

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:

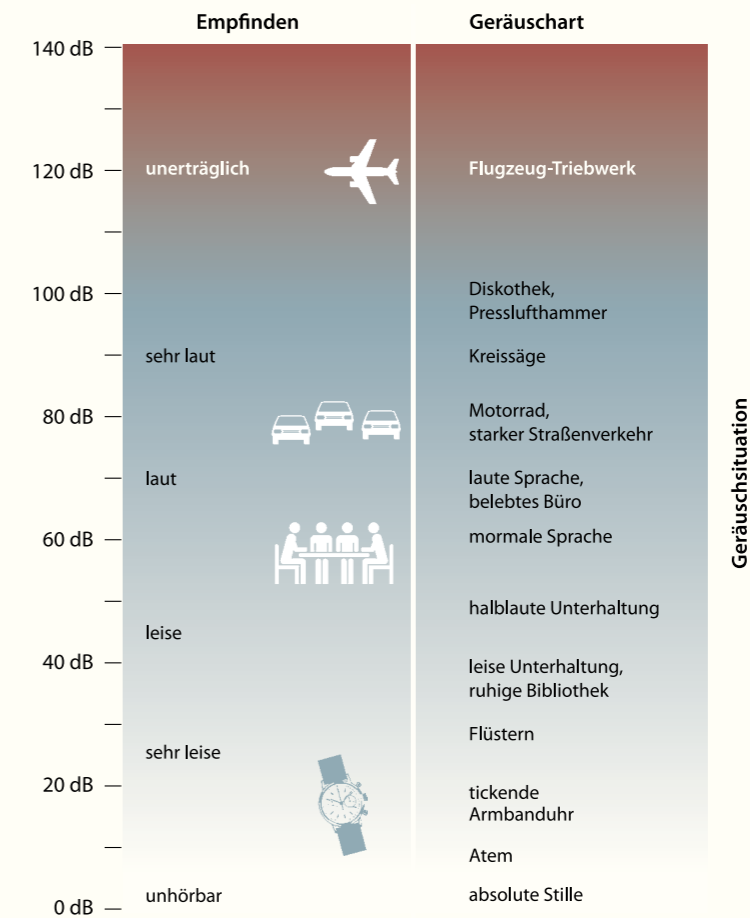
Durch welche Oberflächen schaffe ich optimale Hörbedingungen im Raum?

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 Schallabsorber.

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.

Schalldruckpegel und 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 hundert Milliarden verändert. Darstellung und Handhabung eines derart großen Wertebereichs des Schalldrucks erwies sich als unständig, 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 hinunterrechnet. Damit steht eine Skala zwischen 0 Dezibel (kurz: dB) und etwa 140 dB zur Verfügung. Die willkürliche Festlegung des Wertes für 0 dB orientierte sich an dem gerade von Menschen wahrnehmbaren Schalldruck.

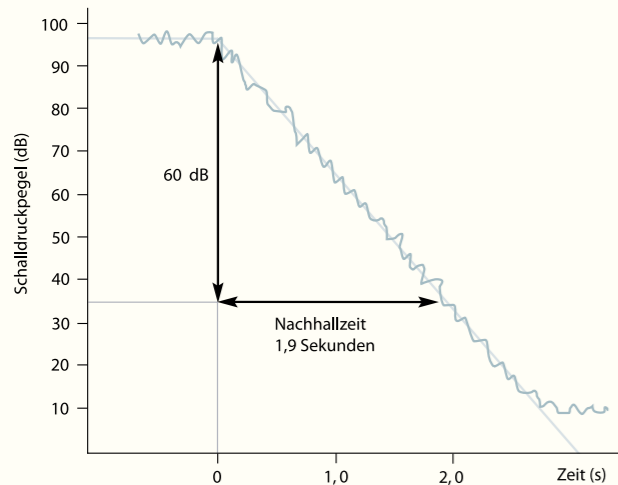


Nachhallzeit

Ob 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 Schallabsorbent erforderlich sind und wie diese am günstigsten zu positionieren sind.

Hierzu soll im Folgenden die Nachhallzeit als wesentliche raumakustische Kenngröße vorgestellt werden.

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 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 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 mehrere Sekunden sein.



Durch die objektiv messbare Größe der Nachhallzeit werden unterschiedlichste Räume miteinander vergleichbar und können in ihrer raumakustische Qualität bewertet werden. Sind 4 bis 8 Sekunden Nachhall in einer Kirche durchaus nicht unüblich, so bewegen sich die angestrebten Werte für die Nachhallzeit in Konferenz- oder Büroräumen in ganz anderen Größenordnungen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über typische Nachhallzeiten verschiedener Raumarten.

Die Nachhallzeit stellt die raumakustische Visitenkarte des Raums dar, und 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.

Die Nachhallzeit hat eine unmittelbare Wirkung auf die Sprachverständlichkeit in einem Raum. Allgemein gilt, dass mit zunehmender Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit in einem Raum abnimmt (,was nicht bedeutet, 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. Klingt beispielsweise Sprache in einem Raum verwasche, 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, hingegen bei den tiefen Frequenzen eher schrill und spitz.

Tabelle 1: 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	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 optimale Nachhallzeit

Grundlage für Empfehlungen zur raumakustischen Gestaltung von kleinen bis mittelgroßen Räumen bildet die DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen“. Diese Norm bezieht sich vor allem auf Räume für kommunikative Zwecke und musikalische Nutzungen, aber auch auf Sport- und Schwimmhallen.

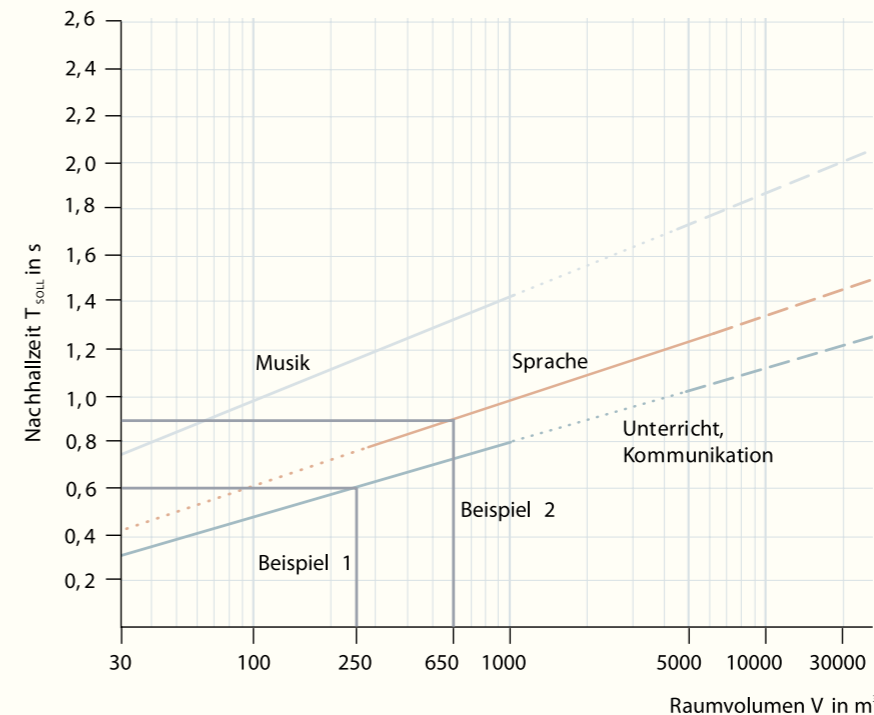
Die Empfehlungen und Hinweise der DIN 18041 sollten stets die Grundlage für raumakustische Planungen sein. Die DIN 18041 unterscheidet im Hinblick auf die optimale Nachhallzeit zwischen drei Kategorien: „Musik“, „Sprache“ und „Kommunikation und Unterricht“. Räume für musikalische Nutzung sind Musikunterrichtsräume sowie Säle für Musikdarbietungen.

„Sprache“ umfasst alle Räume, in denen im weitesten Sinne ein Sprecher vor einem Publikum spricht. „Kommunikation und Unterricht“ beinhaltet alle Nutzungen, in denen auch mehrere Personen gleichzeitig sprechen, also neben Unterrichtsräumen auch Konferenzräume, Gruppenbüros, Service-Stellen, Call-Center, Räume mit audiovisuellen Darbietungen oder für elektroakustische Nutzungen. Aus der nachfolgenden Abbildung 4 ist abzulesen, welche mittlere Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Volumen und von der Nutzung des Raums anzustreben ist.

Abbildung: Empfehlungen der DIN 18041 für die Nachhallzeit bei 500 Hz in einem Raum in Abhängigkeit von dessen Nutzung und Volumen.

Beispiel: Ein Konferenzraum (Nutzung „Kommunikation und Unterricht“) mit einem Raumvolumen von 150 m³ sollte eine Nachhallzeit von 0,60 s aufweisen.

Beispiel: Ein Gerichtssaal (Nutzung „Sprache“) mit einem Raumvolumen von 550 m³ sollte über eine Nachhallzeit von 0,90 s verfügen.



Empfehlung der DIN 18041 für die Nachhallzeit bei 500 Hz in einem Raum in Abhängigkeit von dessen Nutzung und Volumen

Schallabsorption

Zur optimalen Einstellung der Nachhallzeit in Räumen werden verschiedenste Materialien eingesetzt. Sämtlich Materialien lassen sich akustisch eindeutig durch ihre Schallabsorption bzw. den Schallabsorptionsgrad beschreiben.

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

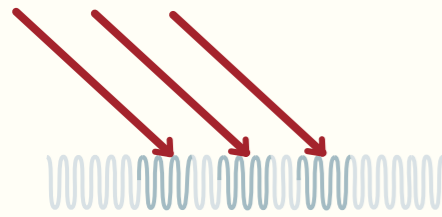
Ein idealer Schallabsorber, der 100% des auftreffenden Schalls „schluckt“, hat einen Schallabsorptionsgrad von 1,0 (Fall 1) – eine vollständig reflektierende Fläche dagegen einen Schallabsorptionsgrad von 0 (Fall 2).

Beide Extrema sind nahezu unerreicht: Reale Materialien haben stets einen Schallabsorptionsgrad zwischen 0 und 1 (Fall 3).

Fall 1:

Vollständige Schallabsorption

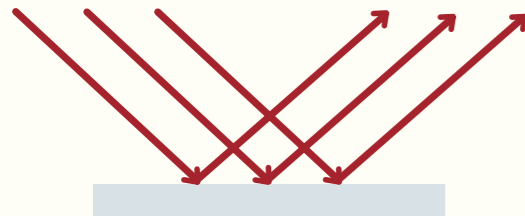
(Schallabsorptionsgrad $\alpha=1$) keine Reflexion



Fall 2:

Vollständige Schallreflexion

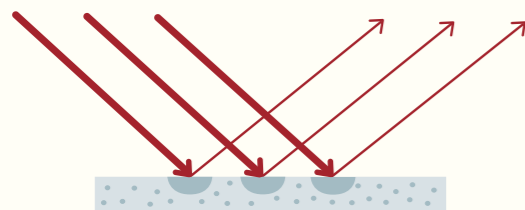
(Schallabsorptionsgrad $\alpha=0$)



Fall 3:

Teilweise Schallabsorption

(Schallabsorptionsgrad α = zwischen 0 und 1)



Der Schallabsorptionsgrad α eines Materials ist stark von der Frequenz abhängig. Daher muss auch die Absorptionseigenschaft von Materialien frequenzabhängig betrachtet werden. Der frequenzabhängige Schallabsorptionsgrad α_s 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 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.

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.

$$\text{Sabinesche Nachhallformel: } T = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$$

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 zur Dämpfung eines Raums entweder ein Schallabsorber oder auch eine Kombination aus zahlreichen verschiedenen Schallabsorbieren verwendet werden.

Entscheidend für die Nachhallzeit im Raum ist immer die insgesamt erzielte Summe für die äquivalenten Schallabsorptionsflächen aller im Raum vorhandenen Oberflächen.

Autoren:

Dr. Catja Hilge / Dr. Christian Nocke

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 sowie die Entwicklung von raumakustischen Lösungen.