

Bauakustische Messungen – Einfach, Sicher und Clever

Willi Nickel, Brüel & Kjær GmbH – Düsseldorf

Einleitung

Nachhallzeit und Berechnung der äquivalenten Absorptionsfläche
 Luft- und Trittschalldämmung und Ermittlung von Einzahlwerten
 Praktische Durchführung von Messungen – In 4 Schritten zum Ergebnis



Einleitung

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 umfasst die akustische Gestaltung heute auch Maßnahmen zur Lärminderung in nahezu allen Gebäudearten.

Moderne, leichte und übersichtlich bedienbare Schallanalysatoren von Brüel & Kjær ermöglichen eine einfache Bestimmung der benötigten bauakustischen Parameter. Der nachfolgende Artikel möchte in einer verständlichen Weise erste Grundlagen dazu vermitteln und die Vorgehensweise zur Ermittlung grundlegender, bauakustischer Messparameter mit Hilfe der neuen „Schallanalysatoren 2250 und 2270“ darstellen.

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 erste und weitere Reflexionen das Mikrofon 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. Im Freifeld würde der Schalldruckpegel innerhalb kürzester Zeit wieder abfallen. Die Nachhallzeit ist definiert als die Zeit, die der Schalldruckpegel braucht, um 60 dB abzufallen.

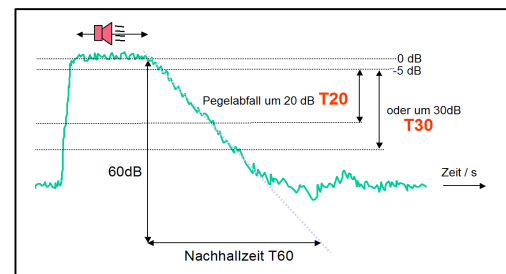


Abb. 1 Darstellung zur Definition der Nachhallzeit

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

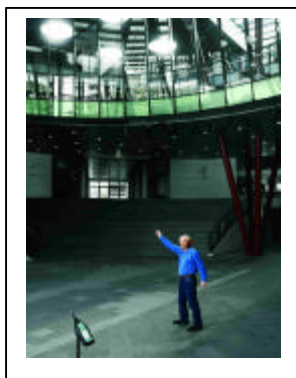


Abb. 2 Nachhallzeitmessung in einem Hörsaal, Impulsanregung mittels Pistole

Eine Nachhallzeit wird frequenzabhängig ermittelt, da unterschiedliche Materialien den Schall bei verschiedenen Frequenzen unterschiedlich absorbieren. Die Nachhallzeit steht in enger Beziehung zum Volumen eines Raumes und seiner Gesamtaborption. Die äquivalente Absorptionsfläche (Gesamtaborption) lässt sich berechnen nach der empirisch ermittelten „Sabinesche Formel“. Diese ist gültig für die meisten Räume, jedoch nicht für schalltote Räume. Die Formel lautet:

$$A = 0,163 \frac{V}{T}$$

T = Nachhallzeit des Raumes in Sekunden
 V = Raumvolumen in m³
 A = Absorption im Raum in m²
 DIN EN 20140 berechnet A mit 0,16 V/T

Die Gesamtaborption eines Raumes ist die Summe der Absorptionen aller Flächen im Raum, d.h. Wände, Decke, Boden, Möbel und Einrichtungsgegenstände werden berücksichtigt. Die Absorption einer Fläche ist das Produkt ihrer Oberfläche und ihres Absorptionsgrades a.

Die Schallabsorption wird als äquivalente Absorptionsfläche A in m² ausgedrückt. Die äquivalente Absorptionsfläche A wird bei der Bestimmung von bauakustischen Parametern als Teil eines Korrekturterms für Raumgröße und Raumrückwirkung benötigt.

Luftschalldämmung

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

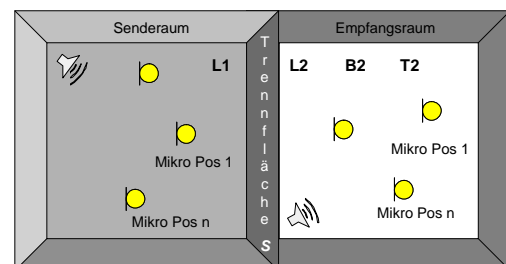


Abb. 3 Prinzip einer Schalldämmungsmessung

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

L₁ = Pegel im Senderaum
 L₂ = Pegel im Empfangsraum
 S = Größe der Trennfläche in m²
 A = äquivalente Absorptionsfläche in m²

Trittschalldämmung

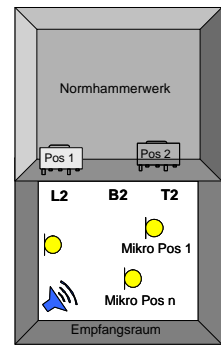
Schritte über Fußböden oder Treppen sind in anderen Räumen oft deutlicher zu hören als in dem Raum, in dem sie entstehen, denn die Gebäudestruktur wird in Schwingungen versetzt und diese verbreiten sich als Körperschall in andere Gebäudeteile fort. Wände und Decken strahlen Körperschall als Luftschall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

Zur Ermittlung des Trittschallpegels L_n benutzt man als Schallquelle ein Normhammerwerk, das mit 5 Hämmern je 500 g, die aus 4 cm Höhe fallen, 10 Schläge je Sekunde erzeugt. Mit einem Schallanalysator wird der Schallpegel im Empfangsraum gemessen und um den Raumeinfluss mittels der äquivalenten Absorptionsfläche A korrigiert.

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

L_2 = Pegel im Empfangsraum
 A = Absorptionsfläche in m^2
 10 = Referenzfläche in m^2

Abb. 4 Prinzipdarstellung einer Trittschallmessung



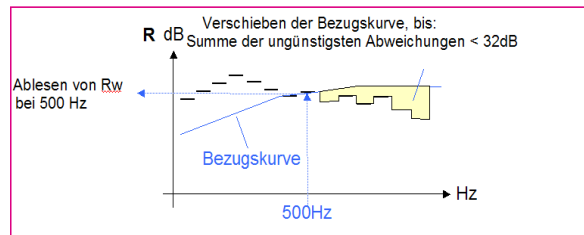
Ermittlung von Einzahlwerten

Die Schalldämmung ist eine Funktion der Frequenz. Zum Vergleich mit Vorschriften werden Bezugskurven im Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz (erweiterter Bereich 50 - 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 Trittschall-dämmung ergeben.

Bewertetes Schalldämm-Maß R_w

Die Luftschalldämmung wird durch R_w charakterisiert, das ermittelt wird, indem eine Bezugskurve in 1-dB-Schritten gegenüber der Messkurve 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. 5 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.

Praktische Durchführung von Messungen – In 4 Schritten zum Ergebnis

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/BZ7229 fortgesetzt. Der Schallanalysator 2250/2270 als Zentrum einer Bauakustikmessausstattung 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 Brüel & Kjær Bedienung der Geräte, unterstützt durch kontextbezogene deutsche Hilfe, wurde beibehalten und ergänzt um nachstehende Begriffe mit ihren Kürzeln (siehe auch Abb. 3, 4 u. 8 - 13) 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
- **$L_{n,w}$** Trittschallpegel, Einzahlwert



Abb. 6 Messausstattung für Schalldämmungsmessungen



Abb. 7 Messausstattung 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. 8 Eingang anwählen, 1- oder 2-Kanal-Messung (serielle oder simultane Messung von L1 & L2)

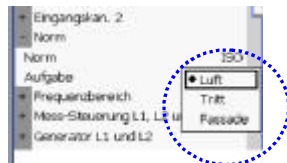


Abb. 9 Art der Messung und Norm

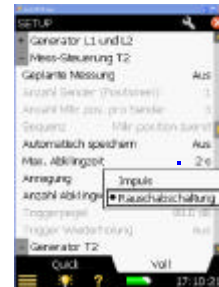


Abb. 10 Frequenzbereiche festlegen

Abb. 11 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. 12 Anregungsart, hier für Nachhallzeitmessung -Impuls oder Rauschanregung; bei Schalldämmungsmessung, Generator Verkehrslärm, extern oder intern (weißes oder rosa Rauschen)



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 (Schalldämmung L1 & L2; Trittschall L2; Hintergrundpegel B2) durchführen



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.

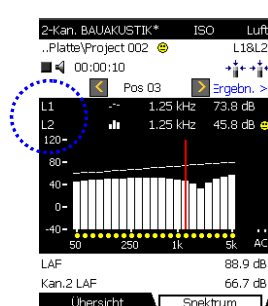


Abb. 13 Messübersicht und Bedientasten



Abb. 14 Ergebnisdarstellung der Pegel auf der Sendeleite (L1) & Empfangsseite (L2)

Abb. 15 Anwahl, welcher Parameter gemessen wird

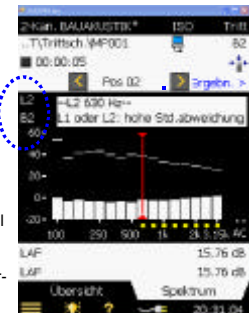


Abb. 16 Vergleich Pegel Empfangsseite L2 zum Hintergrundpegel B2, zusätzlich Qualitätsinformation zu den gemessenen Werten

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.

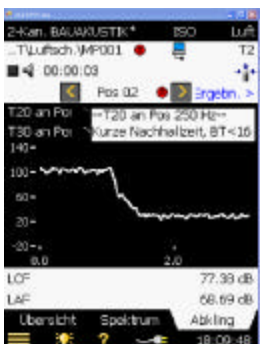


Abb. 17 Darstellung Pegelabfall mit Qualitätsbeschreibung, diese erscheint nach Antippen des „Smileys“ direkt auf dem Display

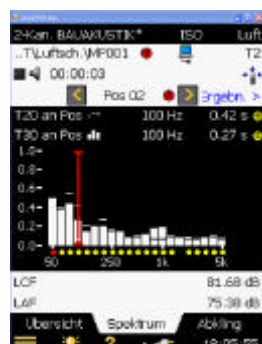


Abb. 18 Grafische Darstellung einer Nachhallzeitmessung

Freq.	T30 an Pos.	T30Status
125 Hz	0.15 s	F%
160 Hz	0.20 s	pF%
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	0.18 s	F%
1 kHz	0.19 s	F%
1.25 kHz	0.10 s	F%
1.6 kHz	0.08 s	F%
2 kHz	0.09 s	F%
2.5 kHz	0.07 s	F%
3.15 kHz	0.07 s	F%
4 kHz	0.08 s	F%
5 kHz	0.08 s	F%

Abb. 19 Numerische Darstellung einer Nachhallzeitmessung mit Qualitätsbeschreibung

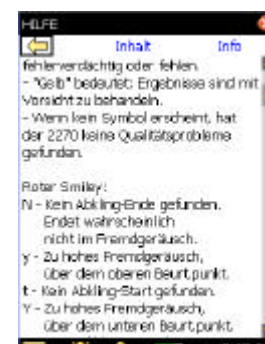


Abb. 20 Kontextbezogene Hilfe, hier dargestellt für „Smileys“

4. Ergebnisdokumentation

Nach den Messungen werden die Ergebnisse auf dem Display des Analysators dargestellt werden. 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 & Kjaer PC-Software „Qualifier“ normgerecht ausgedruckt werden.

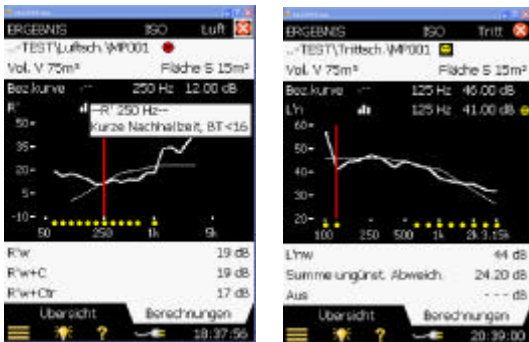


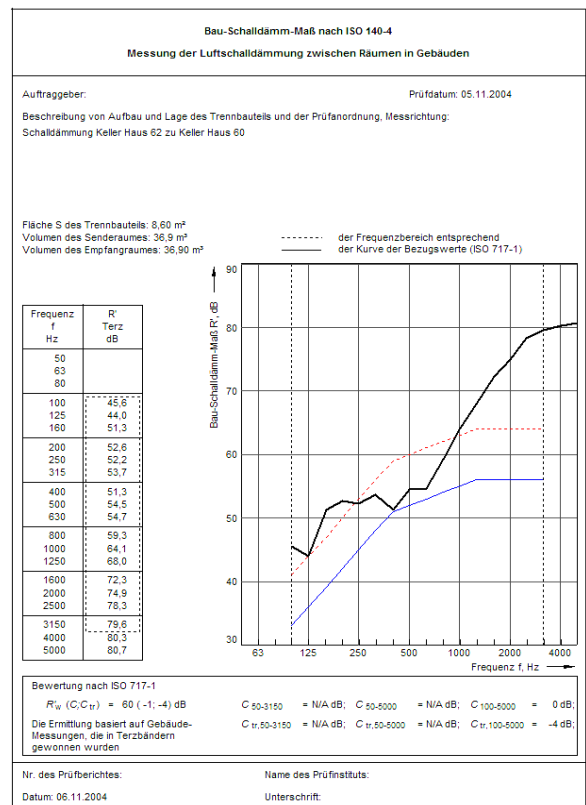
Abb. 21 Ergebnisdarstellung für Schalldämmung- u. Trittschallmessung

f	R'	R'w	R'w+C	R'w+Ctr	L'n	L'nT	L'nTw	L'nw	Ci	Ctr
50	57	41	44,3	46	47,1	45,5	41,9	44,6	42,7	41,4
63										
80										
100	53,91	36,52	41,39	41,96	42,88	39,54	37,26	39,46	39,17	36,93
125	47,3	30,9	34,7	35,21	34,01	30,7	28,69	30,64	28,5	28,93
160	43,9	28,3	31,6	32,09	30,89	27,5	25,49	27,44	25,3	25,77
200	42,88	26,6	29,9	30,38	29,18	25,8	23,7	25,62	23,5	23,97
250	41,9	25,1	28,4	28,89	27,69	24,3	22,2	24,15	22,0	22,47
315	40,7	23,7	27,0	27,41	26,21	22,9	20,8	22,75	20,6	21,07
400	39,54	22,4	25,7	26,11	24,91	21,6	19,5	21,45	19,4	19,87
500	37,26	21,1	24,4	24,79	23,59	20,3	18,2	20,15	18,1	18,57
630	36,93	20,0	23,1	23,51	22,31	19,0	16,9	18,85	16,8	17,31
800	36,93	18,9	21,8	22,21	21,01	17,7	15,6	17,55	15,5	16,01
1000	31,1	17,8	20,5	20,89	19,69	16,6	14,5	16,45	14,4	14,91
1250	30,44	16,7	19,2	19,59	18,39	15,5	13,4	15,35	13,3	13,81
1600	29,24	15,6	17,9	18,29	17,09	14,4	12,3	14,25	12,2	12,67
2000	27,19	14,5	16,6	16,99	15,79	13,3	11,2	13,15	11,1	11,57
2500	25,99	13,4	15,3	15,69	14,49	12,2	10,1	12,05	10,0	10,47
3150	24,9	12,3	14,0	14,39	13,19	11,1	9,0	10,95	8,9	9,37
4000	24,9	11,2	12,7	13,09	11,89	10,0	7,9	9,85	7,8	8,27
5000	25,99	10,1	11,4	11,79	10,59	8,9	6,8	8,75	6,7	7,17

Abb. 22 Darstellung eines Exports in z.B. Tabellenkalkulationsprogramme (oben) Normgerechter Ausdruck einer Schalldämmungsmessung (unten)

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 DIs,2m DIs,2m,n DIS,2m,nT Dtr,2m Dtr2m,n Dtr,2m,nt DIs,2m,w DIs,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}



Zusammenfassung

Wir hoffen, mit dieser kurzen Einführung „**Bauakustische Messungen**“ Ihnen einen Vorgeschmack über das Arbeiten nach der Devise – **EINFACH, SICHER und CLEVER** – mit unseren neuen Schallanalysatoren vermitteln zu können. Durch modernste Gerätetechnik, einfachste und übersichtliche Bedienbarkeit und Integration der Messvorschriften in die Geräte sind nun auch bauakustische Messungen handhabbar und zuverlässiger geworden. Haben Sie weitere Fragen? Gerne hören wir von Ihnen und stellen Ihnen die Geräte persönlich vor

Brüel & Kjaer GmbH
www.brueelkjaer.de

Bremen im Juli 2008

Verwendete Literatur:

1. „Messungen in der Raum- und Bauakustik“ – Brüel & Kjaer – Naerum – BR 0262-12
2. Datenblatt für 2250/2270 „Building Acoustics Software BZ7228/BZ722“ – BP 2190-11
3. Architectural Acoustics – Brüel & Kjaer, ISBN 87 87355 264
4. Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise – DIN 4109
5. Messung der Nachhallzeit mit Bezug auf andere raumakustische Parameter - ISO 3382
6. Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen- DIN EN 20140-2 u. DIN EN 20140-3
7. Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen- EN ISO 140-3 bis EN ISO 140-9
8. Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung – DIN EN ISO 717-1
9. Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung – DIN EN ISO 717-2