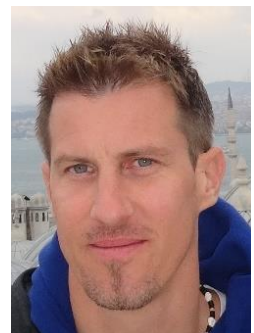


Leichtbautreppen – Probleme und Lösungen beim Schallschutz

Jochen Scheck
Hochschule für Technik Stuttgart
STEP GmbH
Stuttgart, Deutschland



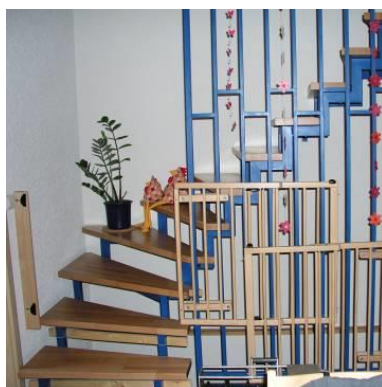
Leichtbautreppen – Probleme und Lösungen beim Schallschutz

1. Einleitung

Leichtbautreppen werden hauptsächlich als wohnungsinterne Treppen zur Verbindung von Geschossen eingesetzt. Die am häufigsten verbauten Leichtbautreppen sind Holztreppen und Stahl-Holztreppen (Abbildung 1). Durch das im Vergleich zu Massivtreppen geringe Gewicht ergeben sich bedeutende Vorteile bei der Bau-Ausführung wie z.B. die nachträgliche Montage nach Fertigstellung des Rohbaus. Vergleichsweise geringe Kosten und ästhetische Aspekte sind weitere Ursachen dafür, dass sich Montagetreppen bei Planern und Bauherrn einer großen Beliebtheit erfreuen. Weniger erfreulich sind für alle Beteiligten die vor allem in Reihenhäusern oft auftretenden schalltechnischen Probleme durch die Trittschallübertragung.



Holztreppe



Stahl-Holztreppe



Massivtreppe

Abbildung 1: Beispiele für wohnungsinterne Treppen.

Diese resultieren daraus, dass Montagetreppen beim Begehen oder „Bespringen“ zu Schwingungen angeregt werden und über die Ankopplungspunkte an Wänden und Decken Körperschall in den Baukörper einleiten. Der Körperschall breitet sich im Gebäude aus und wird als Luftschall in der Nachbarwohnung abgestrahlt. Dieser Trittschall wird von Bewohnern meist als dumpfes Wummern oder Poltern wahrgenommen, was auf die hauptsächlich tieffrequent starke Schallübertragung zurückzuführen ist. Besonders störend und oft Hauptursache für Beschwerden sind die von springenden Kindern erzeugten Geräusche. Werden beanstandete Treppen mit genormten Mess- und Bewertungsverfahren überprüft [1], [2] und mit den baurechtlich eingeführten Anforderungen der DIN 4109 [3] verglichen, dann zeigt sich sehr häufig, dass die geforderten Grenzwerte für den Trittschall eingehalten werden. Völlig unverständlich für die betroffenen Bewohner wird es dann, wenn sich herausstellt, dass die beanstandete Treppe sogar einen erhöhten Schallschutz, z.B. nach [4]-[6] aufweist. Verständlich wird diese irritierende Situation erst, wenn man weiß, dass bei den genormten Mess- und Beurteilungsverfahren nicht das reale Gehgeräusch, sondern das von einer genormten Körperschallquelle, dem Norm-Hammerwerk, bei Anregung der Treppe verursachte Geräusch, der Beurteilung zu Grunde gelegt wird. Des Weiteren wird für die Beurteilung nur ein eingeschränkter Frequenzbereich herangezogen. Die oft als besonders lästig wahrgenommene tieffrequente Übertragung unter 100 Hz wird derzeit in Deutschland nicht berücksichtigt. Zum Nachweis des Schallschutzes von Leichtbautreppen existiert auf nationaler Ebene (DIN 4109) derzeit noch kein Verfahren. Die Probleme und Lösungen beim Schallschutz von Leichtbautreppen werden im Folgenden anhand von Untersuchungen erläutert, die in Forschungsvorhaben an der Hochschule für Technik Stuttgart in Kooperation mit der STEP GmbH durchgeführt wurden [7], [8]. Dabei wurden bislang überwiegend Übertragungssituationen im Massivbau betrachtet.

2. Fallbeispiel: Stahl-Holz-Treppe im Leichtbau

Die Bewohner eines Reihenhauses in Holzbauweise beklagen die Trittschallübertragung von der Wohnungstreppe (Abbildung 1, Mitte und Abbildung 2) aus dem angrenzenden Reihnhaus. Vor allem die Geräusche bei der Anregung der Treppe durch die Nachbarskinder seien als dumpfes Poltern deutlich wahrnehmbar und werden als sehr störend empfunden. Zur Beurteilung der Trittschalldämmung wurden bei einem Ortstermin die Trittschalldämmung der Treppe und die Luftschalldämmung der Haustrennwand messtechnisch bestimmt. Zusätzlich wurden Schallpegel bei Anregung der Treppe durch eine gehende Person und ein springendes Kind gemessen. Die Messergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 2: Ankopplungspunkte der 2 x Viertel-gewendelten Stahl-Harfen-Treppe an Haustrennwand und Boden. Die 14 massiven Holzstufen der Dicke 4 cm sind mit ca. 5 mm Gummiunterlage auf die Stahl-Wangen (Rechteck-Profile) geschraubt. Die Stahlwangen sind durch quer zur Laufrichtung angeschweißte Rechteck-Profile unterstützt. Diese sind an die Holzständer angeschraubt. Die Ankopplung an die Decke erfolgt über einen Stahlrahmen, der an die Deckenstirn angeschraubt ist.

2.1. Beurteilung nach aktuell gültigen Normen und Regelwerken

Das bewertete Bau-Schalldämmmaß der Haustrennwand beträgt $R'_w = 65$ dB und erfüllt die baurechtlich verbindliche (Mindest-) Anforderung nach DIN 4109-1 von $R'_w = 62$ dB sicher. Der erhöhte Schallschutz nach DIN 4109 – Beiblatt 2 von $R'_w \geq 67$ dB wird knapp nicht erreicht. Nach DEGA-Empfehlung 103 wird Schallschutzklasse B sicher erreicht. Der bewertete Norm-Trittschallpegel der Treppe beträgt $L'_{n,w} = 40$ dB und erfüllt die baurechtlich verbindliche (Mindest-) Anforderung nach DIN 4109-1 von $L'_{n,w} = 53$ dB und auch der erhöhte Schallschutz nach DIN 4109 – Beiblatt 2 von $L'_{n,w} \leq 46$ dB wird sicher erreicht. Nach DEGA-Empfehlung 103 wird Schallschutzklasse B: $L'_{n,w} \leq 43$ dB sicher erreicht. Schallschutzklasse B entspricht „einer Wohneinheit mit gutem Schallschutz, die bei gegenseitiger Rücksichtnahme zwischen den Nachbarn ein ruhiges Wohnen bei weitgehendem Schutz der Privatsphäre ermöglicht; Hoher Schallschutz in Mehrfamilienhäusern. Normaler Schallschutz in Doppel- und Reihenhäusern“. In VDI 4100 ist die Anforderungsgröße der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$. Diese Größe ist zur Beurteilung des Schallschutzes besser geeignet als der bewertete Norm-Trittschallpegel [9]. Der bewertete Standard-Trittschallpegel der Treppe beträgt $L'_{nT,w} = 31$ dB und entspricht der (höchsten) Schallschutzstufe III: $L'_{nT,w} \leq 32$ dB. Demnach sind Gehgeräusche „nicht störend“.

2.2. Tieffrequente Trittschallübertragung

Der beim normalen Begehen der Treppe durch einen Erwachsenen gemessene Schalldruckpegel liegt 6 – 9 dB über der Wahrnehmungsschwelle nach DIN 43680, beim Springen des Kindes beträgt die Überschreitung über 45 dB bei 100 Hz. Der A-bewertete Summenpegel beim Springen des Kindes beträgt $L_{AF,max} = 48$ dB und liegt damit 30 dB über dem Grundgeräuschpegel. Erfahrungsgemäß treten Belästigungen und massive Beschwerden der Nachbarn dann auf, wenn der Grundgeräuschpegel durch Nutzergeräusche um mehr als 10 dB überschritten ist. Die von den Bewohnern beklagte, erhebliche Geräuschbelästigung infolge des Springens ist somit nachvollziehbar. Gleichzeitig stellt die

Anregung durch ein springendes Kind hinsichtlich der „Nutzung“ einer Treppe eine Extremsituation dar, die nicht als Maßstab für die schalltechnische Beurteilung der Konstruktion herangezogen werden sollte. Das übliche Gehen wird zwar wahrgenommen aber nicht als unzumutbare Störung empfunden. Diese Beurteilung spiegelt im Wesentlichen auch die Erfahrungen mit Leichtbautreppen in Gebäuden in Massivbauweise wieder und zeigen das grundsätzliche Problem der tieffrequenten Trittschallübertragung auf.

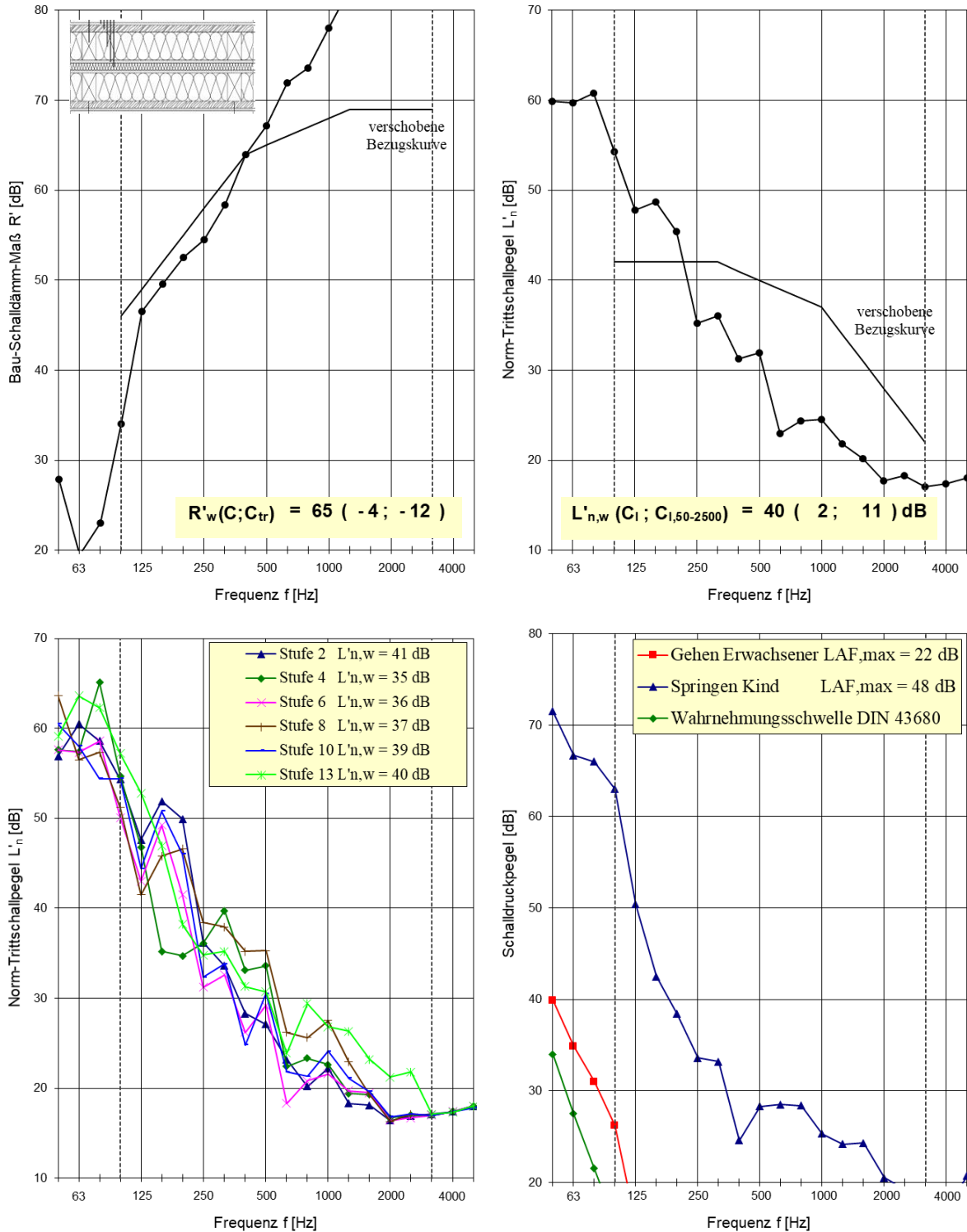


Abbildung 3: Messergebnisse in einem Reihenhaus in Holzbauweise mit einer Stahl-Holz-Treppe (Beschwerdefall); links oben: Bau-Schalldämm-Maß der Haustrennwand; rechts oben: Norm-Trittschallpegel der Treppe; links unten: Norm-Trittschallpegel einzelner Stufen; rechts unten: Schalldruckpegel eines gehenden Erwachsenen und eines springenden Kindes mit Wahrnehmungsschwelle nach DIN 43680.

Die Ursachen für die tieffrequent starke Trittschallübertragung sind:

- Durch Gehen/Springen erfolgt eine hauptsächlich tieffrequente Anregung
- Leichtbautreppen sind tieffrequent sehr gut zu Schwingungen anregbar und übertragen diese über «starre» Ankopplungspunkte effektiv in den Baukörper
- Die Schalldämmung des Baukörpers ist tieffrequent gering

Letzteres trifft v.a. im Leichtbau zu, wenn konventionelle Bauteile mit geringer Masse ohne sonstige schalltechnische Maßnahmen eingesetzt werden. Im Massivbau kommt es v.a. im Bereich der Resonanzfrequenz von zweischaligen Haustrennwänden zu einer starken Trittschallübertragung. Der Frequenzbereich unter 100 Hz wird bei der Beurteilung nach in Deutschland üblichen Norm- und Regelwerken [3]-[6] nicht berücksichtigt, liegt aber im Bereich der menschlichen Hörwahrnehmung. Zudem werden tiefe Frequenzen durch ein springendes Kind wesentlich stärker, als durch das Norm-Hammerwerk angeregt (siehe Beispiel in Abbildung 3) und der hochfrequente Bereich wesentlich geringer. Folglich wird bei der normgemäßen Bewertung der Trittschalldämmung der tieffrequente Bereich unterbewertet und der hochfrequente Bereich überbewertet.

Hilfreiche Informationen zum schalltechnischen Verhalten bei «wohnüblicher» Trittschallanregung liefert der Spektrum-Anpassungswert C_I (mit Index I für Impact Sound = Trittschall). Da der Spektrum-Anpassungswert im nach unten erweiterten Frequenzbereich ab 50 Hz bestimmt werden kann ($C_{I,50-2500}$), gibt er Auskunft über das schalltechnische Verhalten von Bauteilen im problematischen tieffrequenten Bereich. Zum informativen Vergleich mit Anforderungen wird der Spektrum-Anpassungswert $C_{I,50-2500}$ zum Einzahlwert $L'_{n,w}$ addiert. Im Fallbeispiel in Abbildung 3: $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} = 40 + 11 = 51$ dB. Dadurch wird die Korrelation zwischen dem bewerteten Norm-Trittschallpegel und dem A-bewerteten Trittschallpegel beim Begehen deutlich verbessert [11]. Für Holzbalkendecken wurde ferner gezeigt, dass der A-bewertete Trittschallpegel gut mit der Lautheit nach Zwicker korreliert, welche die beste psychoakustische Beurteilung ermöglicht. Auf dieser Grundlage können geeignete Zielgrößen abgeleitet werden, für Holzbalkendecken: $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 53$ dB zur hinreichenden Vermeidung von Trittschall-Problemen durch gehende Personen, bei $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 46$ dB sind Gehgeräusche kaum noch wahrnehmbar. Diese Beurteilung entspricht den bisherigen Erfahrungen mit Leichtbautreppen. Um darüber hinaus Belästigungen durch springende Kinder mit hinreichender Sicherheit zu vermeiden ist die

Zielvorgabe für Leichtbautreppen: $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 39$ dB.

Wie in Abschnitt 6 noch gezeigt wird, kann diese Zielvorgabe von leichten Treppen an massiven, einschaligen Trennwänden bei gezielter Anwendung von Optimierungsmaßnahmen eingehalten werden. Im Holzbau liegen noch zu wenige Erfahrungen mit Entkopplungsmaßnahmen bei Leichtbautreppen vor. Allerdings wurde in [12] schon gezeigt, dass durch Entkopplungsmaßnahmen auch im tieffrequenten Bereich Verbesserungen von 10 dB erreichbar sind. V.a. in Kombination mit schalltechnisch optimierten Holzdecken [11] und Trennwänden erscheint das Erreichen der o.g. Zielvorgabe auch für Leichtbautreppen im Holzbau nicht unrealistisch.

3. Treppenprüfstand

Um grundlegende Untersuchungen zum Verständnis der Trittschallübertragung von Leichtbautreppen durchführen zu können und darauf basierend geeignete Labor-Prüfverfahren zur Kennzeichnung von Leichtbautreppen zu entwickeln, wurde im Jahr 2001 ein schalltechnischer Treppenprüfstand gebaut (Abbildung 4). Der Prüfstand wurde auf Basis der Vorgaben an die Prüfnormen für die Luft- und Trittschalldämmung von Wänden und Decken konzipiert und ermöglicht die Prüfung beliebiger Kombinationen Treppen und Treppwänden und Übertragungssituationen unter Laborbedingungen.

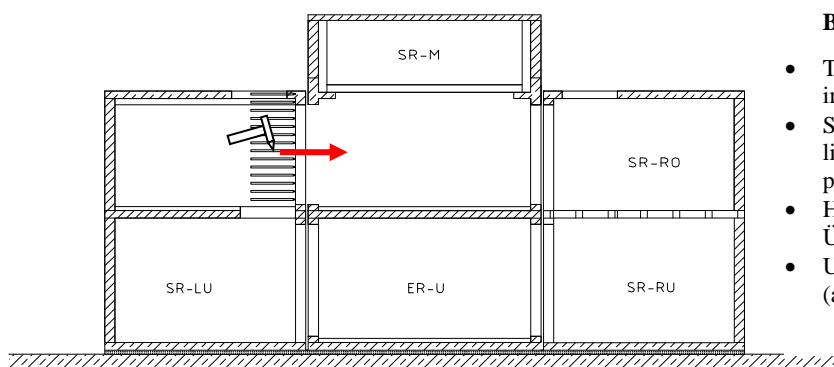


Abbildung 4: Schalltechnischer Treppenprüfstand der STEP GmbH. Für Grundlagenuntersuchungen wurde hauptsächlich die horizontale Übertragung einer Holztreppe an einer Massivwand im 1. OG genutzt.

Besondere Merkmale

- Treppenprüfungen im Massivbau und im Leichtbau (Holzständerbau)
- Systemprüfungen von Treppen an beliebigen ein- und zweischaligen Treppenraumwänden
- Horizontale, diagonale und vertikale Übertragungssituationen
- Unterschiedliche Treppengrundrisse (auch Spindeltreppen)

4. Fallbeispiel: Holz-Treppe im Massivbau

Die Trittschallübertragung einer handwerklichen Holzwangentreppe wurde im Treppenprüfstand detailliert untersucht und Methoden zur Charakterisierung als Körperschallquelle zur Bestimmung von Eingangsdaten für Prognosen (Abschnitt 5) angewendet [13]-[15]. Im Vordergrund stand dabei die horizontale Übertragung in einen unmittelbar angrenzenden Empfangsraum. Um für die Grundlagenuntersuchungen möglichst einfache Verhältnisse zu schaffen, wurde ein geradläufiger Treppengrundriss gewählt. Die Ankopplung der Treppenwange an die Wand erfolgte an einem einzigen starren Wandkontakt. Die Wange selbst wurde von der Wand abgerückt, um eine physikalisch einfacher zu beschreibende, punktförmige Verbindung zu schaffen. Durch Entkopplung der Deckenaufleger wurde gewährleistet, dass die Körperschallanregung der Wand ausschließlich über den Wandkontakt erfolgte. Die Treppenwand war eine typische einschalige Wohnungstrennwand aus Kalksandvollsteinen der Rohdichteklasse 2,0 mit einer Dicke von $d = 240$ mm.



Abbildung 5: Handwerkliche Holztreppe mit Wandwange und punktförmigem Wandkontakt.

4.1. Schwingungsverhalten

Das Schwingungsverhalten ist eine maßgebliche Eigenschaft für die Körperschallübertragung von der Treppe in den Baukörper und somit hinsichtlich der Charakterisierung der Treppe als Körperschallquelle von grundlegender Bedeutung. Mittels experimenteller Modalanalyse wurden die Eigenschwingungen bestimmt. Diese sind auszugsweise in Abbildung 6 dargestellt. Die Schwingungsbilder sind geprägt von den Eigenschwingungen der einzelnen Komponenten der Treppe: Handlauf, Wange und Stufen und deren komplexem Zusammenspiel. Bei den zugehörigen Eigenfrequenzen ist die Treppe besonders gut anregbar, das heißt sie kann stark schwingen. Dies ist wiederum die Voraussetzung für eine starke Körperschallanregung der Wand. Maßgeblich ist auch, wo die Treppe angeregt wird (Beispiel: Schwingungsverhalten bei 106 Hz), dadurch sind die frequenzabhängigen Unterschiede der Norm-Trittschallpegel in der Größenordnung von 10 dB für die Anregung

unterschiedlicher Stufen in Abbildung 3 zu erklären. Die treppenspezifischen Eigenschwingungen sind ein wesentliches Merkmal hinsichtlich der Charakterisierung von Leichtbautreppen als Körperschallquellen. In Anbetracht der Komplexität des Schwingungssystems Treppe mit starkem Einfluss von Resonanzen ist eine schalltechnische Beschreibung generell nur auf Basis von Messungen sinnvoll.

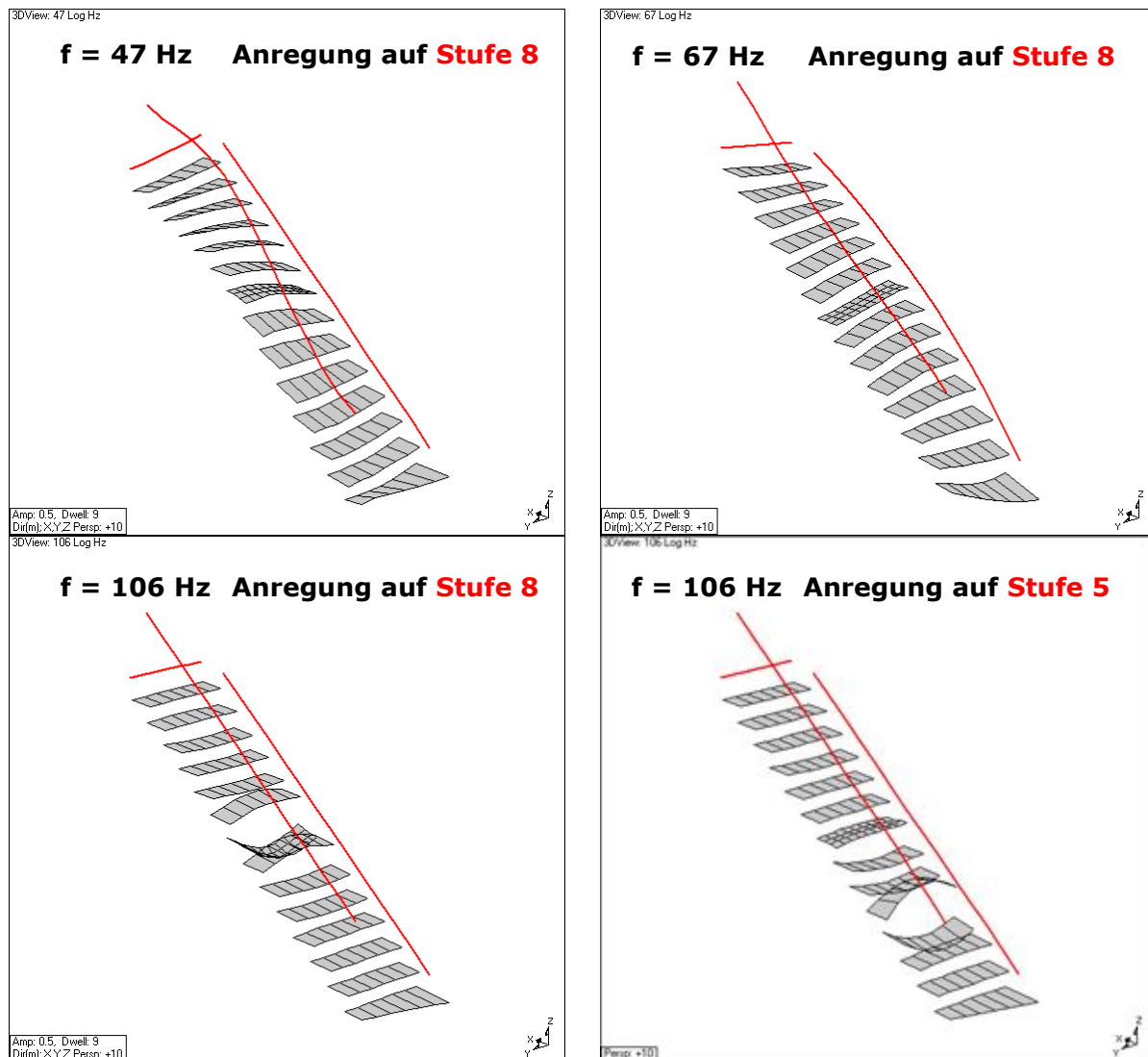


Abbildung 6: Tieffrequente Treppen-Eigenschwingungen bestimmt aus experimenteller Modalanalyse.

4.2. Charakterisierung von Leichtbautreppen im Prüfstand

Eine zu Schwingungen angeregte Treppe ist eine komplexe Körperschallquelle und kann in gleicher Weise charakterisiert werden, wie eine gebäudetechnische Anlage [8], [13]-[15]. Basierend auf einer Charakterisierung im Prüfstand kann die Vorherberechnung der Schallübertragung im Massivbau nach EN 12354-2 [16] (für Trittschall) oder EN 12354-5 [17] (für gebäudetechnische Anlagen) für den schalltechnischen Nachweis zur Einhaltung von Anforderungen erfolgen. Beide Gebäude-Übertragungsmodelle führen, wenn nur die Körperschallübertragung relevant ist, zum gleichen Ergebnis, verwenden nur unterschiedliche Eingangsdaten. Die Anwendung der EN 12354-2 ist wesentlich einfacher, hier wird als Eingangsgröße die Trittschallminderung der Treppe, gegenüber der direkten Anregung der Wand/Decke durch das Norm-Hammerwerk verwendet (Abbildung 7). Diese Trittschallminderung durch die Treppe wird in analoger Weise bestimmt, wie die eines schwimmenden Estrichs auf einer Decke, bei der erst auf der Decke und dann auf dem Estrich angeregt wird. Zur Anregung von Wänden wird ein geeignetes Hammerwerk benötigt [15].

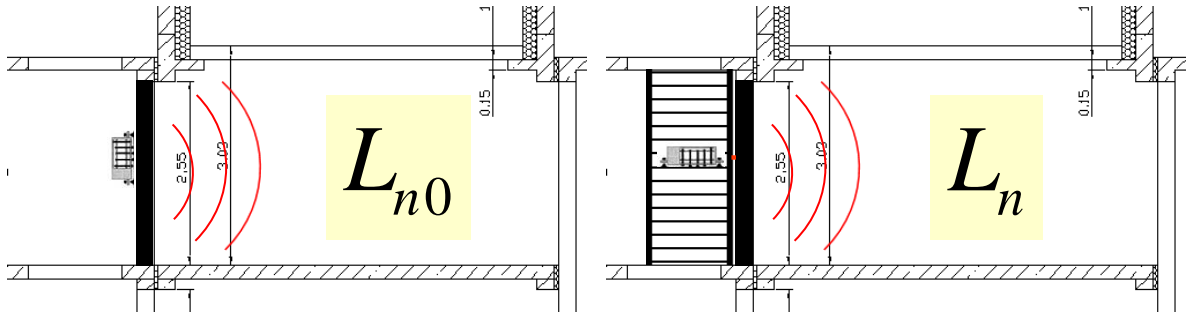


Abbildung 7: Messungen zur messtechnischen Charakterisierung einer Leichtbautreppe durch eine Trittschallminderung nach EN 12354-2 [16]: Schritt 1: Norm-Trittschallpegel der Treppenwand; Schritt 2: Norm-Trittschallpegel der mit der Wand verbundenen Treppe.

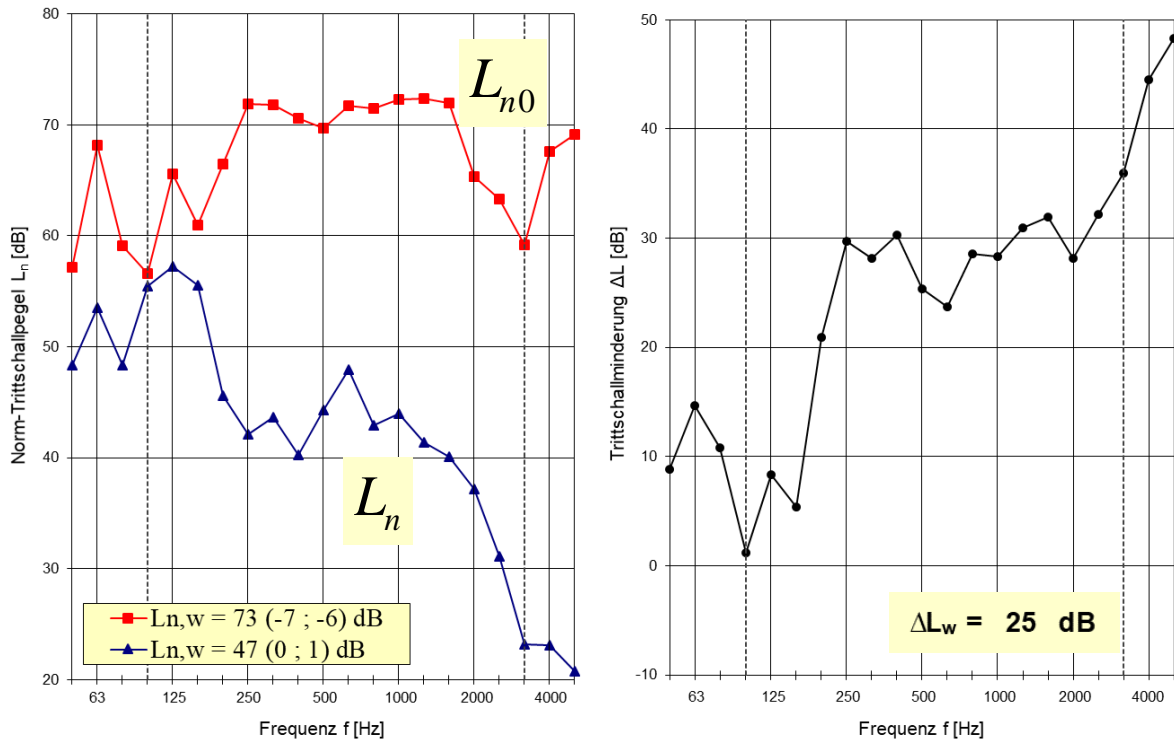


Abbildung 8: Norm-Trittschallpegel von Treppenwand und Treppe (Abbildung 5) und daraus bestimmte Trittschallminderung.

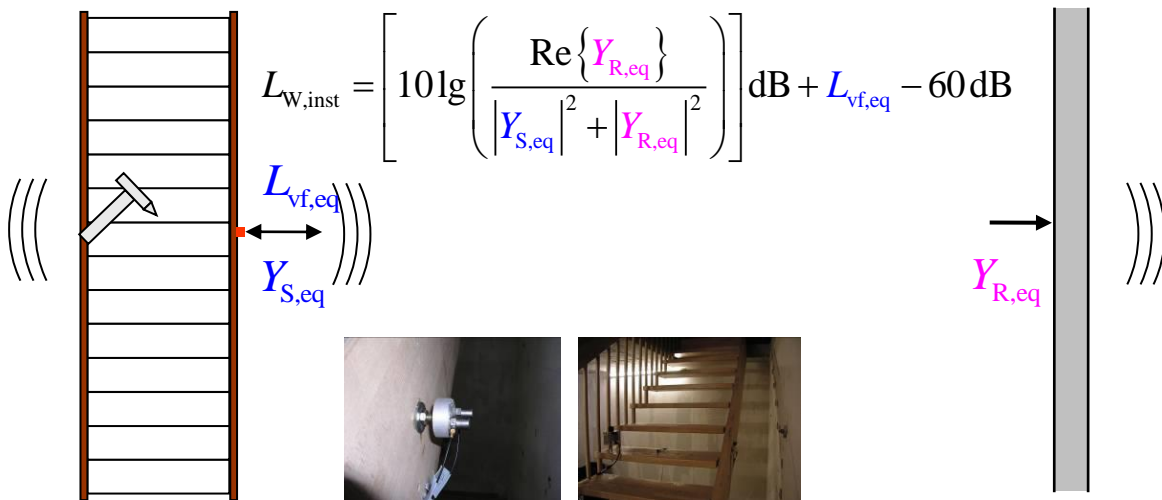


Abbildung 9: Prognose der installierten Leistung im Holzbau.

Für die Vorherberechnung der Schallübertragung von Leichtbautreppen im Holzbau muss eine etwas aufwändigere Charakterisierung erfolgen, die eine Bestimmung der installierten Leistung im Gebäude ermöglicht (Abbildung 10). Dazu kann derselbe Prüfaufbau verwendet werden, jedoch muss die blockierte Kurzschlusskraft oder die freie Schnelle der Treppe und die Admittanz der Treppe an den Kontaktpunkten bestimmt werden, wobei die Verfahren in EN 15657 [18] zur Anwendung kommen, wie ausführlich in [8], [13]-[15] beschrieben. Basierend darauf kann die Körperschallausbreitung im Gebäude mit Übertragungsfunktionen erfolgen. Dieses Vorgehen wird am Beispiel von haustechnischen Anlagen ausführlich in [19] erläutert, wurde für Leichtbautreppen jedoch noch nicht angewandt.

5. Prognose des Norm-Trittschallpegels im Massivbau

In einer Reihenhausanlage sind die Haustrennwände einschalig aus 24 cm Stahlbeton ausgeführt. Der Grundriss im Erdgeschoss ist offen, das heißt der Treppenraum und der schutzbedürftige Wohnraum sind miteinander verbunden (Abbildung 10). Für die horizontale Trittschallübertragung der Treppe stellt das den ungünstigsten Fall dar. Die Treppe ist eine geländertragende Holztreppe, dessen einzelne Stufen direkt in der Treppenwand gelagert sind (14 Stufen mit je 2 Bolzen mit Gummiummantelung). Eine baugleiche, jedoch geradläufige Treppe wurde zuvor nach dem in Abschnitt 4 beschriebenen Verfahren charakterisiert und die Trittschallminderung als Eingangsgröße für die Prognose nach EN 12354-2 verwendet.

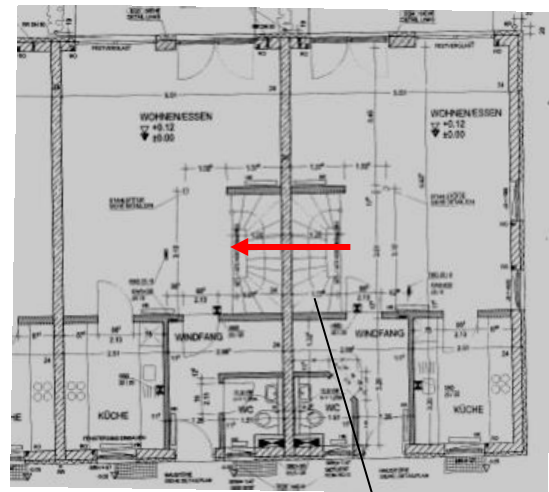
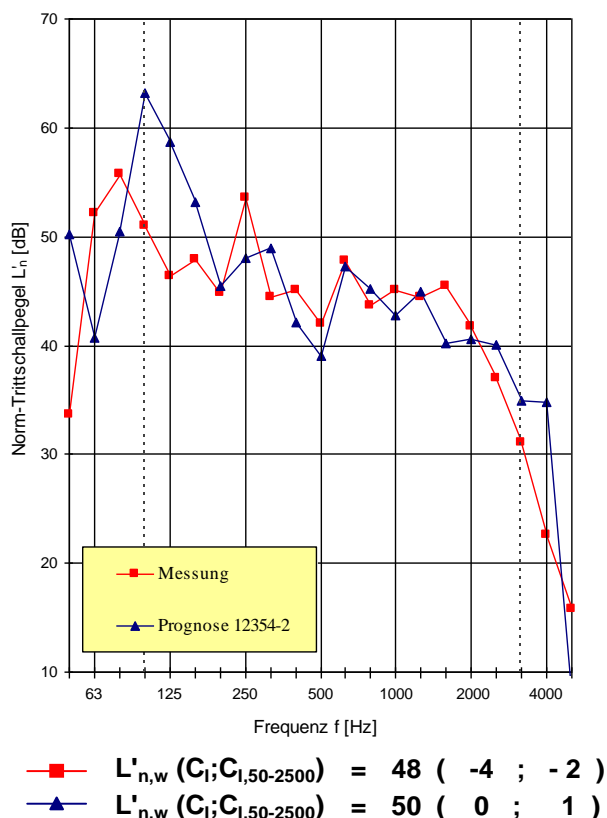


Abbildung 10: Vergleich Prognose und Messung des Norm-Trittschallpegels einer geländertragenden Holztreppe in einer Bausituation.

Im Frequenzbereich ab 200 Hz ist die Übereinstimmung von Prognose und Messung gut, darunter ergeben sich größere Abweichungen, die aufgrund des im Vergleich zur Prüfstands-Treppe anderen Treppengrundrisses und damit anderen Schwingungsverhaltens zu erwarten sind. Die Prognose liegt auf der sicheren Seite. Unter Berücksichtigung des Spektrums-Anpassungswertes $C_{I,50-2500}$ beträgt die Abweichung 6 dB, liegt aber auf der sicheren Seite. Weitere Vergleiche von Prognosen und Messungen in Gebäuden ergaben ähnlich gute Übereinstimmungen [7].

6. Schalltechnische Optimierung

Die Holztreppe in Abbildung 5, jedoch mit, im Ausgangszustand, vollflächigem Wandkontakt, sollte schalltechnisch optimiert werden. Die damaligen Zielvorgaben waren:

- erhöhter Schallschutz ($L_{n,w} = 46$ dB) an einer einschaligen Wohnungstrennwand
- eine erhebliche Minderung der tieffrequenten Trittschallübertragung
- keine grundlegenden konstruktiven Veränderungen an der Treppenkonstruktion selbst
- sichere Begehrbarkeit und Einhaltung der statischen Anforderungen n. ETAG 008 [20]

Als Optimierungsstrategie wurde die Reduzierung der Körperschalleinleitung in den Baukörper durch Entkopplung der Auflagerpunkte gewählt, da diese mit relativ geringem konstruktivem Aufwand verbunden ist, weil keine Veränderungen an der Treppe selbst vorgenommen werden müssen. Bei der Umsetzung wurde in mehreren Schritten vorgegangen, um den Einfluss der einzelnen Ankopplungspunkte an Treppenwand und Decken auf die Übertragung festzustellen. Zur Ermittlung der Optimierungsgrenze wurden zunächst alle Verschraubungen entfernt, die Treppe wurde von der Wand abgerückt und mit Elastomerlagern auf den Decken aufgesetzt. Bei dieser vollständigen Entkopplung wird der Norm-Trittschallpegel durch Schallabstrahlung der Treppe im Senderraum und Luftschallübertragung in den Empfangsraum bestimmt. Die einzelnen Maßnahmen und deren Auswirkung auf den Norm-Trittschallpegel zeigt Abbildung 11, eine ausführliche Dokumentation der Maßnahmen findet sich in [21]. Im Endergebnis wurde mit entkoppelten Deckenauflagern und einer statisch notwendigen (entkoppelten) Verschraubung der Wandwange ein $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 39$ dB erreicht. Messungen der Lautheit nach Zwicker ergaben beim Begehen der Treppe eine Reduzierung um den Faktor 6. Wirkungsvolle Entkopplungsmaßnahmen wurden für zahlreiche weitere Treppenkonstruktionen im Prüfstand durchgeführt und deren Wirksamkeit exemplarisch in Gebäuden bestätigt.

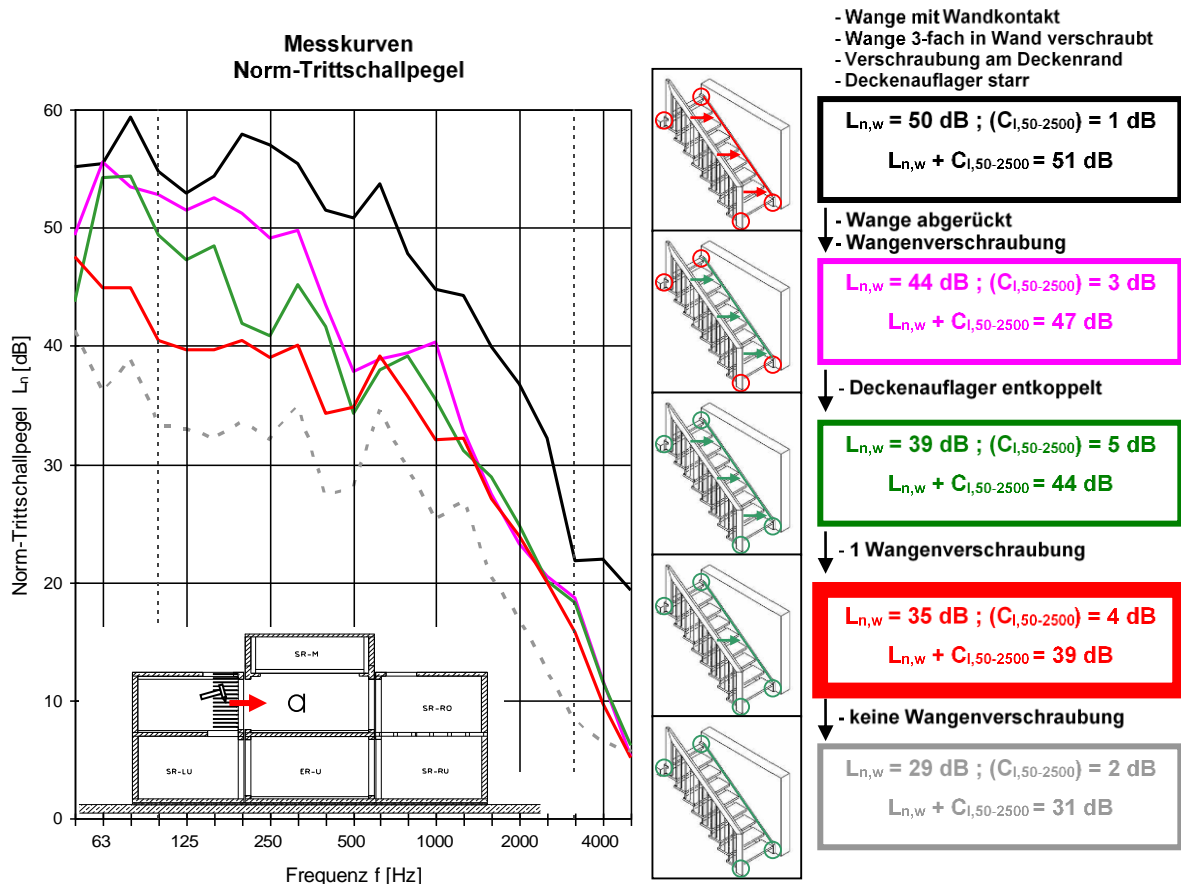


Abbildung 11: Schalltechnische Optimierung einer Holztreppe mit Wandwange im Treppenprüfstand.

7. Literatur

- [1] DIN EN ISO 16283-2:2018-11: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung.
- [2] DIN EN ISO 717-2:2013-06: Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung.
- [3] DIN 4109-1:2018-01: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen.
- [4] DIN 4109:1989-11 Beiblatt 2: Schallschutz im Hochbau – Hinweise für die Planung und Ausführung – Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz – Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich.
- [5] VDI 4100:2012-10: Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz.
- [6] DEGA-Empfehlung 103:2018-01: Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis.
- [7] Scheck, J., Drechsler, A., Fischer, H.-M.: Innovative Lösungen zur schalltechnischen Simulation und Optimierung leichter Treppen, Abschlussbericht der Hochschule für Technik Stuttgart zum Forschungsprojekt im Rahmen des Förderprogramms «Innovative Projekte» an den Fachhochschulen Baden-Württembergs, 2006.
- [8] Scheck, J.M, Characterisation of lightweight stairs as structure-borne sound sources, PhD thesis at the University of Liverpool, 2011.
- [9] Fischer, H.-M., Schneider, M.: Handbuch zu DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau: Grundlagen – Anwendung – Kommentare, Beuth-Verlag, 2019.
- [10] DIN 45680: 2013 (Entwurf): Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschemissionen.
- [11] Rabold, A.: Schallschutz in der Geschossbauweise – Decken, Trennwände und Stossstellen, Holzbauforum 2015.
- [12] Holtz, F., Buschbacher, H. P., Rabold, A., Hessinger, J., (2001). Trittschalldämmung von Treppen im Holzbau, Bestandsaufnahme, Analyse, Optimierung. DGfH – Forschungsbericht des Labors für Schall- und Wärmemesstechnik.
- [13] Scheck, J., Gibbs, B.: Impacted lightweight stairs as structure-borne sound sources, Applied Acoustics 90, 2015.
- [14] Scheck, J., Gibbs, B., Fischer, H.-M.: Prediction of horizontally transmitted Sound from Impacted Lightweight Stairs – Part 1: Case study, DAGA 2013.
- [15] Fichtel, C., Scheck, J.: Prediction of horizontally transmitted Sound from Impacted Lightweight Stairs – Part 2: Proposal for a Standard Test Procedure, DAGA 2013.
- [16] DIN EN ISO 12354-2:2017-11: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen.
- [17] DIN EN 12354-5:2009-10: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche.
- [18] DIN EN 15657:2017-10: Akustische Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden – Messung des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen.
- [19] Schöpfer, F.: Prognose von Körperschall aus haustechnischen Anlagen – ein robustes und einfaches Tabellenverfahren für den Holzbau, Holzbauforum 2019.
- [20] ETAG 008: Guideline for European Technical approval of prefabricated stair kits, EOTA Brüssel, Januar 2002.
- [21] Scheck, J., Fichtel, C., Kurz, R.: Schallschutz bei Wohnungstreppen, 2007.