



DIE ROLLE DER AKUSTIK IN DER ARCHITEKTONISCHEN GESTALTUNG

von Maarten Hornikx, Cédric Van Hoorickx und Bram Botterman

WHITEPAPER

modulys[®]

WHITEPAPER

INHALTSANGABE

EINFÜHRUNG	3
AUSWIKRUNGEN VON SCHALL IN BAULICHEN UMGEBUNGEN	4
ALLGEMEINE INFORMATIONEN UND BEGRIFFLICHKEITEN	5
GESTALTUNGSGRUNDSÄTZE	8
AKUSTIKLÖSUNGEN	10
NACHHALTIGKEIT UND AKUSTIK	11
FALLSTUDIEN	12
HERAUSFORDERUNGEN UND ZU BEACHTENDE FAKTOREN	14
ZUKUNFT UND INNOVATIONEN	15
SCHALLABSORPTIONSGRADE GÄNGIGER MATERIALIEN UND STRUKTUREN	16
BIBLIOGRAFIE	17

EINFÜHRUNG

Cédric Van hoorickx, außerordentlicher Professor an der Technischen Universität Eindhoven (TU/e) in den Niederlanden, beschäftigt sich intensiv mit dem Thema Bauakustik. Seine tägliche Arbeit dreht sich sowohl um die Lehre als auch um die Erforschung der Ausbreitung von Lärm und Vibrationen in Gebäuden. Im Mittelpunkt seiner Bemühungen steht die Verfeinerung hochentwickelter numerischer Simulationsmodelle, die das komplizierte Zusammenspiel von Strukturen und Räumen genauestens analysieren und verbessern.



Bram Botterman, Akustikberater und -forscher an der Technischen Universität Eindhoven (TU/e), ist auf schallabsorbierende Materialien spezialisiert. Als Gründer von Matude engagiert er sich unermüdlich für die Bauakustikgruppe der TU/e, seiner Alma Mater. Bram engagiert sich in Bildungsinitiativen und ist bestrebt, bei Studenten die Leidenschaft für die Feinheiten der Akustik in Gebäuden zu wecken. Durch seine Forschung trägt er aktiv zu bahnbrechenden Innovationen bei, angetrieben von dem eifrigen Wunsch, neu gewonnenes Wissen in konkrete Anwendungen umzusetzen.

Maarten Hornikx, Professor für Bauakustik an der Technischen Universität Eindhoven (TU/e) in den Niederlanden, ist eine Koryphäe auf dem Gebiet der Computersimulationen, mit denen die Akustik in geschlossenen Räumen und Stadtlandschaften wahrnehmbar gemacht werden kann. Sein Hauptziel besteht darin, Software zu entwickeln, die die Auswirkungen der Akustik auf verschiedene Umgebungen entschlüsselt und verbessert. Mit seinem unermüdlichen Einsatz für die Verbindung von Theorie und praktischer Anwendung verbreitet Maarten aktiv die entwickelte Software und fördert wissenschaftliche Bürgerinitiativen. An der TU/e leitet er die Gruppe Bauakustik, die sich um die Verbesserung des Verständnisses und der Umsetzung in diesem Bereich bemüht.



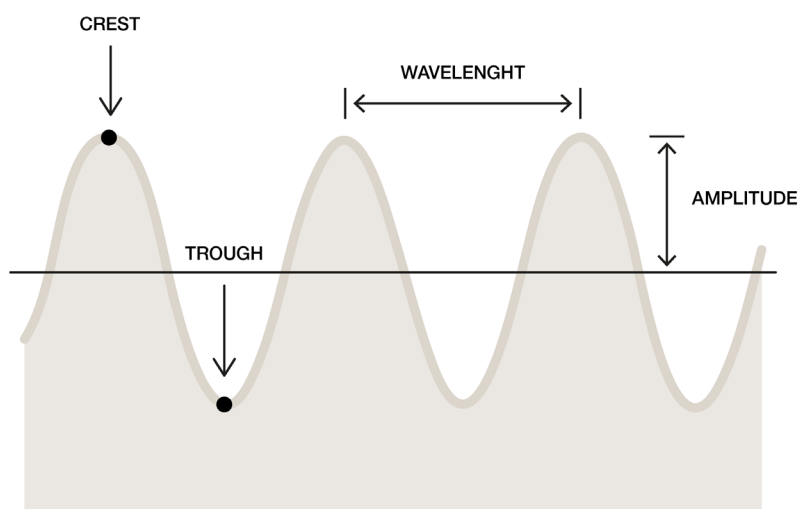
AUSWIRKUNGEN VON SCHALL IN BAULICHEN UMGEBUNGEN

Wir beginnen dieses Whitepaper mit einer einfachen, aber aufschlussreichen Übung. Wo auch immer Sie sich gerade aufhalten: Nehmen Sie sich einen Augenblick Zeit, schließen Sie die Augen und lauschen Sie eine Minute lang bewusst den Geräuschen in Ihrer Umgebung.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass Sie dabei verschiedene Geräusche wahrnehmen, denn Geräusche sind überall – ganz gleich, ob an einem lauten, hektischen Bahnhof oder zu Hause im ruhigen Wohnzimmer. Geräusche schwingen durch unsere Umgebung, und das aus gutem Grund. Wir Menschen nutzen Geräusche als Kommunikationsmittel. Von der heulenden Sirene, die uns auf eine Gefahr hinweist, bis hin zum leisen Brodeln der Kaffeemaschine dienen sie uns im täglichen Leben als eine wichtige Informationsquelle. Geräusche und Klänge vermögen auch unsere Emotionen zu beeinflussen, man denke hier nur an die Wirkung von Musik.

Neben diesen erwünschten klanglichen Erscheinungen gibt es jedoch auch eine Fülle an unerwünschten Geräuschen, sei es Straßenverkehrslärm, das Surren einer Klimaanlage oder das lange Telefongespräch eines Kollegen. Diese Geräusche mögen einem lediglich als lästig erscheinen, aber sie können funktionale Geräusche stören, die Kommunikation erschweren und sogar wichtige Warnsignale überdecken. Sie können Aktivitäten behindern, unseren Schlaf stören und unsere Arbeitsleistung verringern. Umfassende Studien der Weltgesundheitsorganisation haben nachgewiesen, dass Lärm erhebliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben kann.

Achten Sie nun einmal auf die Geräusche in dem Raum, in dem Sie sich gerade befinden. Diese Geräusche werden durch die architektonischen Eigenschaften des Raums beeinflusst, also durch raumakustische und bauakustische Gegebenheiten. Wenn Schallwellen einen Raum durchqueren, interagieren sie mit den verschiedenen Elementen und Begrenzungen des Raums, wie z. B. Wänden, Böden und Decken. Die Akustik eines Raums muss folglich auf dessen beabsichtigte Funktion abgestimmt sein. Konferenzräume sollten eine klare sprachliche Kommunikation ermöglichen, Restaurants eine angenehme Gesprächsatmosphäre bieten und Konzertsäle das Hörerlebnis für Publikum und Künstler gleichermaßen verbessern. Auch gilt es zu bedenken, dass in Ländern wie den Niederlanden, in denen mehr als ein Zehntel der Bevölkerung an Hörproblemen leidet, die Notwendigkeit einer hervorragenden Akustik besonders hoch ist. Bei der Planung von Gebäuden spielt die Akustik somit eine entscheidende Rolle, denn ein akustisch optimiertes Umfeld unterstützt uns in unseren täglichen Aktivitäten und hilft dabei, gesundheitlichen Beeinträchtigungen vorzubeugen. Dieses Whitepaper befasst sich mit den wesentlichen Aspekten dieses bedeutsamen Fachgebiets.



ALLGEMEINE INFORMATIONEN UND BEGRIFFLICHKEITEN

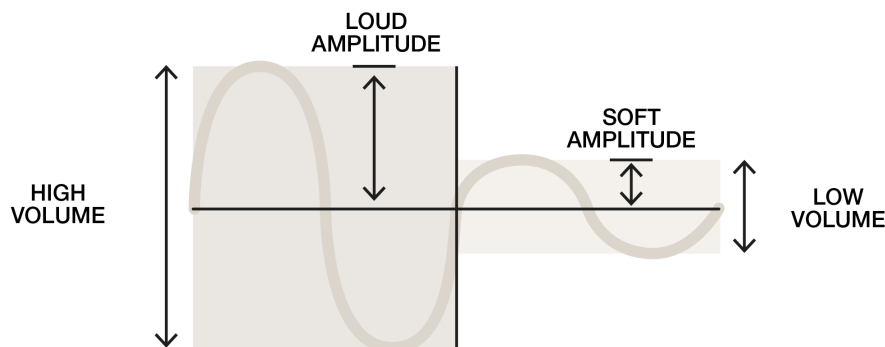
Die Raumakustik beschäftigt sich mit der komplexen Dynamik des Schalls in geschlossenen Räumen, von kleinen Zimmern bis hin zu großen Konzertsälen. Sie untersucht die Wechselwirkung von Schallwellen mit ihrer Umgebung und erforscht Phänomene wie Reflexion, Absorption und Diffusion. Diese Phänomene haben einen tiefgreifenden Einfluss auf die auditiven Gegebenheiten in einem Raum und prägen die wahrgenommene Qualität von Audio und Sprache. In diesem Abschnitt werden die grundlegenden Prinzipien und Begrifflichkeiten aus dem Bereich der Raumakustik erläutert.

1. Schalldruckpegel

Der Schalldruckpegel ist das primäre Konzept zur Beschreibung der Lautstärke eines von einer Schallquelle ausgelösten Schallereignisses. In Abwesenheit von Schall herrscht in der Atmosphäre ein gleichmäßiger Druck von durchschnittlich 1013 Hektopascal (hPa). Tritt ein Schallereignis auf, wird der statische Zustand gestört und es kommt zu Druckschwankungen, die sich oberhalb und unterhalb der atmosphärischen Grundlinie bewegen. Diese Schwankungen bezeichnet man als Schalldruck. Als Schwingung dargestellt, geben diese von Schallwellen ausgelösten Schwankungen die Veränderung des Drucks im zeitlichen Verlauf wieder. Die Wahrnehmung von Schall hängt mit dem quadratischen Mittelwert (engl. RMS) dieser Druckschwankungen im Verlauf der Zeit zusammen, oder genauer gesagt mit dem Logarithmus des quadratischen Mittelwerts des Schalldrucks. Es wird eine logarithmische Größe definiert, der sogenannte Schalldruckpegel:

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{\text{RMS}}^2}{p_0^2}$$

Dabei ist der Bezugswert p_0 (gleich 20 μPa) der Referenzschalldruck. Der Schalldruckpegel L_p wird in Dezibel (dB) angegeben. Je höher der Schalldruckpegel, desto ausgeprägter ist das Hörerlebnis, d. h. desto lauter wird das Schallereignis wahrgenommen.



2. Hintergrundgeräuschpegel

Ein übermäßiger Hintergrundgeräuschpegel kann Aktivitäten verschiedenster Art in erheblichem Maße beeinträchtigen. So kann es zum Beispiel zu Schwierigkeiten beim Sprachverstehen und infolgedessen zu Informationsverlusten kommen. Ein erhöhter Lärmpegel kann zudem die Konzentration schwächen und zu Frustration und Verärgerung führen.

Um derartige Störungen zu verringern, werden Kriterien festgelegt, die sich auf den Unterschied zwischen dem emittierten Schallpegel (Signal) und dem Störpegel (Lärm) beziehen. Diese Kriterien, die oft in der Installationstechnik begründet sind, geben den maximal zulässigen Geräuschpegel für spezifische Aktivitäten vor. Neben den Geräuschen, die von technischen Geräten erzeugt werden, stellt auch der Umgebungslärm, z. B. durch Straßenverkehr, Flugzeuge oder U-Bahn-Betrieb, eine zusätzliche Herausforderung dar.

Um ein Umfeld zu schaffen, das Konzentration und Produktivität fördert, müssen wirksame Schallschutzmaßnahmen ergriffen werden. Diese Maßnahmen zielen darauf ab, den Geräuschpegel innerhalb eines Raums unter einen bestimmten Schwellenwert zu senken. Der zulässige Geräuschpegel hängt von Faktoren wie der Stärke und Art der Schallquelle sowie den geplanten Aktivitäten im betreffenden Raum ab.

3. Schallabsorption

Wenn Schallwellen, die z. B. von einem Lautsprecher ausgesendet werden, auf die Begrenzungen eines Raumes treffen (Wände, Böden, Decken), finden verschiedene Wechselwirkungen statt. Ein Teil der Schallenergie wird in den Raum zurückreflektiert, ein anderer Teil wird durch das Bauteil übertragen, der verbleibende Teil wird vom Bauteil aufgenommen und umgewandelt (Dissipation). Die Schallabsorption umfasst den gesamten nicht reflektierten Schall und beinhaltet daher sowohl den durch das absorbierende Material aufgenommenen als auch den übertragenen Schall.

Der Schallabsorptionsgrad, in der Regel durch den griechischen Buchstaben α dargestellt, quantifiziert die Fähigkeit eines Materials, Schallenergie zu absorbieren. Ein offenes Fenster beispielsweise hat einen hohen Schallabsorptionsgrad nahe dem Wert 1, da fast der gesamte auftreffende Schall aus dem Raum entweicht. Umgekehrt weist eine stark reflektierende Oberfläche einen niedrigen Schallabsorptionsgrad auf (nahe null). In der Praxis werden die Schallabsorptionsgrade verschiedener Materialien und Baustrukturen gemessen, die oft eine Frequenzabhängigkeit aufweisen. Eine Tabelle mit gängigen Materialien finden Sie in Abschnitt 0.

Die Gesamtabsorption eines Raumes, bezeichnet als A (in m^2), ist mathematisch definiert als die Summe der Absorption aller Raumbooberflächen, dargestellt durch den Index i , wobei die einzelnen Oberflächen als S_i bezeichnet werden und ihr jeweiliger Schallabsorptionsgrad als α_i . Diese Summierung umfasst somit alle Raumbooberflächen und deren jeweiligen Beitrag zur Gesamtabsorption. Sie wird mathematisch wie folgt ausgedrückt:

$$A = \sum_i \alpha_i S_i$$

Die Gesamtabsorption dient als eine entscheidende Kennzahl, die die Menge des absorbierten Schalls in einem Raum angibt.

4. Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist ein grundlegendes Merkmal eines Raums. Sie beschreibt die Zeitspanne, innerhalb derer der Schalldruck im Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle – sei es ein konstanter Ton oder ein heftiger Knall – um 60 dB abnimmt. Dieser Parameter ist in der Raumakustik von großer Bedeutung, da er bei der Beurteilung der akustischen Eigenschaften eines Raums im Hinblick auf dessen Eignung für die beabsichtigte Funktion als Maßstab dient.

Im Grunde gibt die Nachhallzeit an, wie lange Schall in einem Raum verweilt, nachdem seine Quelle verstummt ist. Eine kürzere Nachhallzeit deutet auf ein schnelles Abklingen des Schalls hin und eignet sich für Umgebungen, in denen es auf eine klare und präzise Klangwiedergabe ankommt, z. B. in Aufnahmestudios oder Hörsälen. Längere Nachhallzeiten dagegen sind in Räumen wie Konzertsälen oder Kathedralen wünschenswert, denn dort trägt der Nachklang zum Räumlichkeitseindruck sowie einem reichhaltigen Hörerlebnis bei.

Die Nachhallzeit eines geschlossenen Raumes hängt eng mit seinen Ausmaßen zusammen, insbesondere damit, auf wie viele Oberflächen eine Schallwelle während eines bestimmten Zeitraums trifft. Außerdem steht die Nachhallzeit in unmittelbarem Zusammenhang mit der Schallabsorption innerhalb des Raumes. Diese Beziehung deckt sich nahtlos mit unserer eigenen Wahrnehmung und Erfahrung: Größere Räume mit festen, reflektierenden Oberflächen weisen oft eine längere Nachhallzeit auf, kleinere Räume mit weichen Ausstattungselementen wie Vorhängen, Teppichen und Möbeln dagegen haben eher geringe Nachhallzeiten.

Durch empirische Untersuchungen entdeckte der amerikanische Physiker Wallace Clement Sabine eine quantitative Beziehung zwischen den Abmessungen des Raums (ausgedrückt als Volumen V), der Gesamt-Schallabsorption A und der daraus resultierenden Nachhallzeit T . Er formulierte diese in der Sabineschen Nachhallformel:

$$T = \frac{0.16V}{A}$$

Sabines bahnbrechende Arbeit legte den Grundstein für das Verständnis und die Vorhersage von Nachhalleigenschaften in der Bauakustik und sie erleichtert die Gestaltung und Optimierung von Räumen für verschiedene Zwecke. Eine verfeinerte Version seiner Formel, die sog. Eyringsche Nachhallformel, berücksichtigt den Einfluss der Luftdämpfung (abhängig von der Luftfeuchtigkeit) und erweiterte den Anwendungsbereich der Formel auf stark gedämpfte Räume.

5. Raumakustische Größen

Neben der Nachhallzeit gibt es noch weitere raumakustische Größen:

- Die Anfangsnachhallzeit (Early Decay Time, EDT) beschreibt die Zeit, in welcher der Schallpegel nach dem Verstummen der Schallquelle um 10 dB abnimmt. Sie gibt Aufschluss über die Auswirkungen der frühen Reflexionen auf die allgemeinen Nachhalleigenschaften eines Raums.
- Das Stärkemaß G misst die wahrgenommene Lautstärke von Schallquellen in einem Raum bezogen auf ihre Entfernung vom Hörer.
- Klarheitsparameter beschreiben das Verhältnis zwischen früher und später Schallenergie. Diese Kategorie umfasst das Klarheitsmaß C_{80} , das Deutlichkeitsmaß D_{50} und die Schwerpunktzeit T_s . Die ersten beiden quantifizieren das Verhältnis zwischen frühen und späten Reflexionen und

geben einen Hinweis auf die Sprachverständlichkeit und die allgemeine Klangqualität. Die Schwerpunktzeit stellt den Schwerpunkt des quadrierten Schalldrucks nach einem Impuls dar.

- Der Seitenschallgrad früher seitlicher Reflexionen ist ein Maß für die wahrgenommene Schallquellenbreite (engl. Apparent source width, ASW). Er beschreibt das Verhältnis zwischen der Schallenergie der seitlichen Reflexionen und der Gesamt-Schallenergie, die ein Hörer empfängt. Dieser Parameter betrachtet die Schalldruckpegel innerhalb der ersten 80 ms nach Eintreffen des Direktschalls.
- Der Seitenschallgrad später seitlicher Reflexionen ist wie der Seitenschallgrad früher seitlicher Reflexionen ein Maß für den Räumlichkeitseindruck von Schall, jedoch werden hier die seitlichen Reflexionen NACH den ersten 80 ms betrachtet, die im Anschluss an das Eintreffen des Direktschalls auftreten. Dieser Parameter verstärkt den Eindruck von Räumlichkeit und Eingehülltsein und trägt zu einem natürlichen Hörerlebnis bei.

6. Direktfeld und Diffusfeld

Wenn Sie sich in einem Raum in der Nähe einer Schallquelle befinden, wird das, was Sie wahrnehmen, weitgehend durch das sogenannte „Freifeld“ dieser Quelle bestimmt. Sie können sich dieses wie einen weiten, offenen Raum vorstellen, in dem es keine Oberflächen gibt, die den Schall reflektieren könnten. Es ist, als würden Sie auf offener Flur stehen oder sich in einem speziell konstruierten reflexionsarmen Raum befinden. In diesem Szenario hängt der Schalldruck, den Sie wahrnehmen, direkt davon ab, wie stark die Schallquelle ist und in welche Richtung sie den Schall sendet. Wenn Sie sich von der Schallquelle entfernen, nimmt der Schalldruckpegel allmählich ab. Der Grund dafür ist, dass sich Schallwellen in alle Richtungen ausbreiten und dabei an Intensität verlieren, je weiter sie sich von der Quelle wegbewegen. Wenn Sie sich also in der Nähe der Schallquelle befinden, hören Sie den Schall lauter und deutlicher, als wenn Sie weiter entfernt stehen.

In Räumen prallen Schallwellen an den vorhandenen Oberflächen ab und bilden ein komplexes Wellenmuster. Wenn Sie sich von der Schallquelle entfernen, wird das, was Sie hören, von der übrig bleibenden Energie dieser reflektierten, an Wänden und anderen Begrenzungen abprallenden Wellen beeinflusst. In einem Raum mit diffusem Schallfeld, in dem der Schall vielfach reflektiert wird, bleibt der Schalldruckpegel relativ konstant. Er wird durch die Stärke der Schallquelle und der insgesamt vom Raum absorbierten Schallmenge bestimmt. Das bedeutet, dass unabhängig davon, wo Sie sich im Raum befinden, die wahrgenommene Lautstärke aufgrund der gleichmäßig verteilten Schallreflexionen und Absorption relativ konstant bleibt.

Aus den vorangegangenen Ausführungen geht hervor, dass in einer bestimmten Entfernung von der Schallquelle der Schallpegel des Direktschalls dem des indirekten, reflektierten Schalls entspricht. An diesem Punkt, dem sog. Hallabstand, geht das Direktfeld in das Diffusfeld über. Das Verhältnis zwischen direktem und reflektiertem Schall ist von entscheidender Bedeutung und muss der beabsichtigten Funktion des Raums entsprechen. Dieses Verhältnis hat Auswirkungen auf das Richtungshören. In Umgebungen, in denen die Sprachkommunikation im Vordergrund steht, ist es für die Zuhörer entscheidend, die Quelle, sprich den Redner, genau zu lokalisieren. Bei Räumen, in denen musikalische Darbietungen stattfinden, liegt der Schwerpunkt hingegen eher auf dem Räumlichkeitseindruck, welcher durch vielfache Schallreflexion erreicht wird. Je nachdem, ob der Raum für Sprache oder Musik genutzt wird, muss daher das Verhältnis zwischen direktem und indirektem Schall gründlich bedacht werden, um das Hörerlebnis zu optimieren.

GESTALTUNGSGRUNDSÄTZE

Im vorangegangenen Kapitel haben wir uns in das komplexe Themenfeld der Bau- und Raumakustik begeben und Begriffe erläutert, die selbst für erfahrene Raumgestalter und Architekten mitunter keine leichte Kost sind. Aber keine Sorge. In diesem Kapitel setzen wir die technischen Fachbegriffe in praktische Gestaltungsrichtlinien um, die jeder verstehen und anwenden kann. Sie dienen als allgemeiner Wegweiser für eine akustische Gestaltung, die der jeweiligen Funktion des Raums entspricht.

1. Klares Verständnis von Nutzerbedürfnissen und Raumfunktion

Das Wichtigste zuerst: Bevor wir die ersten Skizzen anfertigen und Nägel einschlagen, sollten wir uns eingehend mit den Nutzern und dem Zweck des geplanten Raums beschäftigen. Entwerfen wir ein betriebsames Büro, in dem es auf eine klare Kommunikation ankommt? Oder ein gemütliches Restaurant, in dem das Ambiente die Hauptrolle spielt? Die Bedürfnisse der Menschen zu kennen, die einen Raum nutzen, ist bei dessen Gestaltung das A und O.

2. Optimierung der Raummaße

Die richtige Dimensionierung des Raums ist in der Bauakustik von wesentlicher Bedeutung. Das Raumvolumen steht in direktem Zusammenhang mit mehreren raumakustischen Größen, und die Nachhallzeit nimmt mit wachsendem Volumen zu. Bei der zweckorientierten Gestaltung von Räumlichkeiten werden Aktivitäten, die ein gewisses Maß an Privatsphäre erfordern, üblicherweise in separate Räume verlegt. Mit der passenden Grunddimensionierung können anschließend alle möglichen Feineinstellungen vorgenommen werden. So kann beispielsweise sichergestellt werden, dass bestimmte Schallfrequenzen nicht zu laut werden und stehende Wellen auf ein Minimum reduziert werden.

3. Reduzierung des Nachhalls

Wenn wir eins nicht gebrauchen können, dann ist es ein Raum, in dem das Echo widerhallt wie in einer Höhle. Durch den strategischen Einsatz von schallabsorbierenden Materialien bei der baulichen Gestaltung können Architekten die Nachhalleigenschaften eines Raums genau steuern. Dies trägt nicht nur dazu bei, die negativen Auswirkungen von übermäßigem Nachhall zu minimieren, sondern verbessert auch die Sprachverständlichkeit, was eine effektive Kommunikation und Interaktion der Raumnutzer erleichtert.

4. Das richtige Verhältnis zwischen reflektierenden und absorbierenden Flächen

Hier gilt es jedoch noch mehr zu beachten. Es geht darum, das richtige Verhältnis zwischen schallabsorbierenden und schallreflektierenden Oberflächen zu finden. In Hörsälen werden reflektierende Flächen in der Regel im vorderen Teil des Raums platziert, sodass die Sprache der Vortragenden durch frühe Reflexionen unterstützt und dadurch ihre Wahrnehmung im Raum verbessert wird. An den Seitenwänden hingegen kommen absorbierende Materialien zum Einsatz. Daraus ergibt sich ein Wechselspiel zwischen Reflexion und Absorption, die beide ihren Teil dazu beitragen, die akustische Landschaft des Raums zu formen.

5. Einsatz variabler Akustiklösungen

Finden in einem Raum unterschiedliche Aktivitäten und Veranstaltungen statt, können diese unterschiedliche akustische Umgebungen erfordern. Ein Konferenzraum kann beispielsweise sowohl für große Präsentationen als auch für vertrauliche Gespräche genutzt werden und muss für beides die entsprechenden Rahmenbedingungen bieten. Dort, wo die Klangqualität eine wesentliche Rolle spielt, z. B. in Konzertsälen, Theatern und Aufnahmestudios, können variable akustische Lösungen die Leistung verbessern, indem sie die Akustik für verschiedene Arten von Veranstaltungen und Darbietungen optimieren. Dies kann durch den Einsatz von Vorhängen, beweglichen Trennwänden oder verstellbaren Akustikplatten erreicht werden. Gute Beispiele hierfür sind das TivoliVredenburg in Utrecht und das Amare in Den Haag.



AKUSTIKLÖSUNGEN

Raumgestalter und Architekten können akustische Probleme durch Anwendung der in diesem Kapitel beschriebenen Akustiklösungen effektiv beheben und Räume schaffen, die sich durch verbesserte Klangqualität, Komfort und Funktionalität auszeichnen.

1. Integration schallabsorbierender Oberflächen

Schallabsorbierende Materialien gehören zu den wesentlichen Elementen der Innenarchitektur und bieten in funktionaler Hinsicht viele Vorteile. Sie verkürzen die Nachhallzeit, reduzieren den Widerhall, senken den Hintergrundgeräuschpegel und verbessern nicht zuletzt die Sprachübertragung, indem sie das Signal-Rausch-Verhältnis positiv beeinflussen.

2. Einsatz von schallreflektierenden Materialien

Schallreflektierende Materialien können strategisch platziert werden, um die Schallwellen auf den gewünschten Hörbereich zu lenken und so die Projektion und Klarheit des Klangs zu verbessern. Dies ist besonders wichtig in Veranstaltungsstätten wie Konzertsälen, Theatern und Hörsälen, wo eine klare und deutliche Klangwiedergabe dafür sorgt, dass die Inhalte für die Zuhörer ansprechend und verständlich sind.

3. Verwendung von Diffusoren

Diffusoren streuen die Schallwellen in mehrere Richtungen, anstatt sie in eine einzige Richtung zu reflektieren. Dies trägt zu einer gleichmäßigeren Verteilung des Klangs im Raum bei.

4. Optimierung der Raumeinteilung und -ausstattung

Gestalten Sie das Mobiliar und die Raumaufteilung so, dass schallabsorbierende und schallstreuende Elemente strategisch verteilt werden, eine Minimierung der Schallreflexionen erreicht und eine optimale akustische Leistung erzielt wird. Durch strategisches Platzieren von beispielsweise Bücherregalen, Pflanzen und weichen Ausstattungselementen können Sie Schallwellen brechen und eine angenehmere akustische Umgebung schaffen.

5. Implementierung von Geräuschmaskierungssystemen

Geräuschmaskierungssysteme sind so etwas wie das Geheimrezept der Raumakustik. Diese cleveren Systeme erzeugen ein sanftes Hintergrundgeräusch, ähnlich dem leisen Summen eines Ventilators oder dem Rascheln der Blätter in einem ruhigen Wald. Durch das Hintergrundgeräusch werden unerwünschte Geräusche maskiert, sodass diese weniger auffallen und insgesamt eine harmonischere Atmosphäre entsteht.

Geräuschmaskierungssysteme überdecken jedoch nicht nur Geräusche, sondern tragen auch zur Verbesserung der Privatsphäre bei. Sie sorgen für eine gleichmäßige Geräuschkulisse und erschweren so das Mithören von Gesprächen, wodurch ein vertraulicherer und angenehmerer Raum für alle geschaffen wird.

NACHHALTIGKEIT UND AKUSTIK

Nachhaltige Akustiklösungen für Innenräume umfassen Verfahrensweisen und Materialien, die akustische Probleme wirksam beheben und dabei die Umweltbelastung auf ein Minimum reduzieren. Diese Lösungen zielen darauf ab, die Raumakustik zu verbessern, ohne die langfristige Gesundheit unseres Planeten zu gefährden. Hier sind einige Beispiele für nachhaltige Akustiklösungen:

1. Recyclingmaterialien

Recyclingmaterialien, z. B. recyceltes Glas, Kunststoffe oder Textilien, lassen sich für die Herstellung von schallabsorbierenden Paneelen, Deckenlamellen und anderen akustisch wirksamen Raumausstattungs-elementen verwenden. So können bereits vorhandene Materialien einem neuen Zweck zugeführt werden. Recycelte Akustikprodukte tragen zur Kreislaufwirtschaft bei und verkleinern den ökologischen Fußabdruck, da sie für weniger Abfall sorgen und den Bedarf an neuen Materialien reduzieren.

2. Biologisch abbaubare Materialien

Diese werden aus natürlichem, organischem Material wie Wolle, Kork oder Hanf hergestellt, das sich im Laufe der Zeit zersetzt. Sie müssen sich also keine Sorgen machen, dass ihre ausgedienten Akustikpaneele jahrhundertlang auf einer Mülldeponie liegen. Solche Materialien werden auf natürliche Weise abgebaut und hinterlassen dadurch einen kleineren ökologischen Fußabdruck.

3. Umweltschonende und lokale Herstellung

Bei nachhaltigen Akustiklösungen werden Herstellungsprozesse bevorzugt, die sich durch geringen Energieverbrauch, niedrige Emissionen und schonende Nutzung von Ressourcen auszeichnen. Durch die Zusammenarbeit mit Herstellern, die auf umweltfreundliche Produktionsmethoden und eine lokale Materialbeschaffung setzen, werden transportbedingte CO₂-Emissionen reduziert und die regionale Wirtschaft wird unterstützt. Zudem bieten Akustikprodukte von Herstellern mit Öko-Zertifizierung und umweltfreundlichen Praktiken die Gewissheit, dass diese strenge Umweltstandards erfüllen.

4. Modulare und demontierbare Konstruktionen

Modulare Akustiklösungen bestehen aus vorgefertigten Komponenten, die sich leicht montieren, demontieren und je nach Bedarf neu konfigurieren lassen. Diese Flexibilität trägt nicht nur wechselnden akustischen Anforderungen Rechnung, sondern reduziert auch den Bauabfall und erleichtert die effiziente Wiederverwendung und das Recycling von Materialien. Demontierbare akustische Trennwände, Stellwände und Paneele bieten flexible Lösungen zur Optimierung der Raumakustik bei gleichzeitiger Minimierung der Umweltbelastung.

5. Natürliche akustische Elemente

Beim Einsatz natürlicher Akustik-elemente werden biophile Gestaltungsprinzipien und organische Materialien in den Raum integriert, um dessen Klangqualität und ästhetische Eigenschaften zu verbessern. Beispiele hierfür sind Akustikpaneele aus nachhaltigem Holz, Mooswände, die als Schallabsorber fungieren, sowie

Grünpflanzen, die die Luftqualität in Innenräumen verbessern und gleichzeitig akustische Vorteile bieten. Natürliche Akustik Elemente schaffen harmonische und gesunde Umgebungen, die eine Verbindung zur Natur herstellen und zudem nachhaltige Praktiken in der Innenraumgestaltung fördern.

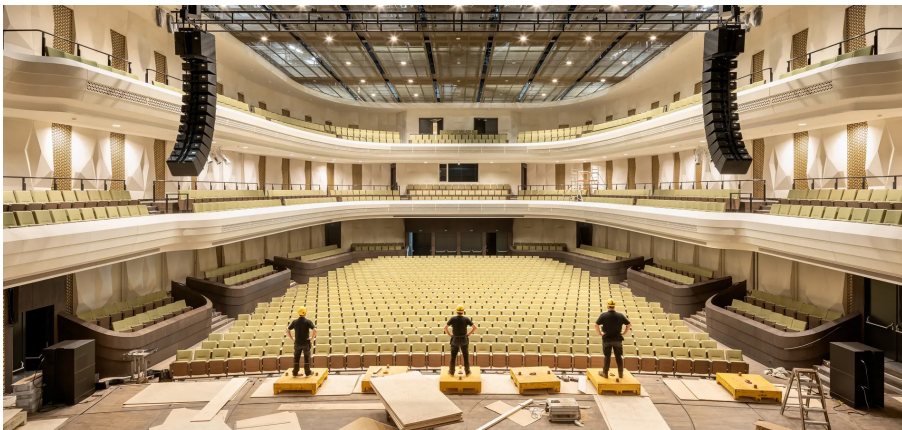
FALLSTUDIEN

Sehen Sie sich diese faszinierenden Wunderwerke der Bauakustik an!

1. Amare, Den Haag (Niederlande)

Direkter Link: https://noahh.nl/portfolio_page/amare-the-hague/

Amare ist nicht einfach ein gewöhnliches Kultur- und Veranstaltungszentrum. Es ist eine Drehscheibe der Kreativität und beherbergt Theater, Konzertsäle und vieles mehr. Das Besondere an Amare ist sein Anspruch, allen Arten von Aufführungen die perfekte Klangumgebung zu bieten – von Theaterstücken bis hin zu Musikkonzerten. Das einzigartige Akustikdesign bringt jede Stimme und jeden Ton perfekt zur Geltung.



2. Elbphilharmonie, Hamburg (Deutschland)

Direkter Link: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>

Die Elbphilharmonie ist ein Wunderwerk architektonischer und ingenieurtechnischer Kunstfertigkeit. Was sie jedoch wirklich außergewöhnlich macht, ist ihr akustisches Design. Mit ihrer einzigartigen Form sowie modernsten Materialien und Technologien bietet die Elbphilharmonie ein unvergleichliches Hörerlebnis. In dieser ikonischen Konzerthalle kommen und Künstler und Zuschauer voll und ganz auf ihre Kosten.



3. Booking.com City Campus, Amsterdam (Niederlande)

Direkter Link: <https://www.unstudio.com/en/page/11733/booking.com-city-campus>

Hinter der eindrucksvollen Architektur verbirgt sich eine akribische Beachtung aller Details, in jedem Aspekt dieses ultramodernen Gebäudes, von den Materialien und Bodenbelägen bis zur Belüftung und Akustik. Das BREAAAM-zertifizierte Büro stellt die Arbeitsumgebung des Benutzers in den Vordergrund – sie ist nahezu geräuschlos und mit natürlichen Elementen gestaltet.



WHITEPAPER

modulyss®

WHITEPAPER

HERAUSFORDERUNGEN UND ZU BEACHTENDE FAKTOREN

Dank wissenschaftlicher Fortschritte in der Raumakustik und der Verfügbarkeit von Materialien und Lösungen auf dem Markt haben wir heute wesentlich bessere Möglichkeiten zur Gestaltung von Räumen mit optimaler Akustik. Dennoch gibt es nach wie vor problematische Aspekte bei der Realisierung eines guten Akustikdesigns. Die folgenden Faktoren stellen dabei die wichtigsten Herausforderungen dar:

1. Vernachlässigung der Akustik in der Anfangsphase

Beim Neubau und Renovieren von Räumlichkeiten wird der Akustik in erster Instanz oft nicht genügend Beachtung geschenkt. Es ist sehr wichtig, der Akustik bereits in der Planungsphase eines Gebäudes oder Raumes hohe Priorität einzuräumen. Dieses Whitepaper befasst sich in erster Linie mit der Bau- und Raumakustik, jedoch gilt es für eine effektive akustische Gestaltung auch externe Geräuschquellen wie z. B. Nachbarschaftslärm oder Fluglärm zu berücksichtigen. Gestaltungsgrundsätzen, wie wir sie zuvor besprochen haben, muss die gleiche Aufmerksamkeit gewidmet werden wie etwa der Ästhetik und der Beleuchtung. Einen Experten für Akustik im Designteam zu haben, ist daher unverzichtbar. Oftmals spielen jedoch finanzielle Erwägungen die Hauptrolle bei der Frage, ob Akustikberater herangezogen werden soll und ob es sich lohnt, in Materialien und Raumelemente zu investieren, die auf die gewünschte Akustik zugeschnitten sind.

2. Große, offene Räume

Große, offene Räume wie Atrien, Flughafenterminals oder große überdachte Einkaufszentren stellen aufgrund ihres Volumens und der potenziell durch zahlreiche Benutzer verursachten hohen Lautstärke eine Herausforderung dar. In solchen Umgebungen muss der Akustik besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

3. Räume mit parallelen, schallharten Wänden

In Räumen mit parallelen, schallharten Wänden wie etwa Sporthallen oder Squash-Courts können verminderte Sprachverständlichkeit und störende Flatterechos zum Problem werden. Um diesen akustischen Schwierigkeiten zu begegnen und deren Auswirkungen auf die Nutzer zu minimieren, bedarf es einer sorgsamen gestalterischen Planung.

4. Reduzierung von tieffrequentem Schall

Tieffrequenter Schall stellt im Vergleich zu höherfrequentem Schall eine besondere Herausforderung bei der Absorption und Dämpfung dar. Er wird auch leichter von externen Quellen in Innenräume übertragen. Darüber hinaus nimmt die Häufigkeit von tieffrequentem Schall zu; er geht zum Beispiel von Quellen wie Wärmepumpen und Windturbinen aus. Um tieffrequente Geräusche wirksam zu dämpfen und eine optimale akustische Umgebung zu schaffen, bedarf es innovativer Lösungen.

Bei der Bewältigung dieser Herausforderungen spielen Fortschritte in der Akustikwissenschaft und strategische Designansätze eine maßgebliche Rolle. Sie ermöglichen eine Optimierung der akustischen Leistung unterschiedlicher Räume und tragen zur Schaffung einer komfortableren, gesünderen und funktionaleren räumlichen Umgebung bei.

ZUKUNFT UND INNOVATIONEN

Die Bau- und Raumakustik der Zukunft wird von mehreren zentralen Themenbereichen geprägt. Dazu gehören Fortschritte bei Verfahren, Technologien und Materialien, Weiterentwicklungen in der Gesetzgebung bezüglich Schallerzeugung sowie kulturelle Veränderungen im Bereich der Schallwahrnehmung. Ein Blick in die Zukunft der Bau- und Raumakustik zeigt mehrere Entwicklungen:

Lärm ist das neue Rauchen

Dass Rauchen der Gesundheit schadet, ist allgemein bekannt. In ähnlichem Maße wächst heute in der Bevölkerung das Bewusstsein für die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Lärm. Die Gesellschaft fordert zunehmend geeignete Umgebungen für Bildung, Arbeit und Freizeit mit geringeren Lärmpegeln, getrieben von dem Wunsch nach sozialer Gerechtigkeit. Es wird erwartet, dass diese verstärkte Beachtung der klanglichen und akustischen Umgebung die Nachfrage nach gut gestalteten Räumlichkeiten steigern wird. Initiativen wie Soundprint.co, die Listen von Restaurants mit akzeptablen Geräuschpegeln zusammenstellen, bilden lediglich den Anfang in einer Reihe von Projekten, in denen sich Bürgerinnen und Bürger für eine leisere Umgebung einsetzen.

2. Neue akustische Materialien

Die Nachfrage nach Materialien, die die akustischen Eigenschaften von Räumen verbessern, nimmt zu, und zahlreiche Unternehmen bieten entsprechende Produkte für private und industrielle Anwendungen an. Das Aufkommen von Metamaterialien, also künstlich hergestellten und häufig 3D-gedruckten Komponenten mit einzigartigen, in natürlichen Stoffen nicht vorkommenden akustischen Eigenschaften, verspricht eine effektivere Schallabsorption und -abschirmung mithilfe leichter und dünnerer Materialien. Die Markteinführung dieser innovativen Produkte wird mit Spannung erwartet.

3. „Mixed Reality“-Anwendungen

Stellen Sie sich vor, Sie könnten das akustische Ambiente eines Konzertsaals erleben, bevor er überhaupt gebaut ist, oder Sie könnten das Geräusch eines über Ihr Haus hinwegfliegenden Flugzeugs simulieren, ohne dass das Flugzeug selbst anwesend ist. Solche Möglichkeiten sind durch den Einsatz von Geräuschen in Virtual-Reality-Umgebungen in greifbare Nähe gerückt. Viele Akustikberater machen sich die neuen Tools bereits zunutze, und es ist zu erwarten, dass künftige Entwicklungen sich auch auf Augmented-Reality-Anwendungen erstrecken und derartige immersive Erfahrungen einem breiteren Publikum zugänglich gemacht werden.

4. Aktive Geräuschunterdrückung (Antischall)

Aktive Geräuschunterdrückung, eine Technik, die vielen durch die sog Noise-Cancelling-Kopfhörer bekannt ist, bietet einen vielversprechenden Ansatz zur Reduzierung unerwünschter Geräusche in verschiedenen Kontexten. In Flugzeugkabinen beispielsweise wird derzeit versucht, den Geräuschpegel durch Antischall zu senken. Im Bereich der Bauakustik kommen bereits Fenstersysteme auf den Markt, die tieffrequente Geräusche aktiv unterdrücken. Diese Lösungen könnten in Zukunft eine wichtige Rolle beim Lärmschutz spielen.

5. Dynamische Klangumgebungen

Die Geräuschkulisse in Innenräumen unterliegt einem stetigen Wandel, der von technologischen Entwicklungen und gesellschaftlichen Trends beeinflusst wird. Mit dem Aufkommen neuer Schallquellen, wie etwa der zunehmenden Verbreitung von Wärmepumpen, entwickelt sich die Klanglandschaft ständig weiter. Mit Blick auf die Zukunft ist eines sicher: Die Geräuschkulissen, in denen wir uns bewegen, werden immer wieder Veränderungen unterworfen sein, was eine ständige Anpassung und Innovation in der Bau- und Raumakustik erforderlich macht.

SCHALLABSORPTIONSGRADE GÄNGIGER MATERIALIEN UND STRUKTUREN

Tabelle 1 - Indikative Werte der Schallabsorptionsgrade (Diffusschall) einiger gängiger Materialien und Strukturen.

Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Ref.
Beton, grob	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	[1]
Ziegel, unglasiert	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	[2]
Schlackenbetonstein	0,2	0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	[3]
Putz, Gips oder Kalk – auf Ziegeln	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	[4]
Putz auf Holzlatten/Stegträgern, hinterlüftete Fassade	0,3	0,1	0,1	0,05	0,04	0,05	[3]
Gipskarton auf Rahmen, 9,5-mm-Platten, 10 cm Hohlraum mit Mineralwolle gefüllt	0,28	0,14	0,09	0,06	0,05	0,05	[5]
Leicht vibrierende Wände (abgehängte Decken etc.)	0,1	0,07	0,05	0,04	0,04	0,05	[6]
Einfachverglasung, 3-4 mm	0,2	0,15	0,1	0,07	0,05	0,05	[3]
Doppelverglasung, 2-3 mm Glas, 1 cm Zwischenraum	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	[7]
Holz, 50 mm dick	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	[8]
Sperrholz/Harholz, hinterlüftete Fassade	0,32	0,43	0,12	0,07	0,07	0,11	[3]
Holz auf festem Unterboden	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	[9]
Dielen auf Balkenträgern	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	[3]
Massivholztür	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	[10]
Gerade aufgehängte Vorhänge	0,04	0,16	0,19	0,17	0,2	0,25	[2]
Vorhänge in Falten an der Wand	0,05	0,15	0,35	0,4	0,5	0,5	[10]
Teppichboden, 5 mm dick, auf festem Unterboden	0,02	0,03	0,05	0,1	0,3	0,5	[6]
16-mm-Wollflor mit Unterlage	0,2	0,25	0,35	0,4	0,5	0,75	[9]
Bodenbelag aus Kautschuk, Kork, Linoleum mit Unterlage oder Vinyl mit Unterlage, auf Beton	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,1	[10]
Marmor oder glasierte Fliesen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	[2]
Terrazzo-Boden	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	[12]
5 cm Mineralwolle (40 kg/m ³), an der Wand verklebt, unbehandelte Oberfläche	0,15	0,7	0,6	0,6	0,85	0,9	[7]
Wasseroberfläche im Schwimmbad	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	[13]
Lüftungsgitter	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	[7]
Mittelstark gepolsterte Sitze, unbesetzt	0,54	0,62	0,68	0,7	0,68	0,66	[14]
Mittelstark gepolsterte Sitze, besetzt	0,62	0,72	0,8	0,83	0,84	0,85	[14]

BIBLIOGRAFIE

- [1] "ISO/TR 11690-3, Acoustics—Recommended practice for design of low-noise workplaces containing machinery—Part 3: Sound propagation and noise predictions in workrooms," 1997.
- [2] C. M. Harris, Handbook of Noise Control, 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 1991.
- [3] A. Fry, Noise Control in Building Services, Oxford, UK: Pergamon Press, 1987.
- [4] M. D. Egan, Concepts in Architectural Acoustics, New York: McGraw-Hill, 1972.
- [5] W. Fasold and H. Winkler, Bauphysikalische entwurfslehre, band 4: Bauakustik, Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1976.
- [6] H. Kuttruff, Room acoustics, London, UK: Spon Press, 2000.
- [7] J. Kristensen, "Sound Absorption Coefficients—Measurement, evaluation, application," Statens Byggeforskningsinstitut, Horsholm, DK, 1984.
- [8] T. J. Cox and P. D'Antonio, Acoustics Absorbers and Diffusers - Theory, Design and Application, Boca Raton, FL: CRC Press, 2017.
- [9] L. L. Beranek, Acoustics, New York: McGraw-Hill, 1954.
- [10] H. W. Bobran, Handbuch der bauphysik, Berlin: Verlag Ulstein, 19673.
- [11] D. Templeton, Acoustics in the Built Environment, 2nd ed., Oxford, UK: Architectural Press, 1997.
- [12] T. Rossing, R. Moore and P. Wheeler, The Science of Sound, Harlow, UK: Pearson Higher Ed., 2013.
- [13] V. O. Knudsen and C. M. Harris, Acoustical Designing in Architecture, New York: John Wiley, 1953.
- [14] L. Beranek, Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics and Architecture, New York: Springer, 1979.