



GRUNDLAGEN DER AKUSTIK

INHALTSVERZEICHNIS

1. VORWORT	03
2. RAUMAKUSTIK VERSUS BAUAKUSTIK	04
3. GRUNDLAGEN DER AKUSTIK	05
3.1 Schall	05
3.2 Schalldruck	06
3.3 Schalldruckpegel und Dezibelskala	06
3.4 Schalldruck bei mehreren Quellen	07
3.5 Frequenz	08
3.6 Frequenzen bei der Planung von Räumen	09
3.7 Wellenlänge des Schalls	09
3.8 Pegelwerte	10
4. RAUMAKUSTISCHE GRÖSSEN	11
4.1 Nachhallzeit	11
4.2 Schallabsorption	14
4.3 Schallabsorptionsgrad und Nachhallzeit	16
4.4 Bewertung der Schallabsorption	16
5. STICHWORTVERZEICHNIS	18



1. VORWORT

Lärm wird in zunehmenden Maße in vielen Lebensbereiche vermehrt als Belästigung oder gar Störung empfunden. Dies ist sowohl im privaten wie auch im beruflichen Umfeld zu beobachten. So zeigen zahlreiche Studien zur Wechselwirkung zwischen raumakustischen Bedingungen und Lärmbelastung die Relevanz einer guten Raumakustik auf. Sei es, dass Lernerfolg in Schulen durch schlechte akustische Bedingungen gemindert oder auch die Arbeitseffizienz im Büro gestört wird, häufig liegt die Ursache in nicht angemessen raumakustischen Bedingungen. Entsprechende Forschungsergebnisse im Bereich der Klassenraumakustik waren einer der Anlässe, die DIN 18041 zur „Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räume“ aus dem Jahre 1968 zu überarbeiten und die Empfehlungen für die Nachhallwerte in Klassenräumen mit der Neufassung 2004 deutlich abzusenken. Weiterhin wurde die Norm hinsichtlich der Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit detaillierter gefasst und der Bereich der zu berücksichtigenden Räume erweitert.

Die Hörsamkeit eines Raums, d.h. akustische Eignung für die jeweilige Nutzung, wird von sämtlichen Einrichtungsgegenständen sowie Materialien im Raum bestimmt. Im Sinne einer guten Akustik sollen die Räume dazu beitragen, dass wir Sprache, Musik oder andere Geräusche nicht als zu laut oder zu leise empfinden, wir uns ohne Mühe verständigen können und uns in ihnen wohl fühlen.

Zur Einführung und fachlichen Unterstützung bei der Behandlung des zunächst ein wenig unübersichtlich erscheinenden Themas Raumakustik hat Creation Baumann diese Broschüre erstellt. Sie erläutert wichtige Begriffe und erklärt Grundlagen und Zusammenhänge der Raumakustik.

Mit seiner Palette kreativer Raumtextilien stellt Création Baumann akustisch wirksame und gestalterisch ansprechende Lösungen zur Raumakustik zu Verfügung. Die Bandbreite der akustischen Wirksamkeit textiler Anwendungen wird häufig unterschätzt. Hier zeigt Création Baumann durch umfangreiche Dokumentationen zur akustischen Wirksamkeit seiner Materialien, die separat erhältlich sind, das ganze Potential fortschrittlicher Akustiklösungen durch Textile Gestaltung im Raum auf.

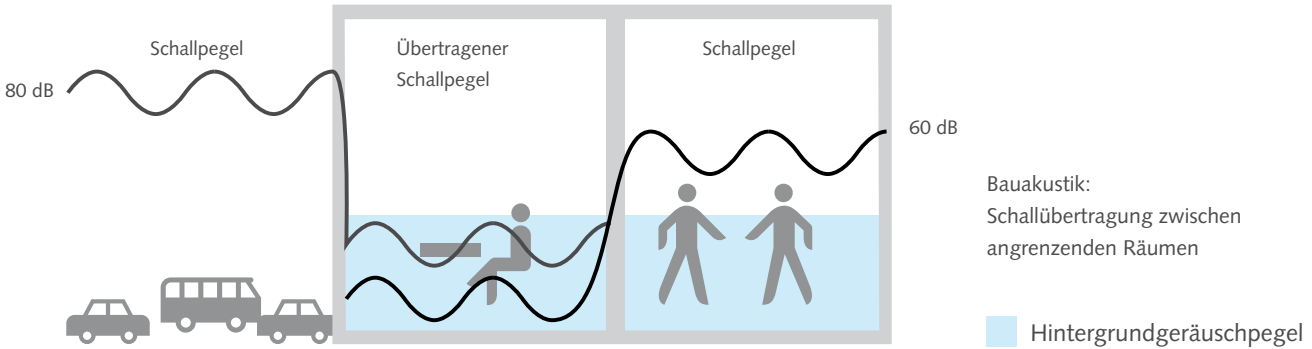


2. RAUMAKUSTIK VERSUS BAUAKUSTIK

Der Unterschied zwischen den Bereichen Raumakustik und Bauakustik wird erst bei näherer Betrachtung schalltechnischer Fragestellungen offenbar. In der Bauakustik lautet die Frage stets:

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

Die entscheidende bauakustische Eigenschaft eines Bauteils ist die **Schalldämmung**. Im Wesentlichen geht es um die Fähigkeit von Bauteilen – Wände, Decken, Türen, Fenster – den Schallübergang zwischen zwei Räumen möglichst gering zu halten. Eine hohe Schalldämmung wird in der Regel durch massive, schwere Bauteile erreicht, die den Schall an seiner Ausbreitung hindern.

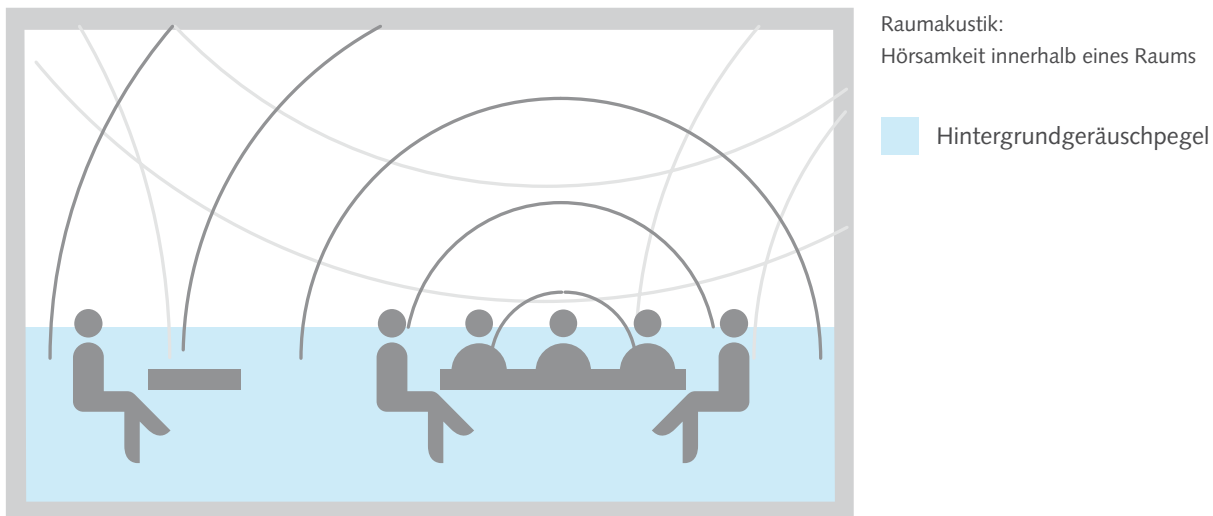


Die Schalldämmung von Bauteilen wird für Luftschall durch das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w beschrieben, einem Wert, der mit Hilfe einer Bewertungskurve aus dem frequenzabhängigen Bau-Schalldämm-Maß R' ermittelt wird. Der Wert R'_w eines Bauteils kann mittels Messung vor Ort oder auch anhand von Rechenmodellen bestimmt werden. Eine Verbesserung der Schalldämmung lässt sich durch verschiedene Maßnahmen erzielen.

In der Raumakustik hingegen lautet die Frage:

Durch welche Oberflächen schaffe ich optimale Hörbedingungen im Raum?

Entscheidende Eigenschaft ist in diesem Fall die **Schalldämpfung** der Oberflächen im Raum. **Schalldämpfung** beschreibt die Fähigkeit von Materialien, Schall zu absorbieren bzw. die auftreffende Schallenergie aufzunehmen und in andere Energieformen umzuwandeln. **Schalldämpfung** ist die Wirkung von Schallabsorbieren.



Die Schallabsorption einer Oberfläche wird durch den frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrad α_s oder auch vereinfacht durch einen gemittelten Schallabsorptionsgrad – wie α_w – beschrieben. Der Schallabsorptionsgrad akustisch wirksamer Oberflächen wird üblicherweise durch Messungen in speziellen Labors, sogenannten Hallräumen, ermittelt.

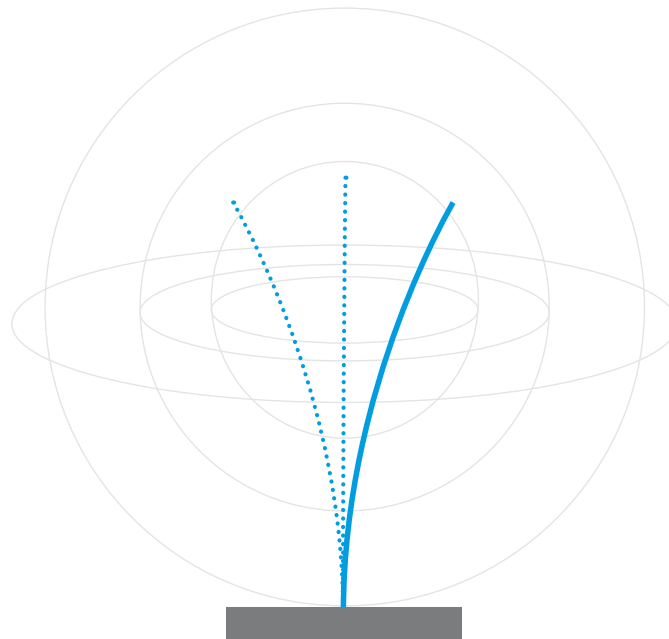
Die Begriffe **Schalldämmung** und **Schalldämpfung** sind somit klar definiert und den Bereichen Bauakustik und Raumakustik zugeordnet. Fühlt man sich durch Geräusche aus einem benachbarten Raum belästigt, so kann letztlich nur die Erhöhung der Schalldämmung des trennenden Bauteils dazu beitragen, die Situation zu verbessern.

Die Schalldämpfung in einem Raum kann prinzipiell nur in geringem Maße zur Erhöhung der Pegeldifferenz zwischen Räumen beitragen, indem bereits im Raum der Lärmentstehung bzw. im Empfangsraum ein Teil des Schalls „geschluckt“ wird und somit die Wahrnehmung der Lautstärke beeinflusst. Der schallpegelmindernde Effekt schalldämpfender, d.h. raumakustischer Maßnahmen ist erfahrungsgemäß wesentlich geringer, als durch bauakustische Optimierungen des trennenden Bauteils erreicht werden kann.

3. GRUNDLAGEN DER AKUSTIK

3.1 SCHALL

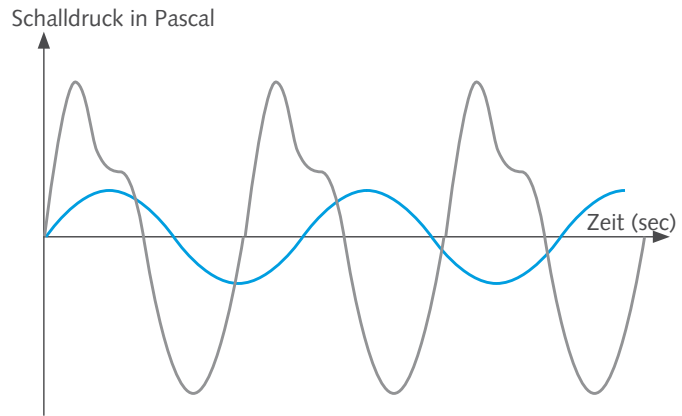
Schall, das können wohlklingende Töne, Musik, Knalle, Rauschen, Knistern, aber auch gesprochene Sprache sein. All diesen Schallereignissen ist gemeinsam, dass sie in der Luft eine geringe Schwankung des Luftdrucks bzw. der Dichte auslösen, die sich von dem Ort der Entstehung in die Umgebung ausbreitet. Meist breitet sich Schall in alle drei Raumrichtungen aus, viele Schallquellen können daher als Kugelquellen betrachtet werden. Die räumlich und zeitlich wiederkehrende Schwankung des Luftdrucks bzw. der zugehörigen Dichte wird als Schallwelle bezeichnet. Schallwellen können in Luft, aber auch in anderen Gasen, ebenfalls in Flüssigkeiten wie Wasser oder auch Festkörpern wie Steinen auftreten. Entsprechend wird zwischen Luftschall, Flüssigkeitsschall und Körperschall unterschieden. Sehr allgemein ausgedrückt kann Schall als die Ausbreitung von Druck- und Dichteschwankungen in einem elastischen Medium – Gase, Flüssigkeiten, Festkörper – definiert werden. Bei dem Schalldurchgang durch eine Wand oder ein anderes Bauteil kommt es zu einer Umwandlung des auftreffenden Luftschalls in Körperschall (Schwingung der Wand) und anschließend wiederum zur Abstrahlung von Luftschall durch die schwingende Wand.



Unerwünschte Geräusche werden als Lärm bezeichnet. Bei dieser Definition wird deutlich, dass die Wahrnehmung eines Geräusches stark subjektiv geprägt ist. Die Psychoakustik als Teilgebiet der Akustik oder auch die Lärmwirkungsforschung beschäftigen sich mit dem Zusammenhang zwischen der subjektiven Wahrnehmung und den objektiv vorhandenen Schallereignissen. Hierbei wird häufig zwischen dem gewollten Nutzschall – Musik im Konzert oder die Stimme beim Gespräch – und dem ungewollten Störschall – Verkehrslärm, Musik des Nachbarn – unterschieden.

3.2 SCHALLDRUCK

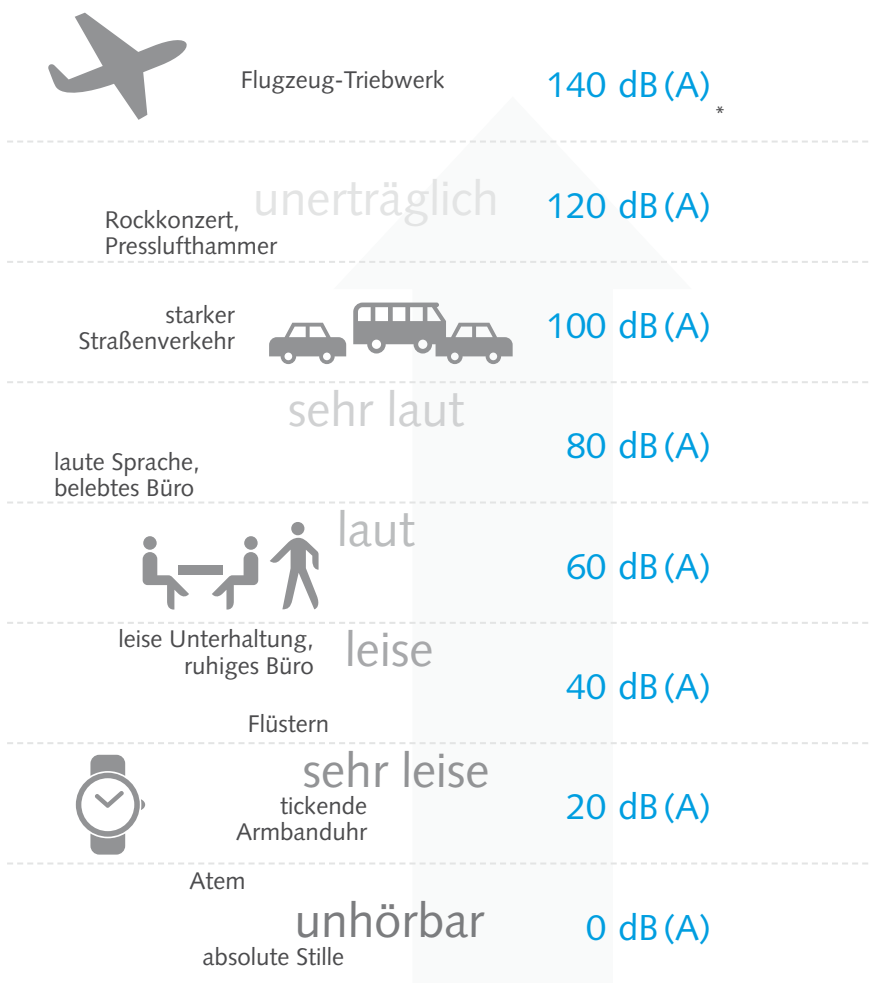
Die Schwankungen des Luftdrucks werden als Schalldruck bezeichnet. Somit kann zu jedem Schallereignis, sei es ein einzelner Ton, ein Klang, ein Geräusch, Sprache oder Musik, der jeweilige Schalldruck bestimmt werden. Je lauter ein Schallereignis, desto stärker ist die vorhandene Luftdruckschwankung, und desto höher ist der Schalldruck. Kleine Schalldruckschwankungen werden als leise Geräusche wahrgenommen. Der vom Menschen minimal wahrnehmbare Schalldruck liegt bei $20 \mu\text{Pa} = 0.00002 \text{ Pascal}$, einem sehr geringen Wert, der zeigt, wie empfindlich das menschliche Gehör ist. Bei Schalldrücken von 20 Pascal kann es dagegen zu Schädigungen des Gehörs schon bei kurzer Einwirkung kommen.



3.3 SCHALLDRUCKPEGEL UND DEZIBELSKALA

Die Lautstärke, d.h. der Schalldruck, wird in der Regel als Schalldruckpegel, kurz Schallpegel, angegeben. Ein Schallpegel von 0 Dezibel wurde bei der Definition der Dezibelskala als der Schalldruck definiert, bei dem die Hörwahrnehmung beginnt. Aus der Definition des Dezibels als Einheit für den Schalldruckpegel folgt eine Skala von 0 Dezibel, abgekürzt dB, und 120-140 dB. Bei Dauergeräuschen ab 80 dB über lange Zeiträume oder aber 120 dB und mehr bei sehr kurzen Schallereignissen (Knalle) kann es zu irreversiblen Schädigungen des Gehörs kommen.

Dezibel








* Definition siehe Kapitel 5

3.4 SCHALLDRUCK BEI MEHREREN QUELLEN

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

SCHALLDRUCKERHÖHUNG BEI GLEICHEN SCHALLQUELLEN

Beispiel Wecker	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

Anzahl gleicher Schallquellen	Schalleistung	Schalldruck	Schallpegel
	× 100	× 10	+ 20dB
	× 10	× 3,2	+ 10dB
	× 4	× 2	+ 6dB
	× 2	× 1,4	+ 3dB
	× 1	× 1	0dB

Erhöhung des Schalldruckpegels bei einer Vervielfachung der Anzahl gleicher Schallquellen.

Die folgende Tabelle bietet eine vereinfachte Merkregel zur Addition von zwei Pegelwerten. Zunächst ist zu prüfen, welche Differenz zwischen den beiden Pegeln besteht.

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

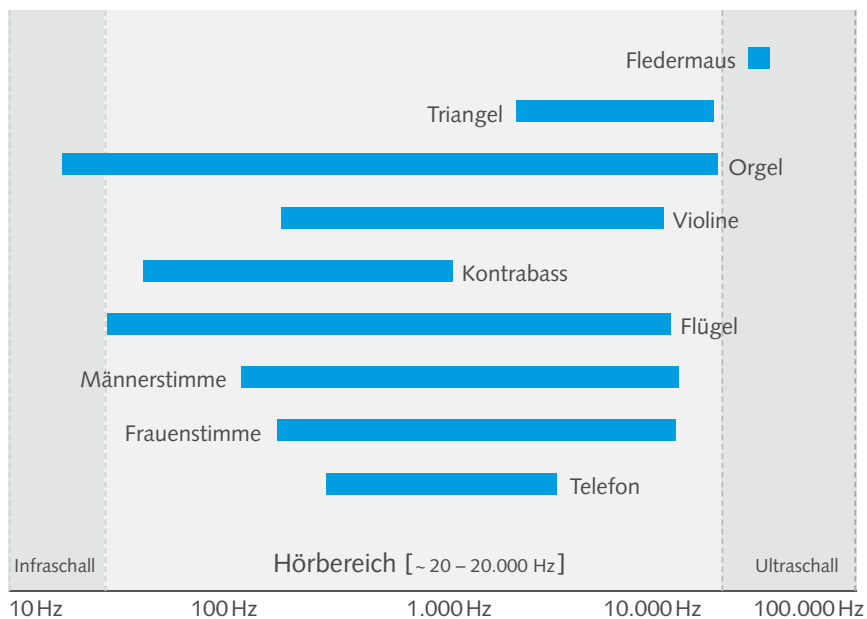
Beispiel: Bei zwei Quellen mit 45 dB und 52 dB ergibt sich aufgrund der Differenz von 7 dB eine Zunahme um 1 dB, d.h. addiert zu 52 dB ein Gesamtpegel von 53 dB.

3.5 FREQUENZ

Die Frequenz gibt die Anzahl der Schalldruckänderungen bzw. Schwingungen pro Sekunde an. Die Frequenz trägt den Formelbuchstaben f und die Einheit Hertz (Hz). Eine Frequenz von 1.000 Hz bedeutet 1.000 Schwingungen pro Sekunde. Der Schalldruck bzw. Schallpegel wird als Lautstärke wahrgenommen und ist somit eine wichtige Eigenschaft des Schalls. Ebenso große Bedeutung wie der Schalldruckpegel hat auch die Frequenzzusammensetzung des Schalls – kurz das Spektrum. Reine Töne sind Schallereignisse 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 in dem Frequenzbereich der menschlichen Sprache zwischen 250 Hz und 2.000 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.

Frequenzen – gemessen in Hertz (Hz)



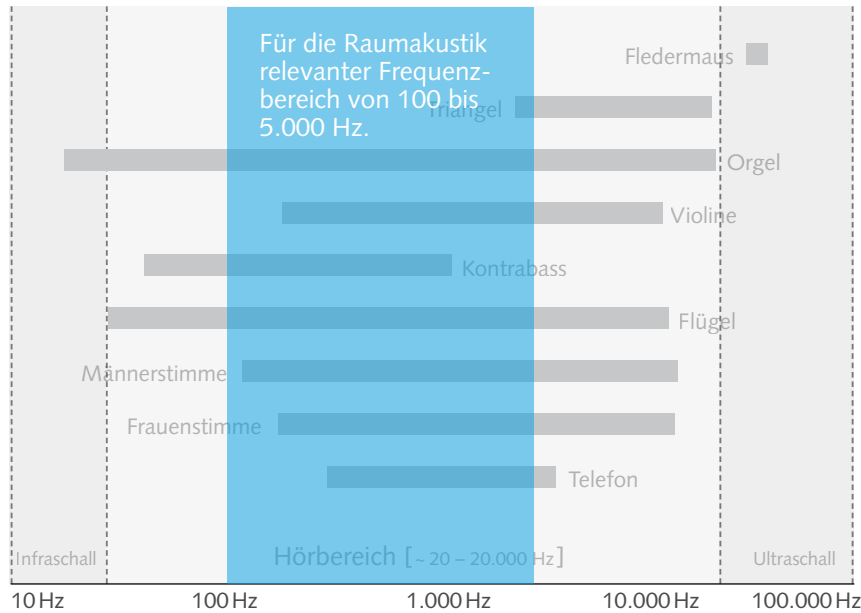
Für eine Lautstärkebewertung von Geräuschen, die dem menschlichen Gehör gerecht wird, ist die Frequenzcharakteristik des menschlichen Gehörs zu berücksichtigen. Die mittleren Frequenzen, bei denen das menschliche Gehör besonders empfindlich ist, werden bei der Bildung eines Summenpegels aus dem Spektrum stärker berücksichtigt als die hohen und tiefen Frequenzen. Diese Gewichtung führt zu der Bezeichnung dB(A) für Schalldruckpegel, dem sogenannten A-bewerteten Schalldruckpegel.

Nahezu sämtliche Vorschriften, Richtlinien, Richtwerte, Grenzwerte, Empfehlungen und Hinweise zu Schalldruckpegeln nutzen Werte in dB(A).

3.6 FREQUENZEN BEI DER PLANUNG VON RÄUMEN

Der für die Planung von Räumen relevante Frequenzbereich orientiert sich einerseits an dem menschlichen Gehör und andererseits daran, was technisch sinnvoll und realisierbar ist. Akustische Planungen sollten grundsätzlich die für den Menschen relevanten Frequenzen des Schalls berücksichtigen. Frequenzen oberhalb von 5.000 Hz werden bereits von der Luft so stark gedämpft, dass es technisch nicht sinnvoll ist, diese Frequenzen in die raumakustische Planung einzubeziehen. Die international genormten Prüfverfahren zur Bestimmung der Schallabsorption von Materialien beziehen sich entsprechend auf den Frequenzbereich von 100 Hz bis 5.000 Hz. Auch raumakustische Planungen beziehen sich üblicherweise auf diesen Frequenzbereich.

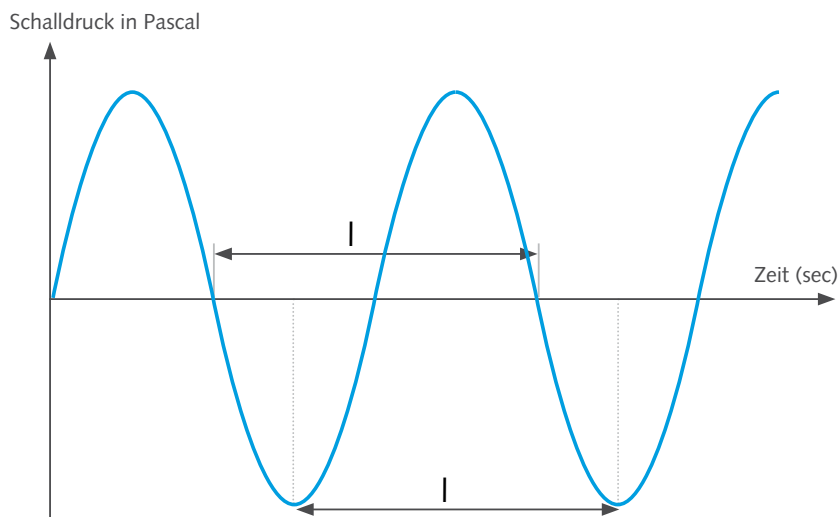
Relevante Frequenzbereiche



3.7 WELLENLÄNGE DES SCHALLS

Jeder Frequenz des Schalls kann eine Schallwelle mit einer bestimmten Wellenlänge auslösen. Eine 100 Hz-Welle hat in Luft eine Ausdehnung von 3,40 Metern, eine 5.000 Hz-Welle dagegen eine Wellenlänge von nur ca. 7 Zentimetern. Die beteiligten Schallwellenlängen in der Raumakustik sind demnach zwischen 0,07 m und 3,40 m lang. Somit sind die Abmessungen von Schallwellen durchaus in der Größenordnung der Abmessungen von Räumen und Einrichtungsgegenständen.

Wellenlänge l

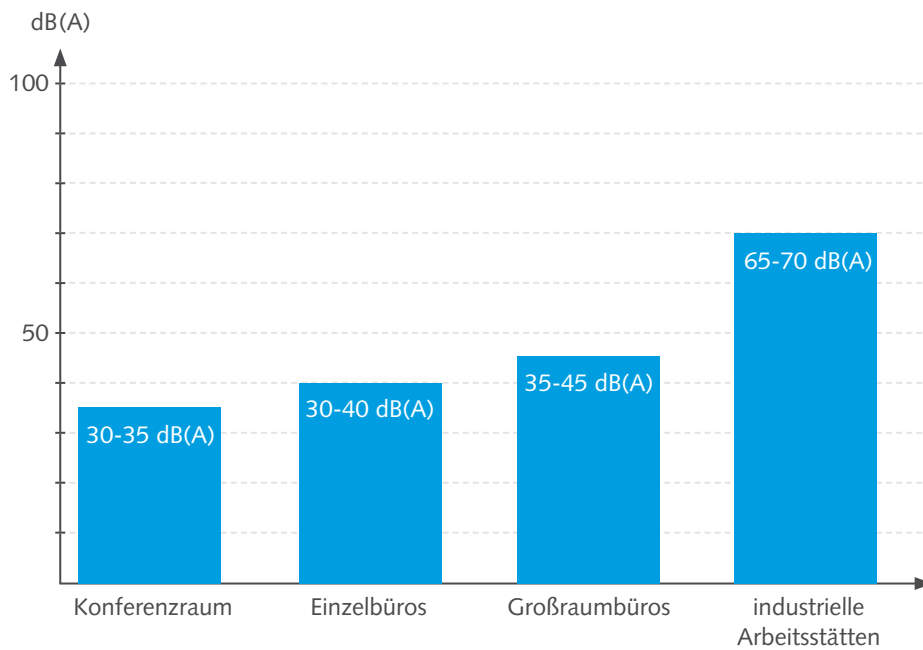


3.8 PEGELWERTE

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 sowie deren Einwirkdauer ergibt.

Der Beurteilungspegel wird in der Regel auf eine Beurteilungszeit von acht Stunden bezogen, wobei es in der Regel genügt, kurze repräsentative Zeitabschnitte zu erfassen. Hohe Hintergrundgeräuschpegel mindern die Konzentration und somit die Leistungsfähigkeit. Aus diesem Grund finden sich in verschiedenen Regelwerken Empfehlungen für den maximal zulässigen Hintergrundgeräuschpegel in Räumen.

Werte für den empfohlenen Hintergrundgeräuschpegel aus der DIN EN ISO 11690:

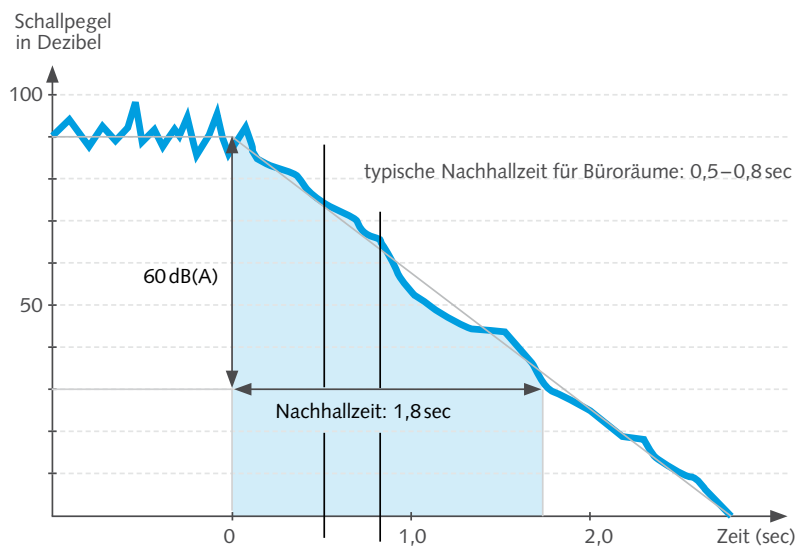


4. RAUMAKUSTISCHE GRÖSSEN

4.1 NACHHALLZEIT

Die Nachhallzeit bildet die Grundlage für eine Bewertung der raumakustischen Situation in Räumen. Sie gibt – einfach ausgedrückt – die Zeitdauer an, die ein Schallereignis benötigt, um unhörbar zu werden. Technisch wurde die Zeitdauer für eine Abnahme des Schalldruckpegels im Raum um 60 dB als Nachhallzeit T definiert, d.h. wird ein Raum mit einem Geräusch 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 mehrere Sekunden sein. Die Messung der Nachhallzeit ist grundsätzlich in jedem geschlossenen Raum möglich.

Nachhallzeit



Durch die objektiv messbare Größe der Nachhallzeit werden unterschiedlichste Räume miteinander vergleichbar und können in ihrer raumakustischen Qualität bewertet werden.

Typische Nachhallzeiten verschiedener Raumarten sind:

Raumtyp	Nachhallzeit (exemplarisch)
Kirche	ca. 4 – 8 Sekunden
Klassenraum – mittlere Größe	0,6 Sekunden
Büroraum – je nach Größe	0,5 – 0,8 Sekunden
Konzertsaal für klassische Musik	ca. 1,5 Sekunden

Die Nachhallzeit hat einen direkten Einfluss auf die Sprachverständlichkeit in einem Raum. Allgemein gilt, dass mit zunehmender Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit in einem Raum abnimmt. Das bedeutet nicht, dass die kürzeste Nachhallzeit die beste Nachhallzeit ist. Eine sehr schlechte Sprachverständlichkeit deutet in der Regel auf eine zu lange Nachhallzeit hin. Aber auch über den Verlauf der Nachhallzeit über der Frequenz kann selbst der raumakustische Laie anhand seines eigenen subjektiven Eindrucks von einem Raum Hinweise erhalten. Hierzu kann die nachfolgende Tabelle verwendet werden.

Klingt beispielsweise Sprache in einem Raum verwaschen, und erfordert es große Anstrengungen, sich zu verstehen, so ist davon auszugehen, dass die Nachhallzeit insgesamt zu lang ist. Akustisch „trocken“ bezeichnet in diesem Zusammenhang, dass der Schall unnatürlich schnell geschluckt wird. Geschieht dies nur bei hohen Frequenzen, klingt der Raum eher dumpf oder dröhnend. Ein schrill und spitz klingender Raumeindruck weist hingegen auf zu lange Nachhallwerte bei hohen Frequenzen hin.

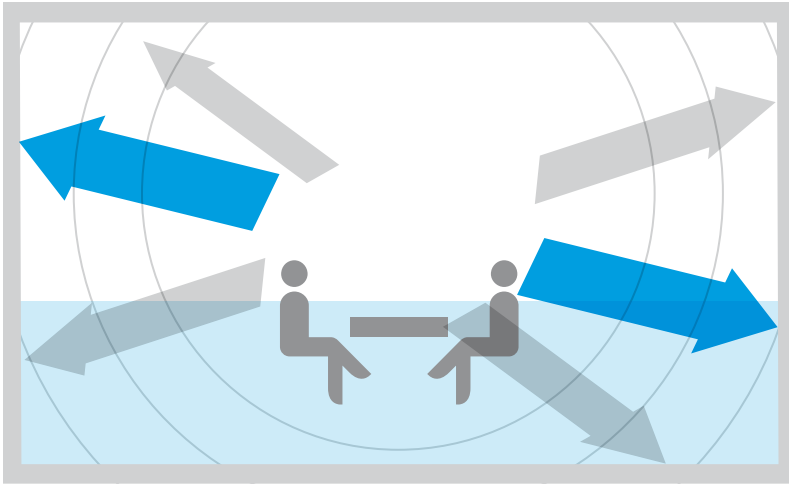
Darbietung	Nachhallzeit bei tiefen Tönen	Nachhallzeit bei hohen Tönen	Subjektiver Eindruck
Sprache	zu lang zu lang zu kurz zu kurz	zu lang zu kurz zu lang zu kurz	verwaschen, schlecht zu verstehen dumpf, aber gut zu verstehen schrill, spitz, evtl. zischeln, schlecht zu verstehen trocken, aber gut zu verstehen

Die Nachhallzeit hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab: von dem Volumen des Raums, von den Oberflächen sowie von den vorhandenen Einrichtungsgegenständen.

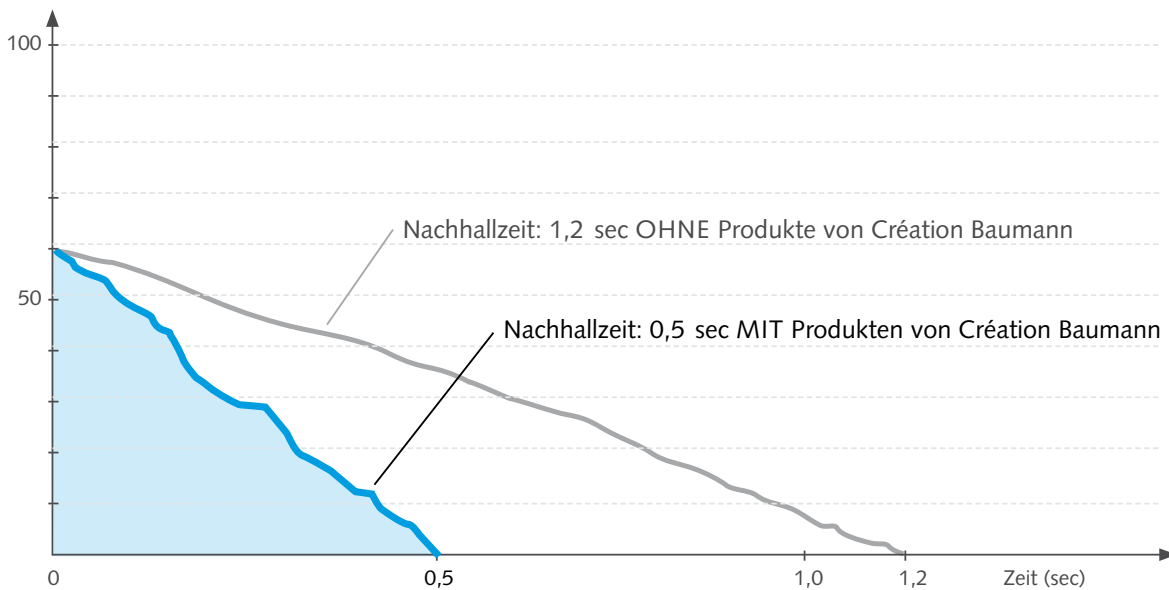
Grundsätzlich gilt:

- 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 – vermindern dagegen die Nachhallzeit.



Schallpegel
in Dezibel

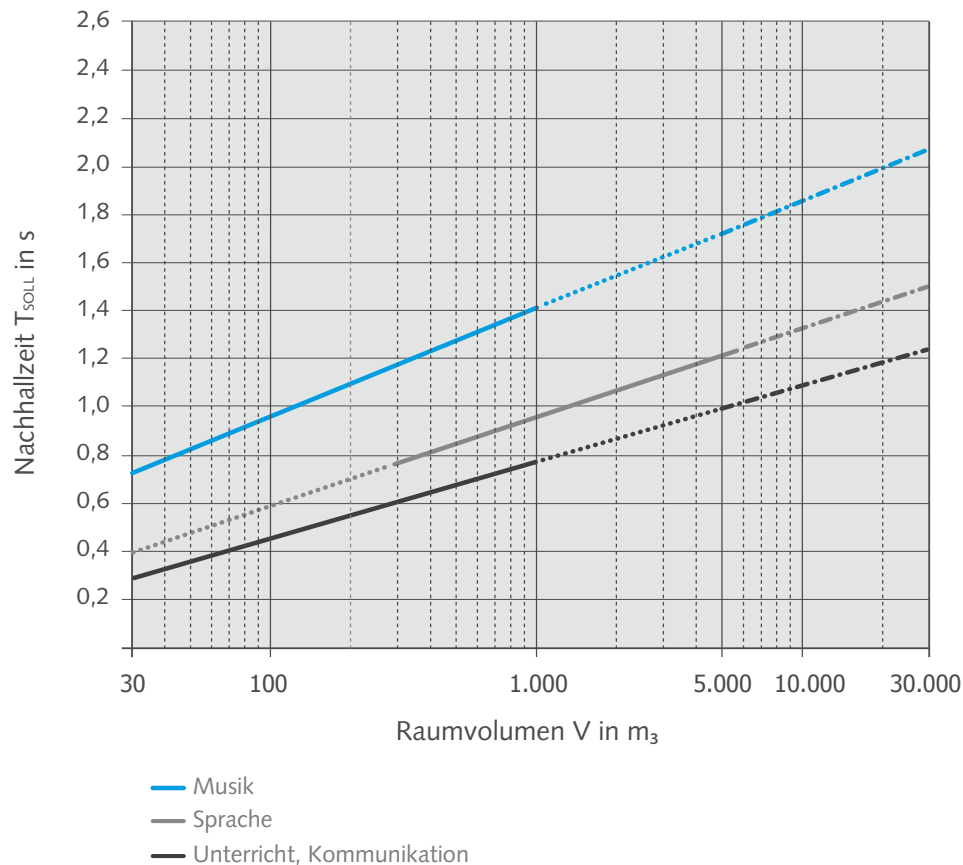


Beide Größen, das Volumen und die Absorptionsflächen in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen, ist eine wesentliche Aufgabe der raumakustischen Planung. In einem zweiten Schritt ist über die optimale Positionierung von reflektierenden und absorbierenden Flächen im Raum nachzudenken.

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 zum Beispiel gewölbten Flächen oder stark schwankenden Raumhöhen, eine wesentliche Bedeutung.

Die Empfehlungen und Hinweise der DIN 18041 sollten stets die Grundlage für raumakustische Planungen sein. Die DIN 18041 unterscheidet im Hinblick auf die optimale Nachhallzeit zwischen drei Kategorien: „Musik“, „Sprache“ und „Unterricht“.

Kommunikationsintensive Räume wie Besprechungsräume, Konferenzräume oder Mehrpersonenbüros sollten gemäß der Kategorie „Unterricht“ behandelt werden.



Zwei Beispiele

1. Beispiel:

Ein Konferenzraum (Nutzung „Kommunikation und Unterricht“) mit einem Raumvolumen von 250 m³ sollte eine Nachhallzeit von 0,60 s aufweisen.

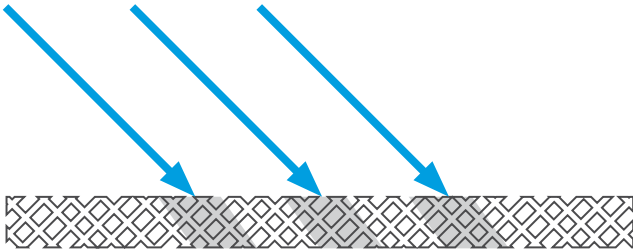
2. Beispiel:

Ein Kammermusiksaal (Nutzung „Musik“) mit einem Raumvolumen von 550 m³ sollte über eine Nachhallzeit von 1,30 s verfügen.

4.2 SCHALLABSORPTION

Der Schallabsorptionsgrad α beschreibt die Eigenschaft eines Materials, auftreffenden Schall in andere Energieformen – z.B. Wärme- oder Bewegung – umzuwandeln und somit zu absorbieren.

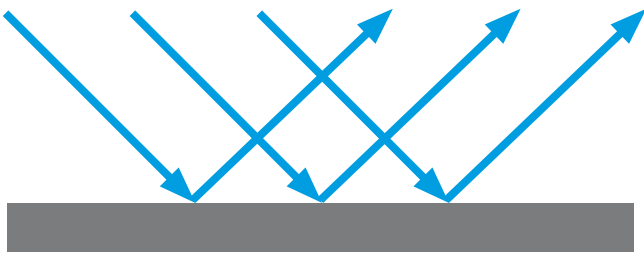
Abbildung 1: Vollständige Schallabsorption und keine Reflexion – Schallabsorptionsgrad $\alpha=1$



Vollständige Schallabsorption

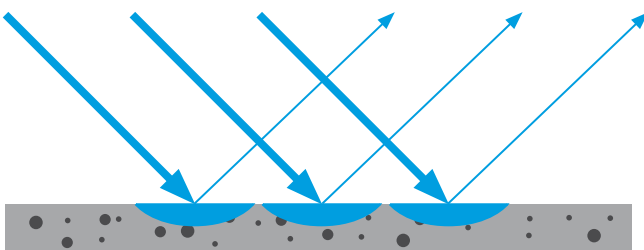
Das andere Extrem ist die vollständige Schallreflexion. Der auftreffende Schall wird zurückgeworfen, also z.B. durch eine Wand an seiner Ausbreitung gehindert.

Abbildung 2: Vollständige Schallreflexion – Schallabsorptionsgrad $\alpha=0$



Vollständige Schallreflexion

Abbildung 3: Teilweise Schallabsorption – Schallabsorptionsgrad $\alpha=$ zwischen 0 und 1

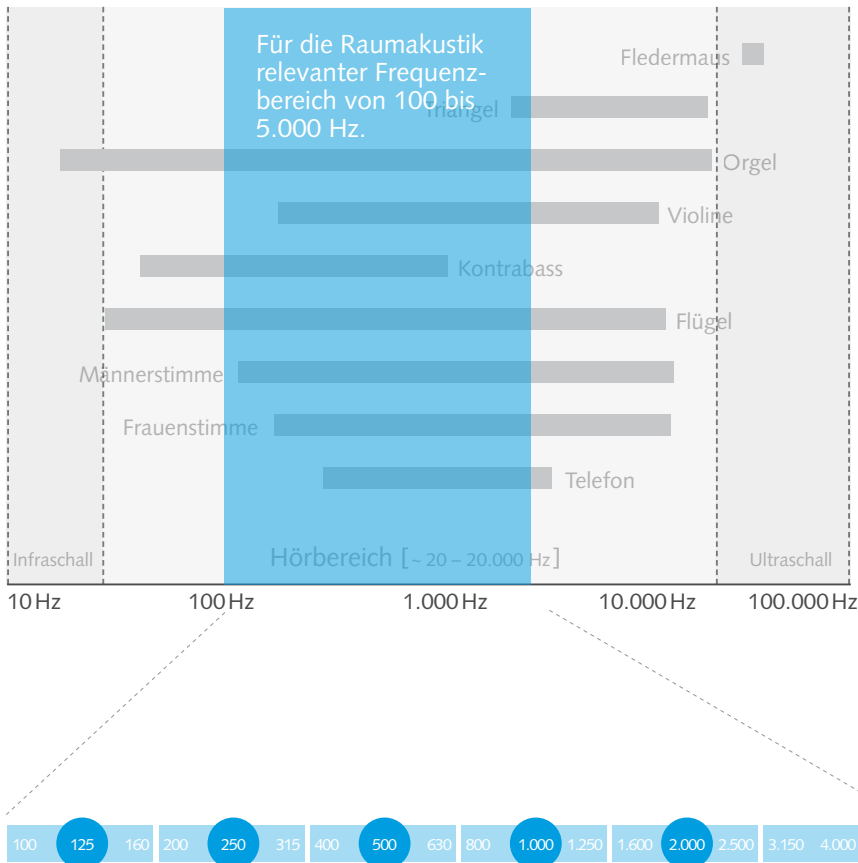


Teilweise Schallabsorption

Der Schallabsorptionsgrad α eines Materials ist stark von der Frequenz abhängig. Daher muss auch die Absorptionswirkung von Materialien frequenzabhängig betrachtet werden. Der frequenzabhängige Schallabsorptionsgrad α_s eines Materials wird durch eine schalltechnische Materialprüfung – das sogenannte Hallraumverfahren – ermittelt. Hierbei wird eine Probe des Materials in den Hallraum eingebracht, dessen Nachhallzeit zunächst ohne Probe bestimmt wurde. Aus der Änderung der Nachhallzeit mit der Probe im Raum lässt sich – für jede Terz zwischen 100 Hz und 5.000 Hz – der Schallabsorptionsgrad α_s („Alpha Sabine“) ermitteln. Man erhält somit 18 Terzwerte, die eindeutig das Absorptionsverhalten des Materials beschreiben, d.h. in welchem Maße und bei welchen Frequenzen das Material den Schall absorbiert.

Bei der Lösung raumakustischer Probleme unter Zuhilfenahme messtechnischer Methoden sollte grundsätzlich die Auflösung in Terzschritten gewählt werden, denn viele akustische Probleme vollziehen sich in schmalen Frequenzbereichen und erfordern entsprechend genau zugeschnittene Lösungen.

Terz- und Oktavmittenfrequenzen



Terz- und Oktavmittenfrequenzen (in Hz),
Abfolge der Terzmittenfrequenzen

■ Terzschrift ● Oktavschrift

Nicht alleine die Auswahl des Materials ist ausschlaggebend für dessen schallabsorbierende Wirkung im Raum. Entscheidend ist, welche Fläche von diesem Material im Raum vorhanden ist. Um ein Maß für die schallabsorbierende Wirkung eines Schallabsorbers zu haben, wurde die Größe der äquivalenten Schallabsorptionsfläche eingeführt. Sie ist definiert als das Produkt aus dem Schallabsorptionsgrad α_s eines Materials und dessen Fläche.

Durch Multiplikation des Schallabsorptionsgrades mit der Fläche des betreffenden Materials kann die äquivalente Absorptionsfläche errechnet werden. Wird die Fläche verdoppelt, so verdoppelt sich auch die äquivalente Absorptionsfläche.

Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsflächen im Raum:

$$A = s_1 \alpha_1 + s_2 \alpha_2 + s_3 \alpha_3 + \dots + s_n \alpha_n + A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

A – gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche im Raum

s_1 – Flächengröße von Material 1, z.B. Akustikdecke

α_1 – Schallabsorptionsgrad von Material 1

s_2 – Flächengröße von Material 2, z.B. Teppichboden

α_2 – Schallabsorptionsgrad von Material 2

...

s_n – Flächengröße von Material n

α_n – Schallabsorptionsgrad von Material n

4.3 SCHALLABSORPTIONSGRAD UND NACHHALLZEIT

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 in einem Raum vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche. Aus dieser lässt sich bei Kenntnis des Raumvolumens sehr schnell die Nachhallzeit im Raum berechnen, da mit der sogenannten Sabineschen Nachhallformel eine Umrechnung vorliegt, in der als Größen lediglich die äquivalente Schallabsorptionsfläche, das Raumvolumen und die Nachhallzeit eingehen.

Sabinesche Nachhallformel:

$$T = 0,163 \times \frac{V}{A}$$

T – Nachhallzeit

V – Raumvolumen

A – gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche im 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. Grundsätzlich kann man zur Bedämpfung eines Raums entweder einen Schallabsorber oder auch eine Kombination aus zahlreichen verschiedenen Schallabsorboren verwenden. Entscheidend für die Nachhallzeit im Raum ist immer die insgesamt erzielte Summe für die äquivalenten Schallabsorptionsflächen aller im Raum vorhandenen Oberflächen.

4.4 BEWERTUNG DER SCHALLABSORPTION

Aussagen über die prinzipielle Eignung von Schallabsorboren für bestimmte Anwendungen bieten vereinfachte Einzahlangaben zum Schallabsorptionsgrad. Auch eine überschlägige Abschätzung der benötigten Absorberfläche für Räume mit geringen Anforderungen an die raumakustische Güte sollte durch derartige Kennzahlen möglich sein. In Europa und den USA wurden unterschiedliche Einzahlwerte für die Schallabsorption definiert. In Europa ist der gängigste Einzahlwert der Schallabsorption der so genannte bewertete Schallabsorptionsgrad α_w , während im englischsprachigen Raum als Einzahlwerte der Schallabsorption eher der **NRC** (Noise Reduction Coefficient) oder der **SAA** (Sound Absorption Average) verwendet werden.

Allen Verfahren zur Ermittlung des Einzahlwertes liegen die im Hallraum gemessenen Terzwerte für den Schallabsorptionsgrad α_s zugrunde. Die Verfahren für die Bildung der Einzahlwerte **NRC**, **SAA** und α_w sind nachfolgend dargestellt.

Bewerteter Schallabsorptionsgrad α_w (DIN EN ISO 11654): Für die Ermittlung des bewerteten Schallabsorptionsgrades α_w wird zunächst aus jeweils drei Terzwerten der Mittelwert für die Oktavmittenfrequenzen zwischen 125 Hz und 4.000 Hz gebildet. Aus 18 Terzwerten werden so sechs 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 4.000 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 Formindikatoren L, M oder H gekennzeichnet, je nachdem, ob sie bei 250 Hz (L), bei 500 Hz bzw. 1.000 Hz (M) oder bei 2.000 Hz bzw. 4.000 Hz (H) auftreten.

So ergeben sich Angaben wie $\alpha_w = 0,65$ (H), $\alpha_w = 0,20$ oder $\alpha_w = 0,80$ (LM).

Anhand des Wertes von α_w kann eine Klassifizierung in Schallabsorberklassen vorgenommen werden. Werte für α_w von mehr als 0,90 werden beispielsweise der Schallabsorberklasse A zugeordnet, Werte zwischen 0,15 und 0,25 der Schallabsorberklasse E.

Schallabsorberklasse	α_w - Wertebereich
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

Neben dem in Europa gebräuchlichem Schallabsorptionsgrad α_w (DIN EN ISO 11654) werden in den USA die Einzahlangaben NRC und SAA (ASTM 423) verwendet. Die Größe **NRC** (Noise Reduction Coefficient) wird ermittelt, indem aus vier Terzwerten für den Schallabsorptionsgrad (250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz und 2.000 Hz) der Mittelwert gebildet wird und dieser anschließend auf 0,05 genau gerundet wird. Die 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.

VORTEIL DER EINZAHLANGABEN:

Schallabsorber lassen sich grob klassifizieren und sind damit untereinander vergleichbar. Für Räume mit geringen Anforderungen, wie beispielsweise Flure oder Verkaufsflächen, können Einzahlwerte herangezogen werden, um erforderliche Absorberflächen abzuschätzen.

NACHTEIL DER EINZAHLANGABEN:

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 Umständen gar nicht zuträglich ist. Frequenzen unterhalb von 200 Hz werden nicht berücksichtigt. Dies kann zur Folge haben, dass möglicherweise ein Absorber gewählt wird, dessen Schallabsorption unterhalb von 200 Hz so gering ist, dass der Raum nach Fertigstellung dröhnt.

5. STICHWORTVERZEICHNIS

A-BEWERTETER SCHALLDRUCKPEGEL – dB(A)

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

ÄQUIVALENTE SCHALLABSORPTIONSFLÄCHE

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A ist definiert als das Produkt aus dem Schallabsorptionsgrad α eines Materials und dessen Fläche S .

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 Raumes 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 Rauminnen und außerhalb des Gebäudes beschäftigt.

BEURTEILUNGSPEGEL (L_r)

Der Beurteilungspegel L_r (L für englisch „level“ (= Pegel), r für englisch „rating“ (= beurteilen) 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) und dessen Einwirkdauer berücksichtigt. Die Angabe des Beurteilungspegels erfolgt ebenfalls in dB(A).

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 $20\mu\text{Pa}$.

EINZAHLWERTE DER SCHALLABSORPTION

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

FREQUENZ

Die Frequenz bezeichnet die Anzahl von Schalldruckänderungen pro Sekunde. Schallereignisse mit einer hohen Frequenz werden vom menschlichen Ohr als hohe Töne wahrgenommen, Schallereignisse 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), $1\text{ Hz} = 1/\text{s}$. Menschliche Sprache bewegt sich im Bereich von 250 Hz bis 2.000 Hz. Der Hörbereich des Menschen liegt zwischen 20 Hz und 20.000 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. Die Messung des Hintergrundgeräuschpegels erfolgt in dB oder unter Gewichtung ihrer Frequenzen entsprechend dem menschlichen Gehör in dB(A). Der Hintergrundgeräuschpegel gibt dabei die Höhe des Schalldruckpegels an, die in 95 Prozent der Messzeit überschritten wurde. Er hat direkte Auswirkungen auf die Verständlichkeit von Sprache.

HÖRSAMKEIT

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

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 jemand mag, werden auch bei hohen Lautstärken nicht als störend empfunden, Geräusche, die jemand nicht mag, gelten schon bei kleinen Lautstärken als störend (z.B. bestimmte Musik). Ferner beeinflusst die persönliche Verfassung 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, wenn z.B. ein lautes Gespräch am Nachbartisch das Zuhören erschwert, wenn sie Denkleistungen erbringen sollen oder wenn sie schlafen wollen.

NACHHALLZEIT

Die Nachhallzeit gibt vereinfacht ausgedrückt die Zeitdauer an, die ein Schallereignis benötigt, um unhörbar zu werden. Technisch wurde die Zeitdauer für eine Abnahme des Schalldruckpegels im Raum um 60 dB als Nachhallzeit „T“ definiert.

OKTAVEN

Akustische Kenngrößen wie der Schalldruckpegel oder der Schallabsorptionsgrad werden in der Regel in Schrittweiten von Oktaven und Terzen angegeben. Die präzise Kenntnis akustischer Eigenschaften in möglichst kleinen Frequenzschritten des Schalls ist Voraussetzung für eine genaue akustische Planung.

Relevante Oktavfrequenzen in der Raumakustik sind 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz sowie 4.000 Hz. Die Oktavschritte ergeben sich jeweils durch Verdopplung der vorhergehenden Frequenz. Jede Oktave beinhaltet drei Terzwerte (siehe auch „Einzahlwerte“).

PORÖSE ABSORBER

Zu den porösen Absorbieren 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 in Wärmeenergie an der Oberfläche der Poren durch Reibung der Luftteilchen umgewandelt wird. Poröse Absorber haben ihre Absorptionwirkung in erster Linie bei den mittleren und hohen Frequenzen.

PSYCHOAKUSTIK

Die Psychoakustik beschreibt ein 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.

RESONANZABSORBER

Der Begriff Resonanzabsorber umfasst alle Arten von Absorbieren, 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 Frequenzbereich beschränkt (siehe auch „poröse Absorber“).

SCHALLABSORBER

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

SABINESCHE NACHHALLFORMEL

Bei Kenntnis des Raumvolumens und der gesamten in einem Raum vorhandenen äquivalenten Absorptionsfläche lässt sich anhand der Sabineschen Formel die Nachhallzeit abschätzen, wobei „T“ die Nachhallzeit, „V“ das Raumvolumen und „A“ die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche bezeichnet. Die Entdeckung der engen Beziehung zwischen dem Volumen eines Raums, der Schallabsorption der im Raum vorhandenen Oberflächen und der Nachhallzeit geht auf den Physiker Sabine (1868-1919) zurück. Sabine fand heraus, dass sich die Nachhallzeit T proportional zum Raumvolumen V und umgekehrt proportional zu der äquivalenten Absorptionsfläche A verhält:

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

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A ergibt sich als Summe aller im Raum vorhandenen Flächen S, jeweils multipliziert mit dem zugehörigen Schallabsorptionsgrad α der jeweiligen Fläche:

$$A = \alpha^1 S^1 + \alpha^2 S^2 + \alpha^3 S^3 + \dots + \alpha^n S^n$$

SCHALLABSORPTIONSGRAD α

Der Schallabsorptionsgrad α eines Materials gibt an, wie groß der absorbierte Anteil des gesamten einfallenden Schalls ist. $\alpha = 0$ bedeutet, es findet keine Absorption statt, der gesamte einfallende Schall wird reflektiert. Bei $\alpha = 0,5$ wird 50 % der Schallenergie absorbiert und 50 % reflektiert. Bei $\alpha = 1$ wird der komplette einfallende Schall absorbiert, eine Reflexion findet nicht mehr statt.

SCHALLDÄMPFUNG

Die Schalldämpfung beschreibt die Fähigkeit von Materialien, Schall zu absorbieren bzw. die auftretende Schallenergie in andere Energieformen, letztendlich in Wärmeenergie, umzuwandeln (siehe auch „Schalldämmung“).

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. Dieses hat nichts mit der benötigten akustischen Schalldämpfung im Raum zu tun (siehe auch „Schallabsorption“). 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.

SCHALLDRUCK

Allen Schallereignissen ist gemeinsam, dass sie kleine Schwankungen des Luftdrucks auslösen, die sich in elastischen Medien wie Luft oder auch Wasser ausbreiten können. Daher spricht man vom Schalldruck eines Tons. Je stärker die Druckschwankungen ausfallen, desto lauter ist das Schallereignis. Je schneller sich die Schwankungen vollziehen, desto höher ist die Frequenz.

SCHALLDRUCKPEGEL (Lp)

Der Schalldruckpegel (L von engl. level: „Pegel“ und 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 (Abkürzung dB) gekennzeichnet.

Die Messung von Schalldrücken erfolgt mit Mikrofonen. Der messbare Pegelbereich beginnt nicht wesentlich unter 0 dB und endet bei einer Größenordnung von ca. 150 bis 160 dB.

SCHALLEREIGNISSE

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

SCHALLSCHIRMUNG

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 Einrichtungselemente 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. Eine Überlagerung von Tönen mit unterschiedlicher Frequenz wird als Geräusch oder Klang bezeichnet.

SCHALLWELLEN

Schwankungen des Luftdrucks, die durch Schallereignisse ausgelöst werden, werden Schallwellen genannt. Die Länge der Schallwellen definiert die Frequenz, die Höhe der Schallwellen den Pegel. Lange Schallwellen haben eine geringe Frequenz und werden als tiefe Töne wahrgenommen. Kurze Schallwellen haben eine hohe Frequenz und werden als hohe Töne wahrgenommen.

Eine 100 Hz-Welle hat in der Luft eine Ausdehnung von 3,40 Metern, eine 5.000 Hz-Welle eine Ausdehnung von ca. 7 Zentimetern.

„SOUND MASKING“

Beim „Sound masking“ werden gezielt natürliche Geräusche (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“.

VIELEN DANK FÜR DIE UNTERSTÜTZUNG AN DAS AKUSTIKBÜRO OLDENBURG

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 ihrer Arbeit ist die Raumakustik von Schulen, Büros und anderen Gebäuden sowie die Entwicklung von raumakustischen Lösungen.

Kontakt

Akustikbüro Oldenburg, Katharinenstr. 10, 26121 Oldenburg, Deutschland

T +49 441 7779041, F +49 441 7779042, info@akustikbuero-oldenburg.de, www.akustikbuero-oldenburg.de

Copyright EGGER Holzwerkstoffe GmbH & Co. OG, St. Johann in Tirol, Österreich

Création Baumann ist bekannt für hochwertige Textilien in der Inneneinrichtung.
Dank eigenem Designatelier und eigener Produktion sind unkonventionelle Kreationen möglich. Unser Sortiment umfasst Spezialanfertigungen für Innenbeschattungssysteme und Lösungen für Lichtsteuerung, Verdunkelung und Schallabsorption. Création Baumann ist auch bekannt fürs Extravagante. 600 Dessins in 6000 Farben.

Ein komplettes Adressverzeichnis unserer weltweiten Verkaufspunkten finden Sie unter:
www.creationbaumann.com

Création Baumann AG
Bern-Zürich-Strasse 23 | CH-4901 Langenthal
Telefon +41 (0)62 919 62 62 | Fax +41 (0)62 922 45 47
mail@creationbaumann.com | www.creationbaumann.com

création **baumann**