

Bau- und Raumakustik: Materialien, Konstruktionen und Methoden

Kurt Eggenschwiler

Empa, Materials Science & Technology, Abteilung Akustik, CH-8600 Dübendorf

1. Einleitung

In diesem Vortrag werden einige Grundlagen der Bau- und Raumakustik berührt, welche im Zusammenhang mit dem Vermeiden von störendem und gesundheitsgefährdendem Lärm wichtig sind.

Lärm soll möglichst bereits an der Quelle verhindert oder vermindert werden. Dies ist nicht immer möglich. Beispiel: Telefongespräche in einem Grossraumbüro sind notwendig, können aber für die Büronachbarn störend sein.

Oft müssen deshalb Massnahmen auf dem Übertragungsweg getroffen werden. Sie werden in den folgenden Ausführungen besprochen.

2. Schall und Lärm

Lärm ist nicht gleich Schall. Erst wenn der Schall beim Menschen eintrifft, wird er als störender oder schädigender Lärm empfunden oder erlitten. Eine Schallmessung kann relativ gute Aussagen machen zur Gefährdung des Gehörs und auch zur Störung der Kommunikation. Der Zusammenhang von Lärmbelästigung/Lärmstörung und Schallbelastung ist allerdings komplexer: Die Empfindung von Belästigung und Störung hängt nicht so sehr von Schallpegel und Spektrum ab, sondern ist stark beeinflusst von vielen anderen Faktoren, wie z. B. von der Einstellung des Empfängers zur Art des Signals oder zum Erzeuger des Schalls. Trotzdem ist es für die Gestaltung von Schallschutzmassnahmen in erster Annäherung nützlich, das ankommende Schallsignal auf seine Wirkung auf den reinen Gehöreindruck hin zu untersuchen.

Bei der Schallwahrnehmung können wir in erster Ordnung Lautstärke und Tonhöhe unterscheiden. Sie werden in der Akustik mit dem Schalldruckpegel und der Frequenz gemessen. Ein Klang oder ein Geräusch ist zusammengesetzt aus Anteilen verschiedener Tonhöhen. Vogelgezwitscher enthält vor allem Komponenten hoher Frequenz, bei Discomusik fällt der starke Anteil tiefer Frequenzen auf. Geräusche werden in der Akustik mit dem Spektrum charakterisiert (Beispiel: Terzbandspektrum in Abbildung 1).

Trotz des geschilderten Zusammenhangs verwendet man in der Akustik oft nur *eine* Grösse um ein Geräuschereignis zu beschreiben. Für die Lautstärke ist dies der A-bewertete Schalldruckpegel, wobei die Messgrösse Dezibel genannt wird, resp. dB(A) für den A-bewerteten Pegel. A-Bewertung heisst, dass das Schallsignal mit einem Filter bewertet wird, welches die unterschiedliche Empfindlichkeit des Gehörs für verschiedene Tonhöhen berücksichtigt. Auch in der Bau- und Raumakustik werden meistens Einzahlgrössen verwendet, wie z. B. das bewertete Schalldämmmass R_w . Sie beruhen auf dem gleichen Prinzip wie der A-Pegel. Oft vergisst man, dass die so beurteilten Konstruktionen oder Situationen in vielen Fällen auf diese Weise nur ungenügend beschrieben werden.

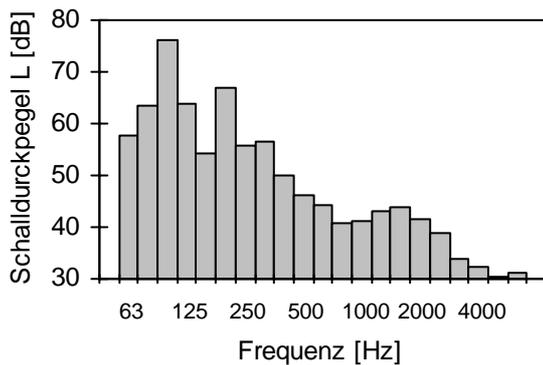


Abbildung 1 Terzbandspektrum eines Geräusches mit starken Anteilen im Tieftonbereich und einem guten wahrnehmbaren Ton (Grundton 100 Hz, erster Oberton 200 Hz).

3. Schallausbreitung im Raum

3.1 Schall in Räumen - Raumakustik

Wenn sich die störende Schallquelle im gleichen Raum befindet, interessiert der Vorgang der Schallausbreitung im Raum selber. Dabei kann es sich bei der Schallquelle sowohl um eine Maschine, als auch um eine Wand handeln, welche den Schall vom Nachbarraum in unseren Raum abstrahlt. In Büros sind auch die menschlichen Schallquellen von Bedeutung.

In einem durch schallharte Wände abgeschlossenen Raum wird der Schall vielfach reflektiert. Wenn eine Schallquelle in diesem Raum abgeschaltet wird, klingt das Schallfeld nur langsam ab. Wir empfinden dies als Nachhall. Die Dauer des Nachhalls wird durch seine Abklingzeit, resp. Nachhallzeit gemessen. Eine gotische Kathedrale, ein Hallenbad oder eine Fabrikhalle weisen eine lange Nachhallzeit auf. In einem halligen Raum ist es laut, d. h. eine gegebene Schallquelle verursacht einen hohen Schallpegel.

Wenn sich in einem Raum viele schallschluckende Materialien befinden, wird bei jeder Reflexion des Schalls ein Teil der Schallenergie vernichtet, der Nachhall wird kurz. Je kürzer die Nachhallzeit, umso weniger laut ist eine gegebene Schallquelle.

Der Pegel in einem Raum hängt also nicht nur von der Schallleistung der Quelle(n) ab, sondern auch vom Schallschluckvermögen der vorhandenen Materialien.

Bei kleinen Räumen können Resonanzerscheinungen bei tiefen Frequenzen beobachtet werden. Bei bestimmten Frequenzen ist an einem Ort im Raum die Lautstärke sehr hoch, an anderen sehr tief. So wird z. B. ein Mitarbeiter durch einen lauten, tiefen Ton einer Pumpe aus dem Nachbarraum stark gestört, seine Mitarbeiterin an einem zwei Meter entfernten Arbeitsplatz hört dagegen praktisch nichts. Neben den üblichen Massnahmen (Elastische Lagerung der Quelle, Arbeitsplatz verschieben) helfen massgeschneiderte Tieftonabsorber.

3.2 Schallpegelabnahme mit der Distanz - Nachhallzeit

Die akustische Situation in einem Arbeitsraum wird mit der Schallpegelabnahme in Funktion der Distanz charakterisiert. Je besser die Absorption (je mehr schallschluckende Flächen) und je mehr Hindernisse sich am richtigen Ort im Raum befinden, umso mehr nimmt der Pegel mit der Distanz ab (siehe Abbildung 2).

Eine weitere Beschreibungsgrösse ist die Nachhallzeit. Um in Sitzungszimmern und Räumen für Instruktion und Unterricht eine gute Sprachverständlichkeit zu gewährleisten, muss die Nachhallzeit kurz sein.

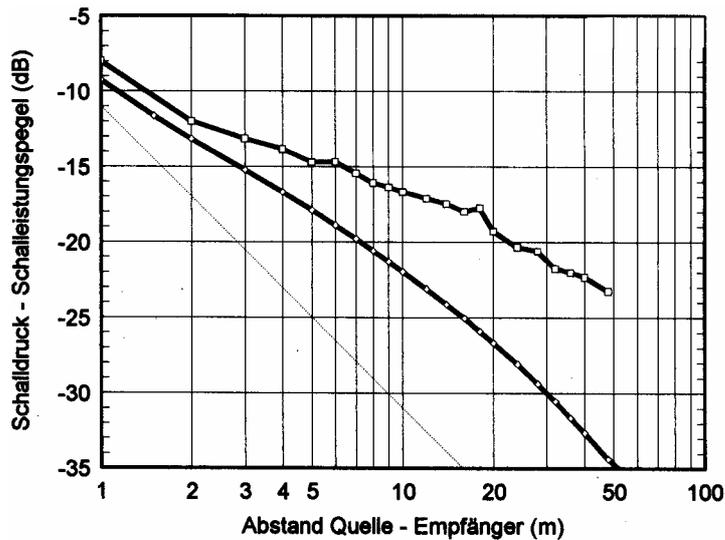


Abbildung 2 Schallpegelabnahme (Schallausbreitungskurve vor und nach der Sanierung. Obere Kurve: Vorher, Untere Kurve: Nachher (mit eingebauten Schallabsorbern) [2]

3.3 Schallabsorption - Lärmschirme

Schallharte Materialien absorbieren den Schall schlecht. Dazu gehören Beton, Mauerwerk, Gipswände, Holzwände, geschlossene Blechdecken usw. Bei richtigem Aufbau (Hinterfüllung mit porösem Material) können Platten aus Holz, Gips oder Blech im Tieftonbereich schallabsorbierend sein. Sie reflektieren den Schall aber im Mittel- und Hochtonbereich (d. h. also im Sprachbereich)

Für den Mittel- und Hochtonbereich sind vor allem poröse Materialien wie Mineralfaserplatten, offenporiger Schaumstoff, schwere Textilien oder sehr dicke Teppiche welche gut Schall absorbieren.

Um in einem Raum eine genügend grosse Abnahme des Schallpegels mit der Distanz von der Quelle und eine genügend kurze Nachhallzeit zu erreichen sind schallabsorbierende Verkleidungen an Wänden, Decken und Stellwänden sowie Lärmschirme notwendig (siehe Abbildung 3 - Abbildung 5).

Um die Wirksamkeit der raumakustischen Massnahmen zu optimieren gibt es Berechnungsprogramme, welche eine Prognose der Schallpegelverteilung oder Nachhallzeit ermöglichen. Für die Prognosen ist die Kenntnis des Schallabsorptionsgrads der eingesetzten Materialien notwendig. Die Werte können bei Prüfinstituten in einem Hallraum gemessen werden. Auch der Schallabsorptionsgrad ist übrigens stark frequenzabhängig.

Schallschirme, z. B. zum Abschirmen von Arbeitsplätzen in Grossraumbüro, sind nur dann wirksam, wenn die Decke über dem Schallschirm schallabsorbierend verkleidet ist (siehe Abbildung 5).

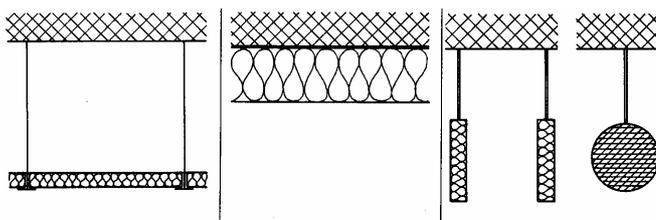


Abbildung 3 Grundsätzliche Varianten für die Montage von schallabsorbierendem Material an der Decke. Links: abgehängte Decke; Mitte: Material direkt auf Decke; Rechts: Baffeln und Kompaktabsorber. [2]

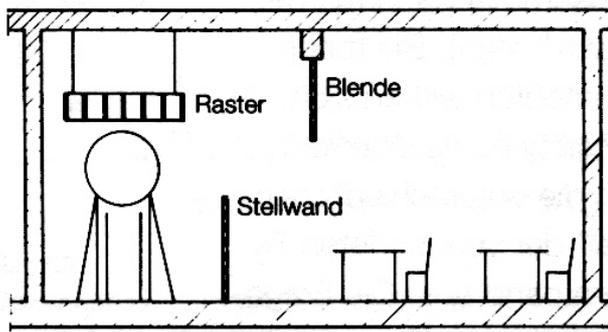


Abbildung 4 Trennung von Arbeitsbereichen innerhalb des gleichen Raums durch absorbierendes Raster, Stellwand und Blende. [3]

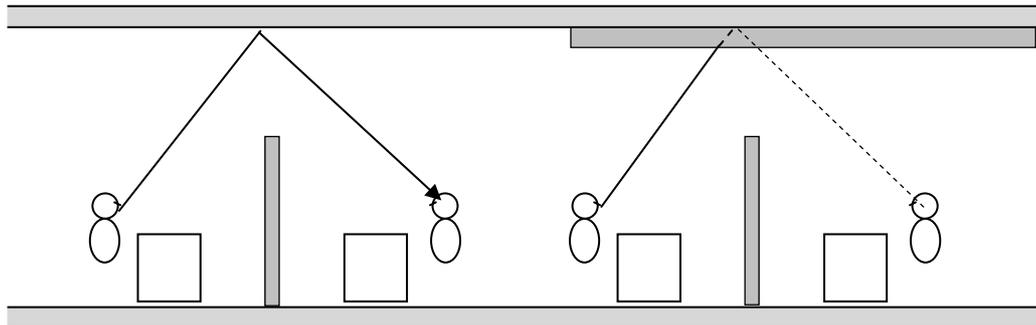


Abbildung 5 Schallschirm in einem Büro. Die Decke über dem Schallschirm muss absorbierend verkleidet sein, um Reflexionen zu vermeiden, welche die Wirkung des Schallschirms zunichte machen.

3.4 Besonders gute und besonders schlechte Sprachverständlichkeit

In Sitzungszimmern, in Räumen für Unterricht und in Vortragssälen ist eine besonders gute Verständlichkeit der Sprache notwendig. Leider sind die Verhältnisse in vielen solchen Räumen akustisch schlecht und damit die Sprachverständlichkeit ungenügend.

Die Anforderungen (kurzer Nachhall) und Hinweise auf die Gestaltung der Räume (Raumform, Materialisierung) finden sich in der vor kurzem revidierten deutschen Norm DIN 18041 [6], auf die auch die Schweizerische Akustische Gesellschaft SGA in einer Richtlinie [7] hinweist.

Um eine gute Sprachverständlichkeit zu erreichen muss die Nachhallzeit kurz sein. Dies bedingt meistens das Einbringen von zusätzlicher Absorption, wenn möglich verteilt auf möglichst vielen Raumflächen. Wenn in Sitzungszimmern nur die Decke verkleidet wird, besteht die Gefahr von Flatterechos. Je grösser die Räume sind, umso wichtiger ist die Platzierung der Absorber am richtigen Ort. In Vortragssälen sollte an der Decke eine mittlere Fläche schallhart gestaltet werden, um nützliche Reflexionen von den Sprechenden ins Publikum zu lenken. Die Rückwand sollte schallabsorbierend sein, um störende Echos zu vermeiden.

Auf den ersten Blick erstaunt, dass in bestimmten Situationen die Akustik so eingerichtet werden muss, dass die Sprachverständlichkeit *schlecht* ist. Im schon weiter oben angesprochenen Grossraumbüro erwarten die Mitarbeitenden von Bereich zu Bereich tagsächlich eher eine schlechte Sprachverständlichkeit. Sie wollen nicht von den Telefonaten oder Diskussionen der benachbarten Mitarbeitenden bei der eigenen Arbeit in der Konzentration gestört werden. Hier helfen die erwähnten Bürostellwände. Hilfreich ist auch das akustische Verdecken durch ein Hintergrundgeräusch, welches aber nicht zu hohe Pegel aufweisen darf um nicht seinerseits zu stören.

Eine schlechte Sprachverständlichkeit hat höchste Priorität, wenn es um vertrauliche Gespräche mit Kunden geht, z. B. in einer Bank.

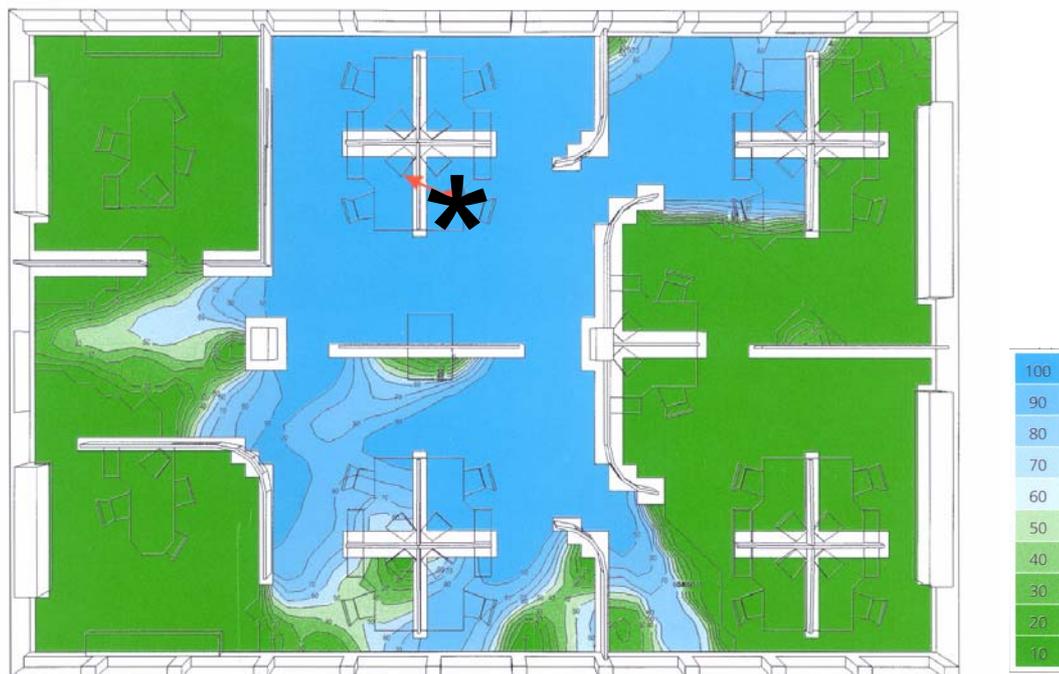


Abbildung 6 Bürofläche 194 m² mit 20 Arbeitsplätzen. Darstellung der Sprachverständlichkeit. Schallquelle: *. Quelle: PREFORM.

4. Luftschalldämmung

Im vorhergehenden Beitrag von Walter Lips wurden verschiedene Schallübertragungswege von Aussen ins Gebäudeinnere oder innerhalb des Gebäudes geschildert. Wir wollen uns zuerst mit dem Luftschall befassen, oder eigentlich mit der Luftschalldämmung.

4.1 Wirkungsweise

Es sind drei Prinzipien, welche die Luftschalldämmung beeinflussen.

Trägheit der Masse (Massegesetz der Bauakustik):

Je grösser die Masse eines Bauteils, umso weniger gut lässt er sich schütteln, und je schneller man eine Masse schütteln will, umso grösser ist die erforderliche Kraft. Die Konsequenzen:

- je schwerer ein Bauteil, umso kleiner wird seine Schwingungsamplitude und umso weniger Schall wird auf der Empfangsseite produziert. Eine massive Bauweise ermöglicht eine bessere Schalldämmung.
- je höher die Frequenz des Schalls, umso kleiner wird die Amplitude der Schwingung. Hohe Frequenzen werden besser gedämmt als tiefe.

Schwachstellen bei der Schalldämmung sind also die leichten Bauteile, z. B. Fenster und Türen. Mit Leichtbauweise ist es schwieriger, eine gute Schalldämmung zu erreichen, besonders bei den tiefen Frequenzen.

Koinzidenz:

Das einfache Massegesetz gilt nicht für den ganzen Frequenzbereich. Bei bestimmten Frequenzen kann die Schalldämmung stark vermindert sein, weil bei schrägem Schalleinfall und passender Frequenz das Bauteil zu starken BiegeWellen angeregt wird.

Durch geeignete Materialwahl und Konstruktion - z. B. zweischalige Bauweise - lässt sich die Koinzidenz in ein Frequenzgebiet schieben, wo sie weniger schadet.

Resonanz bei mehrschaligen Konstruktionen:

Mit zweischaligen Konstruktionen lässt sich die Schalldämmung erhöhen, das Koinzidenzproblem mildern und zugleich Gewicht sparen. Im Gegenzug handelt man sich Resonanzen der beiden Schalen ein, welche im Tieftonbereich starke Einbrüche der Schalldämmung zur Folge haben. Sie können durch Verwendung von Materialien mit hoher innerer Dämpfung und durch schallabsorbierende Füllungen im Zwischenraum der Schalen reduziert werden.

4.2 Nebenwege, Schallbrücken

Die Luftschalldämmung wird begrenzt, wenn der Schall statt durch das dämmende Bauteil über Nebenwege in den benachbarten Raum abgestrahlt wird. So nützt eine gut schalldämmende Bürotrennwand nichts, wenn der Schall auf dem Umweg über eine leichte Fassade in den anderen Raum gelangt (Abbildung 7).

Die Berechnung der Schallausbreitung auf Nebenwegen, die sich ja nie ganz vermeiden lässt, ist übrigens nicht ganz einfach. Heute stehen dazu spezielle Berechnungsverfahren zur Verfügung, oft fehlen aber noch die Bauteildaten.

In der Baupraxis passieren bei der Ausführung immer wieder Fehler, welche die Schalldämmung stark vermindern, wie z. B. in Form von Körperschallbrücken (siehe Abbildung 8)

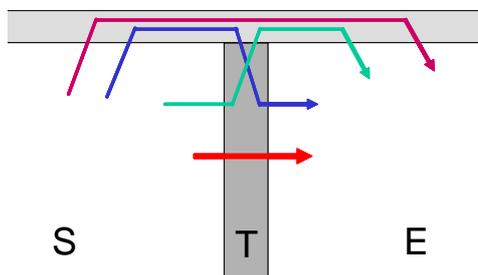


Abbildung 7 Verschiedene Wege des Schalls vom Senderraum S mit der Schallquelle in den Empfangsraum E. Der Weg durch das Trennbauteil T wird ergänzt durch die Nebenwege.

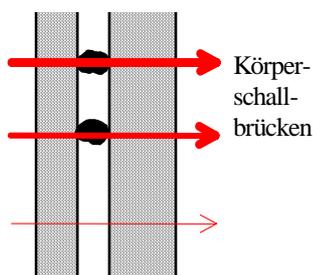


Abbildung 8 Die gute Schalldämmung einer doppelwandigen Wand wird durch sogenannte Körperschallbrücken (Fehler beim der Ausführung auf dem Bau: kleine Steine, kleine Mörtelreste) zu Nichte gemacht. Der gleiche Effekt ergibt sich bei schwimmenden Unterlagsböden.

|

5. Trittschalldämmung, Körperschalldämmung

5.1 Wirkungsweise

Schall der beim Gehen auf Fußböden entsteht, oder die Schwingungen einer Maschine oder eines Gerätes welche auf dem Boden stehen oder an einer Wand befestigt sind werden als Körperschall ins Gebäude eingeleitet. Diese Schwingen breiten sich

über die Gebäudestrukturen aus. Später werden sie in einem anderen Raum, zum Beispiel von einer leichten Trennwand als Luftschall abgestrahlt.

5.2 Elastische Lagerung

Die Übertragung muss möglichst nahe an der Quelle abgeschwächt werden. Die geschieht durch eine richtig dimensionierte Schwingungsisolierung.

Um die Übertragung des Trittschalls zu mindern wird der Unterlagsboden wie in Abbildung 9 schwingend gelagert (schwimmender Estrich). Dabei muss bei der Ausführung auf dem Bau darauf geachtet werden, dass die elastische Zwischenschicht 100% durchgehend ist und der schwimmende Unterlagsboden die Wände nicht berührt. Es müssen also Bücken für den Körperschall vermieden werden (siehe auch Abbildung 8).

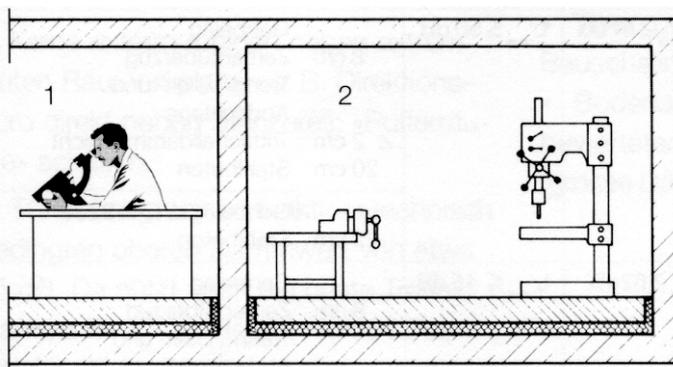


Abbildung 9 Verminderung der Körperschallübertragung durch schwimmende Böden. 1: Büro, 2: Werkstatt. [3]

Geräte, Maschinen, Sanitärinstallationen und andre Einrichtungen welche als Körperschallquellen wirken, müssen elastisch gelagert werden (siehe Abbildung 12). Maschinen werden auf Federn oder andere elastische Materialien gestellt, Rohrleitungen werden ebenfalls elastisch befestigt. Allerdings genügt es nicht, irgendein elastisches Material zu verwenden. Um nicht eine viel zu schwache Dämmung der Schwingungen oder gar deren Verstärkung zu erreichen, muss die Schwingungsisolierung sorgfältig rechnerisch dimensioniert werden.

Oft wird fälschlicherweise angenommen, dass durch die Schwingungsisolierung auch der Luftschall vermindert wird. Selbstverständlich wird der durch Körperschall abgestrahlte Luftschall im benachbarten Raum abgeschwächt. Die Abstrahlung des Luftschalls selber und dessen Übertragung bleibt aber praktisch unbeeinflusst. Dazu ist bei Maschinen eine Kapselung notwendig, wie in Abschnitt 7 dargestellt.

6. Beurteilung von Luft- und Körperschalldämmung

Bei der Beurteilung muss unterschieden werden zwischen der Spezifizierung der Bauteile und der eigentlichen wesentlichen Beurteilung einer Situation, z. B. der Schallschutz zwischen der internen Druckerei und dem Direktionszimmer. Im Folgenden wird aus Platzgründen nur ein Hinweis auf die Charakterisierung der Bauteile gegeben. Die Beurteilung der Situation im Bau, also die *Beurteilung des Schallschutzes* erfolgt nach der *Norm SIA 181*, welche in Kürze in revidierter Form herausgegeben wird. [8]

6.1 Beurteilung der Luftschalldämmung von Bauteilen

Die Luftschalldämmung einer Wand, einer Türe oder eines Fensters wird mit dem Schalldämmmass beschrieben. Wie in 4.1 beschrieben ist die Schalldämmung frequenzabhängig. Für eine Beurteilung ist deshalb eigentlich die Kenntnis der frequenzabhängige Schalldämmung R notwendig (Tabelle und Diagramm in Abbildung 10).

In der Baupraxis verwendet man der Einfachheit halber aber meistens nur das bewertete Schalldämmmass R_w , also einen Einzahlwert. Dabei kann es durchaus passieren, dass zwei Bauteile das gleiche bewertete Schalldämmmass R_w ausweisen, der eine aber den Schall bei tiefen Frequenzen viel schlechter dämmt. Die Ursache liegt darin, dass die zur Einzahlangabe führende Bewertung die Terzbandanteile unter Annahme eines „normalen“ Geräuschkennspektrums mittelt.

Um diese Fehlbewertung so gut wie möglich zu vermeiden wurden vor einigen Jahren in der internationalen Normung (ISO 717) die Korrekturen C und C_{tr} eingeführt. Die Korrektur C_{tr} beruht auf dem Spektrum von Verkehrslärm, das besonders grosse Anteile tiefer Frequenzen aufweist. C_{tr} liegt in einem Bereich von -2 bis -11 dB, *vermindert also die reale Schalldämmung*. Die Prüfzeugnisse geben deshalb neben R_w auch die beiden Korrekturen an (siehe Abbildung 11).

f [Hz]	R [dB]
100	30.0
125	24.0
160	25.1
200	28.4
250	27.2
315	30.0
400	32.4
500	33.7
630	35.9
800	38.6
1000	37.7
1250	38.7
1600	37.5
2000	38.3
2500	40.0
3150	38.3
4000	42.0
5000	46.0

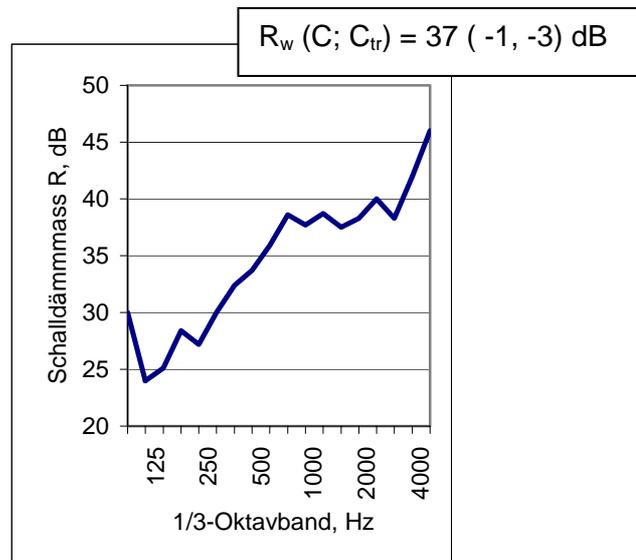


Abbildung 10 Resultate einer Materialprüfung (IV-Holzfenster, Verglasung 4/16/8): Schalldämmmass terzbandweise als Tabelle, Grafik und Angabe der bewerteten Größen samt Korrekturen C , C_{tr} .

6.2 Trittschall

Der Trittschall wird auf ähnliche Weise beurteilt wie die Luftschalldämmung, also in der Regel mit einem Einzahlwert. Besonders beim Trittschall ist es von Nachteil, dass die Störungen von tieffrequentem Schall heute durch die Prüfung nicht erfasst werden.

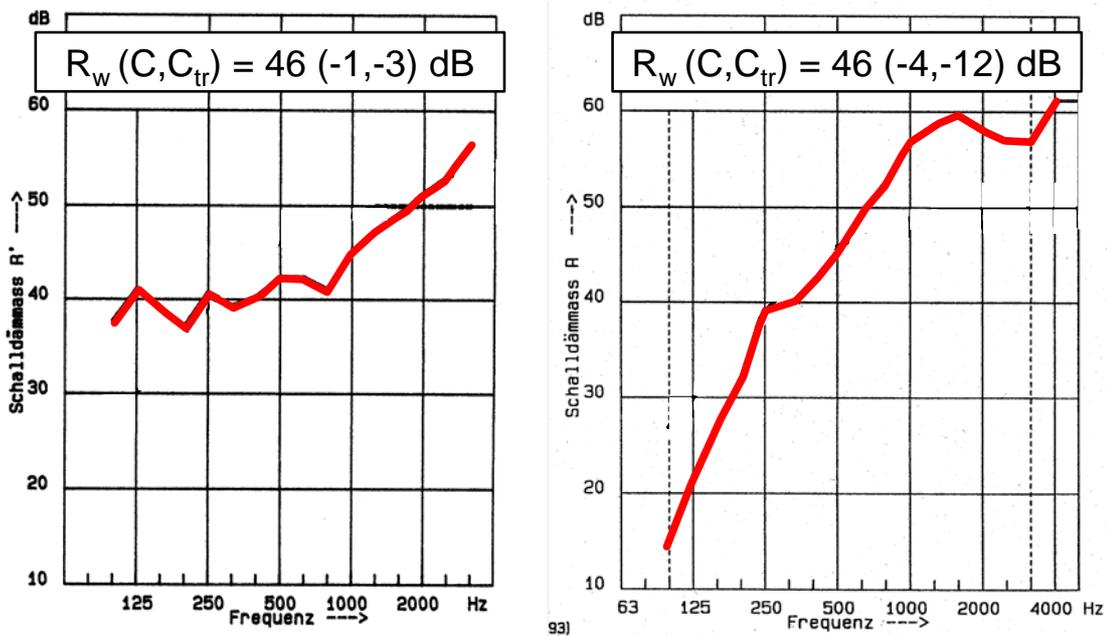


Abbildung 11 Schalldämmung in Funktion der Frequenz. Links ein Massivbauteil mit guter Schalldämmung bei tiefen Frequenzen. Rechts ein Leichtbauteil mit guten Schalldämmeigenschaften bei hohen Frequenzen, aber schlechten bei tiefen.

7. Kapselung

Die Kapselung von Maschinen oder anderen Einrichtungen ist eine wichtige Massnahme um die Abstrahlung von Schall nachhaltig zu vermindern, z. B. in Fabrikhallen. Dabei sind sowohl die Prinzipien der Luft- und Körperschalldämmung (Abschnitte 3 und 5), als auch der Absorption von Luftschall (3.3) anzuwenden.

Das Prinzip der Kapsel ist in Abbildung 12 dargestellt. Eine gute Kapselung zeichnet sich aus durch eine den Verhältnissen angepasste Luftschalldämmung und eine wirkungsvolle Schallabsorption auf der Innenseite. Keine Teile der Maschine dürfen die Kapsel berühren, sonst wird Körperschall auf die Kapsel übergeleitet und von dort als Luftschall abgestrahlt. Oft sind Öffnungen (Lüftungen) notwendig. Sie sollen möglichst klein sein, oder als Schalldämpfer ausgebildet sein. Wenn die Maschine vibriert ist eine abgestimmte Schwingungsisolierung notwendig.

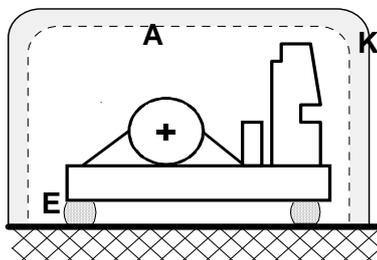


Abbildung 12 Schematisch dargestellte Kapselung einer Maschine. Die Maschine ist elastisch gelagert. Die Kapselung K mit innenseitig schallabsorbierender Verkleidung A vermindert die Ausbreitung des Luftschalls. Die elastische Lagerung E vermindert die Körperübertragung.

8. Schalldämpfer

Bei Lüftungstechnischen Anlagen, Auspuffanlagen etc. werden Schalldämpfer eingesetzt, um die Abstrahlung von Luftschall wirksam zu verhindern. Zwei Bauformen von Absorptionsschalldämpfern finden sich in Abbildung 13. Die Dämpfung ist stark frequenzabhängig. Bei tiefen Frequenzen ist sie in der Regel schlecht.

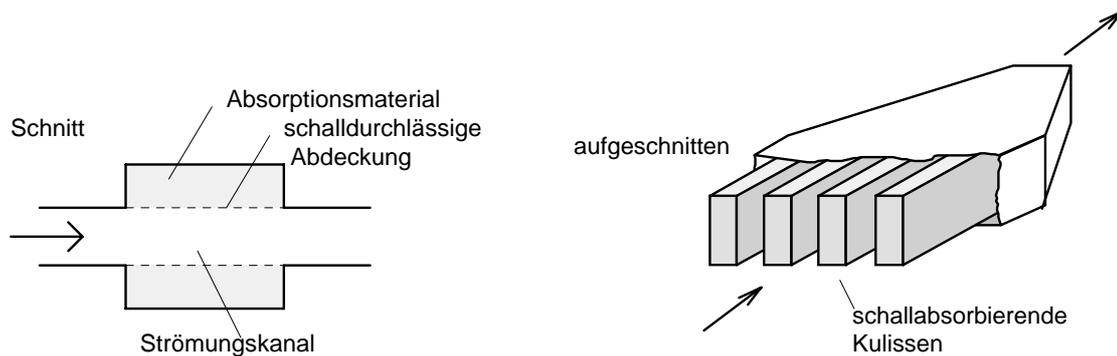


Abbildung 13 Zylindrischer Absorptionsschalldämpfer (links) und Kulissenschalldämpfer (einseitig aufgeschnitten) rechts.

9. Aktive Minderung von Schall und Schwingungen

Im Bereich der Schalldämpfer und der Schwingungsisolierung findet man heute bereits die Anwendung der aktiven Minderung von Schall und Vibrationen, welche besonders im Bereich der tiefen Frequenzen mehr leisten kann als herkömmliche Massnahmen.

Bei der aktiven Minderung von Schall und Schwingungen geht es darum, die einfallenden Wellen zu überlagern mit Gegenwellen, welche von einem Lautsprecher oder einem Schwingungserzeuger abgestrahlt werden. Ziel ist es, die einfallenden Wellen auszulöschen, oder wenigsten stark zu vermindern.

Zukünftig wird dieses Prinzip mehr und mehr bei den Schallquellen selber eingesetzt werden. Aber auch auf dem Übertragungsweg, z. B. bei doppelschaligen Wänden kann die aktive Schallminderung mit Gewinn vor allem im heiklen Bereich der tiefen Frequenzen realisiert werden. Ideal wäre es, wenn die Schwingungsenergie direkt für die Erzeugung der Gegenschwingung genutzt werden könnte, so dass eine externe Stromversorgung weg fällt. Diese Fragen sind Gegenstand der Forschung, in der Schweiz an der Empa in Zusammenarbeit mit der ETH.

Die Pegelverminderung durch aktive Massnahmen im komplizierten Schallfeld eines Raumes am Arbeitsplatz neben einer Maschine ist allerdings noch Science Fiction.

Literatur

- [1] Fasold W., Veres E., Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, Verlag für Bauwesen. 2003
- [2] Lips W., Industrielle Raumakustik - Information für Planer, Architekten und Ingenieure, Bestellnummer 66008d, Suva, Luzern 2001.
- [3] Lips W., Industrielle Raumakustik - Eine Übersicht für Praktiker, Bestellnummer 66076d, Suva, Luzern 1996.
- [4] Lips W., Elastische Lagerung von Maschinen. Information für Planer, Konstruktionsingenieure und Hersteller, Bestellnummer 66076d, Suva, Luzern 2001.
- [5] Lips W., Lärmbekämpfung durch Kapselungen, Bestellnummer 66026d, Suva, Luzern 2001
- [6] DIN 18041:2004-05, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen.
- [7] Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache, Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA, www.sga-ssa.ch
- [8] SIA 181, Schallschutz im Hochbau