

Schallübertragung eines bodenebenen Duschelements

Andreas Ruff, Jochen Scheck, Heinz-Martin Fischer

Hochschule für Technik Stuttgart, 70174 Stuttgart, E-Mail:

andreas.ruff@hft-stuttgart.de - jochen.scheck@hft-stuttgart.de - heinz-martin.fischer@hft-stuttgart.de

Einleitung

Bodenebene Duschbereiche erfreuen sich im Wohnungsbau einer zunehmenden Beliebtheit. Neben dem ursprünglichen Verwendungsgrund, einen barrierefreien Zugang zum Duschbereich zu ermöglichen, treten auch immer mehr die Ansprüche an ein modernes Bäderdesign sowie an einen hohen Wohnkomfort in den Vordergrund. Mit einem hohen Wohnkomfort verbinden die Bewohner auch einen guten Schallschutz im Gebäude, der über die Mindestanforderungen der DIN 4109 [1] hinausgehen sollte.

Bei bodenebenen Duschelementen sind drei Arten von Geräuschen zu betrachten. Zum einen sind das die Installationsgeräusche, d.h. die Anregung durch einen Wasserstrahl. Zudem können auch Trittschall sowie Nutzergeräusche eine Rolle spielen. Für Installationsgeräusche und Trittschall gibt es in den deutschen Normen und Regelwerken Anforderungen bzw. Empfehlungen. Die Mindestanforderung für Installationsgeräusche beträgt derzeit nach DIN 4109 für einen schutzbedürftigen Raum in einer benachbarten Wohnung $L_{AFmax,n} \leq 30$ dB(A). Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz werden u.a. in der VDI 4100 [2] genannt. Die Nutzergeräusche bleiben in den deutschen Normen und Regelwerken bislang unberücksichtigt. In anderen Ländern, z.B. der Schweiz, bestehen auch Anforderungen an Nutzergeräusche.

Bislang wird die von Duschelementen ausgehende Schallübertragung in benachbarte Räume meist in einem gebäudeähnlichen Installationsprüfstand messtechnisch bestimmt [3]. Den Fachplanern werden dann von den Herstellern der Duschelemente die Messergebnisse in Form von Produktunterlagen und Prüfzeugnissen zur Verfügung gestellt. Die durch Installationsprüfstands-Messungen ermittelten Ergebnisse beziehen sich nur auf die im Prüfstand realisierte Übertragungssituation. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Gebäudesituationen, insbesondere solche mit anderen Deckendicken und anderen Installationswänden, ist nicht ohne weiteres möglich.

Eine Alternative zur Referenzmessung im gebäudeähnlichen Installationsprüfstand ist die Charakterisierung am Empfangsplattenprüfstand. Dabei wird das durch einen Wasserstrahl o.ä. angeregte Duschelement als (aktive) Körperschallquelle charakterisiert (siehe Abbildung 1). Die ermittelten Daten können als Eingangsdaten für das Prognosemodell der DIN EN 12354-5 [4] verwendet werden. Mit diesem Modell ist es möglich, die Schallübertragung für beliebige Gebäudesituationen zu berechnen. Damit steht ein Verfahren zur Verfügung, das zur schalltechnischen Planung sowie zur Produktkennzeichnung und Produktoptimierung eingesetzt werden kann.



Abbildung 1: Charakterisierung eines bodenebenen Duschelements am Empfangsplattenprüfstand.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde erstmals die Anwendung des Empfangsplattenverfahrens und des Prognoseverfahrens der DIN EN 12354-5 für ein bodenebenes Duschelement untersucht (siehe auch [5]).

Konstruktion des untersuchten Duschelements

Bei dem untersuchten Duschelement handelt es sich im Wesentlichen um einen Unterbau aus Hartschaumplatten, der mit einer großformatigen Fliese verfliesen wurde. Der Unterbau besteht aus einer Ausgleichplatte, die in der Baupraxis den Höhenunterschied zum umgebenden Estrich ausgleicht und einer Gefälleplatte, die ein Gefälle von 2 % zum Abfluss gewährleistet. Der Abfluss ist als Linienentwässerung (Rinne) ausgebildet und an der Wand angeordnet. Der komplette Aufbau des Duschelements ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

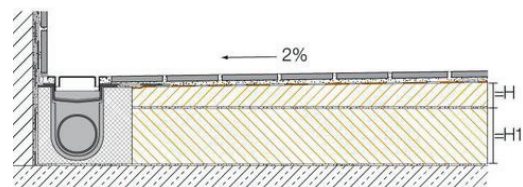


Abbildung 2: Schematische Darstellung des untersuchten Duschelements.

Das Duschelement wurde bei den Untersuchungen nur auf die Bodenplatte des Prüfstands aufgelegt und nicht verklebt. Ein angrenzender Estrich und eine Verfliesung der Wand waren nicht vorhanden. Da zunächst der schalltechnisch ungünstigste Fall untersucht werden sollte, wurde im ersten Schritt keine zusätzliche Trittschalldämmung verwendet. Für den fachgerechten Anschluss des Duschelements an den angrenzenden Estrich oder angrenzende Wände werden vom Hersteller auch spezielle Profile angeboten. Diese wurden bislang nicht verwendet.

Charakterisierung des Duschelements als Körperschallquelle

Die Charakterisierung des bodenebenen Duschelements als Körperschallquelle erfolgte auf der horizontalen Empfangsplatte (siehe Abbildung 1) nach DIN EN 15657-1 [6]. Die Empfangsplatten-Leistung W_{rec} der Quelle kann indirekt über die Messung der mittleren Schnelle auf der Empfangsplatte nach (1) bestimmt werden.

$$W_{\text{rec},i} = \omega \cdot m_i \cdot \overset{=2}{v_i} \cdot \eta_i \quad (1)$$

Um eine unabhängige Quellen-Charakterisierung zu erhalten, erfolgt eine Normierung auf die Admittanz der Empfangsplatte nach (2). Die so bestimmte charakteristische Körperschall-Leistung wird nach (3) in die installierte Leistung für reale Wände und Decken umgerechnet. Die installierte Leistung ist die Eingangsgröße für die Prognose nach DIN EN 12354-5.

$$W_{\text{char},i} = W_{\text{rec},i} \cdot \frac{Y_{\infty,\text{rec}}}{\text{Re}\{\bar{Y}_{\text{rec},i}\}} \quad (2)$$

$$W_{\text{inst},i} = W_{\text{char},i} \cdot \frac{Y_{\infty,\text{inst},i}}{Y_{\infty,\text{rec}}} \quad (3)$$

Für die Trittschallanregung des Duschelements wurde ein Norm-Hammerwerk verwendet. Da es bei handelsüblichen Duschbrausen eine große Vielfalt verschiedener Modelle gibt, wurde für die Anregung des Duschelements mit Wasser ein Körperschallgeräuschnormal (KGN) verwendet. Dabei handelt es sich um eine in DIN EN 15657-1 genormte Anordnung von Absperrventil, Druckmesseinrichtung, Rohrbogen und Installationsgeräuschnormal (IGN). Das KGN erzeugt einen definierten Wasserstrahl, dessen Anregestärke einen großen Bereich handelsüblicher Duschbrausen abdeckt [7].

Die Wasserversorgung erfolgte mit einer Pumpenanlage mit regelbarem Durchfluss und Fließdruck. Bei einer Messreihe mit Fließdrücken von 1 bar bis 5 bar in Schritten von 1 bar wurde eine kontinuierliche aber nicht lineare Erhöhung der Empfangsplatten-Leistung festgestellt. Für die folgenden Messreihen wurde ein Fließdruck von 3 bar festgelegt. Dies entspricht in etwa dem üblicherweise in Gebäuden vorhandenen Fließdruck. Auch die Höhe des KGN hat einen Einfluss auf die Empfangsplatten-Leistung. Die Leistung nimmt mit zunehmender Höhe des KGNs ab, die Abnahme ist jedoch ebenfalls nicht linear. Gemessen wurde mit 0,5 m, 1,0 m und 1,5 m Höhe über dem Duschelement. Die DIN EN 15657-1 schreibt eine Höhe von 0,5 m vor. Für Messungen des Installationsgeräuschpegels im Gebäude ist dagegen nach DIN EN ISO 10052 [8] eine Höhe von 1,5 m vorgesehen, unter Berücksichtigung der nationalen Vorgaben der DIN 4109-11 [9] soll diese aber auf 1,0 m Höhe reduziert werden.

Bei den Messungen wurde nicht nur das Duschelement auf der Empfangsplatte angeregt, sondern auch die Empfangsplatte direkt. Abbildung 3 zeigt den Vergleich der charakteristischen Körperschall-Leistung bei der KGN-

Anregung des Duschelements und der Empfangsplatte aus 1 m Höhe.

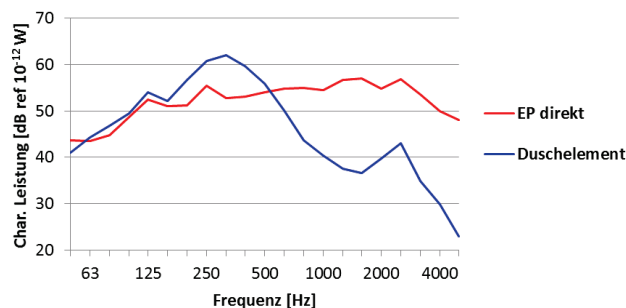


Abbildung 3: Charakteristische Körperschall-Leistung bei direkter Anregung der Empfangsplatte und bei Anregung des bodenebenen Duschelements mit KGN aus 1 m Höhe.

Die Ergebnisse zeigen das typische Verhalten eines schwimmenden Estrichs. Oberhalb von 630 Hz wird durch das Duschelement die Körperschall-Leistung deutlich - zu höheren Frequenzen zunehmend - reduziert. Im Bereich der Resonanzfrequenz, die durch die Konstruktion des Duschelements aus Hartschaumplatten ungünstig hoch liegt, ergibt sich eine höhere Leistung und damit eine Verschlechterung. Unterhalb des Resonanzbereichs hat das Duschelement keine Dämmwirkung.

Abbildung 4 zeigt die charakteristische Körperschall-Leistung für die Anregung des Duschelements mit dem KGN und dem Normhammerwerk sowie deren Differenz.

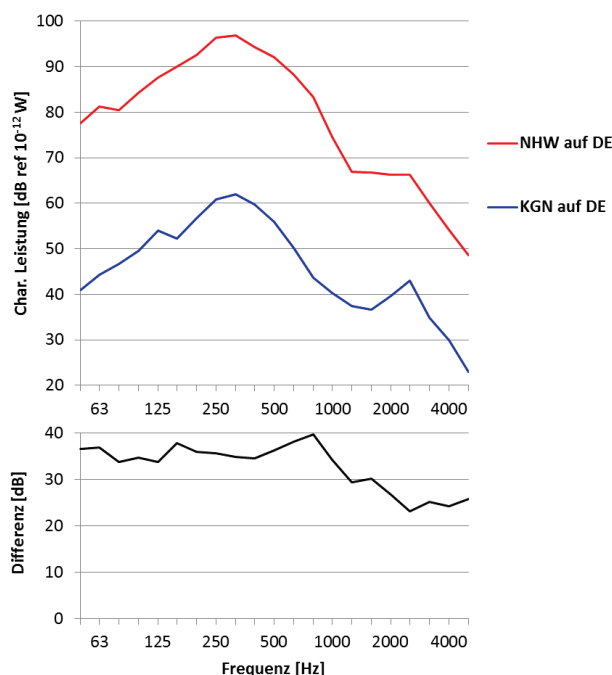


Abbildung 4: Charakteristische Körperschall-Leistung bei Anregung des Duschelements (DE) mit Normhammerwerk und KGN sowie deren Differenz.

Bei Anregung des Duschelements mit dem Normhammerwerk und dem KGN ergibt sich ein sehr ähnlicher Frequenzverlauf. Die Anregestärke ist beim Normhammerwerk deutlich höher. Die Differenz der Leistungen beträgt im Frequenzbereich von 50 Hz bis 1000 Hz ca. 35 dB. Oberhalb von 1000 Hz wird die Differenz geringer und beträgt bei 5000 Hz noch 25 dB. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass beim Auftreffen des Wasserstrahls ein

geringerer Einfluss der Kontaktsteife gegeben ist, als beim Auftreffen eines Hammers (siehe auch [5]). Eine konservative Abschätzung des Installationsgeräuschpegels aus dem Frequenzverlauf des Norm-Trittschallpegels könnte durch Berücksichtigung einer frequenzunabhängigen Differenz von 35 dB und anschließender A-Bewertung erfolgen. Anschließend wird daraus der Einzahlwert durch energetische Summation der frequenzabhängigen Werte berechnet. Da die Anregung mit dem KGN stationär ist, entspricht das so erhaltene Ergebnis näherungsweise der Anforderungsgröße $L_{AFmax,n}$.

Messung der Schallübertragung im gebäude-ähnlichen Installationsprüfstand

Die vom Duschelement ausgehende Schallübertragung in benachbarte Räume wurde in einem Kombinationsprüfstand, der auch als gebäudeähnlicher Installationsprüfstand verwendet werden kann, messtechnisch untersucht. Der Prüfstand hat eine 180 mm dicke Stahlbetondecke, als Installationswände waren Kalksandsteinwände mit $m' = 220 \text{ kg/m}^2$ (RDK 2.0, $d = 115 \text{ mm}$) eingebaut.

Die Anregung des Duschelements erfolgte - wie am Empfangsplattenprüfstand - mit KGN und Normhammerwerk. Das Duschelement wurde in der Raumecke platziert. Zwischen Duschelement und Wand wurde ein handelsüblicher Randdämmstreifen eingebaut, so dass die maßgebliche Körperschalleinleitung in die Decke erfolgte.

Die Schallübertragung wurde in horizontaler, diagonaler und vertikaler Richtung gemessen (siehe Abbildung 5).

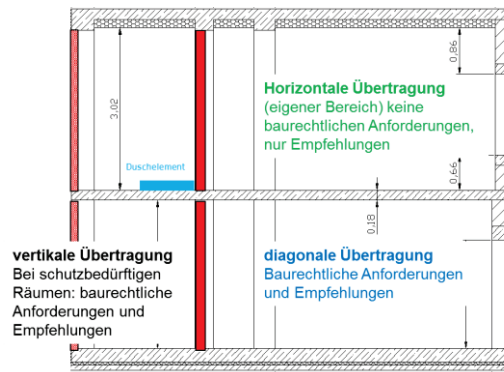


Abbildung 5: Schnitt durch den Installationsprüfstand.

In Mehrfamilienhäusern sind die Grundrisse der Geschosse in der Regel identisch, so dass Anforderungen nur an die diagonale Übertragung bestehen (z.B. Bad grenzt an Schlafraum). Die horizontale Übertragung ist beim realisierten Aufbau mit der Installationswand mit 220 kg/m^2 innerhalb des eigenen Wohnbereichs und unterliegt somit keinen Anforderungen. Allerdings gibt es in verschiedenen Regelwerken, z.B. der VDI 4100, Empfehlungen für den eigenen Bereich. Bei der vertikalen Übertragung gibt es keine Anforderungen wenn identische Grundrisse vorliegen, d.h. wenn die Bäder direkt übereinander liegen. Bei versetzten Grundrissen können jedoch Anforderungen bestehen für den Fall, dass unter dem Bad ein schutzbedürftiger Raum liegt.

Die Messungen wurden in Anlehnung an DIN EN ISO 10052 unter Berücksichtigung der nationalen Vorgaben der DIN 4109-11 durchgeführt. Die Installationspegel wurden dabei mittels „Eckmethode“ im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz bestimmt.

In Abbildung 6 sind die bei diagonaler Übertragung gemessenen Norm-Schalldruckpegel bei Anregung des Duschelements mit KGN (in 1 m Höhe) und Normhammerwerk sowie deren Differenz dargestellt.

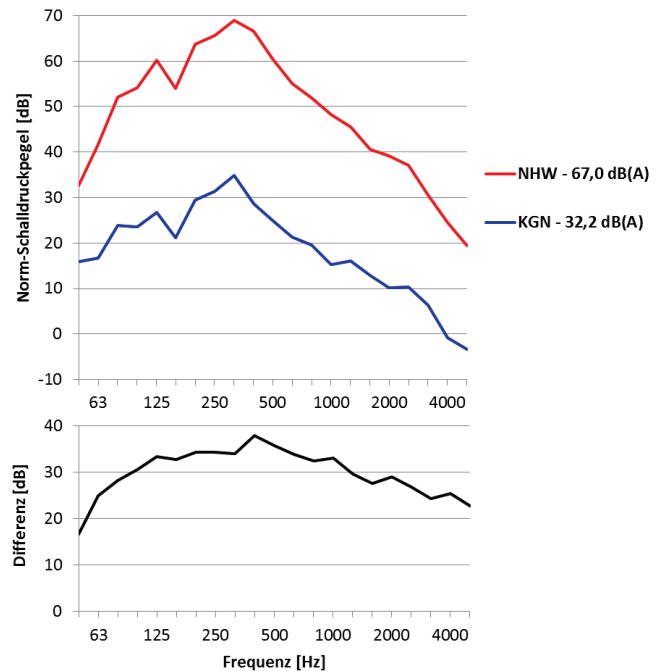


Abbildung 6: Norm-Schalldruckpegel bei Anregung des Duschelements mit KGN und Normhammerwerk sowie deren Differenz - diagonale Übertragung.

Die Anregung des Duschelements mit dem Normhammerwerk ergab - wie auch am Empfangsplattenprüfstand - einen ähnlichen Frequenzverlauf wie bei der KGN-Anregung. Die Differenz zwischen beiden Anregearten ist im Frequenzbereich von 125 Hz bis 1000 Hz in der gleichen Größenordnung wie am Empfangsplattenprüfstand. Bei den Einzahlwerten beträgt die Differenz 34,8 dB. Dies bestätigt, dass eine näherungsweise Umrechnung von Trittschallpegel und Installationsgeräuschpegel anhand des oben genannten Verfahrens möglich ist.

Vergleich zwischen Prognose und Messung

Für die oben beschriebenen Übertragungssituationen wurde die Schallübertragung nach DIN EN 12354-5 mit Eingangsdaten vom Empfangsplattenprüfstand prognostiziert und mit in-situ Messergebnissen verglichen. Die frequenzabhängige Prognose der Norm-Schalldruckpegel ermöglicht auch die Angabe von Einzahlwerten, z.B. des A-bewerteten Summenpegels und damit den Vergleich der Ergebnisse mit Anforderungswerten, z.B. nach DIN 4109.

Abbildung 7 zeigt den Vergleich von Prognose und Messung bei Anregung des Duschelements mit KGN (in 1 m Höhe) und Normhammerwerk für die diagonale Übertragung.

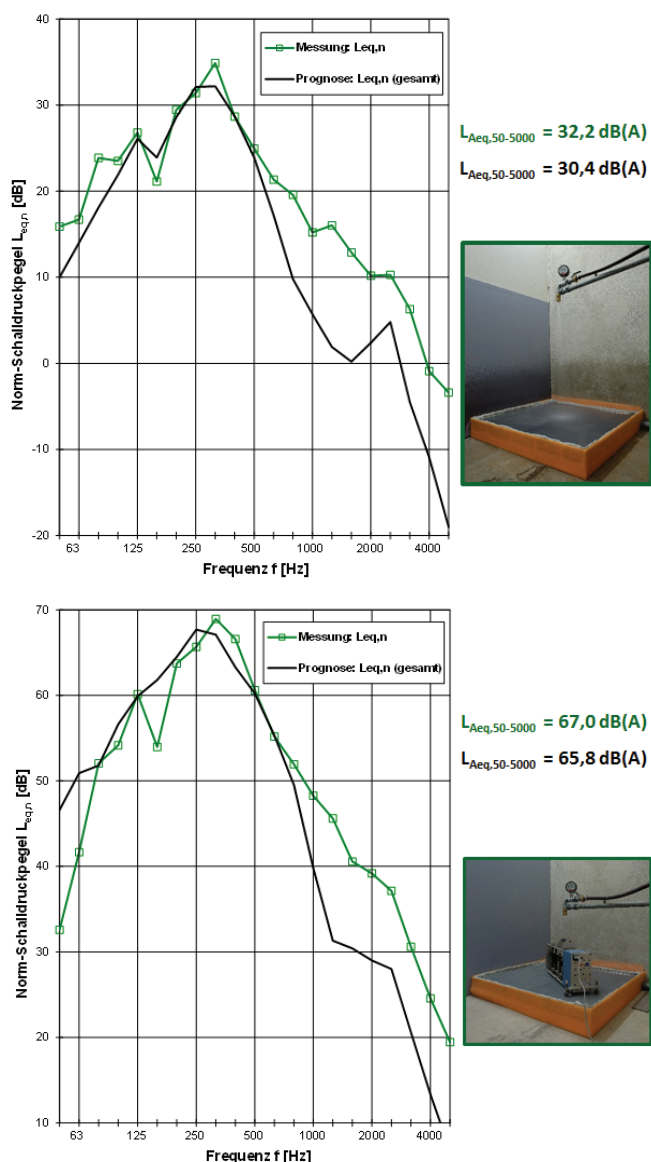


Abbildung 7: Vergleich von Prognose und Messung bei Anregung des Duschelements mit KGN (oben) und Normhammerwerk (unten) - diagonale Übertragung.

Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ist bei beiden Anregearten im Frequenzbereich bis 630 Hz sehr gut, im Frequenzbereich oberhalb von 630 Hz unterschätzt die Prognose die Messung jedoch erheblich. Aufgrund der Messung mit der „Eckmethode“ ist zu erwarten, dass die Messung tendenziell höhere Werte ergibt. Der gemessene Summenpegel liegt 1 bis 2 dB unter dem prognostizierten.

Zusammenfassung

Durch einen Wasserstrahl oder das Normhammerwerk angeregte Duschelemente können als aktive Körperschallquellen am Empfangsplattenprüfstand charakterisiert werden. Mit den am Empfangsplattenprüfstand bestimmten Daten kann die Schallübertragung für beliebige Gebäudesituationen nach DIN EN 12354 prognostiziert werden. Diese Möglichkeit ist bei einer Referenzmessung im Installationsprüfstand mit festgelegten Randbedingungen nicht gegeben. Auch konstruktive Optimierungsmöglichkeiten können am Empfangsplattenprüfstand mit

vergleichsweise geringem Aufbau- und Messaufwand untersucht werden.

Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden ohne Trittschalldämmung unter dem Duschelement durchgeführt, um den schalltechnisch ungünstigsten Fall abzubilden. Orientierende Messungen mit Dämmunterlagen zeigten bereits, dass die Einhaltung des erhöhten Schallschutzes mit geeigneten Dämmunterlagen problemlos möglich ist. In weiteren Schritten soll auch der Einfluss eines angrenzenden Estrichs und von Anschlussprofilen untersucht werden.

Die KGN-Anregung und die Anregung mit dem Normhammerwerk ergaben sowohl am Empfangsplattenprüfstand als auch im Installationsprüfstand ähnliche Frequenzverläufe mit einer Parallelverschiebung von ca. 35 dB im für die Beurteilung maßgeblichen Frequenzbereich. Dadurch kann für das untersuchte Duschelement eine näherungsweise Umrechnung von Norm-Trittschallpegel und Installationsgeräuschpegel und umgekehrt erfolgen.

Literatur

- [1] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise, 1989
- [2] VDI 4100: Schallschutz im Hochbau - Wohnungen - Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz, 2012
- [3] Öhler, S., Weber, L.: Bodenebene Duschelemente als bauakustische Herausforderung, 6. Akustik-Forum Raum und Bau, Darmstadt, 2010
- [4] DIN EN 12354-5: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 5: Installationsgeräusche, 2009
- [5] Scheck, J., Reinhold, S., Eschbach, P., Fischer, H.-M.: Messung und Prognose der Luft- und Körperschallübertragung von gebäudetechnischen Anlagen im Massivbau, DAGA 2016, Aachen
- [6] DIN EN 15657-1: Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden - Messung des Luft- und Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand - Teil 1, 2009
- [7] Öhler, S., Bitzer, N., Weber, L.: Geräuschverhalten von Handbrausen, DAGA 2010, Berlin
- [8] DIN EN ISO 10052: Akustik - Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden - Kurzverfahren, 2010
- [9] DIN 4109-11: Schallschutz im Hochbau - Teil 11: Nachweis des Schallschutzes - Güte- und Eignungsprüfung, 2010