

Raum- und Bauakustik

Akustik-Serie Teil 9

Sabinesches Gesetz – Nachhallzeit und äquivalente Absorptionsfläche, Schalldämmung und Schalldämpfung

Akustische Aspekte und der Wunsch nach Wohlfühlen in Räumen – halb offenen oder geschlossenen – haben das Bauwesen von Anbeginn geprägt, und zwar angefangen bei den Amphitheatern im alten Rom bis hin zu unseren heutigen, modernen Gebäuden mit ihrem Komfort, in denen wir leben, arbeiten und unsere Freizeit verbringen.

Geräuschquellen

Ein in akustischer Hinsicht gravierender Unterschied zwischen dem alten Rom und unseren modernen Städten ist die ständig wachsende Zahl von Geräuschquellen, sei es in der Industrie, in Arbeitsstätten, im Verkehr, aber auch in den Wohnhäusern selbst (siehe Bild 1).

Der Lärm bildet heute quasi den „hörbaren Abfall“ unserer Zivilisation. Bereits Robert Koch (1843–1910) prophezeite zum Ende des 20sten Jahrhunderts, dass die Menschheit sich künftig genauso heftig gegen den Lärm zur Wehr setzen wird, wie dereinst gegen die Pest und die Tuberkulose.

Die ständige Lärmeinwirkung auf den Menschen, macht ihn langfristig krank. Ausgehend von dieser Erkenntnis bemüht man sich heute in der Architektur, insbesondere aber im Bauwesen darum, nicht nur bei der Gestaltung von Konzert- und Vortragssälen, sondern gerade auch im Wohnungsbau dafür Sorge zu tragen, dass ein ausreichender Schallschutz gewährleistet ist.

Sabinesches Gesetz

Die akustischen Eigenschaften eines Raumes werden sehr wesentlich durch Schallreflexionen an den Raumbegrenzungen bestimmt. Nach dem Aufhören der akustischen Erregung verschwindet das Schallfeld in einem geschlossenen Raum nicht sofort, sondern es klingt nach einer exponentiellen Zeitfunktion ab – dieses Abklingen wird als Nachhall bezeichnet. Der Nachhall entsteht durch wiederholte Reflexionen des Schalls an den Begrenzungsflächen eines Raumes. Bei jeder Reflexion wird stets ein Teil der Schallenergie von den Raumbegrenzungsflächen absorbiert.

Gemäß der Betrachtungsweise der wellentheoretischen Raumakustik lässt sich die Entstehung des Nachhalls auch durch das Ausschwingen der Eigenschwingungen eines Raumes erklären.



Bild 1: Raum- und Bauakustik im antiken Rom und heute (Illustration: Brüel & Kjaer)



Zur Information:

In leicht verständlicher Form vermitteln wir eine **Einführung in die Arbeitsgebiete der technischen Akustik – einschließlich Schwingungstechnik – und der Elektroakustik.**

Themengebiete:

- Akustische Grundbegriffe – Schallfeldgrößen, Pegel, Resonatoren (ELVjournal 2/2019)
- Schallausbreitung – Reflexion, Beugung, Brechung und Absorption (ELVjournal 3/2019)
- Elektromechanische Analogien – Analogie erster und zweiter Art, Ersatzschaltbilder (ELVjournal 4/2019)
- Elektroakustische Wandler – Wandlerprinzipien und ihre Gesetze (ELVjournal 5/2019)
- Mikrofone – vom Studiomikrofon bis zum Subminiaturmikrofon (ELVjournal 6/2019)
- Kopfhörer – elektrodynamische und elektrostatische Kopfhörer (ELVjournal 1/2020)
- Lautsprecher – von den Anfängen bis zur Bassreflexbox (ELVjournal 2/2020)
- Beschallungstechnik – gerichtete Schallabstrahlung, Linienstrahler (ELVjournal 4/2020)
- **Raum- und Bauakustik – Sabine'sches Gesetz, Nachhallzeit und äquivalente Absorptionsfläche**
- Gehör – Lautstärke, Lautheit, Hörverlust, Hörgeräte, Audiometrie
- Persönlicher Schallschutz – von passiven Gehörschutzmitteln bis zum aktiven Schallschutz mittels „Antischall“
- Akustische Messräume – reflexionsarme Räume, Messboxen und Hallräume
- Körperschall und Vibrationen – Accelerometer und Ladungsverstärker
- Wasserschall – Schallausbreitung im Wasser, Hydrofone und Wasserschall-Messtanks
- Ultraschall und Infraschall – natürliche und industrielle Quellen

Theoretische Zusammenhänge werden nur so weit vertieft, wie es für das Verständnis des Stoffs notwendig ist. Auf mathematische Ausdrücke (Gleichungen, Formeln) wird im Text so weit wie möglich verzichtet. Anschauliche Illustrationen unterstützen diese Beiträge. Autor dieser Serie ist Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit.

Für die quantitative Beschreibung des Nachhalls genügt die Kenntnis des Schallabsorptionsgrades α (= absorbierte Schallintensität I_{abs} pro einfallender Schallintensität I_{einf}) der Gesamtheit aller Begrenzungsflächen, des Raumvolumens V (Einheit: m^3) und der Gesamtfläche S (Einheit: m^2) sämtlicher raumbegrenzender Wände, der Decke und des Fußbodens.

Die quantitative Kennzeichnung des Nachhallvorgangs geschieht durch die Nachhallzeit T (Einheit: s). Darunter versteht man gemäß einem Vorschlag von W. C. Sabine (1868–1919) diejenige Zeit, innerhalb derer die Schallenergie in einem geschlossenen Raum nach dem Abschalten der Schallquelle auf den 10^{-6} Teil des ursprünglichen Wertes, d. h. um -60 dB, abgesunken ist.

$$T = 0,16_{(bei\ 20^\circ C)} \cdot \frac{V}{A}$$

Im Beitrag zum Thema Beschallungstechnik in dieser Ausgabe findet man auf Seite 143 in Bild 2 eine Grafik dazu. A ist darin die sogenannte äquivalente Absorptionsfläche aller Raumbegrenzungsflächen (Einheit: m^2). Hierbei handelt es sich um eine gedachte Fläche mit 100-prozentiger Schallabsorption. Da in der Praxis die einzelnen Raumbegrenzungsflächen nicht immer aus dem gleichen Material bestehen und somit auch der Schallabsorptionsgrad unterschiedliche Werte haben kann, setzt man an Stelle des einfachen Produktes $A = \alpha \cdot S$ den Summenausdruck

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_n \cdot S_n$$

in die Sabine'sche Nachhallgleichung ein.

Darin sind α_n der Absorptionsgrad der einzelnen n Begrenzungsflächen eines Raumes und S_n die Fläche der einzelnen n Teilflächen eines Raumes (Einheit: m^2).

Neben der äquivalenten Absorptionsfläche A bestimmt auch noch das Raumvolumen V (Einheit: m^3) die für die akustische Übertragungsqualität eines Raumes so wichtige Größe, nämlich die Nachhallzeit T (Einheit: s). Die Nachhallzeit T ihrerseits ist generell abhängig von der Fre-

quenz. Bei tiefen Frequenzen ist sie bei den meisten Materialien höher als bei hohen Frequenzen. Nur bei einigen wenigen Materialien verhält es sich umgekehrt, z. B. bei Holz.

Gemessen und in Datenblättern angegeben wird die Nachhallzeit daher in Abhängigkeit von der Frequenz. Die Messung geschieht im Allgemeinen mit Terzbandrauschen. In der Praxis werden Nachhallzeitmessungen meist leider durch Störschall beeinträchtigt, sodass die Nachhallzeit nicht über die vollen -60 dB hinweg gemessen werden kann. Man bestimmt sie daher in der Praxis meist über -30 dB (T_{30}) oder sogar nur über -15 dB (T_{15}) und extrapoliert dann auf die vollen -60 dB.

Schalldämmung und Schalldämpfung

Zwei Begriffe, die gerade im deutschsprachigen Raum wegen ihrer Ähnlichkeit oft verwechselt werden, sind die Schalldämmung und die Schalldämpfung. Aber schon ein einfacher Versuch mit konkreten Messwerten lässt den eigentlichen Unterschied zwischen diesen beiden Begriffen deutlich werden.

Betrachten wir dazu einen einfachen Versuchsaufbau, bestehend aus einer Schallquelle (Lautsprecher), die Schall abstrahlt, z. B. Terzbandrauschen mit einer Band-Mittenfrequenz von $f_m = 4$ kHz, das von zwei Mikrofonen M_1 und M_2 mit den Schallpegeln L_1 und L_2 empfangen wird, siehe Bild 2. Die Entfernungen zwischen der Schallquelle und den Mikrofonen seien hier mit r_1 und $r_2 = 2r_1$ angenommen. Infolge des $1/r$ -Gesetzes für den Schalldruck, bzw. des mit -6 dB pro Entfernungsverdopplung abnehmenden Schalldruck-

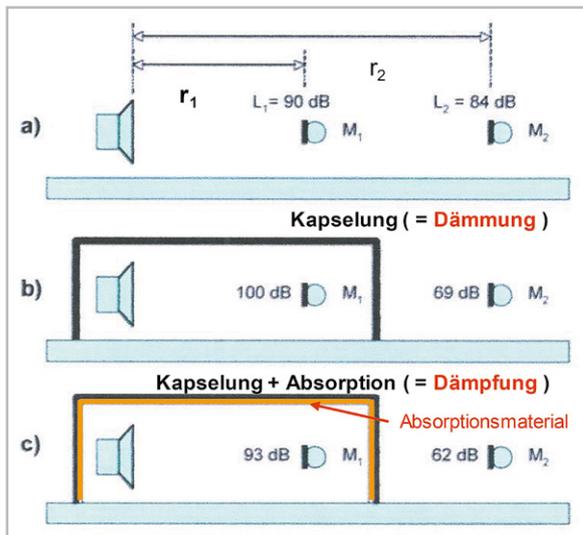


Bild 2: Veranschaulichung des Unterschieds zwischen den Begriffen Schalldämmung und Schalldämpfung

- a) Ungehinderte Schallausbreitung im Freien (Pegelabnahme mit -6 dB pro Entfernungsverdopplung, Schalldruckabnahme entsprechend dem $1/r$ -Gesetz)
- b) Kapselung der Schallquelle (Pegelerhöhung innerhalb der Kapsel, Pegelabsenkung außerhalb der Kapselung)
- c) Auskleidung des Kapselinneren mit Absorptionsmaterial (Pegelabsenkung im Inneren der Kapsel und eine weitere Pegelabsenkung außerhalb der Kapselung)

pegels, betragen die Pegel in diesem Messbeispiel $L_1 = 90 \text{ dB}$ und $L_2 = 84 \text{ dB}$. Die Pegeldifferenz beträgt hier erwartungsgemäß 6 dB . Umgibt man im nächsten Schritt die Schallquelle mit einer „schallharten“ Kapsel und „dämmt“ somit den Schall in seiner Ausbreitung, so erhöht sich der Pegel infolge von Vielfachreflexionen innerhalb der Kapsel und sinkt außerhalb entsprechend ab. Im nächsten Schritt versieht man die Innenwände der Kapsel mit schallabsorbierendem, d.h. schalldämpfendem Material. In diesem Falle sinkt der Innenpegel L_1 infolge Schalldämpfung ab und der Außenpegel L_2 nimmt um den gleichen Wert ab.

Mit beiden Vorgängen – Schalldämmung und -dämpfung – hat man es in der Bauakustik ständig zu tun.

Koinzidenz- oder Spuranpassungseffekt

Ebenfalls von großer Bedeutung für die Bauakustik ist der sogenannte Koinzidenz- oder Spuranpassungseffekt für den Fall, dass Schallwellen schräg auf eine Trennwand treffen. Um diesen Effekt besser zu verstehen, stellen wir uns eine zu Biegeschwingungen angelegte Platte vor, siehe Bild 3.

Hat die auftreffende Schallwelle die Frequenz f , so ist deren Wellenlänge λ in Luft $= cL/f$, wobei cL die

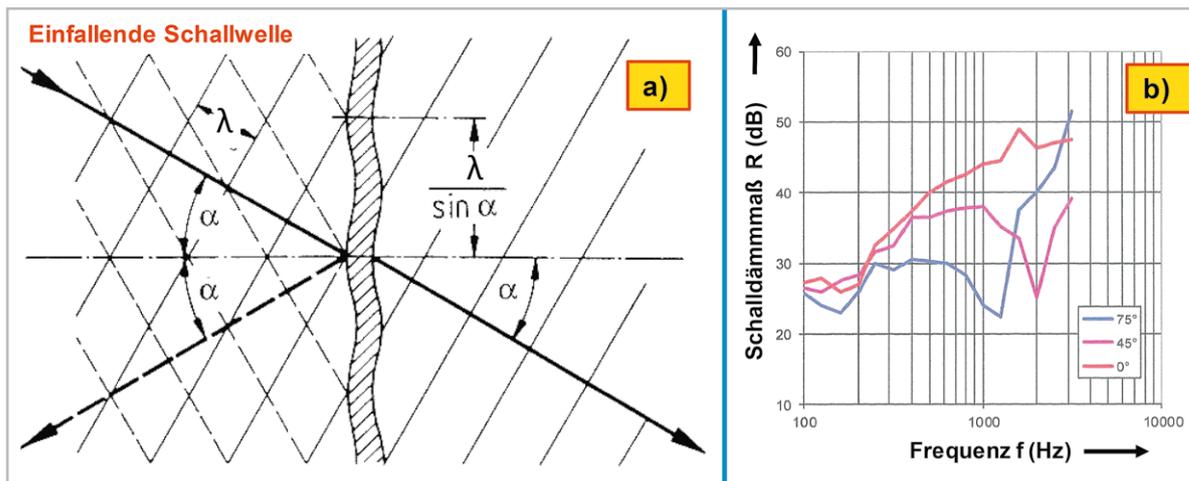


Bild 3: Der Koinzidenz- oder Spuranpassungseffekt. λ = Schallwellenlänge in Luft

a): Prinzipdarstellung

b): Beispiel für das Schalldämmmaß R einer 12 mm dicken Glasscheibe bei gerichtetem Schalleinfall unter drei verschiedenen Einfallswinkeln in Abhängigkeit von der Frequenz f und vom Schalleinfallswinkel α . Bei senkrechtem Schalleinfall (0°) gibt es keinen Einbruch in der Schalldämmkurve, d. h., in diesem Fall ist die Dämmung am größten; bei anderen Einfallswinkeln, z. B. bei 45° oder 75° , verringert der Koinzidenzeffekt das Schalldämmmaß, siehe Einbrüche bei 1200 Hz und 2000 Hz sowie VDI 2719.

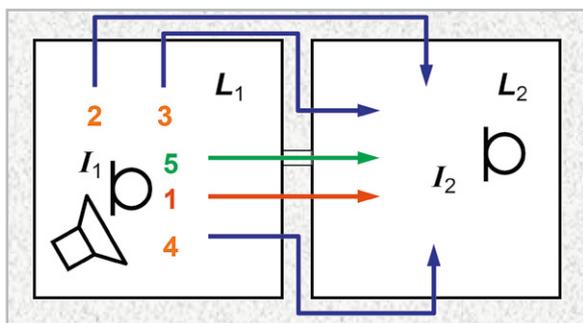


Bild 4: Luftschallübertragung zwischen zwei Räumen mit einer gemeinsamen Trennwand

1: Direkte Schallübertragung
2, 3 und 4: Flankenübertragung
5: Schallübertragung durch Öffnungen und andere Undichtigkeiten
I: Schallintensität
L: Schalldruckpegel

Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft bedeutet. Bei 20° C ist $c_L = 343 \text{ m/s}$. Bei schrägem Auftreffen der Schallwelle auf eine Platte oder Wand „vergrößert“ sich die Wellenlänge des auftreffenden Luftschalls auf $\lambda/\sin \alpha$, siehe Bild 3. Diesen größer gewordenen Abstand zwischen zwei Wellenteilen gleicher Phase bezeichnet man auch als Spurwellenlänge. Fällt diese genau zusammen mit der Biege(eigen)schwingungen der Platte, so kommt es zu einer spielend leichten Schwingungsanregung derselben. Die so zu Schwingungen angeregte Platte oder Wand strahlt dabei Schall auch auf der gegenüberliegenden Seite ab, gerade so, als würde der einfallende Schall durch die Platte scheinbar hindurchgehen. An Wänden, Fenstern, Fassaden

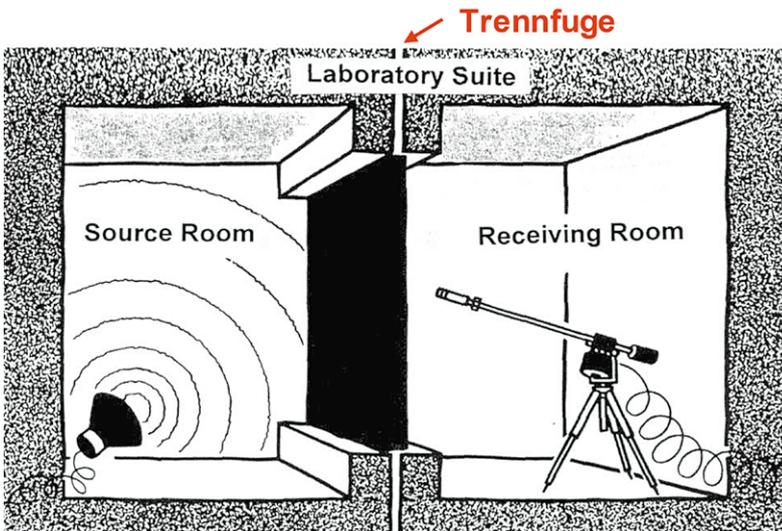


Bild 5: Bauakustik-Prüflabor mit Trennfuge zwischen schallsendendem und -empfangendem Raum zur Unterbindung jeglicher Flanken-Übertragungswege. Die im Senderraum abgestrahlte Energie kann nur (!) durch das Testobjekt (z. B. Wand) in den Empfangsraum gelangen.

etc. führt dieser Effekt zu einem sehr deutlichen Einbruch in der Schalldämmkurve (siehe auch Bild 10). Auf diesen Effekt kommen wir im Abschnitt Luftschalldämmung, Massegesetz und Trittschalldämmung noch zurück.

Bauakustisches Messzubehör und Messräume

Die Schalldämmung von Bauteilen oder ganzen Baueinheiten, z. B. von Wänden, Fenstern, Türen etc., kann man in fertigen Gebäuden mit allen Schallnebenwegen (Bild 4) oder in einem Prüflabor mit durchgehender Trennfuge zwischen beiden Räumen (Bild 5) messen, wobei man im letzteren Falle nur die Schalldämmung des reinen Bauteils ermittelt. Das kann in bestimmten Fällen von Interesse sein.

Die Dämmwirkung eines trennenden Bauteils (Wand, Decke usw.) gegenüber Luftschall wird durch das sogenannte Schalldämmmaß $R = 10 \cdot \lg(I_1/I_2)$ (Einheit: dB) beschrieben. Per Definition müsste man auf beiden Raumseiten 1 und 2 die Schallintensitäten messen. Da das aber in der Anfangszeit sehr aufwendig war, misst man seither stattdessen die zeitlich und räumlich gemittelten Schalldruckpegel L_1 und L_2 in beiden Raumseiten. Dieses Messverfahren gilt per Norm bis heute. Da der im Empfangs-

raum entstehende Schalldruckpegel L_2 sehr stark von dessen raumakustischen Eigenschaften abhängt ist muss eine entsprechende Korrektur vorgenommen werden, und zwar in Form des 10-fachen Logarithmus vom Verhältnis der tatsächlichen Bauteil-Trennfläche S (Einheit: m^2) zur äquivalenten Absorptionsfläche A_2 (Einheit: m^2). Das Schalldämmmaß ergibt sich somit zu: $R = L_1 - L_2 + 10 \lg S/A_2$.

Zur Anregung benutzt man für den Senderraum einen leistungsstarken Lautsprecher (Bild 6). Zur Pegelmessung werden in beiden Räumen häufig Messmikrofone verwendet, die an einem drehbaren Arm („Galgen“) befestigt sind (Bild 7).

Ein für die Bauakustik sehr wichtiger Messraum ist der Hallraum (Bild 8). Darin wird der Absorptionsgrad α von schallabsorbierenden Materialien gemessen, und zwar für diffusen Schalleinfall. Für senkrechten Schalleinfall werden derartige Messungen in Impedanz-Messrohren durchgeführt. Im zweiten Beitrag dieser Serie (ELVjournal 3/2019) wurde darüber bereits berichtet.

Luftschalldämmung, Massegesetz und Trittschalldämmung

Der Begriff des Schalldämmmaßes wurde im vorigen Abschnitt bereits erwähnt. Die Messung selbst erfolgt in Abhängigkeit von der Frequenz. Der für die Bauakustik im Allgemeinen relevante Frequenzbereich liegt zwischen 100 Hz und 3150 Hz. Um bei dieser Messung nicht eine Fülle von einzelnen Raumresonanzen anzuregen, misst man das Dämmmaß R nicht (!) mit einzelnen Sinustönen, sondern mit Rauschsignalen. Dabei handelt sich im Allgemeinen um Terzbandrauschen, dessen Band-Mittenfrequenzen im eben genannten Bereich liegen, d. h. zwischen 100 Hz und 3,15 kHz.

Die Schalldämmung von trennenden Bauteilen gegenüber Luftschall, z. B. von Wänden, ist abhängig von deren konstruktiver Beschaffenheit (Bild 9). Man unterscheidet dabei grundsätzlich zwischen



Bild 6: Typischer Messlautsprecher für den Einsatz in der Bauakustik mit 12 Einzellautesprechern (Dodekaeder)



Bild 7: Messmikrofon, montiert an einem drehbaren „Galgen“, wie es häufig in der Bauakustik zur Anwendung kommt



Bild 8: Hallraum mit eingehängten Diffusoren und rotierendem Messmikrofon, z. B. zur Bestimmung der Absorptionseigenschaften von Schallschluck-Materialien

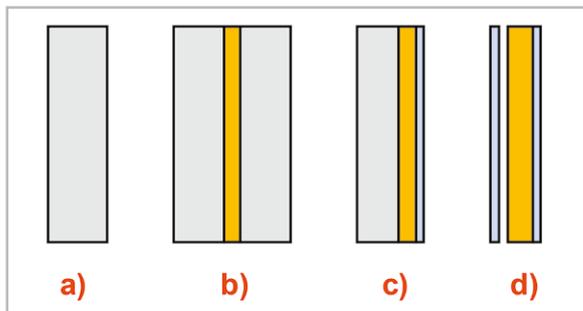


Bild 9: Vier akustisch grundsätzlich verschiedene Wandtypen:

a) Biegesteife Massivwand; $R = 20 \cdot \lg(f \cdot m') - 47$ [in: dB]

b) Massive Doppelwände, zu 70 % ausgefüllt mit Absorptionsmaterial, erreichen eine R'_w -Verbesserung von ≥ 12 dB (bei gleichem m')

c) Einschalige Massivwand mit biegeweicher Vorsatzschale. Die damit erreichbare R'_w -Verbesserung erreicht Werte bis zu ≤ 15 dB

d) Zweischalige Leichtbauwand, bestehend aus z. B. 10–12,5 mm-Gipskartonplatten, in je 1 bis 3 Schichten. Damit erreicht man R'_w -Werte von 40–60 dB und mehr.

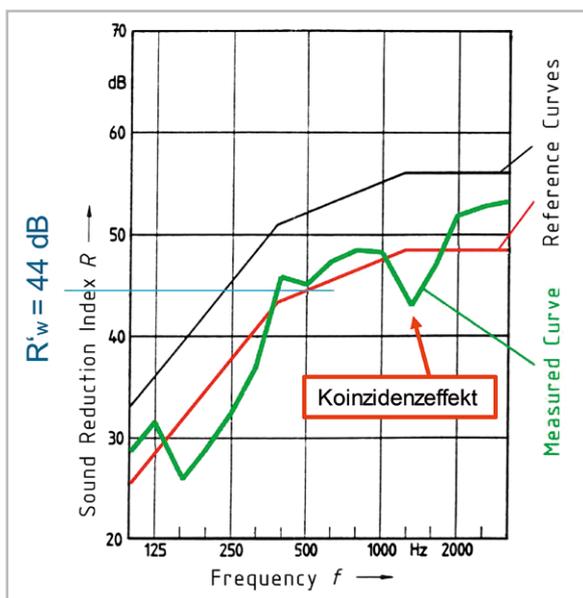


Bild 10: Bezugskurve (Reference Curve) und Beispiel für die Ermittlung des bewerteten Schalldämmmaßes R'_w aus einer gemessenen Schalldämmmaß Kurve (Measured Curve)



Bild 11: Norm-Trittschallhammerwerk (zwei Ausführungsbeispiele)

- a) biegesteifen Massivwänden,
 - b) massiven Doppelwänden mit Absorptionsmaterial dazwischen,
 - c) einschaligen Massivwänden mit biegeweicher Vorsatzschale
- und
- d) zweischaligen Leichtbauwänden, ebenfalls mit Absorptionsmaterial dazwischen.

Zu a): Die Schalldämmung biegesteifer Massivwände wächst im Bereich tiefer Frequenzen proportional mit dem Produkt aus der Frequenz f und der flächenbezogenen Masse m' (Einheit: kg/m^2) an, siehe Unterschrift zu Bild 9a. Das bedeutet, dass die Masse einer einschaligen Massivwand, die von der baulichen Seite her bestimmende Größe für die erreichbare Luftschalldämmung ist. Diesen Zusammenhang bezeichnet man auch als Massegesetz. Mit anderen Worten, je schwerer eine Wand ist, um so „leiser“ ist es dahinter. Da das Schalldämmmaß R proportional auch mit der Frequenz ansteigt, werden höhere Frequenzen stärker gedämmt als tiefere. Geräusche, die durch ein solches Bauteil hindurchgehen, klingen stets „dumpf“. Für die Schalldämmkurve bedeutet das, dass der Kurvenverlauf oberhalb der Resonanzfrequenz der massiven Wand mit 6 dB (entsprechend ω -Gang) pro Frequenzverdopplung ansteigt.

Der Praktiker wünscht sich im Allgemeinen sogenannte Einzahlwerte. Er möchte nicht alle gemessenen Kurven über den gesamten Frequenzverlauf hinweg vergleichen und beurteilen müssen. Dazu wurde als Einzahlwert das sogenannte bewertete Schalldämmmaß R_w (für Messungen im Prüflabor) bzw. R'_w (für Messungen am Bau, Bauschalldämmmaß) eingeführt. Dafür gibt es eine genormte Bezugs- oder Referenzkurve (Bild 10).

Bei der Ermittlung des bewerteten Luftschalldämmmaßes wird die Bezugskurve so lange in vertikaler Richtung verschoben, bis sie im Mittel der gemessenen Kurve (grün) entspricht. Der Zahlenwert bei 500 Hz ergibt das zu ermittelnde R'_w (hier: 44 dB). Die von bestimmten Baukonstruktionen mindestens zu erreichenden R'_w -Werte können in den einschlägigen Normen nachgelesen werden.

Zu b): Die Schalldämmung massiver Doppelwände steigt bei wachsender Frequenz pro 18 dB (entsprechend ω^3 -Gang) an, was zu einer R'_w -Verbesserung um bis zu ≥ 12 dB führt.

Zu c): Mit einschaligen Massivwänden und biegeweicher Vorsatzschale erreicht man ebenfalls eine Verbesserung des Schalldämmmaßes, und zwar um bis zu ≤ 15 dB.

Zu d): Auch mit zweischaligen Leichtbauwänden erreicht man beachtliche Schalldämmwerte R'_w , und zwar zwischen 40–60 dB, teilweise sogar noch mehr.

Neben der Luftschalldämmung befasst sich die Bauakustik auch mit der Dämmung gegen die Übertragung von Körperschall. In der Fachsprache nennt man das Trittschalldämmung. Für die Anregung von Trittschall gibt es international einheitliche Körperschall oder Trittschall erzeugende Generatoren, sogenannte Norm-Trittschallhammerwerke (Bild 11).

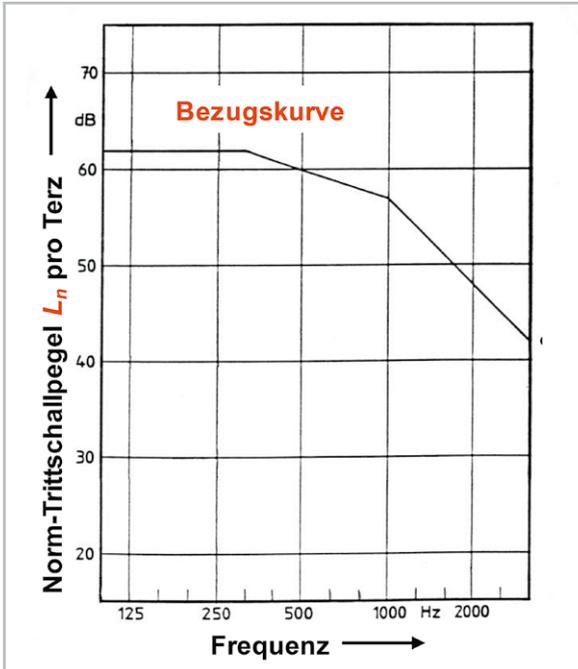


Bild 12: Bezugskurve für die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$

Mit diesen Generatoren lässt sich die Wirkung von trittschalldämmenden Maßnahmen objektiv und untereinander vergleichbar messen und beurteilen. Diese Hammerwerke enthalten fünf kleine Hämmerchen von je 500 g Masse, die in bestimmten Zeitabständen (10 Schläge pro Sekunde) nacheinander aus einer bestimmten Höhe (40 mm) frei auf die anzuregende Decke herabfallen. Der dabei in den Nachbarräumen entstehende Luftschallpegel wird als Trittschallpegel L bezeichnet und gemessen. Dieser Pegel ist genauso wie bei der Messung des Schalldämmmaßes R von den Absorptionseigenschaften des (Empfangs-)Raumes abhängig, was den Vergleich von Messwerten aus unterschiedlichen Räumen verständlicherweise erschwert. Aus diesem Grunde hat man den sogenannten Norm-Trittschallpegel $L_n = L + 10 \lg A_2/A_0$ eingeführt, der die akustischen Eigenschaften des (Empfangs-)Raumes berücksichtigt. Darin sind A_2 die äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraumes und A_0 ist auf 10 m^2 international festgelegt.

Auch bei der Messung und Bewertung des in Abhängigkeit von der Frequenz gemessenen Trittschallpegels gibt es eine Bezugskurve (Bild 12), damit auch hier ein Einzahlwert, nämlich der sogenannte bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$, bestimmt werden kann.

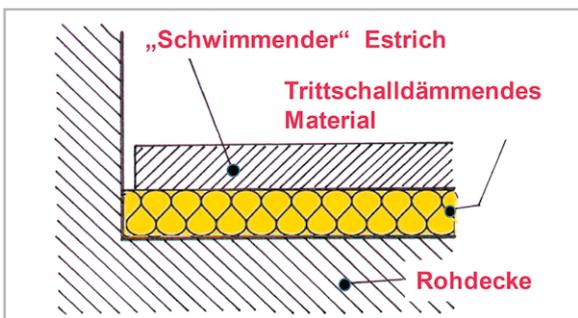


Bild 13: Verbesserung der Trittschalldämmung durch einen schwimmenden Estrich

Ähnlich wie bei den Maßnahmen zur Verbesserung der Luftschalldämmung gibt es auch beim Trittschall entsprechende Dämmmaßnahmen. Die wichtigste davon ist der schwimmende Estrich (Bild 13). Er besteht aus einer 40–50 mm dicken Estrichplatte, z. B. aus Zement, die zusammen mit einer Platte aus trittschalldämmendem Material auf der Rohdecke aufliegt. Beides zusammen ergibt ein Masse-Feder-System, dessen Eigenfrequenz möglichst tief liegen sollte. Oberhalb der Eigenfrequenz wird die Übertragung von Trittschall sehr stark gedämmt.

Raumakustik und optimale Nachhallzeiten

Die akustische Qualität von Konzert- und Vortragsräumen wird sehr wesentlich von der Nachhallzeit des betreffenden Raumes bestimmt. Je nach Art der vorgesehenen Verwendung gibt es für geschlossene Räume sogenannte optimale Nachhallzeiten T_{opt} . Im Bereich zwischen 500 und 1000 Hz sind das beispielsweise für:

- Kleine Sprachstudios ca. 0,4 s
- Hörsäle ca. 0,6 s
- Opernhäuser ca. 1,3 s
- und für
- Kirchen (Orgelmusik) ca. 2,7 bis 3,0 s

Das Raumvolumen spielt dabei auch eine große Rolle, wie dem Bild 14 sehr deutlich zu entnehmen ist.

Ausblick

Zentrales Thema des nachfolgenden Beitrages ist unser Gehör, ein Thema, das einen jeden von uns angeht. Unser Hörsinn ist von unschätzbare Bedeutung für die Entwicklung unseres Sprachverstehens und somit auch für abstraktes Denken, aber auch für die Ausbildung sozialer Kontakte.

Im nächsten Beitrag werden der Aufbau, die Funktion, die Prüfung und die Schädigung unseres Gehörs beschrieben und erläutert. Dazu gehören auch Begriffe wie Lautstärke, Lautheit, Hörschwelle, Schmerzschwelle, Isophonen, Frequenzgruppen, aber auch der Knochenschall. Desweiteren wird die Maskierung des Gehörs, spektral und zeitlich, behandelt. Ein eigener Abschnitt befasst sich mit der audiometrischen Untersuchung dieses Organs. In diesem ELVjournal finden Sie dazu schon ein Anwendungsbeispiel im ersten Teil zum Thema Bioelektronik ab Seite 48.

Das Thema Lärm und Gehörschädigung durch Lärm sowie Mittel zum Gehörschutz (passiv und aktiv) wird sehr ausführlich behandelt, zumal das besonders aktuell ist in unserem täglichen, modernen Leben, sei es bei der Arbeit oder im privaten Bereich. **ELV**

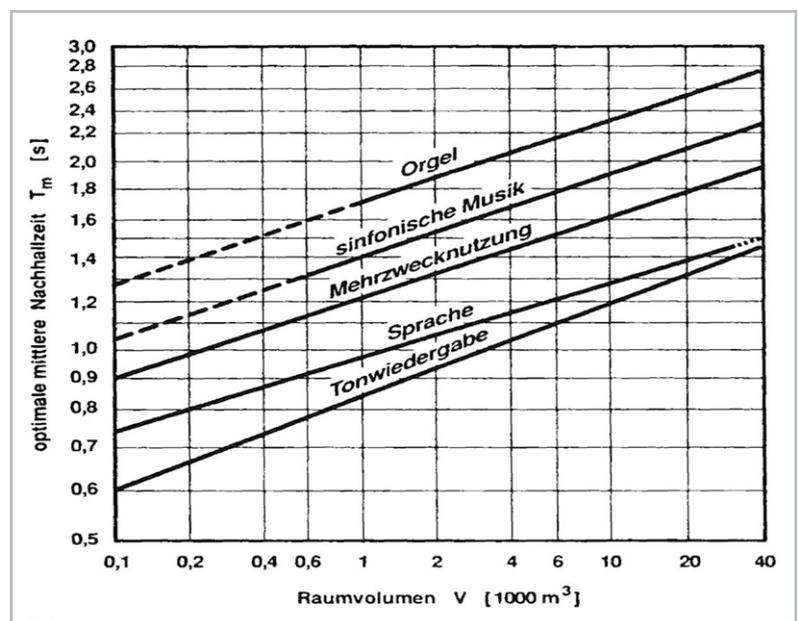


Bild 14: Optimale mittlere Nachhallzeiten $T_{opt,m}$ für Räume unterschiedlicher Verwendung in Abhängigkeit vom Raumvolumen