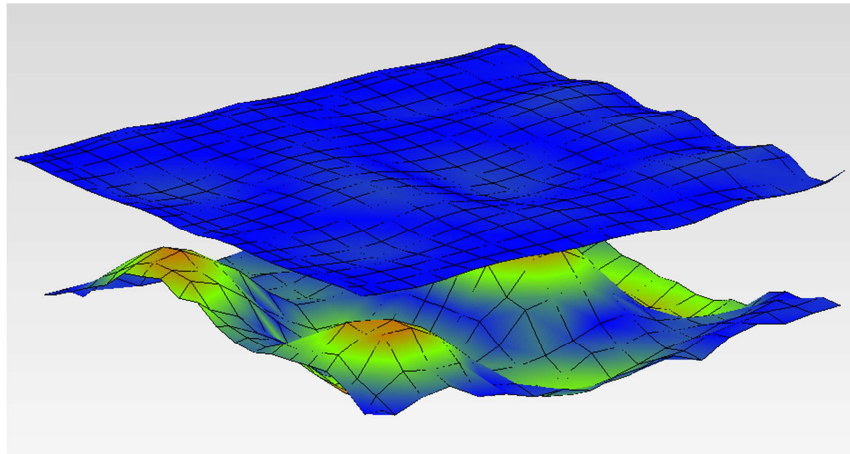


Kurzbericht zur Forschungsarbeit

„Ursachen und Verbesserungspotenzial des Phänomens der tieffrequenten Trittschallgeräusche bei klassischen schwimmenden Estrichen auf Stahlbetondecken im Wohnungsbau“

SF-10.08.18.7-11.43



Antragsteller: Bilfinger Berger Hochbau GmbH
Building Technology Center – Abteilung Bauphysik
Goldsteinstraße 114
60528 Frankfurt am Main

Verantwortlicher Projektleiter: Dr.-Ing. N. Langner

Beteiligte Forschungseinrichtung: Hochschule für Technik Stuttgart
Zentrum für akustische und thermische Bauphysik
Schellingstraße 24
70174 Stuttgart

Professor Dr.-Ing. H.-M. Fischer
Dipl.-Ing. (FH) M. Sc. M. Schneider

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SF-10.08.18.7-11.43 / II 3-F20-10-1-082). Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.

Einleitung

Schwimmende Estriche sind seit vielen Jahren Standard im Geschosswohnungsbau. Sie verbessern sowohl die Tritt- als auch die Luftschalldämmung von massiven Wohnungstrenndecken. Bis vor 15 Jahren wurde immer wieder über einen mangelhaften Trittschallschutz aufgrund von Ausführungsfehlern (Randschallbrücken oder Schallbrücken zwischen Rohdecke und Estrich) geklagt. In den letzten Jahren mehrten sich allerdings Klagen über tieffrequente Trittschallgeräusche, wobei hier bei einer messtechnischen Überprüfung nicht nur die baurechtlichen Anforderungen der DIN 4109 [1] nachgewiesen werden, sondern auch die Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz nach Beiblatt 2 zu DIN 4109 [2] oder VDI 4100 [3]. Die störenden Geräusche werden dabei von den Bewohnern häufig mit dem Begriff „Dröhnen“ beschrieben, wobei die Anregung in der Regel durch das Begehen des Estrichs erfolgt.

Dabei wurde das Phänomen des „Dröhnens“ in Fachkreisen bereits an verschiedenen Stellen (z.B. [4], [5], [6], [7], [8], [9]) beschrieben. Allerdings sind die Ursachen der tieffrequenten Trittschallgeräusche bisher nicht ausreichend untersucht. Zwar gibt es die verschiedensten Überlegungen und Theorien hinsichtlich der Ursachen, allerdings sind diese Theorien nicht in einer Prüfsituation oder in-situ validiert. Auch widersprechen sich die vorhandenen Theorien teilweise und führen insofern zu einer gewissen Unsicherheit für Planung und Ausführung.

Die vorliegende Forschungsarbeit befasst sich daher mit der Erscheinung von tieffrequenten Trittschallgeräuschen bei klassischen schwimmenden Estrichen auf Stahlbetondecken im Wohnungsbau. Nachfolgend wird über die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen im Labor zur tieffrequenten Übertragung von Trittschall bei Massivdecken mit schwimmenden Estrichen berichtet.

Untersuchungen im Labor

Im Labor wurde eine Stahlbetondecke, $d = 140 \text{ mm}$, ohne und mit Estrich ($m' = 90 \text{ kg/m}^2$, $s' = 15 \text{ MN/m}^3$) messtechnisch untersucht. Neben den klassischen bauakustischen Messungen zur Luft- und Trittschalldämmung wurden ergänzende Untersuchungen wie eine Modalanalyse, die Bestimmung von Transferfunktionen, Verlustfaktoren und Abstrahlgraden an der Decke jeweils ohne und mit Estrich durchgeführt.

Zur Darstellung der Schwingungsformen wird die Transferfunktion zwischen der Beschleunigung an einem Referenzpunkt und der eingeleiteten Kraft an den Rasterpunkten ermittelt. Das Raster auf der Unterseite der Massivdecke besteht aus 360 Punkten. Bei der Messung mit schwimmendem Estrich kommen nochmals 420 Punkte auf der Oberseite des Estrichs hinzu. Mit einem Impulshammer wird auf jedem Rasterpunkt durch einen kurzen Kraftimpuls das Bauteil zu Schwingungen angeregt. Aus den gemessenen Zeitsignalen von Kraft und Beschleunigung wurde mittels FFT-Analyse für jedes Punktepaar die Übertragungsfunktion ermittelt. Die Übertragungs-

funktionen wurden mittels PC-Programm ME'scopeVES ausgewertet. Für jede Frequenz innerhalb des Messbereichs kann die zugehörige Schwingungsform in einer Animation dargestellt werden. In der nachfolgenden Abb. 1 sind die ersten beiden Schwingungsformen der Massivdecke mit schw. Estrich dargestellt. Im Bereich deutlich unterhalb der Resonanzfrequenz sind die beiden Platten durch die elastische Zwischenschicht noch starr miteinander gekoppelt und schwingen wie in Abb. 1 links zu sehen gleichphasig.

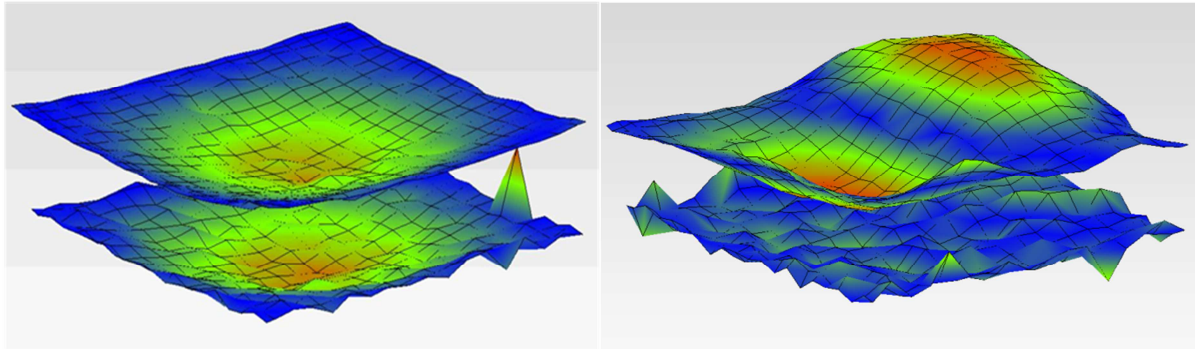


Abb. 1: Messtechnisch ermittelte Amplituden des gekoppelten Systems Estrich (obere Platte) – Massivdecke bei $f = 22$ Hz (links) und $f = 51$ Hz (rechts).

Erfolgt die Anregung im Bereich der Resonanzfrequenz, löst sich diese „starre“ Kopplung und die Platten versuchen gegenphasig zu schwingen. Aufgrund der Plattenstruktur und den damit verbundenen Plattenmoden der „bedingt gekoppelten“ Platten ist dies allerdings immer nur in bestimmten Bereichen der Platten möglich. In Abb. 1 rechts ist solch eine Schwingung dargestellt, wobei in diesem Frequenzbereich knapp unter der Resonanzfrequenz einerseits das gegenphasige Schwingen noch nicht stark ausgeprägt ist, andererseits die Estrichplatte gegenüber der direkt angeregten Massivdecke deutlich größere Amplituden aufweist.

Im Bereich der berechneten Resonanzfrequenz tauchen dann mehrere Eigenmoden mit deutlich ausgeprägtem gegenphasigem Schwingungsverhalten auf. Eine dieser Eigenmoden, bei welcher die versetzte Phasenlage besonders deutlich zu erkennen ist, kann in Abb. 2 links erkannt werden. Bei dieser Eigenmode des weiterhin stark gekoppelten Systems aus Massivdecke – Trittschalldämmschicht – Estrichplatte schwingen nur die Mittenbereiche von Estrichplatte und Massivdecke gegenphasig mit einer relativ großen Auslenkung. Mit steigender Frequenz werden oberhalb der berechneten Resonanzfrequenz die Amplituden der Estrichplatte gegenüber der Massivdecke wieder geringer. In Abb. 2 rechts ist eine für diesen Frequenzbereich typische Eigenmode dargestellt. Die Estrichplatte wird oberhalb der Resonanzfrequenz immer besser durch die elastische Zwischenschicht entkoppelt, so dass die Amplituden auf der Estrichplatte gegenüber der angeregten Massivdeckenplatte immer geringer werden.

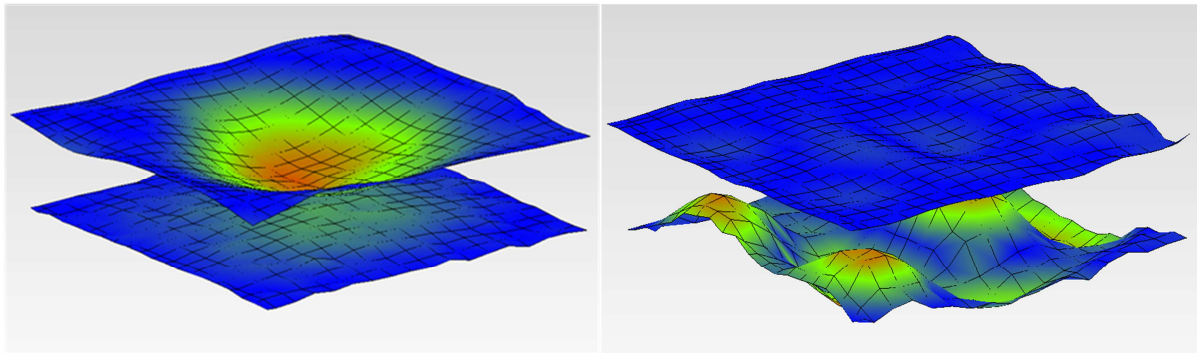


Abb. 2: Messtechnisch ermittelte Amplituden des gekoppelten Systems Estrich (obere Platte) – Massivdecke bei $f = 70$ Hz (links) und $f = 186$ Hz (rechts).

Um den Einfluss der Größe der Estrichplatte auf den Trittschallpegel zu untersuchen, wurde vor dem Ausbau der Estrichplatte diese durch Trennschnitte verkleinert, indem die Estrichplatte immer wieder halbiert wurde. Auf den Rechtecken wurde dann das Hammerwerk aufgesetzt und der Trittschallpegel im darunterliegenden Raum bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt.

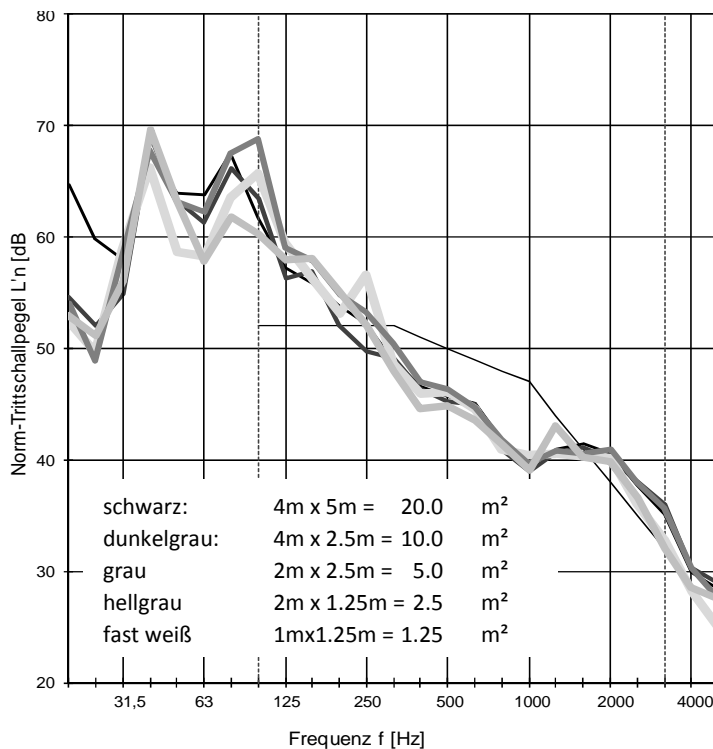


Abb. 3 Normtrittschallpegel L'_n der untersuchten Prüfstanddecke mit schwimmendem Estrich, ermittelt für unterschiedlich große Estrichflächen.

Im gesamten Frequenzbereich ist kein systematischer Zusammenhang zwischen der Größe der untersuchten Estrichplatte und dem gemessenen Normtrittschallpegel festzustellen. Ein Durchtrennen der Estrichplatte bietet demnach kein Potential zur Verbesserung des Normtrittschallpegels bei Beschwerden über zu hohe Trittschallpegel.

Untersuchungen von bestehenden Wohngebäuden

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden von der HFT Stuttgart an zwei Baustellen messtechnische Untersuchungen durchgeführt. Hierbei konnten wichtige Er-

kenntnisse bezüglich des am Bau zu erwartenden Schallschutzes gewonnen werden. Allerdings konnten noch keine Bewohner bezüglich ihrer subjektiven Eindrucks befragt werden. Um die Belästigung durch tieffrequente Trittschallgeräusche in bestehenden Wohngebäuden zu untersuchen wurde zusätzlich zu den im Forschungsantrag beschriebene Untersuchungen im Rahmen einer an der HFT Stuttgart angefertigten Bachelorarbeit [10] eine Umfrage unter beratenden Bauphysikbüros durchgeführt. Hierbei wurden Messungen in neu erstellten Mehrfamilienhäusern ausgewertet. Unterschieden wurde zwischen Messungen die aufgrund von Beschwerden der Bewohner beauftragt wurden und solchen die im Rahmen einer Bauabnahme bzw. einer Güteprüfung durchgeführt wurden. Während die erste Gruppe (blaue Kurve in Abb. 4) als repräsentativ für einen von den Bewohnern als unzureichend empfunden baulichen Trittschallschutz steht, kann die zweite Gruppe (rote Kurve in Abb. 4) als repräsentativ für eine im Mittel mit den heutigen Bauweisen erreichte Trittschalldämmung angesehen werden.

Während der Unterschied im Mittel im bewerteten Normtrittschallpegel L_{nw} nur ca. 4 dB beträgt, liegt er mit Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswertes $C_{150-2500}$ bei 10 dB.

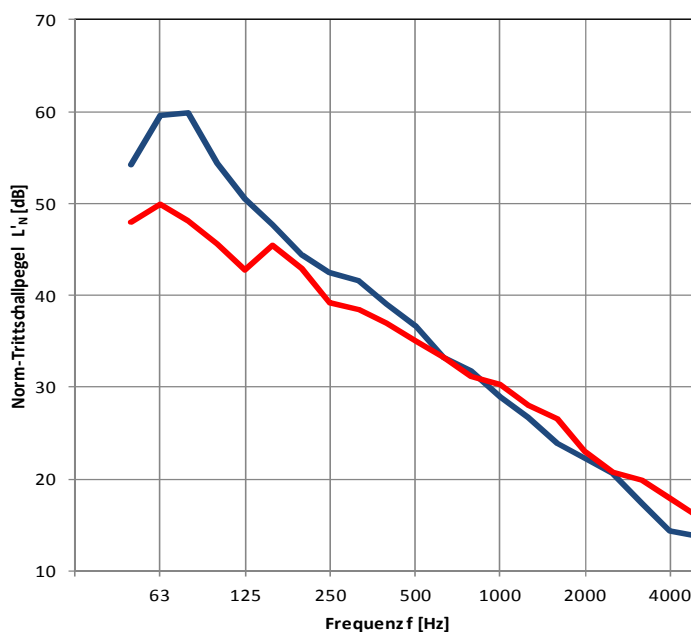


Abb. 4
Mittelwerte des Normtrittschallpegels von Baumes-
sungen, beauftragt aufgrund
von Güteprüfungen (rot) und
aufgrund von Beschwerden
(blau).

Hörversuche

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden unter einer Massivdecke mit schwimmendem Estrich auch Hörversuche durchgeführt [11]. Dazu erfolgte die Aufzeichnung von fünf in ihrer Anregart völlig verschiedenen Geräuschen (Gehen Absatzschuhe, Gehen Sportschuhe, Japanischer Gummiball, Heeldrops und Stuhlrücken mit Person) und eine Anpassung dieser Geräusche auf eine gleiche Lautheit. Um weiterhin die akustischen Raumeindruck zu verändern, wurden im Empfangsraum bei der Signalaufzeichnung über die Variation der Absorptionsfläche unterschiedliche

Nachhallzeiten eingestellt. Abschließend wurde für einige der aufgezeichneten Geräusche durch digitales Filtern das Frequenzspektrum verschoben. Dadurch wurde eine Veränderung der Resonanzfrequenz des schwimmenden Estrichs modelliert, die ebenfalls Einfluss auf das Frequenzspektrum der Geräusche hat.

Die im Rahmen der Hörversuche verwendeten Geräusche, die an einer Massivdeckenkonstruktion mit und ohne schwimmenden Estrich aufgezeichnet wurden, und die dazu auszufüllenden Fragebögen waren in vier Segmente aufgeteilt. In Segment A war durch die Probanden der Einfluss der Anregequelle zu bewerten, während in Segment B die Modifikation des Frequenzspektrums der Übertragung durch den schwimmenden Estrich vorgespielt und eingestuft wurde. Die Variation der Nachhallzeit wurde in Segment C und der Einfluss der Lautheit in Segment D bewertet. Die subjektive Einstufung und Bewertung der Geräusche durch die Probanden erfolgte jeweils durch die Gegenüberstellung von Adjektivpaaren (z.B. laut – leise; gedämpft – dröhnend).

Die Ergebnisse des Segments A, in dem die Probanden unterschiedliche Anregequellen (alle auf die gleiche Lautheit von 3,9 sone normiert) zeigen, dass das Stühleücken mit Person am unangenehmsten empfunden wurde, während das Gehen mit Sportschuhen die geringste Störwirkung hatte. Zwischen diesen beiden wurden das Gehen in Absatzschuhen, der Japanische Gummiball und der Heeldrop eingeordnet.

Die Modifikation des Frequenzspektrums der Übertragungsfunktion ist exemplarisch für den Aufprall des Japanischen Gummiballs in Abb. 5 dargestellt. Dabei hatte diese Modifikation keinen signifikanten Einfluss bei der Bewertung der Störwirkung durch die Probanden. Weder die schmalbandige Verschiebung einmal zu tiefen und einmal zu hohen Frequenzen noch das Verbreitern des Pegelmaximas bei den tiefen Frequenzen hatte eine signifikante Auswirkung auf die Bewertung. Daraus kann geschlossen werden, dass ein Verschieben der Resonanzfrequenz der Estrichkonstruktion zu tiefen Frequenzen keine erhöhte Störwirkung hat.

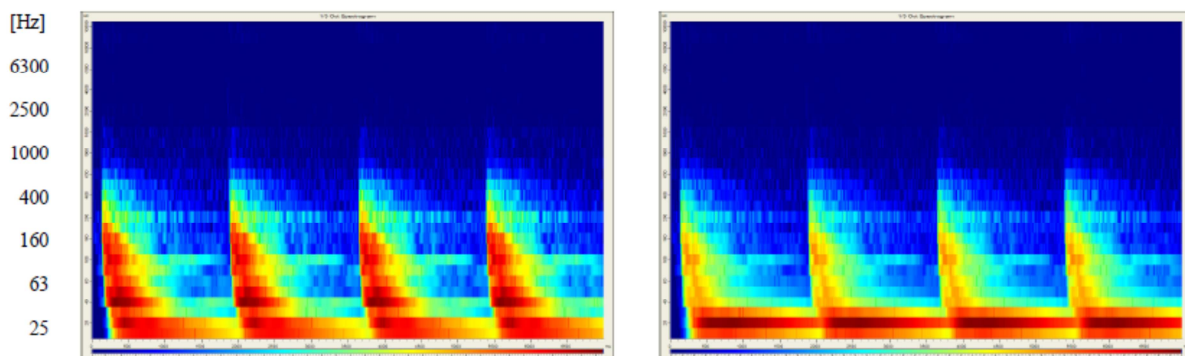


Abb. 5: Spektrogramme des Aufpralls eines Japanischen Gummiballs. Das linke Bild zeigt das original Terzspektrum der nicht modifizierten Anregung, während im rechten Bild die Signalenergie im Bereich der tiefen Frequenzen konzentriert ist. Die Lautheit des Signals bleibt dabei unverändert [11]

Im Segment C wurden den Probanden die Geräusche bei unterschiedlichen Nachhallzeiten eingespielt. Dabei verändert die Absorptionsfläche des Raumes nicht nur die Nachhallzeit sondern auch die Lautheit des eingespielten Geräusches. In diesem Fall waren demnach die Bewertungen der Probanden stark von der subjektiv empfundenen Lautheit des Geräusches beeinflusst.

Zusammenfassung

Hohe Trittschallpegel, die beim Begehen von üblichen Estrichen im Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 100 Hz entstehen, werden mit dem Begriff „Dröhnen“ in Verbindung gebracht und führen häufig zu Beschwerden. Ein ca. eine Oktave breiter Frequenzbereich mit verstärkt angeregten Raum- und Strukturmoden bei der Resonanzfrequenz des schwimmenden Estrichs bestimmt dabei die hohen Trittschallpegel im Empfangsraum. Zukünftig sollte bei der Planung deshalb die Resonanzfrequenz des schwimmenden Estrichs auf unter 50 Hz ausgelegt werden, indem eine entsprechend „weichere“ Trittschalldämmplatte mit $s' < 10 \text{ MN/m}^3$ eingebaut wird. Der Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 100 Hz wird derzeit bei der Bewertung zu der in Deutschland üblicherweise verwendeten Einzahlangaben (L'_{nw}) nicht herangezogen. Sowohl der Gesetzgeber (über die baurechtlich verbindlichen Mindestanforderungen) als auch die Normungsgremien sind aufgerufen, die bisherige Anforderungsgröße durch eine geeignetere Einzahlangabe z.B. $L'_{nT,w} + C_{150-2500}$ zu ersetzen.

Literatur

- [1] DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise, Beuth Verlag, Berlin
- [2] DIN 4109 Beiblatt 2:1989-11: Schallschutz im Hochbau - Hinweise für Planung und Ausführung, Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz, Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich
- [3] VDI 4100:2012-10: Schallschutz im Hochbau, Wohnungen, Beurteilung und Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz
- [4] Burkhart, C.: "Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, mögliche Ursachen“, Fortschritte der Akustik - DAGA 2002, Bochum.
- [5] Burkhart, C.: "Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, Beurteilung“, Fortschritte der Akustik – DAGA 2003.
- [6] Siebel, A. C.: "Guter Trittschallschutz mit voller Dröhnung – zwischen Norm und Realität“, Lärmbekämpfung, Bd. 3, Nr. 4 (2008).
- [7] Kühn, B.; Blicke, R.: "Untersuchungen zum Sonderfall des dröhnenden Unterlagsbodens“, Schweizer Ingenieur und Architekt Heft 46/1992 .

- [8] Drechsler, A.; Fischer, H.-M., Scheck, J.: Structure borne – sound excitation and transmission of lightweight stairs, Forum Acousticum Budapest (2005)
- [9] Schanda, U./Schramm, M.: Absorption tieffrequenten Trittschalls durch in Holzbalkendecken integrierte Helmholtzresonatoren, Forschungsbericht der Forschungsinitiative “Zukunft Bau”, Z 6 – 10.08.18.7 – 08.19 / II 2 – F20-08-31(086)
- [10] Rittig, C.: “Übertragung tieffrequenter Trittschallgeräusche auf Massivdecken mit schwimmendem Estrich“, Bachelorarbeit im Studiengang Bauphysik an der Hochschule für Technik Stuttgart (2013).
- [11] Retzbach, S.: “Beschreibung tieffrequenter Trittschallgeräusche auf Basis von Hörversuchen“, Bachelorarbeit im Studiengang Bauphysik an der Hochschule für Technik Stuttgart (2013).
- [14] Burkhart, C.: "Tieffrequenter Trittschall - Messergebnisse, Mögliche Ursachen", 28. Jahrestagung für Akustik an der Ruhr-Universität Bochum - DAGA 2002
- [15] Burkhart, C.: "Tieffrequenter Trittschall – Messergebnisse, Beurteilung", 29. Jahrestagung für Akustik an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen – DAGA 2003