelt e.V. (IBA)

Bierstädter Straße 39
65189 Wiesbaden

Telefon 0611 1736-0
Telefax 0611 1736-20

www.iba.online
info@iba.online