



Einführung in die Raum- und Bauakustik

Willi Nickel Brüel & Kjær GmbH – Düsseldorf

In allen Epochen ist der Einfluss der Akustik auf die Gestaltung von Bauwerken zu beobachten, angefangen bei antiken Amphitheatern in Rom bis hin zu modernen Gebäuden der Neuzeit, in denen wir arbeiten, wohnen und unsere Freizeit verbringen. Der Unterschied von der Antiken zur Neuzeit ist jedoch das heute stärker pulsierende Leben und die stetig steigende Zahl zusätzlicher Geräuschquellen. Demzufolge kann sich die akustische Gestaltung heute nicht mehr nur auf Theater beschränken, sondern umfasst auch Maßnahmen zur Lärminderung in anderen Gebäudearten. Der nachfolgende Artikel möchte in einer verständlichen Weise erste Grundlagen dazu vermitteln.

Das Verhalten von Schall im Raum

Um Räume für Sprache oder Musik optimal zu gestalten und gegen Lärm von außen zu isolieren sind grundlegende Kenntnisse über das Verhalten von Schall im Raum notwendig. Eine Schallquelle strahlt Schallenergie ab, dieser Schall trifft auf umschließende Raumwände, wird reflektiert und trägt als reflektierter Schall zum Schallfeld bei. Die Wände absorbieren einen Teil der Energie und wandeln diesen in Wärme um, ebenso, wie ein weiterer Teil durch die Wände übertragen wird. (siehe Abb. 1)

Ist die Wellenlänge einer auftretenden Schallwelle viel kleiner als die reflektierende Fläche, dann sind die Einfallswinkel und Reflexionswinkel gleich groß. Auf Basis dieses geometrischen Verhaltens kann der Verlauf von Schallwellen vorhergesagt werden.

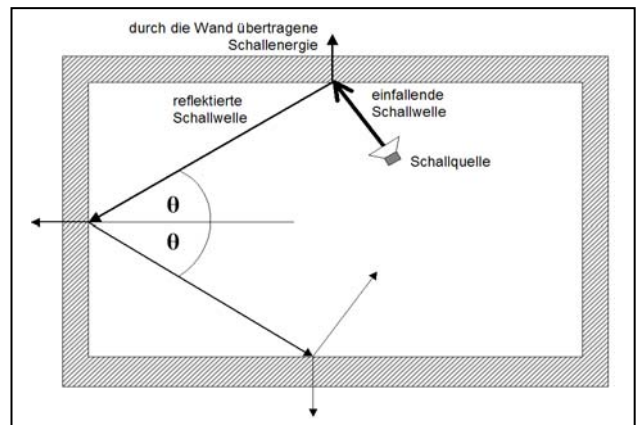


Abb. 1 Verhalten von Schallwellen im Raum

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass spätestens nach der zweiten Reflexion der Nachhall den weiteren Schallwellenverlauf verdeckt.

Ein Echo ist laut Definition eine Reflexion, die mit mehr als 50 ms Verzögerung zum direkten Schall wahrgenommen wird. Das heißt, die reflektierte Schallwelle muss einen mindestens 17 m längeren Weg als der Direktschall zurücklegen. Echos in großen Räumen können durch Verkürzung von Reflexionswegen, z. B. niedrigere Decken oder Reflektoren, verhindert werden. Durch Reflektoren lässt sich die Schalldiffusität (subjektive Größe), wie auch der Nachhall direkt beeinflussen. Mit Hilfe von Raumakustikprogrammen lassen sich schon bei der Planung von Gebäuden akustische Optimierungen und deren Wirkung durch Auralisierungen (Anhören akustischer Beispiele) objektiv beurteilen.

Schallabsorption

Was Schallabsorption bewirkt, wird jedem klar, der einen leeren Raum betritt. Jedes Möbelstück, jeder Teppich oder Vorhang verändert die Raumakustik. Die Wirkung von Absorption wird deutlich, wenn an einem Punkt im Raum der Schalldruckpegel einer kontinuierlichen Schallquelle gemessen wird. Anstatt aufgrund der zunehmenden Anzahl von Reflexionen weiter anzusteigen, stabilisiert sich der Schalldruckpegel bald. Das bedeutet, dass die zugeführte Energie der im Raum absorbierten Energie entspricht. Wird immer mehr Absorptionsmaterial in den Raum gebracht, fehlen die Reflexionen, der Pegel im Raum steigt nicht an und eine Pegelmessung zeigt immer deutlicher das akustische Verhalten des Raumes wie das eines Freifeldes. Zur Angabe der Wirksamkeit von absorbierenden Materialien hat man den Absorptionsgrad definiert. Dieser gibt an, wie viel von der einfallenden Schallenergie absorbiert wird. Ein Absorptionsgrad α von 1 entspricht 100% Absorption, 0 entspricht einer totalen Reflexion.

Poröses Absorptionsmaterial ist dort am wirkungsvollsten, wo die größte Schallschnelle bei senkrechtem Schalleinfall auftritt. Das ist ca. $\frac{1}{4}$ Wellenlänge vor einer reflektierenden Fläche. Wird dort ein Teppich als Absorptionsmaterial angebracht, wirkt dieser am besten bei hohen Frequenzen, da deren Wellenlänge λ ($\lambda_{10 \text{ kHz}} \approx 3 \text{ cm}$) in etwa einer Teppichdicke entspricht.

$$\Lambda = \frac{V}{f}$$

V = Schallgeschwindigkeit in Luft (330 m/s)
 f = Schwingungen je Sekunde (Hz)

Schallabsorbierendes Material hat unterschiedliche Absorptionsgrade bei unterschiedlichen Frequenzen. Durch gezieltes Einsetzen absorbierender Materialien in definiertem Abstand vor einer reflektierenden Wand lassen sich Räume so gestalten, dass sie sich für Musik oder Sprache besonders eignen. Auch Arbeitsräume lassen sich so lärmindernd ausführen.

Material	Frequenz (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Luft (m ³)	0	0	0	0,001	0,003	0,007
Akustikplatte	0,15	0,3	0,75	0,85	0,75	0,4
Gips	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05
Betonboden	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05
Holzboden	0,15	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Teppichboden, 5 mm	0,1	0,15	0,25	0,3	0,3	0,3
Ziegelmauer	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Vorhänge	0,05	0,12	0,15	0,27	0,37	0,5
Mineralwolle 75 mm	0,3	0,9	1	0,82	0,9	0,85

Nachhall, Nachhallzeit und Berechnung der äquivalenten Absorptionsfläche

Die Nachhallzeit ist eine wichtige Größe zur akustischen Beschreibung von Räumen. Schaltet man in einem Raum eine stetige Schallquelle ein, so wird der Schalldruckpegel erst stabil, nachdem die ersten und weiteren Reflexionen das Mikrophon erreicht haben. Wird jetzt die Schallquelle ausgeschaltet, klingen die Reflexionen ab. Die Abklingrate hängt von der Lage, der Art und der Menge des absorbierenden Materials ab. In einem Freifeld würde der Schalldruckpegel innerhalb kürzester Zeit wieder abfallen. Die Nachhallzeit ist definiert als die Zeit, die der Schalldruckpegel braucht, um 60 dB abzufallen.

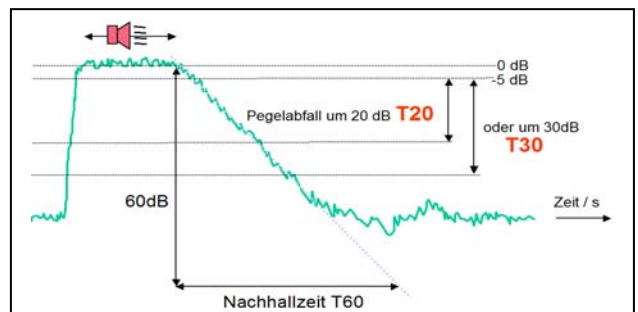


Abb. 2 Darstellung zur Definition der Nachhallzeit

In der Praxis wird die Nachhallzeit über 20 bzw. 30 dB Pegelabfall ermittelt und auf 60 dB Pegelabfall berechnet. Zur Messung der Nachhallzeit wird eine Schallquelle (z.B. ein Lautsprecher mit Verstärker, oder eine Pistole oder Ballon) und für die Analyse ein Schallpegelmessgerät mit Nachhallzeitfunktion benötigt.

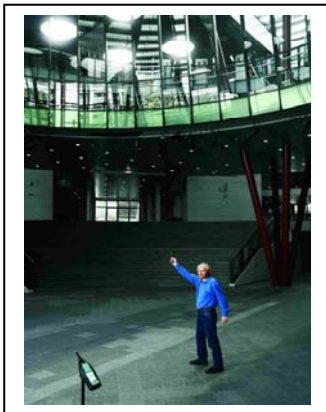


Abb. 3 Nachhallzeitmessung in einem Hörsaal

Die Nachhallzeit wird frequenzabhängig ermittelt, da unterschiedliche Materialien den Schall bei den verschiedenen Frequenzen unterschiedlich absorbieren. Die Nachhallzeit eines Raumes sollte seinem Verwendungszweck entsprechen. Eine zu lange Nachhallzeit beeinträchtigt die Sprachverständlichkeit, lässt Musik verschwommen klingen und führt zu höheren Hintergrundgeräuschpegeln. Eine zu kurze Nachhallzeit lässt Musik dünn und stakkatoartig klingen und der Sprache fehlt der Klang.

Die Nachhallzeit steht in enger Beziehung zum Volumen eines Raumes und seiner Gesamtabsorption. Die äquivalente Absorptionsfläche (Gesamtabsorption) lässt sich berechnen nach der empirisch ermittelten „Sabinesche Formel“. Diese ist gültig für die meisten Räume, jedoch nicht für schalltote Räume. Die Formel lautet:

$$A = 0,16 \frac{V}{T}$$

T = Nachhallzeit des Raumes in Sekunden
 V = Raumvolumen in m³
 A = Absorption im Raum in m²

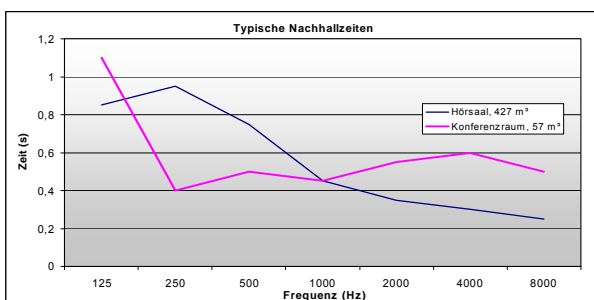


Abb. 4 Typische Nachhallzeiten, Konferenzraum (blau) u. Hörsaal

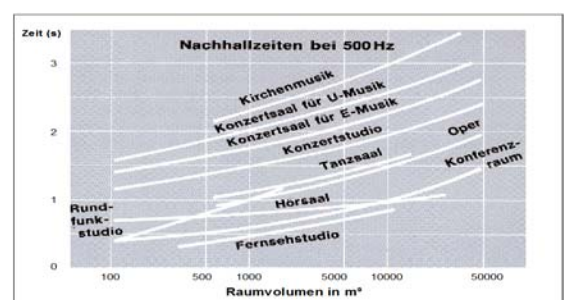
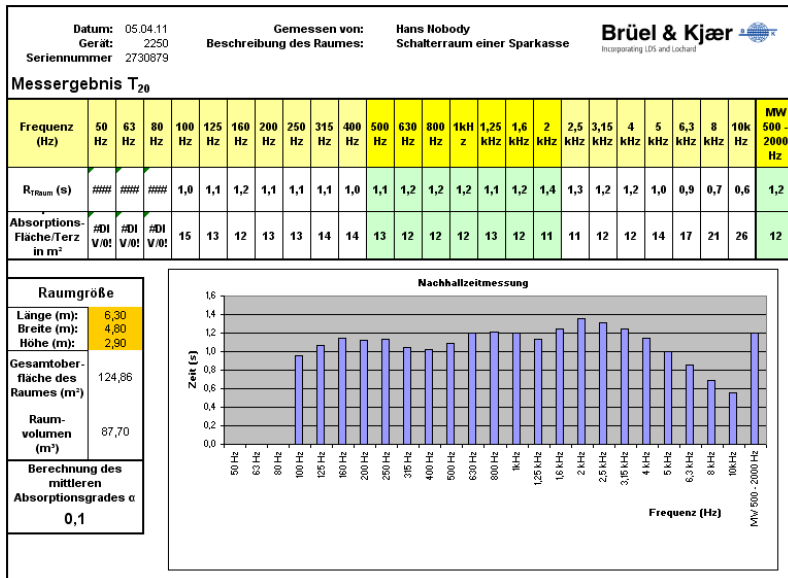


Abb. 5 Typische Nachhallzeiten bei 500 Hz in Abhängigkeit vom Raumvolumen

Die Gesamtabsorption eines Raumes ist die Summe der Absorptionen aller Flächen im Raum, d.h. Wände, Decke, Boden, Möbel und Einrichtungsgegenstände sind zu berücksichtigen. Die Absorption einer Fläche ist das Produkt ihrer Oberfläche und ihres Absorptionsgrades α . Die Schallabsorption wird als äquivalente Absorptionsfläche A in m^2 ausgedrückt.

Zur Entwicklung eines Gefühls für die Absorptionsfläche, sollte man ein geöffnetes Fenster in einem Raum betrachten. Die Fläche des offenen Fensters multipliziert mit dem Absorptionsgrad 1 (keine Reflexionen) ergibt die äquivalente Absorptionsfläche A , in diesem Fall die Fläche des Fensters.



Mit dem Schallanalysator 2250 wurde eine Nachhallzeitmessung in dem Schallerraum einer Sparkasse durchgeführt. Sowohl Angestellte als auch Kunden klagten über die Sprachverständlichkeit in der Halle. Die Auswertung der Nachhallzeitmessung ergab, dass diese für das Raumvolumen viel zu hoch war. Die Berechnung des mittleren Absorptionsgrades ergab ein α von 0,1 und zeigt damit Möglichkeiten zur Nachhallzeitreduzierung durch Einbringen von zusätzlichen Absorptionsflächen (Deckensegel, Vorhänge, Teppiche, etc.).

Weitere Hinweise finden Sie in der DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“.

Messung und Berechnung der Schallverteilung in Räumen

Schallverteilungsmessungen sind besonders wichtig in Theatern, Konzert- und anderen Sälen, in denen Musik oder Sprache dargeboten wird und eine gute Musik- oder Sprachqualität überall im Raum benötigt wird.

Bei der Messung der Schallverteilung wird eine Schallquelle am Ort der natürlichen Schallquelle (z.B. auf der Bühne) aufgestellt. An verschiedenen Stellen im Raum, einem gleichmäßigen Raster folgend, wird der Schalldruckpegel (frequenzselektiv, Oktavanalyse) gemessen. Die Schallquelle sollte eine konstante Schallenergie mit breitbandigem rosa oder weißem Rauschen abstrahlen.

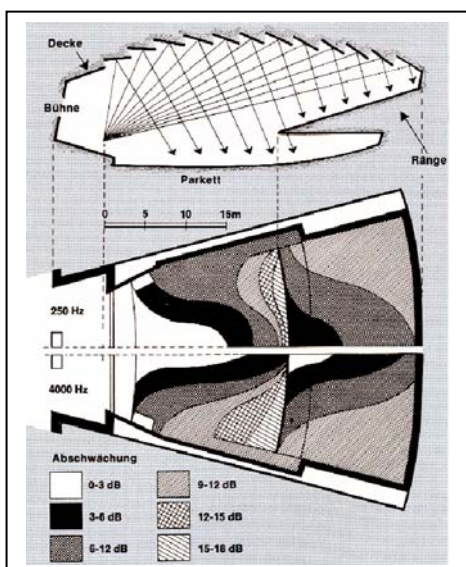


Abb. 6 Schalldruckverteilung in einem Konzertsaal

Die Darstellung und Berechnung der Messergebnisse zu Linien gleichen Schalldrucks lässt sich bei einfachen Geometrien bereits mit oft vorhandenen Tabellenkalkulationsprogrammen durchführen und darstellen.

Die Schallverteilung von Räumen lässt sich aber auch schon in der Planungsphase berechnen und darstellen. Dazu dienen Profiprogramme, wie z.B. „ODEON“ von der Technischen Universität Kopenhagen (<http://www.odeon.dk>). Solche Raumakustikprogramme werden eingesetzt zur Verbesserung der Akustik vorhandener Gebäude oder zur Planung neuer Gebäude. Verbesserungen und auch Neuplanungen lassen sich im Vorfeld mittels „Auralisierung“ (Abspielen von Sprach- oder Musikstücken, die mit den berechneten akustischen Eigenschaften der „neuen“ Räume beaufschlagt werden) beurteilen. Für die schnelle Parametrierung von Räumen sollten die Gebäudedaten leicht und schnell in die PC-Software einzugeben sein. Auch die Übernahme dieser Daten aus CAD-Programmen muss möglich sein. Dazugehörige, umfangreiche Datenbanken für Schallquellen, Empfänger und Materialien erleichtern die Auswahl der geeigneten Materialien für die begrenzenden Flächen.

Sprachverständlichkeit

Sprache, von einem Menschen direkt gesprochen oder einem Lautsprecher übertragen, wird nie als exakte Kopie des Originals empfangen. Hintergrundgeräusche kommen hinzu, das Signal wird durch Reflexionen und Nachhall im Raum verzerrt, so dass die Verständlichkeit von Sprache beeinträchtigt wird.

Zur Einführung in die Thematik bietet sich die DIN 18041, Mai 2004 „*Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen*“ an. Diese Norm legt die akustischen Anforderungen und Planungsrichtlinien für Räume bis zu 5000 m³ vorrangig zur Sicherung der Sprachkommunikation fest.

Da die Sprachverständlichkeit heutzutage messbar und damit quantifizierbar ist, können auch Maßnahmen zur Lösung ergriffen werden. Es gibt zwei Methoden zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit.

Bei der subjektiven Methode wird auf die Silbenverständlichkeit zurückgegriffen. Dabei werden von einigen Testpersonen eine Anzahl kurzer, semantisch bedeutungsloser Wörter vorgelesen und von anderen Personen notiert. Der Prozentsatz der richtig verstandenen Wörter ist die Silbenverständlichkeit.

Objektive Methoden berücksichtigen den Lautstärkepegel der Sprache, den Störpegel und die Nachhallzeit.

Die Sprachverständlichkeit wird ausführlich in der DIN EN 60268-16, Jan. 2004 „*Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex*“ dargelegt.

Für die unterschiedlichsten Anwendungen haben sich durchgesetzt:

- **STI** - Sprach-Übertragungs-Index

(*physikalische Größe, für die Übertragungsqualität von Sprache*)

- **STITEL** - Sprach-Übertragungs-Index für Telekommunikationssysteme

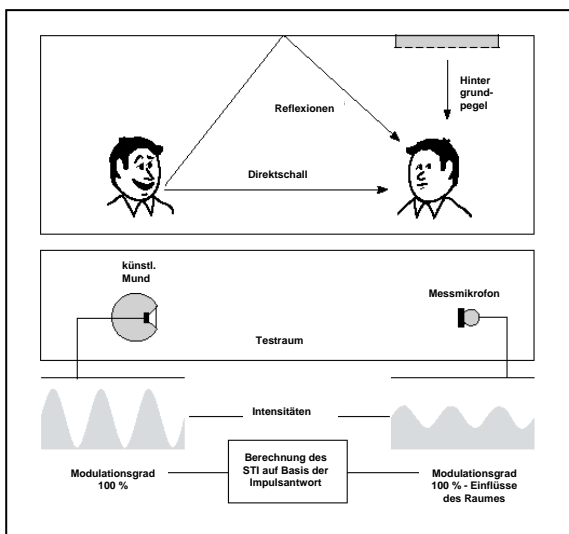
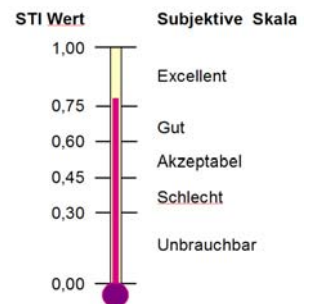
(*Maßzahl, ermittelt über ein vereinfachtes Verfahren nach dem STI-Verfahren unter Berücksichtigung von Verzerrungen in Kommunikationssystemen*)

- **STIPA** - Sprach-Übertragungs-Index für Beschallungsanlagen

(*Maßzahl, ermittelt über ein vereinfachtes Verfahren nach dem STI-Verfahren unter Berücksichtigung von Verzerrungen der Raumakustik inkl. der Beschallungsanlagen*)

- **RASTI** – Raumakustik-Sprach-Übertragungs-Index

(*Maßzahl, ermittelt über ein vereinfachtes Verfahren nach dem STI-Verfahren für die direkte Kommunikation ohne technische Kommunikationsgeräte*)



Zur Bestimmung des Sprach-Übertragungs-Index wird ein zu 100 % moduliertes Rauschen abgestrahlt. An der Position des Hörers wird gemessen und der Modulationsgrad mit dem abgestrahlten verglichen. Der Empfangsmodulationsgrad wird beeinflusst durch den Hintergrundpegel, die Nachhallzeit des Raumes, evtl. auftretenden Echos und Verzerrungen durch u. U. eingesetzte elektroakustische Kommunikations-Systeme. Zur Bestimmung des STI und weiterer raumakustischer Parameter wird ein Schallpegelmessgerät in Verbindung mit einem PC und entsprechender Software, z.B. „DIRAC“, eingesetzt.

(<http://www.acoustics-engineering.com/dirac/dirac.htm>)

Als Schallquelle wird ein geeigneter Lautsprecher, z.B. ein künstlicher Mund eingesetzt. Eine weitere Normenempfehlung ist die ISO 3382 „*Messung der Nachhallzeit mit Bezug auf andere raumakustische Parameter*“.

Abb. 7 Funktionsprinzip zur Bestimmung des STI

Luftschalldämmung

Zur Bestimmung der Luftschalldämmung von Trennwänden wird auf der Sendeseite ein Lautsprecher (Dodekaeder) aufgestellt. Es wird konstantes Rauschen abgestrahlt. Der Schall wird sowohl im Sende- als auch im Empfangsraum gemessen. Die Luftschalldämmung zwischen zwei Räumen wird aus dem Unterschied der Schallpegel im Sende- und im Empfangsraum, sowie einem Faktor für die Größe der Trennfläche S und der Absorptionsfläche A im Empfangsraum, frequenzabhängig (Terzen) berechnet.

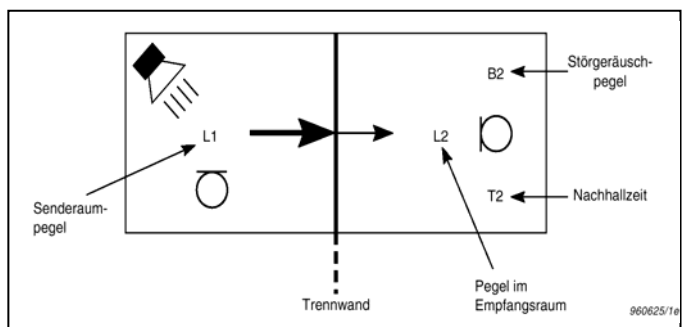


Abb. 8 Prinzip einer Schalldämmungsmessung

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \text{ dB}$$

L_1 = Pegel im Senderraum L_2 = Pegel im Empfangsraum
 S = Größe der Trennfläche in m^2
 A = äquivalente Absorptionsfläche in m^2

Das Schalldämm-Maß R ist abhängig von der Frequenz und dem Einfallswinkel des abgestrahlten Schalls. Die Schalldämmkurve einer homogenen Wand über die Frequenz dargestellt, lässt sich entsprechend der dominierenden Eigenschaften (Abb.9) für die Dämmung in vier Bereiche unterteilen.

Das Massengesetz zur Schalldämmung einer Wand besagt, dass eine Verdopplung der Frequenz oder eine Verdopplung des Flächengewichtes der Wand (doppelte Wandstärke) eine Verbesserung der Schalldämmung um 6 dB ergibt.

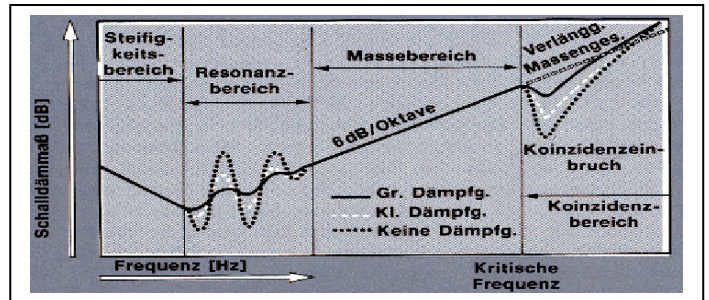


Abb. 9 Darstellung der wichtigsten Eigenschaften bei der Schalldämmung einer Wand

$$R = 20 \lg(fM) - 47 \text{ dB}$$

M = Masse pro Flächeneinheit der Wand (kg/m^2)
 f = Frequenz des einfallenden Schalls (Hz)

Das Berger'sche Massengesetz der Schalldämmung ist zwar eine gute Grundlage zur Berechnung der Schalldämmung einer Wand. Dies gilt aber wie vorher dargestellt, nur in einem begrenzten Frequenzbereich. Bei höheren Frequenzen setzt der Koinzidenzeffekt ein. Dieser Effekt tritt auf, wenn die Wellenlängen des auftreffenden Schalls den BiegeWellen der Wand entsprechen. Durch Anregung der BiegeWellen hat die Wand dann nur eine geringe Schalldämmung.

Trittschalldämmung

Schritte über Fußböden oder Treppen sind in anderen Räumen oft deutlicher zu hören als in dem Raum, in dem sie entstehen, denn die Gebäudestruktur wird in Schwingungen versetzt und diese verbreiten sich als Körperschall in andere Gebäudeteile fort. Wände und Decken strahlen Körperschall als Luftschall wieder ab.

Zur Ermittlung des Trittschallpegels L_n benutzt man als Schallquelle ein Normhammerwerk, das mit 5 Hämmern von je 500 g, die aus 4 cm Höhe auf den Boden fallen und 10 Stöße je Sekunde erzeugen. Mit einem Schallanalyator wird der Schallpegel im Empfangsraum gemessen und um Raumeinflüsse korrigiert.

$$L_n = L_2 + 10 \lg \frac{A}{10} \text{ dB}$$

L_2 = Pegel im Empfangsraum
 A = äquivalente Absorptionsfläche in m^2

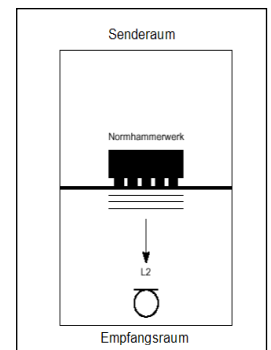


Abb. 10 Trittschallmessung, Prinzipdarstellung

Trittschall kann erheblich gedämpft werden, indem die Erschütterungen gedämpft werden, bevor sie die Gebäudestruktur erreichen, z. B. durch schwimmenden Estrich, Teppichböden oder elastische Materialien die zwischen Parkett und Boden verlegt werden. Ebenso kann durch fachgerechtes Verlegen von Fliesen, nicht bis an die Wände verlegt und damit die Wirkung des schwimmenden Estrichs durch Schallbrücken zu unterbinden, ein gutes Trittschallschutz-Maß erzielt werden.

Ermittlung von Einzahlwerten

Die Schalldämmung ist eine Funktion der Frequenz. Zum Vergleich mit Vorschriften werden Bezugskurven im Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz (erweiterter Bereich 50 bis 5000 Hz) herangezogen. Man ermittelt Einzahlwerte nach ISO 717 aus den Kurven, die sich aus den Werten, die sich nach Messungen gemäß ISO140 für Luft- und Trittschalldämmung ergeben.

Bewertetes Schalldämm-Maß R_w

Die Luftschalldämmung wird durch den R_w -Wert charakterisiert, der gefunden wird, wenn die Bezugskurve in 1-dB-Schritten zur Mess-Kurve verschoben wird, bis die Summe der ungünstigen Abweichung < 32 dB erreicht. Das bewertete Schalldämm-Maß R_w ist der Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz. Je größer der ermittelte Einzahlwert R_w ist, desto besser ist die Schalldämmung

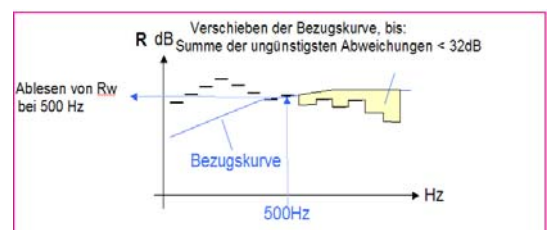


Abb. 11 Ermittlung von Einzahlwerten

Bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w}$

Der Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ wird ebenso wie das Schalldämm-Maß ermittelt, abgelesen bei 500 Hz. Je kleiner der Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ ist desto besser ist der Trittschallschutz.

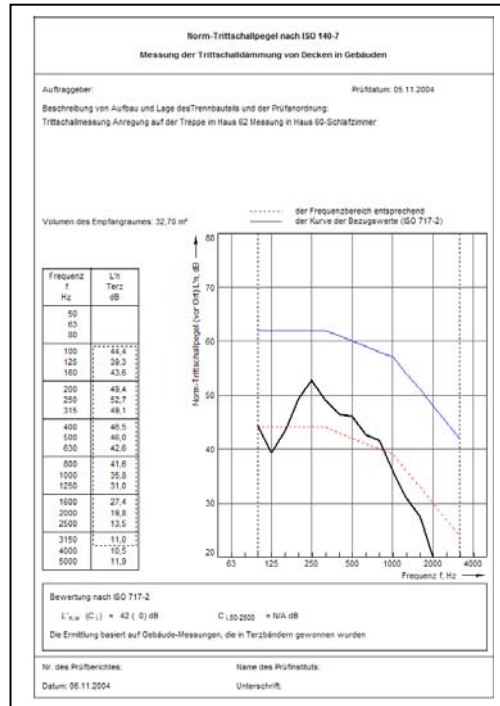
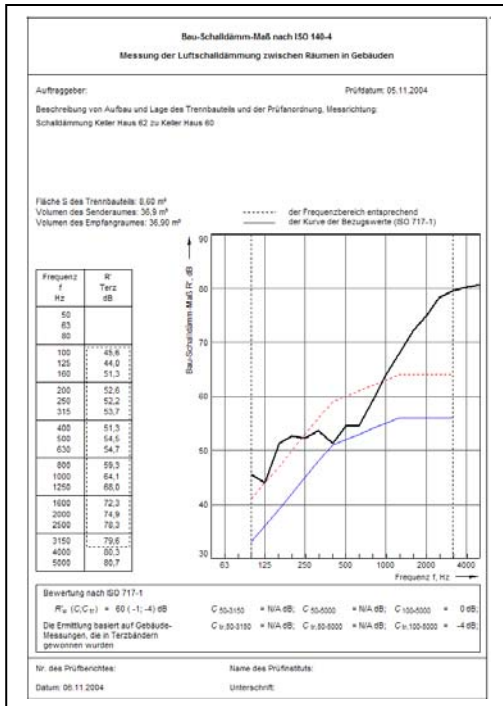


Abb. 12 und 13 Typische Ergebnisdokumentation nach Norm für Schalldämm-Maß und Normtrittschallpegel

Installationsgeräusche

Installationsgeräusche, verursacht durch Heizung- und Sanitäreanlagen, führen oft zu Lärmbeanstandungen. Die meisten Fehler lassen sich schon bei der Montage (fehlende Körperschallentkopplung, ungünstige Verlegung von Rohren für die Ent- und Versorgung auf oder in akustisch sensiblen Wänden, nicht angepasster Wasserdruck und Verwendung ungeprüfter und billiger Armaturen) vermeiden. Installationsgeräusche sind meist im Pegel nicht sehr hoch, sind aber sehr lästig durch unerwartetes, plötzliches Auftreten. Durch Verwendung von Körperschallaufnehmern anstelle des Luftschallmikrofons und dem Anschluss eines Kopfhörers an den Ausgang eines Schallpegelmessers lässt sich dieser zu einer Art elektronisches Stethoskop umbauen und durch Abhören die Ursache leicht finden.

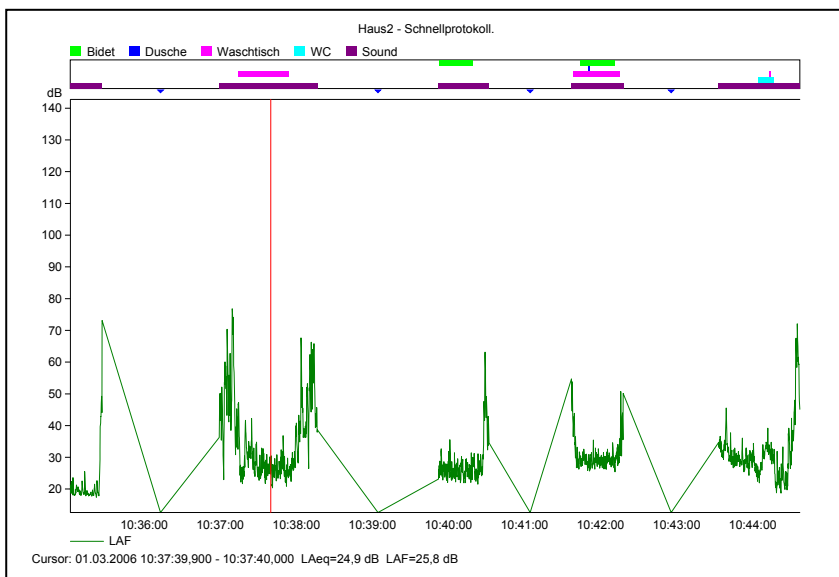


Abb. 14 zeigt auftretende Schalldruckpegel, gemessen in einem hochwertigen Objekt, bei dem man aber nicht mit den Sanitärgeräuschen einverstanden war.

Geräusche von Sanitäreanlagen werden bei der Prüfung in Labors frequenzselektiv (Oktavanalyse) gemessen und mit einer Referenz (IGN-Internationales Geräusch-Normal) verglichen. Auf Basis dieser Labormessung wird dann eine Geräuschklasse festgelegt.

Auf der Baustelle oder bei fertigen Objekten wird im Empfangsraum (z.B. Nachbarwohnung, Schlaf-, Kinderzimmer, etc.) der Maximalwert des A-bewerteten Gesamtpegels gemessen. Die A-Bewertung wird gewählt, um dem subjektiven Höreindruck besser Rechnung zu tragen. Schallpegelmessers zur Messung von Installationsgeräuschen sollten deutlich Werte unter 20 dB(A) richtig messen können.

Praktische Durchführung von Messungen

Die Brüel & Kjær Schallanalysatoren 2250 und 2270 sind unter enger Mitarbeit von Kunden entwickelt worden. Sie stehen für ein einzigartiges Technik- und Bedienkonzept: „**EINFACH – SICHER – CLEVER**“.

Diese erfolgreiche Philosophie wurde auch bei der neuesten Entwicklung, dem Bauakustik-Modul BZ7228 und BZ7229 fortgesetzt. Der Schallanalysator 2250/2270 als Zentrum einer Bauakustik-Messausrüstung wiegt nur noch 650 Gramm, steuert den gesamten Messablauf und berechnet direkt die benötigten raumakustischen Parameter. Es gibt 2 Varianten, die 1-Kanal-Version mit Schallanalysator 2250/BZ7228 und die 2-Kanal-Version mit 2270/BZ7229.

Nachfolgend wird ein Messablauf mit anschließender Ergebnisdokumentation ausführlich beschrieben. Die bisherige Bedienung der Geräte, unterstützt durch kontextbezogene deutsche Hilfe, wurde beibehalten und ergänzt um nachstehende Begriffe mit ihren Kürzeln für bauakustische Messungen.

- **L1** Pegel – Sendeseite
- **L2** Pegel – Empfangsseite
- **B2** Hintergrundpegel – Empfangsseite
- **T2** Nachhallzeit – Empfangsraum
- **S1** Position Schallquelle
- **Pos n** Position n des Mikrofons
- **B2** Hintergrundpegel – Empfangsseite
- **T2** Nachhallzeit – Empfangsraum
- **R** Pegeldämmung (frequenzselektiv)
- **R_w** Schalldämm-Maß, Einzahlwert
- **L_{nw}** Trittschallpegel, Einzahlwert



Abb. 15 Messausrüstung für Schalldämmungsmessungen



Abb. 16 Messausrüstung für Trittschallmessungen

In 4 Schritten zum Ergebnis

1. Voreinstellungen (Schalldämmung, Fassade, Trittschall) und weitere Messparameter festlegen

Im „Set Up“ des Analysators sind die benötigten Parameter anzuwählen. Die wichtigsten Einstellungen sind nachstehend aufgeführt:



Abb. 17 Eingang anwählen, 1- oder 2-Kanal-Messung (serielle oder simultane Messung von L1 & L2)

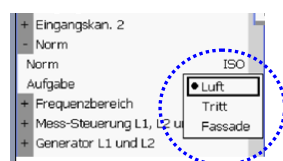


Abb. 18 Art der Messung und Norm

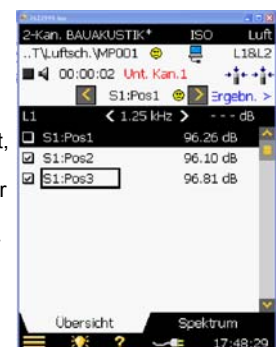


Abb. 19 Frequenzbereiche festlegen

Abb. 20 Es lassen sich geplante Messungen durchführen, dabei sind dann die Anzahl der Messpunkte und Aufstellungsorte des Lautsprechers oder Normhammerwerkes festgelegt. In diesem Beispiel gab es einen Lautsprecherort (S1) und 3 Mikrofonpositionen. S1 Pos1 wurde gemessen, soll aber nicht im Ergebnis berücksichtigt werden.




Abb. 21 Anregungsart, hier für Nachhallzeitmessung -Impuls oder Rauschabschaltung; bei Schalldämmungsmessung, Generator (weißes oder rosa Rauschen) oder Verkehrslärm



Die Einstellung des „Set Up“ lässt sich im Vorlagen-Explorer unter eigenem Namen, z.B. als „2-K-BA LS“ abspeichern und bei der nächsten Messaufgabe ist der Analysator für die neue Messung schon vorbereitet.

2. Pegelmessungen durchführen (Schalldämmung L1 & L2, Trittschall L2, Hintergrundpegel B2)

Der Lautsprecher (oder das Normhammerwerk) und das Messmikrofon stehen an den vorgewählten Positionen und die Messung wird durch Tastendruck auf  gestartet. Nacheinander werden die vorgewählten Positionen gemessen und abgespeichert. Der Status einer Messung lässt sich jederzeit unter der Übersicht im Display darstellen, ebenso wie die Ergebnisse der jeweiligen Messung.

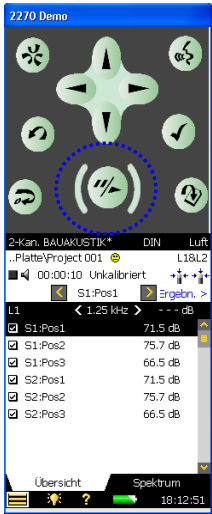


Abb. 22 Messübersicht und Bedientasten

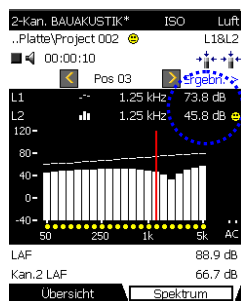


Abb. 23 Ergebnisdarstellung der Pegel auf der Sendeleite (L1) & Empfangsseite (L2)

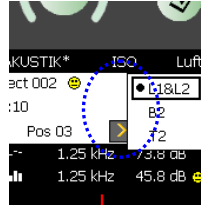


Abb. 24 Anwahl, welcher Parameter gemessen wird

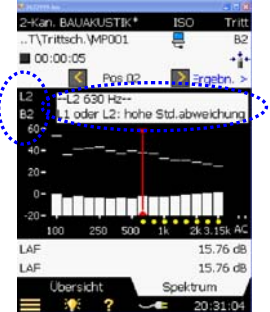


Abb. 25 Vergleich Pegel Empfangsseite L2 zum Hintergrundpegel B2, mit zusätzlichen Qualitätsinformationen zu den gemessenen Werten

3. Nachhallzeitmessung im Empfangsraum (T2) durchführen

Der Lautsprecher wird für die Nachhallzeitmessung im Empfangsraum aufgestellt. Wie in Abb. 15 dargestellt, wird T2 angewählt und die Messung gestartet.

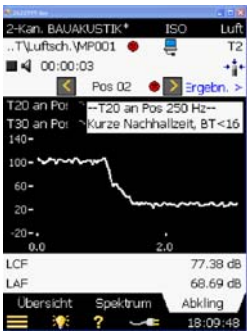


Abb. 26 Darstellung Pegelabfall mit Qualitätsbeschreibung, diese erscheint nach Antippen des „Smileys“ direkt auf dem Display



Abb. 27 Grafische Darstellung einer Nachhallzeitmessung

Freq.	T30 an Pos	T30status
125 Hz	0.15 s	F%
160 Hz	0.20 s	pFk
200 Hz	0.20 s	F%
250 Hz	0.15 s	F%
315 Hz	0.15 s	F%
400 Hz	0.09 s	F%
500 Hz	0.10 s	F%
630 Hz	0.10 s	F%
800 Hz	0.19 s	%
1 kHz	0.19 s	%
1.25 kHz	0.10 s	%
1.6 kHz	0.08 s	%
2 kHz	0.09 s	%
2.5 kHz	0.07 s	%
3.15 kHz	0.07 s	%
4 kHz	0.08 s	%
5 kHz	0.08 s	%

Abb. 28 Numerische Darstellung einer Nachhallzeitmessung mit Qualitätsbeschreibung

4. Ergebnisdokumentation

Nach den Messungen werden die Ergebnisse auf dem Display des Analysators dargestellt. Sie können sofort beurteilen, ob evtl. Nachmessungen erforderlich sind, Maßnahmen zur Verbesserung ergreifen und direkt nachprüfen. Die Ergebnisse bleiben im Analysator (interner Speicher, CF- und SD-Cards) dauerhaft gespeichert. Im Büro können die Messergebnisse mit der mitgelieferten PC-Software BZ5503 in einen PC übertragen, angesehen und in eigene Vorlagen exportiert oder mit der Brüel & Kjær PC-Software „Qualifier“ Typ 7830 oder PULSE Reflex für Bauakustik Typ 8780 bearbeitet normgerecht ausgedruckt werden.



Abb. 29 Ergebnisdarstellung für Schalldämmung- u. Trittschallmessung

A1		Projekt Name																
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Projekt	Funktio	100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	630Hz	800Hz	1kHz	1.25kHz	1.6kHz	2kHz	2.5kHz	3.15kHz
2	MP001	BAForr	57	41	44,3	45	47,1	45,5	41,9	44,6	42,7	41,4	37,1	36	35,1	34,5	32,5	31,4
3		L1	53,91	36,52	41,39	41,96	42,89	39,64	37,26	39,46	38,17	36,93	32,21	31,1	30,44	29,24	27,19	25,89
4		L2	-0,73	-3,95	-2,47	-3,82	-4,01	-4,37	-3,69	-4,64	-2,49	-3,46	-2,83	-2,12	-1,6	-0,81	0,27	1,38
5		B2	0,59	0,43	0,62	0,59	0,45	0,31	0,41	0,37	0,42	0,43	0,39	0,39	0,41	0,36	0,35	0,34
6		T20	0,59	0,43	0,62	0,59	0,45	0,31	0,41	0,37	0,42	0,43	0,39	0,39	0,41	0,36	0,35	0,34
7		T30	0,59	0,5	0,52	0,56	0,54	0,37	0,5	0,43	0,44	0,44	0,41	0,44	0,38	0,37	0,37	0,36

Abb. 30 Darstellung eines Exports in z.B. Tabellenkalkulationsprogramme

Messparameter und Normung (deutschsprachiger Raum)

Normung (Basisnormen) DIN EN 20140 DIN EN ISO 717-1 DIN EN ISO 717-2	
Berechnete Messparameter	
Schalldämmung D Dn DnT R' R Dw Dw + C Dnw + Ctr Dnw Dnw+C Dnw+Ctr DnTw R'w Rw +C +Ctr +C ₅₀₋₃₁₅₀ + C ₅₀₋₅₀₀₀ +C ₁₀₀₋₅₀₀₀ + C _{tr50-3150} +C _{tr100-5000} + C _{tr50-5000}	Trittschall L'nt L'nT Ln L'nw LnTw Lnw +Ci +Ci ₅₀₋₂₅₀₀
Fassade R'45° R'tr,s Dls,2m Dls,2m,n DIS,2m,nT Dtr,2m Dtr2m,n Dtr,2m,nt Dls,2m,w Dls,2m,n,w DIS,2m,nT,w DIS,2m,nT,w+C DIS,2m,nT,w+Ctr Dtr,2m,w ,nt,w+C Dtr,2m,w ,nt,w+Ctr	R'45°w R'tr,s,w +C +Ctr +C ₅₀₋₃₁₅₀ + C ₅₀₋₅₀₀₀ +C ₁₀₀₋₅₀₀₀ + C _{tr50-3150} +C _{tr100-5000} + C _{tr50-5000}

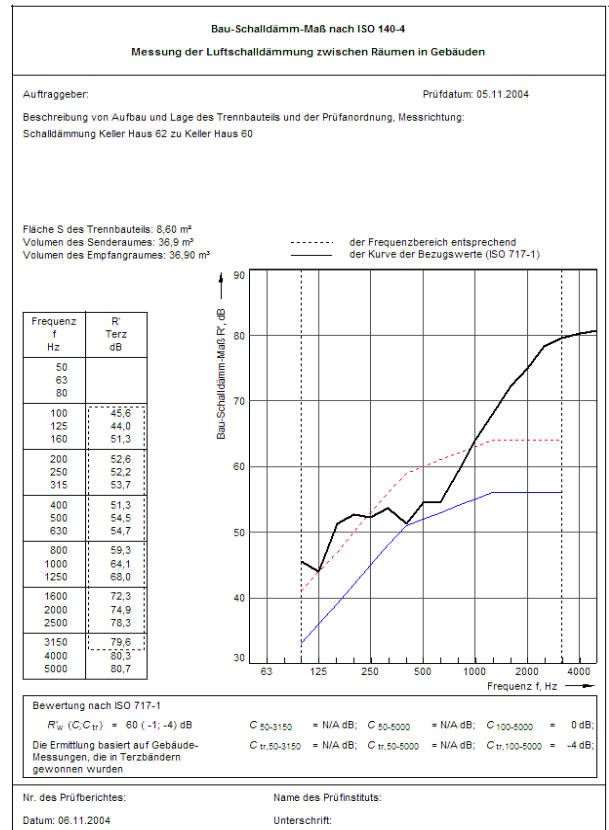


Abb. 31 Normgerechte Darstellung einer Schalldämmungsmessung

Verwendete Literatur:

- [1] „Measuring Speech Intelligibility using DIRAC“- 7841-Brüel & Kjaer Application Note
- [2] „Schalldämmung“ - Brüel & Kjaer - Naerum - BR 0055-1
- [3] „Messungen in der Raum- und Bauakustik“ – Brüel & Kjaer – Naerum – BR 0262-12
- [4] Architectural Acoustics – Brüel & Kjaer, ISBN 87 87355 264
- [5] Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise – DIN 4109
- [6] Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen DIN 18041
- [7] Elektroakustische Geräte, Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit - DIN EN 60268-16
- [8] Messung der Nachhallzeit mit Bezug auf andere raumakustische Parameter - ISO 3382
- [9] Elektroakustische Geräte, Teil16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit DIN EN 60268-16
- [10] Elektroakustische Notfallwarnsysteme - DIN EN 60849 /VDE 0828 Entwurf Nov. 2002
- [11] Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen- DIN EN ISO 140
- [12] Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung – DIN EN ISO 717-1
- [13] Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung – DIN EN ISO 717-2
- [14] Raumakustik: <http://www.hunecke.de>

Die Abbildungen sind Eigentum der Brüel & Kjaer AS-DK und dürfen nur unter Angabe der Quelle weiter verwendet werden.

Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle können wir keine Haftung für die Inhalte übernehmen.

Willi Nickel

willi.nickel@bksv.com

Mai 2011