

Conception of test setups for investigations on the sound transmission from landings in the staircase test facility

Konzeption von Prüfaufbauten zur Untersuchung der Schallübertragung von Treppenpodesten im Treppenprüfstand

Christoph Fichtel¹, Tobias Schneiderhan^{2,3}, Jochen Scheck^{1,3}

¹ STEP GmbH, 71364 Winnenden, Deutschland, Email: christoph.fichtel@steponline.de

² Kurz und Fischer GmbH, 71364 Winnenden, Deutschland, Email: tobias.schneiderhan@kurz-fischer.de

³ University of Applied Sciences, 70174 Stuttgart, Germany, Email: jochen.scheck@hft-stuttgart.de

Einleitung

Die schalltechnische Entkopplung von massiven Treppenläufen und -podesten entspricht heutzutage dem Stand der Technik. Untersuchungen [1] zeigen, dass durch den Einsatz von elastischen Zwischenschichten zwar erhebliche Verbesserungen gegenüber der starren Ankopplung erreicht werden können. Jedoch ist die Höhe der Trittschallminderung sehr stark davon abhängig, welches Produkt eingesetzt wird und welche Pressung das Lager erfährt. In den Ausführungsbeispielen der DIN 4109 – Beiblatt 1 [2] wird lediglich eine elastische Zwischenschicht gefordert, um einen bewerteten Norm-Trittschallpegel von $L'_{n,w,R} \leq 43$ dB zu erreichen. Es erfolgt keinerlei Differenzierung, die den oben erwähnten Einflüssen Rechnung trägt. Dies führt (verständlicherweise) dazu, dass sich die Hersteller solcher Entkopplungselemente Daten für ihre Elemente „beschaffen“ und diese den Planern in Form von Prüfzeugnissen zur Verfügung stellen. Da es derzeit kein standardisiertes Verfahren hierzu gibt, ist die Vorgehensweise zur Charakterisierung der Entkopplungselemente mehr oder weniger willkürlich. Dies führt zwangsläufig dazu, dass eine Vergleichbarkeit der schalltechnischen Wirksamkeit von Entkopplungselementen derzeit nicht gegeben ist. Zusammengefasst bedeutet dies, dass es für Planer und Ausführende derzeit nicht möglich ist, eine verlässliche Prognose der Trittschallübertragung für entkoppelte Läufe und Podeste anzugeben.

Im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens in Kooperation mit der HFT Stuttgart wurden Untersuchungen im Treppenprüfstand durchgeführt, um die maßgeblichen Einflüsse auf die Trittschallübertragung von entkoppelten Treppenpodesten festzustellen. Basierend auf den Erkenntnissen soll ein verbessertes Prognoseverfahren entwickelt werden. Nachfolgend werden die Konzeption und Validierung des Prüfaufbaus, sowie Untersuchungen zum Einfluss der Lagerpressung vorgestellt. Aus den gemessenen Norm-Trittschallpegeln ohne/mit Entkopplungselement können Einfügungsdämm-Maße als Lager-Kenngrößen bestimmt werden. Das Vorgehen hierzu wird am Beispiel eines PUR-Elastomerlagers erläutert.

Konzeption des Prüfstandsbaus

Die systematische Untersuchung der Einflüsse auf die Trittschallübertragung ist nur unter exakt definierten und gleichbleibenden Umgebungsbedingungen möglich. Diese Voraussetzungen sind im schalltechnischen Treppenprüfstand [3] der STEP GmbH gegeben. Um

aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurde das Gesamtsystem, bestehend aus einem bauüblichen Treppenpodest und -lauf sowie einer typischen Treppenraumwand nachgebildet. Die Konzeption des Versuchsaufbaus erfolgte so, dass im ersten Schritt Untersuchungen zur Podestlagerung und im zweiten Schritt Untersuchungen zur Lauflagerung durchgeführt werden können, ohne die Lage des Podestes zu verändern. Dadurch ist eine optimale Vergleichbarkeit beider Varianten gegeben.

Eine Ansicht und ein Schnitt des STEP-Treppenprüfstandes mit dem Prüfaufbau sind in Abbildung 1 dargestellt. Abbildung 2 zeigt den realisierten Prüfaufbau.

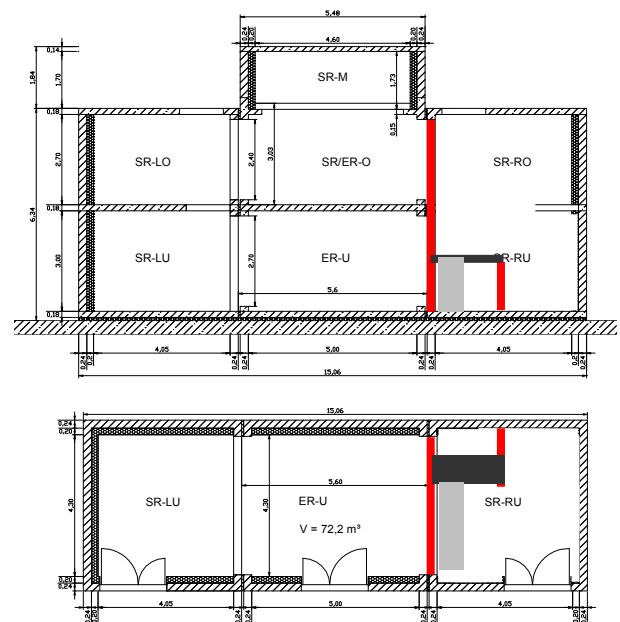


Abbildung 1: Ansicht und Schnitt des Treppenprüfstandes mit Prüfaufbau, Trennwand aus 24 cm Kalksandvollsteinen Rohdichteklasse 1.8

In der Trennwand befinden sich zwei 19 cm tiefe Aussparungen (verbleibende Restwandstärke 5 cm). Die Aussparungen sind jeweils 50 cm breit und 30 cm hoch. In diesen liegt das Podest auf zwei Zapfen auf. Die schalltechnische Entkopplung befindet sich zwischen Zapfen und Wandaufleger. Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen erfolgten mit einem handelsüblichen PUR-Elastomerlager (Abbildung 2). Das verwendete Stahlbetonpodest hat die Abmessungen 2,8 m x 1,3 m x 0,18 m (Länge x Breite x Höhe). Zur Auflagerung wurde eine Hilfswand aus 24 cm Kalksandvollsteinen der Rohdichteklasse 1.8 errichtet. Auf dieser liegt das Podest mit nur einem Zapfen auf.

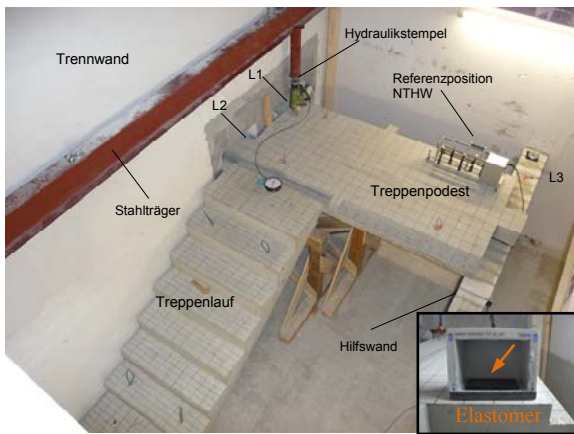


Abbildung 2: Ansicht des senderraumseitigen Prüfaufbaus und eingesetztem Entkopplungselement (Elastomerlager)

Validierung des Prüfstandsbaus

Die Übertragungskette bei der entkoppelten Podestlagerung ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

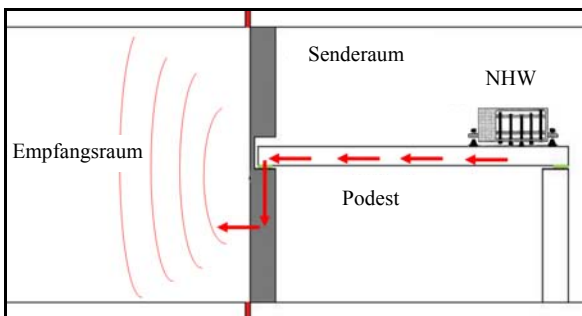


Abbildung 3: Schematisch dargestellte Übertragungskette bei der entkoppelten Podestlagerung

Durch die Anregung mit dem Normhammerwerk wird das Podest zu Schwingungen angeregt, die über das Entkopplungselement auf die Wand übertragen und von dieser als Luftschall in den Empfangsraum abgestrahlt werden. Eine detaillierte Analyse der einzelnen Komponenten der Übertragungskette ist Gegenstand des Forschungsvorhabens. Die bereits durchgeführten Untersuchungen zum Einfluss des Schwingungsverhaltens des Podestes sind in [4] beschrieben. Eine wesentliche Erkenntnis hieraus ist, dass das Übertragungsverhalten stark modal geprägt ist. Das Zusammenwirken einzelner Podest- und Wandmoden ist ein maßgeblicher Einfluss für die Gesamtübertragung, der in einem Prognoseverfahren und der damit einhergehenden Bestimmung von Eingangsdaten, z.B. Einfügungsdämm-Maßen, berücksichtigt werden muss. Die bisherigen Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die schalltechnischen Eigenschaften der Entkopplungselemente nicht unabhängig vom Gesamtsystem (Treppenpodest, Treppenwand) betrachtet werden können, sondern maßgeblich von diesem abhängen. Aufgrund der hier bauähnlichen Ausbildung des Gesamtsystems ist eine gute Übertragbarkeit auf die Bausituation zu erwarten, dies muss jedoch noch überprüft werden.

Nebenwegsfreie Übertragung

Nach DIN EN ISO 140-1 [5] müssen Wand- und Deckenprüfstände nebenwegsfrei ausgebildet werden. Im

Treppenprüfstand wurde dies durch vollständige Trennung der Raumachsen und Entkopplung des gesamten Prüfandes vom Hallenboden realisiert. Zusätzlich sind in allen Empfangsräumen Vorsatzschalen angebracht. In Abbildung 4 ist der Norm-Trittschallpegel, bestimmt aus Luft- und Körperschallmessungen, dargestellt. Die sehr gute Übereinstimmung oberhalb der Koinzidenzgrenzfrequenz belegt die nebenwegsfreie Übertragung.

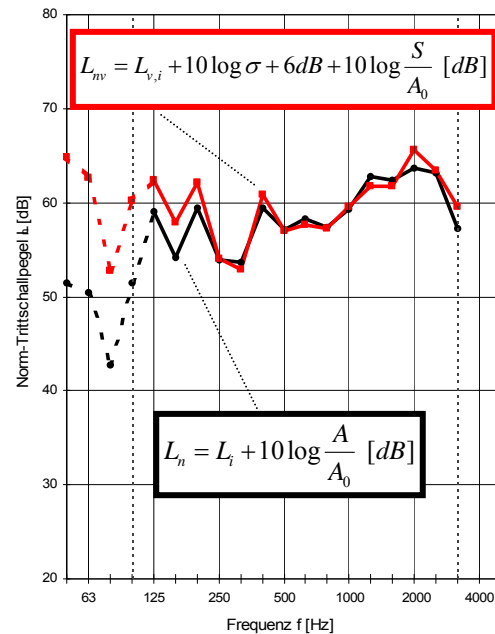


Abbildung 4: Vergleich des Norm-Trittschallpegels bestimmt aus Luft- und Körperschallmessungen (Annahme Abstrahlgrad = 1)

Erzeugung von bauüblichen Lagerpressungen

Am Bau treten durch unterschiedliche Podest- und Lauf-Abmessungen sehr unterschiedliche Lagerpressungen auf, die im Prüfstand ebenfalls nachgebildet werden müssen. Dazu wurde eine Hydraulikpresse (Abbildung 5) eingesetzt. Die Gegenkraft wird von einem Stahlträger aufgenommen. Mit dieser Hilfskonstruktion kann eine maximale Pressung von 5t erzeugt werden. Für den Nachweis, dass die Auflast durch einen Treppenlauf mittels Hydraulikstempel simuliert werden kann, wurden zunächst die Auflagerkräfte durch jedes Auflager bei aufliegendem Treppenlauf mithilfe von Druckmessdosen gemessen. Im nächsten Schritt wurden Position und Pressung des Hydraulikstempels so gewählt, dass sich die gleiche Kraftverteilung wie bei der Auflast durch den Treppenlauf ergab. Der Vergleich der Norm-Trittschallpegel zeigte eine sehr gute Übereinstimmung, was dafür spricht, dass die Energieableitung durch den Treppenlauf und den Hydraulikstempel in der gleichen Größenordnung liegt. In einer weiteren Untersuchung wurde überprüft, ob der Körperschall-Übertragungsweg über die Hydraulikpresse auf die Treppenwand gegenüber der Körperschallübertragung über die Entkopplungselemente vernachlässigbar ist. Dazu wurde die Übertragung über den Nebenweg bei maximaler Auflast von 5t separat gemessen und mit dem Gesamtpegel auf der Trennwand verglichen (Abbildung 5). Die Differenz ist im gesamten Frequenzbereich > 10 dB und die Übertragung über den Nebenweg somit vernachlässigbar.

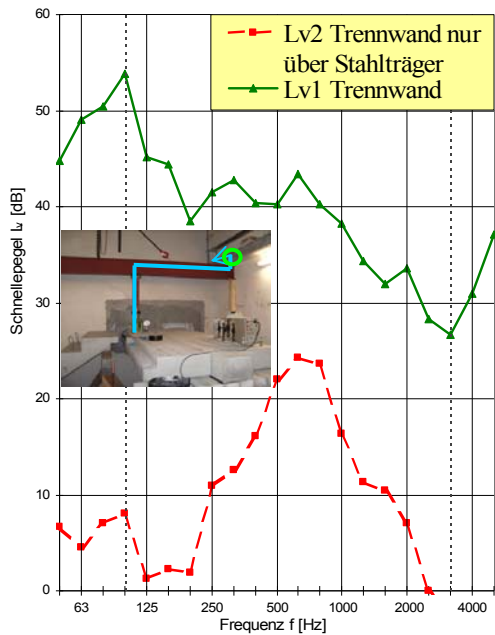


Abbildung 5: Schnellepegel auf der Trennwand (alle Übertragungswege) und durch Übertragung über die Hilfskonstruktion zur Erzeugung der Pressung (siehe Bild)

Reproduzierbarkeit der Messungen

Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu überprüfen, wurden Messungen am gleichen Aufbau mit maximaler Lagerpressung an verschiedenen Tagen wiederholt. Zwischen den Messungen wurde das Podest mehrfach be- und entlastet, sowie die Lager ausgetauscht und wieder zurückgebaut. Der Vergleich der Norm-Trittschallpegel ergibt im Frequenzverlauf maximale Abweichungen von ± 1 dB. Dies zeigt zudem, dass die untersuchten Lager auch nach mehrmaliger hoher Belastung ihre ursprünglichen Eigenschaften wieder annehmen, sofern die Regenerationszeit ausreichend ist.

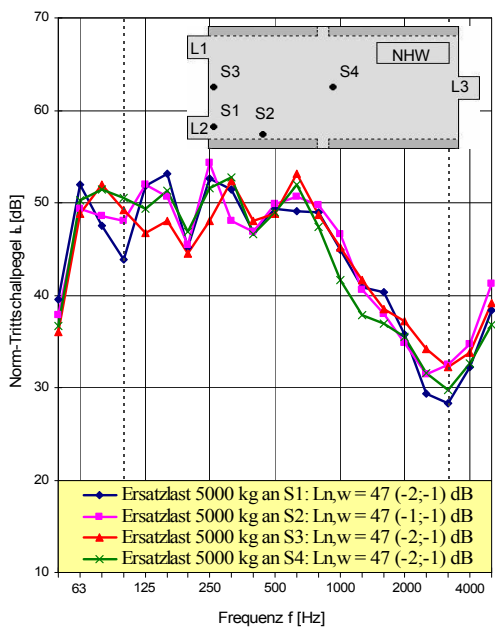


Abbildung 6: Belastung je 5 t an den Punkten S1 bis S4

Ortsabhängigkeit der Pressung

Je nach Bausituation treten die Auflasten an verschiedenen Podest-Positionen auf, was zu unterschiedlichen Lagerpressungen an den einzelnen Lagern führen kann. Um diesen Einfluss zu untersuchen, wurde an vier verschiedenen Positionen auf dem Podest jeweils eine Last von 5 t aufgebracht und die Norm-Trittschallpegel bei Anregung an einer Referenzposition gemessen (Abbildung 6). Im Frequenzverlauf ergeben sich für die Auflast-Positionen Abweichungen bis ca. 5 dB. Die bewerteten Norm-Trittschallpegel sind jedoch gleich. Für die nachfolgenden Untersuchungen zur Abhängigkeit der Einfügungsdämmung von der Lagerpressung wurde die Auflast zwischen den beiden Zapfen aufgebracht (Position S3). Dadurch ist gewährleistet, dass beide Auflager in der Trennwand gleich stark gepresst werden.

Einfügungsdämmung

Frequenzabhängige Betrachtung

Nach ISO 140-8 [6] wird die Trittschallminderung von Deckenauflagen aus der Differenz der Norm-Trittschallpegel der Decke ohne und mit Deckenaufgabe bestimmt. Zur Bestimmung der Trittschallminderung von Entkopplungselementen zur Podest- und Lauflagerung existiert bislang kein genormtes Verfahren. Es liegt nahe, analog zu ISO 140-8 die Differenz aus den Norm-Trittschallpegeln des Podestes ohne und mit Entkopplungselement zu bestimmen (1). Diese Größe hat den Charakter einer Einfügungsdämmung und wird im Folgenden als Trittschallpegeldifferenz bezeichnet.

$$\Delta L_n = L_{n, \text{ohne Entkopplung}} - L_{n, \text{mit Entkopplung}} \quad \text{dB} \quad (1)$$

Der Prüfaufbau ohne Entkopplungselement kann durch vollständig starre Anbindung des Treppenpodestes in die Trennwand durch Einmörteln der Podest-Zapfen realisiert werden. Dies hat allerdings den Nachteil, dass ein Rückbau auf die entkoppelte Lagerung mit großem Aufwand verbunden ist. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurde zur (vorläufigen) Bestimmung der Trittschallpegeldifferenz eine „halbstarre“ Ankopplung durch Auflegen des Podestes ins feuchte Mörtelbett und vollständiger Aushärtung realisiert (Norm-Trittschallpegel siehe Abbildung 4). An Punkt S3 wurden bei entkoppeltem Podest die Lasten 1,25t, 2,5t und 5t aufgebracht und jeweils der Norm-Trittschallpegel und die Trittschallpegeldifferenz nach (1) bestimmt (Abbildung 7). Die Anregung erfolgte jeweils an der Referenzposition (siehe Abbildung 6). Als Vergleichsgröße ist zusätzlich ein nach (2) berechnetes Einfügungsdämm-Maß dargestellt.

$$D_k = 20 \log \frac{s_0}{s} + 25 \log \frac{f}{f_0} + 6 \quad \text{dB} \quad (2)$$

- s_0 mittlere Steifigkeit, $s_0 = 5 \times 10^7$ N/m
- s Steifigkeit der elastischen Schicht [N/m]
- f Frequenz [Hz]
- f_0 Bezugsfrequenz, $f_0 = 100$ Hz

Diese Gleichung wurde in [7] für die entkoppelte Lauflagerung hergeleitet und hier versuchsweise zur Abschätzung der Trittschallpegeldifferenz angewendet. Die Steifigkeit des Entkopplungselementes wurde aus dem messtechnisch bestimmten E-Modul von 20 N/mm² (Datenblatt des Herstellers) berechnet.

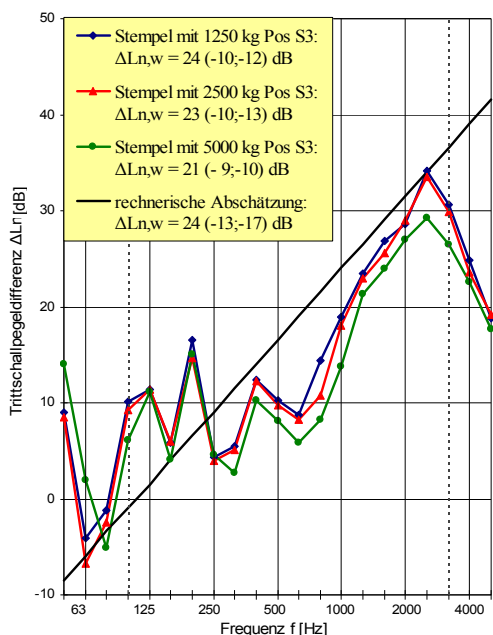


Abbildung 7: Trittschallpegeldifferenz (Referenz = halbstarre Ankopplung) bei Lastaufbringung an Position S3 und Anregung an einer Referenzposition (siehe Abbildung 6)

Bestimmung von Einzahlwerten

Aus der frequenzabhängigen Trittschallminderung von Deckenauflagen kann nach dem in ISO 717-2 [8] festgelegten Bezugsdecken-Verfahren eine Einzahlangabe, die bewertete Trittschallminderung, bestimmt werden. Dieses Vorgehen kann nicht ohne weiteres auf andere Maßnahmen zur Trittschallminderung, wie die hier betrachtete Entkopplung von Podesten und Treppenläufen, übertragen werden. Um hier zu vorläufigen Einzahlwerten zu kommen, wurde eine bewertete Trittschallpegeldifferenz aus den bewerteten Norm-Trittschallpegeln des Podestes ohne und mit Entkopplungselement bestimmt (3).

$$\Delta L_{n,w} = L_{n,w, \text{ohne Entkopplung}} - L_{n,w, \text{mit Entkopplung}} \quad \text{dB} \quad (3)$$

Im unbelasteten Zustand beträgt die bewertete Trittschallpegeldifferenz $\Delta L_{n,w} = 24$ dB. Mit zunehmender Pressung nimmt diese erwartungsgemäß ab. Die Änderung im Einzahlwert beträgt 3 dB bei Vervierfachung der Pressung von 1,25t auf 5t. Die rechnerische Abschätzung liegt in der richtigen Größenordnung. Der Einzahlwert des Norm-Trittschallpegels mit Entkopplung wurde hier nach Addition der nach (2) bestimmten Einfügungsdämmung zum Messwert bei halbstarrer Ankopplung bestimmt.

Zusammenfassung

Um die maßgeblichen Einflüsse auf die Trittschallübertragung von entkoppelten Treppenläufen und -podesten festzustellen, wurde ein für Bausituationen

repräsentativer Prüfaufbau im Treppenprüfstand konzipiert und validiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass keine Nebenwegsübertragung über flankierende Bauteile erfolgt (nebenwegsfreier Prüfstand nach ISO 140-1). Aufgrund des zu erwartenden nichtlinearen Übertragungsverhaltens der am Markt verfügbaren Entkopplungselemente, ist es notwendig, die am Bau auftretenden Pressungen auch im Prüfstand nachzubilden. Dazu wurde eine Hilfskonstruktion mit einer Hydraulikpresse verwendet. Auch bei maximaler Pressung von 5t ist die Nebenwegsübertragung über die Hilfskonstruktion vernachlässigbar. Die Messungen sind selbst bei maximaler Auflast mit den untersuchten PUR-Entkopplungselementen gut reproduzierbar, vorausgesetzt die Regenerationszeit der Lager ist ausreichend. Aus den gemessenen Norm-Trittschallpegeln ohne/mit Entkopplungselement (hier: halbstarre Ankopplung/PUR-Elastomerlager) wurden Trittschallpegeldifferenzen als Lager-Kenngrößen bestimmt. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind vorläufig, da die starre Ankopplung des Treppenpodestes (durch Einmörteln) noch erfolgen muss. Die bisherigen Erkenntnisse (siehe auch [4]) deuten darauf hin, dass die schalltechnischen Eigenschaften der Entkopplungselemente nicht unabhängig vom Gesamtsystem (Treppenpodest, Treppenwand) betrachtet werden können, sondern maßgeblich von diesem abhängen. In diesem Fall ist eine Vergleichbarkeit von Entkopplungselementen nur dann gegeben, wenn die Prüfungen am gleichen Referenzaufbau erfolgen. Dieser sollte – wie hier realisiert – die Verhältnisse am Bau möglichst gut abbilden. Die Übertragbarkeit der Prüfstands-Ergebnisse auf die Bausituation ist in weiteren Schritten zu überprüfen.

Literaturangaben

- [1] C. Fichtel, J. Scheck, H.-M. Fischer: Untersuchungen zur Schallübertragung von Massivtreppen, DAGA 2008, Dresden
- [2] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise, November 1989
- [3] J. Scheck, C. Fichtel, R. Kurz: Handbuch Schallschutz von Leichtbautreppen im Wohnungsbau, Ausgabe 02/2007, www.steponline.de / www.stratenschulte-messtechnik.de
- [4] E. Taskan, J. Scheck, H.-M. Fischer: Vibration behaviour and structure-borne sound transmission of a resiliently supported landing, DAGA 2009, Rotterdam
- [5] DIN EN ISO 140-1: März 2005, Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung
- [6] DIN EN ISO 140-8: März 1998, Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 8: Messung der Trittschallminderung durch eine Deckenauflage auf einer massiven Bezugsdecke in Prüfständen
- [7] H. Ertel: „Verbesserung des Trittschallschutzes von Massivtreppen durch elastische Lagerung“, IBP- Bericht BS 79/82
- [8] DIN EN ISO 717-2: November 2006, Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Trittschalldämmung