

Ermittlung von schalltechnischen Planungsdaten

Stefan Schoenwald
Empa Materials Science and Technology
Dübendorf, Schweiz



Hans-Martin Tröbs
Empa Materials Science and Technology
Dübendorf, Schweiz



Ermittlung von schalltechnischen Planungsdaten

1. Einleitung

Bereits im Jahr 2000 wurde die EN 12354-Normenreihe «Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften» verabschiedet. Die darin enthaltenen Methoden ermöglichen die Berechnung der Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen in Gebäuden unter Berücksichtigung der direkten Schallübertragung durch das Trennbauteil und der Flankenübertragung der sogenannten primären Nebenwege. Die Methoden wurden ursprünglich für Gebäude in Massivbauweise mit einschaligen homogenen Wänden und Decken aus Mauerwerk und Beton entwickelt und haben sich hierfür auch bereits in der Praxis gut bewährt. Jedoch hat der Holzbau bei neugebauten Mehrfamilienhäusern oder Wohn- und Geschäftshäusern mit gemischter Nutzung und verbindlichen Anforderungen an den Schallschutz einen immer größeren Marktanteil. Die Komplexität der verwendeten Bauteile ist im Vergleich zum Massivbau meist sehr hoch und eine einfache Prognose der Luft- und Trittschalldämmung im Gebäude mittels EN 12354 basierend auf Materialangaben und Rechenwerten ist daher in der Regel nicht möglich. Dieser Trend wurde auch von Normarbeitsgruppen aufgegriffen. In der überarbeiteten Version der Norm, welche dieses Jahr neu als EN ISO 12354 veröffentlicht wird, wurden zahlreiche Erweiterungen vorgenommen um die Prognose der Schalldämmung im Holz- und Leichtbau mit dem bewährten Rechenmodell zu ermöglichen. Jedoch basiert die Prognose im Holzbau im Wesentlichen weiterhin auf gemessenen Eingangsdaten, die an die jeweilige Bausituation angepasst werden. Daher sind auch zukünftig Planer auf zuverlässige Datengrundlagen und Bauteilkataloge angewiesen.

Die Empa Abteilung Akustik/Lärminderung ermittelt im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts «Schallschutz im Holzbau» der Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Schallschutzdaten eine Reihe von typischen Holzbaukonstruktionen in der Schweiz und arbeitet diese soweit auf, dass sie als Rechenwerte für die Prognose der Luft- und Trittschalldämmung in dem Online-Bauteilkatalog der Lignum veröffentlicht werden können [1].

Im Folgenden werden am Beispiel eines T-Stoßes mit einer Holzbetonverbunddecke die angewandten Messmethoden zur Ermittlung der Daten und deren Nachbearbeitung, welche im Grunde der Methode der EN 12354 entsprechen jedoch in einigen Punkten davon abweicht, dargestellt und diskutiert.

2. Grundlagen Schallübertragung im Gebäude

Die Schallübertragung zwischen zwei nebeneinander- oder übereinanderliegenden Räumen im Gebäude findet immer über mehrere Übertragungswege statt.

Die Anzahl und Art der vorhandenen Übertragungswege ist abhängig von der Art der Schallquelle, wobei in diesem Forschungsprojekt nur die Luftschallanregung und Trittschallanregung berücksichtigt wurden.

In der Regel ist die direkte Schallübertragung durch das Trennelement am größten, jedoch kann die Flankenübertragung über die Stoßstellen auf Grund der größeren Anzahl der möglichen Übertragungswege nicht vernachlässigt werden. In der Praxis hat es sich bewährt, wenn nur die sogenannten primären Nebenwege berücksichtigt werden. Bei primären Nebenwegen erfolgt die Körperschallübertragung zwischen dem Trennbauteil und den direkt daran angekoppelten Bauteilen über eine Stoßstelle hinweg.

In Abbildung 1 sind alle relevanten Übertragungswege für einen sogenannten T-Stoß, gebildet durch eine Trenndecke und zwei flankierenden Wänden, dargestellt. Die Bezeichnung der Übertragungswege in der Darstellung ist analog zur EN 12354 gewählt. Somit ergeben sich die für die Übertragungswege in diesem Forschungsprojekt die folgenden Bezeichnungen:

- Dd Direktübertragung Trenndecke
- Ff Flankenübertragung Wand-Wand-Pfad
- Fd Flankenübertragung Wand-Decken-Pfad
- Df Flankenübertragung Boden-Wand-Pfad

Die Anzahl der Übertragungswege beschränkt sich bei Trittschallanregung des Bodens nur die auf jene Pfade, die den Boden als Sendebauteil beinhalten, also die Direktübertragung und den Df-Pfad, während hingegen bei Luftschallanregung auch das Flankenbauteil ange-regt werden kann und somit noch der Ff und Fd- Übertragungswege berücksichtigt werden müssen.

In einer normalen Gebäudesituation mit einem rechteckigen Raumgrundriss gibt es an allen vier Kanten der Trenndecke eine Stoßstelle. Somit müssen bei Luftschallanregung insgesamt bis zu 13 Übertragungswege – ein Direktweg und 3 primäre Nebenwege pro Stoßstelle – und bei Trittschallanregung bis zu 5 Übertragungswege – ein Direktweg und 1 primärer Nebenweg pro Stoßstelle – zwischen zwei übereinanderliegenden Räumen berücksichtigt werden.

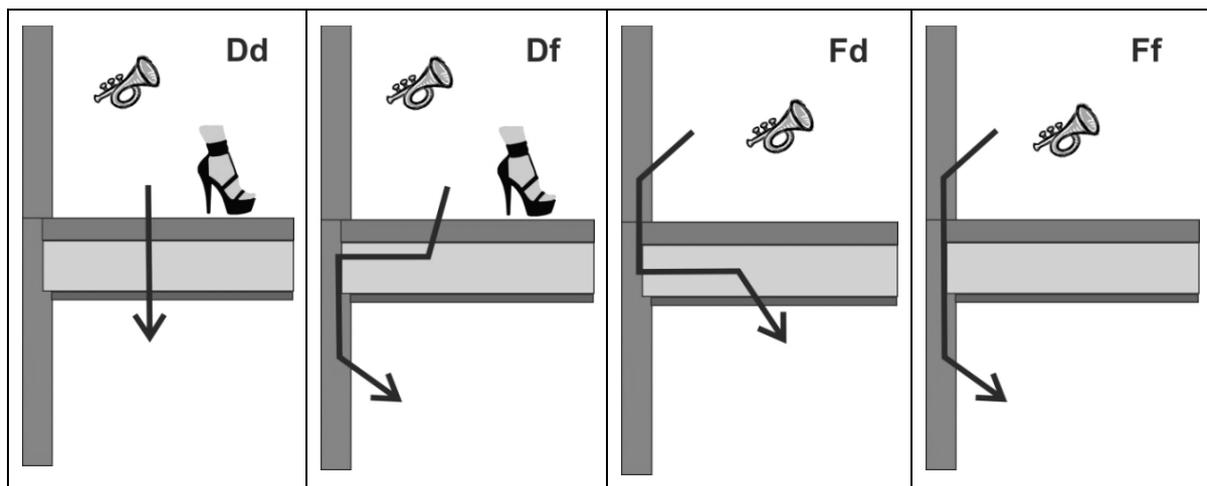


Abbildung 1: Schematische Darstellung der relevanten Übertragungswege (Direkt und primäre Nebenwege) eines Boden-Wand-T-Stoßes für Luft- und Trittschallanregung. Die Bezeichnung der Nebenwege entspricht dem Schema der EN 12354.

Das sogenannte Bau-Schalldämmmaß R' zwischen übereinanderliegenden Räumen im Gebäude ergibt sich somit bei der Planung aus der Bilanz der Schalldämmmaße R_{ij} aller 13 möglichen Übertragungswege gemäß Gleichung (1), wobei Index m die Stoßstelle bezeichnet.

$$R' = -10 \lg \left[10^{-0.1 \cdot R_{Dd}} + \sum_{m=1}^4 (10^{-0.1 \cdot R_{Df,m}} + 10^{-0.1 \cdot R_{Fd,m}} + 10^{-0.1 \cdot R_{Ff,m}}) \right] \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Zur Ermittlung des Bau-Norm-Trittschallpegels L'_n werden die Norm-Trittschallpegel $L_{n,Dd}$ der Direktübertragung und des Nebenwegs $L_{n,Df}$ der vier Stoßstellen energetisch aufsummiert.

$$L'_n = 10 \lg \left[10^{0.1 \cdot L_{n,Dd}} + \sum_{m=1}^4 10^{0.1 \cdot L_{n,Df,m}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Die eigentliche Kunst bei der Berechnung und des Nachweises des Luft- und Trittschallschutzes ist es nun die Schalldämmmaße R_{ij} und Norm-Trittschallpegel $L_{n,ij}$ aller Übertragungswege möglichst genau zu bestimmen, um eine präzise Aussage über die Gesamtübertragung für die jeweilige Gebäudesituation machen zu können.

2.1. Luftschallmessungen mit Unterdrückung einzelner Nebenwege

Bei der ersten Methode nach EN ISO 10848 ist ein spezieller Flankenprüfstand mit unterdrückter Schallübertragung notwendig in der die Stoßstelle eingebaut wird. Die Flankenübertragung wird dann zwischen zwei Räumen mit dem gleichen Messverfahren gemessen wie die Direktschalldämmung von Wänden und Decken im Prüfstand, jedoch erfolgt die Schallübertragung zwischen den Räumen im Flankenprüfstand im Idealfall über nur einen Nebenweg.

Bei der Messung der Luftschalldämmung wird der Senderraum mittels Lautsprecher und breitbandigem stationärem Rauschen angeregt. Mit Drehmikrofonen werden dann der mittlere Senderraum-Schalldruckpegel und der mittlere Empfangsraum-Schalldruckpegel, bei dem gegebenenfalls noch eine Hintergrundgeräuschkorrektur vorgenommen wird, gemessen. Die ermittelte Pegeldifferenz wird anschließend noch mit der äquivalenten Absorptionsfläche des Empfangsraumes und der Trennbauteilfläche normiert, um das Flanken-Schalldämmmaß R_{ij} zu erhalten.

Bei der Messung der Trittschalldämmung wird die Trenndecke mit einem Norm-Hammerwerk an mindestens 6 Positionen angeregt und im Empfangsraum wird der durch die Übertragung eines einzelnen Nebenwegs erzeugte mittlere Schalldruckpegel gemessen, bei dem ebenso gegebenenfalls noch eine Hintergrundgeräuschkorrektur vorgenommen wird. Dieser Trittschallpegel wird dann unter Berücksichtigung der tatsächlichen äquivalenten Absorptionsfläche auf eine Bezugsschallabsorptionsfläche von 10 m^2 normalisiert.

Das beschriebene Messverfahren ist in der Bauakustik sehr gängig, da es einer Labor- oder in-situ Messung im Gebäude entspricht. Die eigentliche Schwierigkeit ist die effektive Unterdrückung der Schallübertragung durch das Trennbauteil und entlang aller nicht betrachteten Nebenwege. In der Praxis wird dies durch hochschalldämmende Vorsatzschalen, welche vor Bauteile im Sende- und Empfangsraum gestellt werden um deren Anregung und Schallabstrahlung zu unterdrücken. Die Vorsatzschalen bestehen in der Regel aus mehreren Lagen Gipskarton- oder Holzwerkstoffplatten mit einem Hohlraum gefüllt mit absorbierendem Material. Die verschiedenen Vorsatzschalen-konfigurationen, die zur Ermittlung aller vier Übertragungswege des T-Stoßes, bestehend aus zwei Wänden und einer Trenndecke, minimal notwendig sind, sind schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

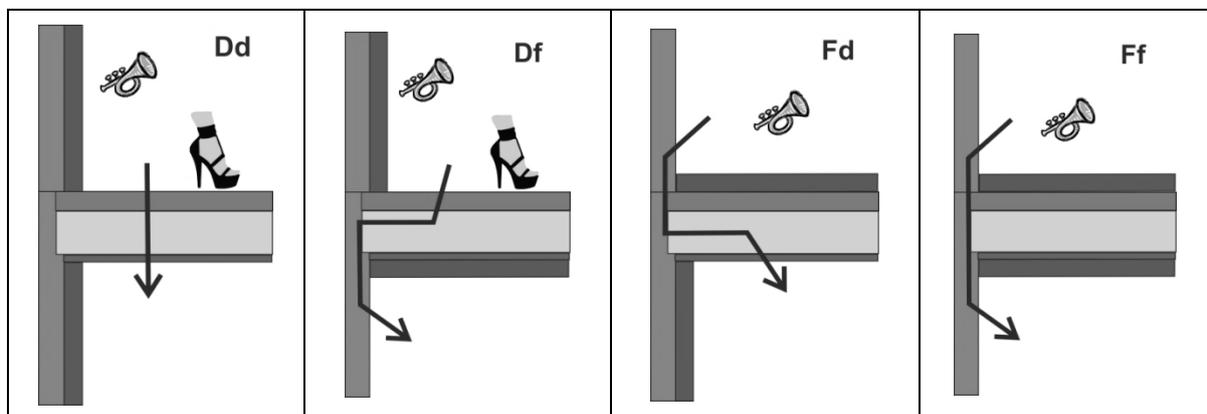


Abbildung 2: Notwendige Vorsatzschalenkonfigurationen zur Ermittlung aller relevanten Übertragungswege an einem T-Stoß mit Luftschallmessungen. Die zusätzlich notwendigen Vorsatzschalen zur Unterdrückung der entsprechenden anderen Übertragungswege sind in dunkelgrau dargestellt.

Jedoch ist die mit Vorsatzschalen erreichbare Direktschalldämmung bei tiefen Frequenzen, wo diese eine Feder-Masse-Resonanz aufweisen, für die Messung der Nebenwege oft nicht ausreichend. Aus diesem Grund wurde zusätzlich zu jeder Vorsatzschalenkonfiguration für die Nebenwege in Abbildung 2 die Schallübertragung jeweils für eine weitere Vorsatzschalenkonfiguration, wie in Abbildung 3 dargestellt, bestimmt. Bei dieser sind jeweils alle noch freien Flankenbauteile mit Vorsatzschalen abgeschirmt und so alle Nebenwege effektiv unterdrückt. Es wird so die Grenzschalldämmung $R_{ij,max}$ und $L_{n,ij,min}$ für die Übertragung durch das mit Vorsatzschalen versehene Trennbauteil ermittelt. Anschließend wird der Messwert des Nebenwegs, wenn möglich, das heißt das Flanken-Schalldämmmaß R_{ij} ist mindestens 3 dB geringer als die dazugehörige Grenzschalldämmung $R_{ij,max}$ bzw. der

Norm-Flankentrittschallpegel $L_{n,ij}$ ist mindestens 3 dB grösser als der dazugehörige $L_{n,ij,min}$, energetisch korrigiert. Bei tiefen Frequenzen ist es in der Regel der Fall, dass eine Korrektur der Nebenwege nicht möglich ist, da die Direktübertragung durch das abgeschirmte Bauteil dominiert. Als Abschätzung wird in diesem Fall das Schalldämm-Maß des Nebenwegs um mindestens 3 dB erhöht und der Norm-Flankentrittschallpegel um mindestens 3 dB abgeschwächt, so dass in der Bilanz, wenn die korrigierte Nebenwegübertragung und die Übertragung durch das abgeschirmte Trennbauteil energetisch aufsummiert werden, in etwa um 2 dB zu konservative Ergebnisse erhalten werden. Es hat sich eine Sicherheitsmarge von 2 dB als ausreichend erwiesen, um allfällige Messunsicherheiten zu kompensieren [6].

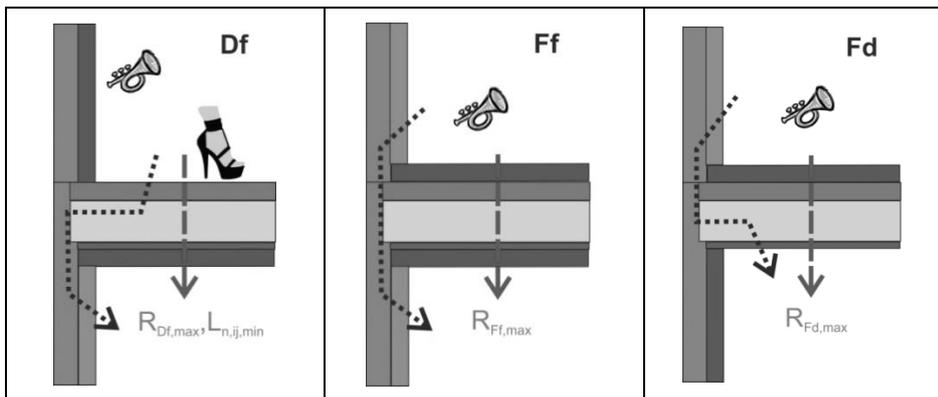


Abbildung 3: Vorsatzschalenkonfigurationen mit weiteren Vorsatzschalen (hell-grau) vor den Flankenbauteilen des T-Stoßes zur Ermittlung der Grenzschalldämmung des abgeschirmten Trennbauteils und des Limits der Messmethode mit Luftschallmessungen nach EN ISO 10848 bei tiefen Frequenzen.

2.2. Verbesserungsmasse von zusätzlichen Maßnahmen an den Bauteilen

In vielen Fällen werden die Grundbauteile einer bestimmten Stoßstelle mit verschiedenen Schalen oder auch zusätzlichen Lagen (Vorsatzschalen, Abhangdecken, schwimmende Bodenaufbauten) ausgeführt, um verschiedenen Aspekten bei der Gebäudeplanung (z.B. Brandschutz, haustechnische Installation, Schallschutz) oder unterschiedlichen Anforderungs- und Komfortniveaus gerecht zu werden. Eine detaillierte Untersuchung der Flankenübertragung für alle möglichen Kombinationen dieser Maßnahmen wie in Abschnitt 3.1 ist jedoch sehr aufwendig, da für jede dieser Kombinationen das Prüfobjekt aufgebaut und alle von den Maßnahmen betroffenen Nebenwege erneut experimentell untersucht werden müssen.

Aus diesem Grund wurde in diesem Forschungsprojekt eine schnellere und flexiblere Methode angewandt, bei dem zuerst die Luft- und Trittschallübertragung jedes einzelnen Nebenwegs einer Stoßstellenkonfiguration, dem sogenannten «Grundstoß», detailliert experimentell untersucht wird. Anschließend werden dann die verschiedenen Verbesserungsmasse für die Luft- und Trittschalldämmung der einzelnen Bauteil-Modifikationen bestimmt.

Die Verbesserungsmasse der Bauteilmodifikationen werden dann, analog wie im Verfahren in Abschnitt 3.1, zu den Flanken-Schalldämmmaßen und Norm-Flankentrittschallpegeln jedes einzelnen Übertragungsweges addiert bzw. abgezogen.

Das beschriebene Verfahren basiert auf den Gleichungen des Rechenverfahrens in der EN ISO 12354 welche für diesen Fall vereinfacht in Form von Gleichung (3) und Gleichung (4) geschrieben werden können.

$$R_{ij,mod} = R_{ij,Grund} + \Delta R_{i,mod,situ} + \Delta R_{j,mod,situ} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

$$L_{n,ij,mod} = L_{n,ij,Grund} - \Delta L_{i,mod,situ} - \Delta R_{j,mod,situ} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Hierbei bezeichnet «Grund» Daten für die Übertragung durch den Grundstoß, die entweder mit dem Verfahren nach Abschnitt 3.1 ermittelt wurden, und «mod» die vorgenommenen Modifikationen.

Wie bereits in Gleichung (3) und Gleichung (4) ersichtlich ist, muss zwischen mindestens 2 Verbesserungsmassen unterschieden werden, nämlich zwischen ΔL_n für Trittschallanregung des Sendebauteils und ΔR für Luftschallanregung, da diese beiden Anregungsformen sich vor allem in der Kopplung zwischen der Quelle und der Struktur, aber auch durch die Ausdehnung des angeregten Bereichs und somit in der Art des angeregten Wellenfeldes unterscheiden. Jedoch sind diese beiden für viele Situation im Leicht- und Holzbau nicht ausreichend, da in diesem auch die Ausbreitungsabnahme von den Biegewellen in den Bauteilen berücksichtigt werden muss. Biegewellen werden primär bei der Schallübertragung betrachtet, da sie am einfachsten angeregt werden und Schall abstrahlen können. Bei Strukturen im Leicht- und Holzbau ist die Ausbreitungsabnahme insbesondere auf Grund der Inhomogenität vieler Bauteile mit Rahmen und Rippen sehr hoch. Bei einer lokalen Trittschallanregung mit dem Hammerwerk breiten sich Biegewellenfronten von dem Anregepunkt in der Struktur aus und können, bis sie an der Stoßstelle ankommen, bereits sehr abgeschwächt sein. Diese Pegelabnahme mit Abstand zur Quelle ist bei homogenen, isotropen Materialien, wie zum Beispiel bei Betondecken, unabhängig von der Ausbreitungsrichtung. Bauteile, die im Leicht- und Holzbau üblich sind, haben jedoch orthotrope Eigenschaften (verschiedene Biegeeigenschaften in alle orthogonalen Richtungen) oder Rippen, die parallel in einer Richtung verlaufen, und somit ist die Pegelabnahme meistens richtungsabhängig. So ist die Pegelabnahme zum Beispiel parallel zu den Balken einer Holzbalkendecke meistens sehr viel geringer als senkrecht dazu, da diese die Biegewellenausbreitung insbesondere im mittleren Frequenzbereich blockieren.

Eine vorgenommene Veränderung am Bodenaufbau kann nun unterschiedliche Effekte haben. Zum einen wird die Körperschalleinleitung in den Boden verändert, zum anderen kann sich aber auch die Biegewellenausbreitung und somit die Verteilung der Körperschallenergie im Boden verändern. Wird zum Beispiel ein isotroper schwimmender Bodenaufbau, wie ein Anhydritestrich auf einer Trittschalldämmung, auf eine Holzbalkendecke aufgebracht, dann breiten sich Biegewellen im Anhydritestrich gleichmäßig in alle Richtungen aus, die Diskontinuität der Holzbalken wird überbrückt und Körperschall wird auch direkt im Bereich vor der Stoßstelle in den Boden eingeleitet. Die Verbesserung ergibt sich somit als ein kombinierter Effekt aus der Veränderung der Energieeinleitung und der Änderung der Körperschallausbreitung. Somit kann die Verbesserung für Trittschallanregung für die Direktübertragung, hier spielt vor allem die veränderte Körperschallanregung eine Rolle, sowie die für die Flankenübertragung in beide orthogonale Richtungen, mit unterschiedlicher Wellenausbreitung in der Grundkonstruktion, bei schalltechnisch inhomogenen Böden sehr unterschiedlich ausfallen.

Bei Luftschallanregung hingegen spielt die Ausbreitungsdämpfung keine signifikante Rolle, da die gesamte Fläche gleichmäßig und somit auch der Bereich direkt vor den Stoßstellen angeregt wird, und so nur die Änderung der Körperschalleinleitung maßgeblich ist.

Bei der Abstrahlung auf der Empfangsseite spielt die Art der Anregung des Sendebauteils, also entweder mit Luft- oder Trittschall, eine untergeordnete Rolle. So ist bei der Direktübertragung nur die Veränderung der Kopplung zwischen Raum und Grundbauteil durch die Maßnahme maßgeblich. Außerdem ist das sich im Empfangsbauteil bei Anregung über eine Stoßstelle ausbildende Biegewellenfeld, welches bei der Nebenwegübertragung zusätzlich relevant ist, für beide Quellen gleich. Des Weiteren wurde gezeigt, dass die Mechanismen bei der Abstrahlung von Luftschall vergleichbar mit denen bei der Luftschallanregung sind und so entspricht die Verbesserung der Abstrahlung auf der Empfangsseite der Verbesserung bei Luftschallanregung auf der Sendeseite.

So ergeben sich für den Leicht- und Holzbau je nach Bauteil maximal 6 unterschiedliche Verbesserungsmasse, die bestimmt und für die Berechnung vorliegen müssen. Diese sind in Tabelle 1 abhängig von der Anregeart, dem Bauteil und dem Übertragungsweg dargestellt. Erfahrungsgemäß ist das Verbesserungsmass von Maßnahmen an der Decke bei der Abstrahlung für die Luft- und Trittschall-Direktübertragung in der Regel gleich ($\Delta R_D \approx \Delta L_{n,d}$). In vielen Fällen reduziert sich diese Anzahl jedoch dann noch weiter, wenn die Körperschallausbreitung sowohl in dem Grundbauteil als auch dem zusätzlichen Aufbau in beide orthogonalen Richtungen gleich ($\Delta L_{n,F,\perp} \approx \Delta L_{n,F,\parallel}$) oder vernachlässigbar gering sind ($\Delta L_{n,D} \approx \Delta L_{n,d} \approx \Delta L_{n,F,\perp} \approx \Delta L_{n,F,\parallel}$ und $\Delta R_D \approx \Delta R_F$).

Tabelle 1: Übersicht der notwendigen Verbesserungsmasse für den Luft- und Trittschallschutz im Leicht- und Holzbau abhängig von der Anregeart, dem Bauteil und dem Übertragungsweg wobei \perp , \parallel Körperschallausbreitung senkrecht und parallel zu den Rippen anzeigt.

	Luftschall		Trittschall	
	Direktübertragung	Nebenweg	Direktübertragung	Nebenweg
Sendeseite	ΔR_D	ΔR_F	$\Delta L_{n,D}$	$\Delta L_{n,F,\perp}$ $\Delta L_{n,F,\parallel}$
Empfangsseite	ΔR_D	ΔR_F	$\Delta R_D \approx \Delta L_{n,d}$	ΔR_F

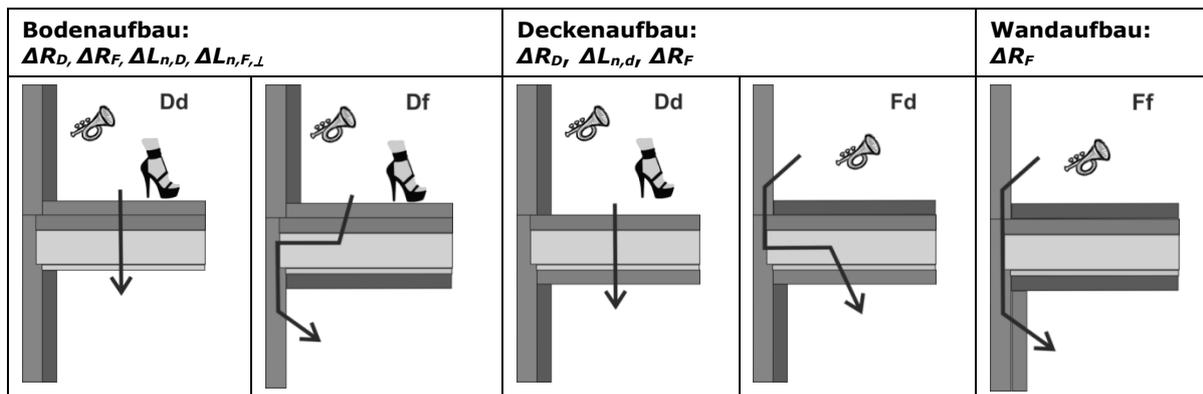


Abbildung 4: Zur Ermittlung der Verbesserungsmasse von zusätzlichen Boden-, Decken- und Wandaufbauten verwendete Übertragungswege, Anregearten und Vorsatzschalenkonfigurationen.

Die notwendigen Verbesserungsmasse der ausgewählten Bauteilvarianten wurden in dem Forschungsprojekt jeweils experimentell ermittelt. Hierzu wurde jeweils eine der untersuchten Maßnahmen an einem Bauteil des Grundstoßes eingebaut (Wandvorsatzschale, Abhangdecke bzw. Bodenaufbau) und anschließend die Schallübertragung der jeweils relevanten Übertragungswege (Nebenweg bzw. Direkt- und Nebenweg) für diesen modifizierten Aufbau neu gemessen. Aus der Differenz des Schalldämmmasses und des Norm-Trittschallpegels des modifizierten Aufbaus und des Grundstoßes wurden anschließend Verbesserungsmasse bestimmt. Die hierbei in diesem Forschungsprojekt betrachteten Übertragungswege, Anregearten und ermittelten Verbesserungsmasse sind in Abbildung 4 dargestellt.

Die beschriebene Methode bietet den Vorteil, dass mit den ermittelten Verbesserungsmassen sehr flexibel die Luft- und Trittschalldämmung von zahlreichen Kombinationen von Maßnahmen ermittelt werden kann. Des Weiteren bietet sie den Vorteil, dass wenn Verbesserungsmasse für neue Boden-, Wand- und Deckenaufbauten zur Verfügung stehen diese als Eingangsdaten für weitere Berechnungen verwendet werden können, sofern diese für vergleichbare Grundbauteile ermittelt wurden.

2.3. Anpassung der Messergebnisse an die Bausituation

Die ermittelten Schalldämmdaten sind jedoch noch abhängig von der Geometrie des Prüfobjekts im Labor, sowie im gewissen Maße auch von der Bedämpfung der gekoppelten Bauteile in der jeweiligen Einbausituation.

Die Bedämpfung des Bauteils wird durch den sogenannten Gesamtverlustfaktor beschrieben. Dieser wird durch drei Energieverlustmechanismen, den sogenannten inneren Verlusten im Material, den sogenannten Randverlusten durch Übertragung von Körperschallenergie an andere an den Kanten angeschlossene Bauteile, sowie den sogenannten Abstrahlverlusten durch die Abstrahlung von Luftschall bestimmt. Der letzte Beitrag ist üblicherweise sehr gering und kann vernachlässigt werden. Bei leichten und insbesondere bei inhomogenen zusammengesetzten Bauteilen, wie sie im Holzbau durchaus üblich sind, überwiegen im Wesentlichen die inneren Verluste. Diese sind einige Ordnungen grösser als die Randverluste. Daher bewirken unterschiedliche Einbaubedingungen des Bauteils in der Regel keine signifikante Änderung des Gesamtverlustfaktors und der Schalldämmung. Einige Holzbauteile, zum Beispiel Massivholzelemente, haben einen geringeren inneren Verlustfaktor als zum Beispiel Ständerwände oder Balkendecken, so dass in diesem Fall

die Randverluste berücksichtigt werden müssen. Da jedoch im Prüfstand die Bauteile in der Regel weitestgehend isoliert angeschlossen sind um unerwünschte Nebenwege zu unterdrücken, sind diese Daten auch für die Prognose im Bau mit höheren Randverlusten ohne Korrektur anwendbar. Die Schalldämmung wird allenfalls etwas zu gering prognostiziert.

Eine Anpassung der Nebenwegsdaten zur Berücksichtigung der Bauteilgeometrie nach Gleichung (5) und Gleichung (6) wird jedoch durchgeführt. Diese ist notwendig um die übertragene Schalleistung korrekt zu prognostizieren. Bei Luftschallübertragung ist die direkt durch das Trennbauteil übertragene Schalleistung proportional zu dessen Fläche. Die durch Nebenwege übertragene Schalleistung hingegen ist proportional zur Länge der jeweiligen Stoßstelle. Diese Annahme ist sicherlich bei Elementen, die über deren gesamte Länge entlang einer Stoßstelle starr gekoppelt sind, wie im Massivbau, zum Beispiel Elemente aus Beton, erfüllt. Aber selbst bei Punktverbindungen, zum Beispiel durch Verbindungswinkel oder Punktverschraubungen wie im Holzbau, ist die übertragene Schalleistung annähernd proportional zur Stoßstellenlänge, da die Befestigungen mit einem festen Abstand erfolgen, und deren Anzahl somit abhängig von der Stoßstellen-Länge ist.

$$R_{ij,mod,situ} = R_{ij,mod,lab} + 10lg\left(\frac{l_{ij,lab}}{l_{ij,situ}}\right) + 10lg\left(\frac{S_{ij,situ}}{S_{ij,lab}}\right) \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

$$L_{n,ij,mod,situ} = L_{n,ij,mod,lab} - 10lg\left(\frac{l_{ij,lab}}{l_{ij,situ}}\right) - 10lg\left(\frac{S_{ij,situ}}{S_{ij,lab}}\right) \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

Nach Anpassung der Schalldämmwerte der einzelnen Nebenwege bzw. Stoßstellen werden die Beiträge gemäß Gleichung (1) und Gleichung (2) bilanziert, um die Gesamtübertragung im Gebäude beurteilen zu können.

3. Messaufbau

3.1. Empa Leichtbauprüfstand

Die experimentellen Untersuchungen in diesem Forschungsprojekt wurden in dem sogenannten Leichtbauprüfstand bei der Empa in Dübendorf durchgeführt. Dieser wurde im Jahr 2010 gemeinsam von der Empa und der Berner Fachhochschule in Biel realisiert und seither betrieben. Er besteht aus einer Grundkonstruktion aus massiven Bauteilen. Dabei bilden eine Rück- und eine Seitenwand einen L-förmigen Baukörper, in den die leichten Prüfkörper aus Holz eingebaut werden können. Die Höhe der Wände beträgt 6.45 m. Die Länge der Rückwand 13.25 m und die der Seitenwand 5.10 m.

Um Störungen der Messungen durch Lärm und Erschütterungen von außen sowie durch Übertragung zwischen den Räumen zu minimieren sind die Bauteile des Prüfstands hochschalldämmend und entkoppelt ausgeführt, sowie zum Teil mit zusätzlichen hochschalldämmenden Vorsatzschalen versehen.

Durch den Einbau der Prüfdecken und -wände können maximal vier Räume für die Messungen hergestellt werden: zunächst zwei Räume übereinander mit den Abmessungen von 4,20 m Länge x 5,50 m Breite und 2,90 m Höhe. An diese beiden Räume grenzen, durch Trennwände abgegrenzt, zwei weitere Räume mit einer Länge von 6.50 m. Abbildung 6 stellt eine dreidimensionale Prinzipskizze der Prüfstandsgeometrie dar. Im linken Bildteil ist der Aufbau für die Messung der vertikalen Schallübertragung mit zwei Räumen übereinander wie in dem Forschungsprojekt, im rechten Bildteil der Aufbau für die Messung der horizontalen Schallübertragung mit zwei nebeneinander liegenden Räumen aufgezeichnet.

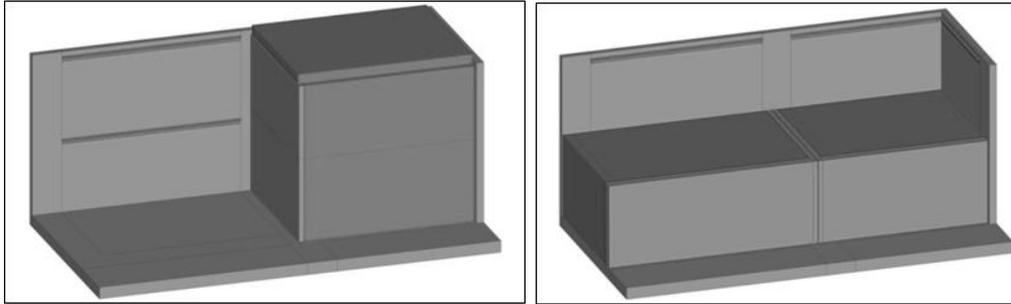


Abbildung 6: Dreidimensionale Prinzipdarstellung der Geometrie des Leichtbauprüfstands mit der massiven Grundkonstruktion, den eingebauten Prüfkörpern und den versetzbaren Default-Abschlusselementen. Der linke Bildteil zeigt den Prüfstandaufbau für die Messung der vertikalen Schallübertragung, der rechte Bildteil zeigt den Prüfstandaufbau für die Messung der horizontalen Schallübertragung.

Um den Aufwand für die Herstellung der Prüfkörper zu minimieren, werden für eine Prüfungssituation nur jeweils zwei Prüfwände eingebaut. Die verbleibenden Wände wurden mit leichten Wandelementen mit einer minimalen Schalllängsleitung und der obere Abschluss der Prüfräume mit vorgefertigten Elementen aus Holz realisiert. Diese liegen direkt auf den Prüfwänden auf und dienen zugleich als Auflast zur Simulation von Lasten in mehrgeschossigen Gebäuden.

3.2. Durchführung der Messungen

Die Bestimmung der Luftschalldämmung erfolgte gemäß der indirekten Methode nach EN ISO 10848. Für die Datenerfassung wurden kommerzielle Messgeräte, Typ Nor 140 von Norsonic, verwendet. Die Luftschallanregung erfolgte an 2 verschiedenen, fixen Positionen im Senderraum mittels eines Dodekaeder-Lautsprechers. Als Anregungssignal wurde breitbandiges Rosa Rauschen verwendet. Zur Verbesserung des Grundgeräuschabstands wurden bei einigen Messungen einzelne Terzbänder sequenziell nachgemessen, d.h. die Energie des Anregungssignals ist auf ein einzelnes angeregtes Terzband konzentriert. Die zeitlich sowie räumlich gemittelten Sende- und Empfangsraumpegel wurden für den Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz erfasst. Bei jeder Messung werden Sende- und Empfangsraum getauscht und die Schalldämm-Masse in beide Richtungen bestimmt. Diese beiden Spektren der Schalldämm-Masse wurden arithmetisch gemittelt. Die in diesem Forschungsprojekt verwendeten Schalldämm-Masse stellen somit richtungsgemittelte Schalldämmungen bezüglich der Luftschallanregung dar.

Die für die Normierung des Empfangsraumpegels benötigte Nachhallzeit wurde mittels des Sweep-Sine Verfahrens bestimmt. Die Anregung erfolgte an zwei verschiedenen Positionen. Der Pegelabfall wurde jeweils an 6 Mikrofonpositionen für die beiden Lautsprecherpositionen bestimmt.

Die Erfassung des Trittschallpegels im Empfangsraum erfolgte analog zu der Luftschallmessung mittels eines Drehmikrofons gemäß EN ISO 10848. Der Boden wurde mit einem Norm-Hammerwerks an sechs verschiedenen Positionen über jeweils 60 Sekunden angeregt.

4. Prüfobjekte

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde unter anderem ein T-Stoß bestehend aus flankierenden Holzständerwänden mit einer Holz-Beton-Verbund-Rippendecke als Trenndecke untersucht. Zusätzlich wurde die Verbesserung von einigen repräsentativen Boden-, Wand- und Deckenaufbauten ermittelt und als Rechenwerte für einen Bauteilkatalog aufbereitet.

4.1. Grundstoß

Der «Grundstoß» ist eine lastabtragende T-Stoßstelle von zwei Holzständerwänden mit einer Trenndecke. Die Trenndecke des Grundstoßes besteht aus einer Holzbeton-Verbunddecke mit Vollholzrippen und einer direkt darunter befestigten Schale als Brandschutz-Beplankung.

Detailliert ist der Aufbau von oben nach unten:

- 70 mm bewehrter Normalbeton (schubsteif mit Holzrippen verbunden)
- 12 mm Holzwerkstoffplatte (OSB)
- 260 mm x 80 mm Vollholzrippen im Abstand von 440 mm:
dazwischen im Gefach: 180 mm Mineralfaserdämmung
- 15 mm Gipsfaserplatte nach EN 15283 als brandschutztechnische Beplankung, 1-lagig, direkt mit Rippen verschraubt (17.6 kg/m²)

Die Holzbeton-Verbunddecke besteht aus zwei Fertigelementen, die im Prüfstand nebeneinandergesetzt und deren Bewehrung an zwei Punkten mit Laschen verschweißt wurde. Die Fuge verlief in der Mitte der Decke parallel zu den Vollholzrippen. Nach dem Einbau der Decke wurde sie mit Dämmmaterial ausgestopft und mit Mörtel vergossen.

Die Wände des Grundstoßes sind Standard-Holzständerwände, wie sie in der Regel als Grundkonstruktion für Außen- und Gebäudetrennwände verwendet werden. Der Aufbau von innen nach außen ist wie folgt:

- 15 mm Holzwerkstoffplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk geklammert
- 240 mm Holztragwerk mit Ständerwerk 60 mm x 240 mm und 625 mm Achsabstand, dazwischen:
240 mm Wärmedämmung aus Mineralwolle, Wärmeleitfähigkeit <0.035 W/mK und Strömungswiderstand >5 kPa/s m²
- 15 mm Gipsfaserplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk geklammert

Die Vollholzrippen der Trenndecke liegen am Stoß auf der unteren Wand in einem ausgefalteten Sturz auf. Das Stirnholz am Sturz ist aus Furnierschichtholz gefertigt. An den beiden Enden der Decke befinden sich zwischen den Vollholzrippen Querplatten zur Aussteifung. An beiden vorgefertigten Deckenfertigelementen wurde an drei Rippen, zwei Außen und an einer in der Mitte, jeweils ein Metallwinkel zwischen der Rippe und Querplatten angebracht. Durch diese Winkel und die Querplatten wurden anschließend die Deckenelemente mit dem Stirnholz der unteren Wand durch jeweils zwei lange Schrauben verbunden. Die obere Wand steht auf der Außenseite der unteren Wand auf. Als Höhenausgleich wurde hier eine weitere Holzwerkstoffplatte zwischen dem Ober- und Untergurt des unteren und oberen Wandrahmens eingebracht. Die Rahmen der beiden Wandelemente wurden anschließend an jedem Ständer an der Außenseite des Stoßes schräg von oben mit einander verschraubt.

4.2. Bodenaufbauten

Es wurde die Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung von zwei üblichen Bodenaufbauten untersucht.

Tabelle 2: Übersicht der untersuchten Fußbodenaufbauten mit Beschrieb von oben nach unten.

Bodenaufbau 1: schwimmender Anhydritestrich	Bodenaufbau 2: schwimmender Trockenestrich
<ul style="list-style-type: none"> - 55 mm Anhydritestrich, flächenbezogene Masse 114.5 kg/m² - Abdichtungsfolie - 17 mm Trittschalldämmung, Mineralfaser 20/17 mm, dynamische Steifigkeit 9 MN/m³ - 30 mm Zusatzdämmung, expandiertes Polystyrol (EPS), gewalkt 	<ul style="list-style-type: none"> - 25 mm Gipsfaserplatte, flächenbezogene Masse 31.6 kg/m² - 22 mm Trittschalldämmung, Holzweichfaserplatte 22 mm, dynamische Steifigkeit 45 MN/m³

Der schwimmende Estrich wurde vor Ort gegossen. Beide Aufbauten waren ringsum von den aufgehenden Wänden des Prüfobjekts und des Prüfstands wie bauüblich mit einem Stellstreifen aus Mineralfaserdämmung entkoppelt.

4.3. Deckenaufbauten

Neben dem ursprünglichen Deckenaufbau des Grundstoßes mit der direkt befestigten brandschutztechnischen Schale aus Gipsfaserplatten wurden weitere bauübliche Deckenvarianten untersucht.

Tabelle 3: Übersicht der untersuchten Deckenaufbauten mit Beschrieb von oben nach unten.

Deckenaufbau 1: Unterdecke unterhalb brand- schutztechnischer Beplankung	Deckenaufbau 2: ohne Deckenbekleidung	Deckenaufbau 4 bis 6: akustische Unterdecke aus Gipsplatten unterhalb Rohdecke
<ul style="list-style-type: none"> – 15 mm Gipsfaserplatte nach EN 15283 als brandschutztechnische Beplankung, 1-lagig, direkt mit Rippen verschraubt (17.6 kg/m²) (Bestandteil des Grundstoßes) – 120 mm Deckenhohlraum mit akustisch entkoppeltem Abhängesystem: Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Metall-Deckenprofil: Dazwischen: 80 mm Hohlraum-Bedämpfung aus Mineralfaserplatten, Strömungswiderstand 6.6 kPa s/m² – 2x 15 mm Hartgipsplatten (GKF), 2-lagig, nach EN 520, flächenbezogene Masse 31.9 kg/m², direkt mit Metall-Deckenprofil verschraubt 	<ul style="list-style-type: none"> – Brandschutz-technische Schale und Mineralfaser zwischen Rippen entfernt, Unterseite der Verbunddecke mit Rippen sichtbar 	<ul style="list-style-type: none"> – Unterseite der Holzbeton-Verbunddecke – 300 mm Deckenhohlraum mit entkoppeltem Abhängesystem: <ul style="list-style-type: none"> ○ 40 mm Direktabhängiger mit Schallschutzgummi und Metall-Deckenprofil an Unterseite der Vollholzrippen befestigt ○ Zwischen den Vollholzrippen: 180 mm Hohlraum-Bedämpfung aus Mineralfaserplatten, $s > 5 \text{ kPa s/m}^2$ – Deckenaufbau 3: 2x 15 mm Gipsplatten (GKB), 2-lagig, $m'' = 24.3 \text{ kg/m}^2$ – Deckenaufbau 4: 2x 15 mm Hartgipsplatten (GKF), 2-lagig, $m'' = 31.9 \text{ kg/m}^2$ – Deckenaufbau 5: 2x 12.5 mm Extra-hartgipsplatten, 2-lagig, $m'' = 35.6 \text{ kg/m}^2$ – Deckenaufbau 6: 2x 15 mm Gipsfaserplatten, 2-lagig, $m'' = 35.2 \text{ kg/m}^2$

Die Deckenaufbauten 3 bis Deckenaufbau 6 unterscheiden nur in dem Material der verwendeten Deckenschale. Die akustisch entkoppelte Abhangkonstruktion sowie die Hohlraumbedämpfung waren identisch.

4.4. Wandaufbauten

Es wurden zwei weitere Wandaufbauten untersucht, deren Aufbau in Tabelle 4 beschrieben sind.

Tabelle 4: Übersicht der untersuchten Wandaufbauten mit Beschrieb von innen nach außen.

Wandaufbau 1: zusätzliche Lage Gipsfaserplatten	Wandaufbau 2: Gipsfaserplatten auf 40 mm Lattung
<ul style="list-style-type: none"> – 15 mm Gipsfaserplatten, 1-lagig, mit Ständerwerk verschraubt, $m'' = 17.8 \text{ kg/m}^2$ – 15 mm Holzwerkstoffplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk verschraubt (Bestandteil des Grundstoßes) 	<ul style="list-style-type: none"> – 15 mm Gipsfaserplatten, 1-lagig, mit Lattung verschraubt, $m'' = 17.8 \text{ kg/m}^2$ – 40 mm vertikale Holzlattung aus 40 mm x 60 mm Latten mit 625 mm Achsabstand, dazwischen: – 40 mm Wärmedämmung aus Mineralwolle, $s > 5 \text{ kPa/sm}^2$

5. Ergebnisse

5.1. Grundstoß

Der Vergleich der nach Abschnitt 2.1 ermittelten Schalldämmmaße des Grundstoßes in Abbildung 7 zeigt sehr deutlich, dass die Direktschalldämmung für den Grundstoß bei tiefen und mittleren Frequenzen sehr viel geringer ist als die aller Nebenwege. Bei hohen Frequenzen hingegen weißt der Wand-Wand-Pfad (Ff) eine ebenso geringe Schalldämmung auf, da die Rahmen der beiden Wände an der Stoßstelle direkt miteinander verbunden sind. So folgt das resultierende Schalldämm-Maß aller Nebenwege des Grundstoßes im Wesentlichen des Schalldämmmaßes des Wand-Wand-Pfades. Im 1600 Hz und 2000 Hz Terzband haben die Wandschalen ihre Koinzidenzgrenzfrequenz und die Schalldämmung des Ff-Pfades ist hier

am geringsten. Der Körperschall muss somit einen «Umweg» über die Vollholzrippen nehmen, was mit einer weiteren Abnahme an jeder Verbindung zwischen den einzelnen Konstruktionselementen verbunden ist.

Ein ähnliches Verhalten zeigen auch die Norm-Trittschallpegel in Abbildung 7. Da die beiden Bauteile des Nebenwegs recht gut entkoppelt sind, liegt der Norm-Trittschallpegel des Boden-Wand-Pfads in den meisten Frequenzbändern ca. 20 dB unter den Werten der Direktübertragung und spielt somit keine Wesentliche Rolle.

Es macht den Anschein, die Flankenübertragung spielte bei dem Grundstoß nur eine untergeordnete Rolle. Es ist jedoch die Nebenwegübertragung für nur jeweils einen Bauteilstoß dargestellt, während es in einer Gebäudesituation in der Regel an jeder Kante des Bodens eine Stoßstelle gibt. Die resultierende Übertragung aller Nebenwege wäre viermal so groß und die Nebenwegs-Schalldämmung verschlechtert sich um jeweils 6 dB. Des Weiteren sind zur Einhaltung von Schallschutzanforderungen weitere Maßnahmen am Direktbauteil erforderlich.

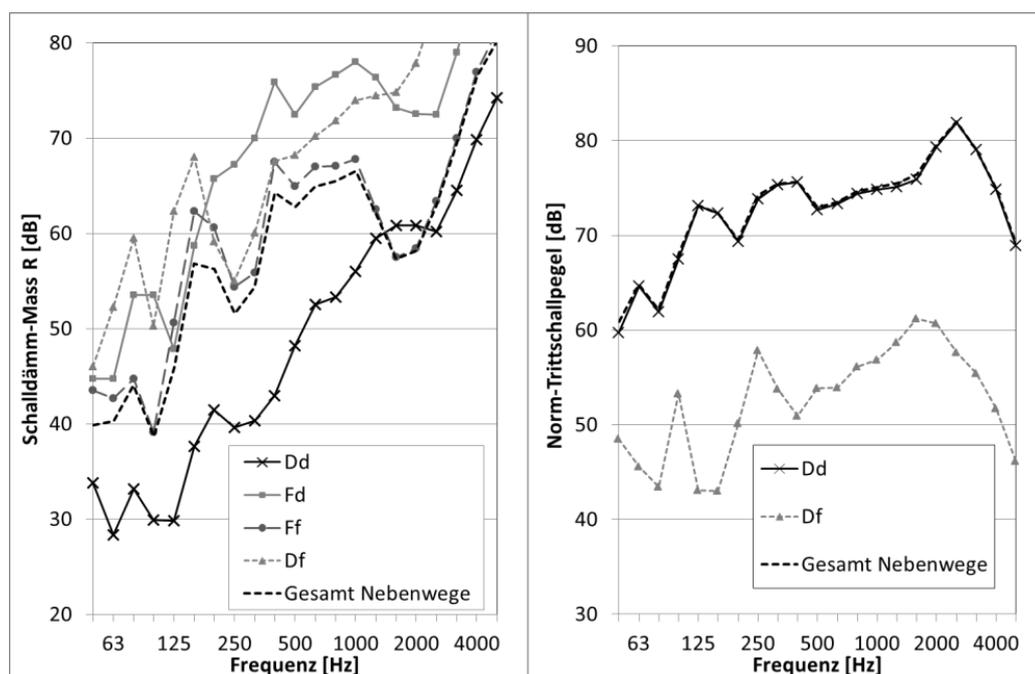


Abbildung 7: Vergleich der Schalldämmmaße R_{ij} (links) und der Norm-Trittschallpegel $L_{n,ij}$ (rechts) für Direkt- und Nebenwege am Grundstoßes und resultierendes Schalldämmmaß aller Nebenwege der Stoßstelle.

5.2. Verbesserungsmasse der Bauteilvarianten

Im Folgenden sind die Verbesserungsmasse der untersuchten Aufbauten dargestellt. Diese sind jedoch auf Grund der hohen Schalldämmung bei hohen Frequenzen durch das Hintergrundgeräusch im Empfangsraum limitiert, in diesem Bereich wurden die dargestellten Rechenwerte für den Bauteilkatalog konservativ als konstant angenommen. Die Messwerte weisen außerdem Spitzen oder Einbrüche auf, die in der Regel auf Besonderheiten bei der vorliegenden Raumgeometrie oder des Messaufbaus zurückzuführen sind. Die Rechenwerte für den Bauteilkatalog sind durch eine laufende energetische Mittelung der Kehrwerte der Verbesserungsmasse, wie bei Schalldämmmaßen, mit den danebenliegenden Terzbändern geglättet, was im Prinzip einer Mittelung einer großen Anzahl von Messwerten aus verschiedenen Messaufbauten entspricht. Der Frequenzbereich der Masse-Feder-Resonanz bei tiefen Frequenzen ist jedoch von der Mittelung ausgenommen, um die Werte in diesem Bereich nicht zu verfälschen.

5.2.1. Bodenaufbauten

Die für den Bauteilkatalog ermittelten Rechenwerte der Verbesserungsmaße der Bodenaufbauten sind in Abbildung 8 dargestellt. Links sind die Werte für den Aufbau 1 mit schwimmendem Anhydritestrich und rechts für den Aufbau 2 mit einem Trockenestrich dargestellt. Der schwimmende Anhydritestrich hat seine Resonanz im 50 Hz Terzband. In

diesem Bereich stimmen alle Verbesserungsmasse relativ gut überein, das Verbesserungsmasse für die flankierende Luftschallübertragung ist etwas geringer als die übrigen und schon bei ca. 20 dB durch die Messung limitiert und als konstant angenommen. Die übrigen Verbesserungsmasse steigen weiter an, wobei die Verbesserung für die flankierende Trittschallübertragung durch eine verbesserte Körperschallausbreitung durch die Estrichplatte geringer als die übrigen Verbesserungsmasse ausfallen. Der Einbruch bei 250 Hz bei der direkten Luftschallübertragung ist durch die Koinzidenzgrenzfrequenz der Estrichplatte verursacht.

Aufbau 2, der dünne schwimmende Trockenestrich, verhält sich erfahrungsgemäss auf einer wesentlich steiferen Decke, wie ein lokal reagierender Bodenaufbau. Das heisst, er verbessert die Schalldämmung, in dem er die Anregung verändert, und hat keinen Einfluss auf die Körperschallausbreitung im Bauteil. Daher wurden in diesem Fall nur Verbesserungsmasse für die Direktübertragung bestimmt, die auch für die Prognose der Nebenwege gültig sind. Durch die geringere Masse und steifere Trittschalldämmung ist die Resonanzfrequenz bei 80 Hz-100 Hz deutlich höher, wobei das Verbesserungsmasse sogar eine Verschlechterung der Luftschalldämmung aufweist. Daher ist dieser Aufbau für den tieffrequenten Schallschutz nur unzureichend geeignet. Oberhalb dieser Frequenz steigen die Verbesserungsmasse an, aber sind jedoch geringer als beim Anhydritestrich.

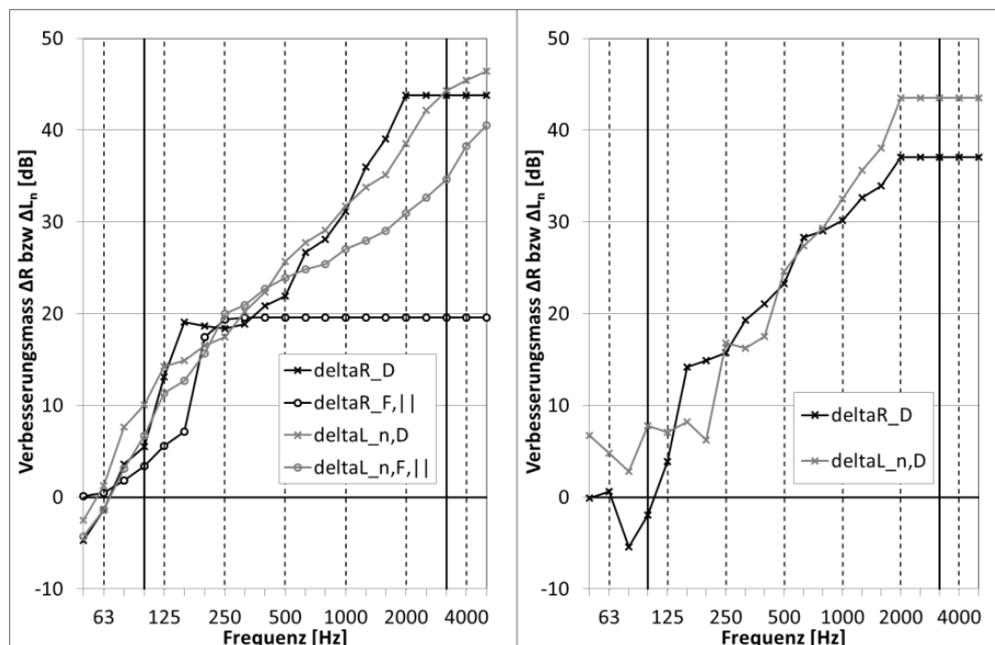


Abbildung 8: Rechenwerte der Verbesserungsmasse der Luft- und Trittschalldämmung durch Bodenaufbauten: Aufbau 1 «Anhydritestrich» (links), Aufbau 2 «Trockenestrich» (rechts)

5.2.2. Deckenaufbauten

Die Verbesserungsmasse der beiden Deckenaufbauten 1 und 4, beide mit einer Schale aus Hartgipsplatten (GKF) sind in Abbildung 9 dargestellt. Bei dem Aufbau 1 auf der linken Seite ist eine 120 mm geschlossene Abhangdecke unterhalb einer brandschutztechnischen Beplankung aus Gipsfaserplatten die direkt auf den Rippenbefestigt ist, angeordnet. Bei Aufbau 2 wurde diese entfernt und die Decke ca. 40 mm unterhalb der Rippen, also mit einem effektiven Decken-Hohlraum von 300 mm, angebracht. Durch die Erhöhung des Hohlraumes verschiebt sich die Resonanzfrequenz leicht zu noch tieferen Frequenzen unterhalb von 50 Hz. Im weiteren Verlauf ist der Trend der Verbesserungsmasse bei beiden Aufbauten ähnlich. Die Verbesserung ist wie erwartet gleich für Luft und Trittschalldämmung, für die flankierende Luftschallübertragung jedoch etwas geringer. Oberhalb von 250 Hz steigen die Verbesserungsmasse für Direkt-Übertragung bei Aufbau 4 jedoch durch Resonanzen im tiefen, relativ gering bedämpften Deckenhohlraum nicht weiter an. Des Weiteren wurde an diesem Aufbau eine Parameterstudie mit verschiedenen Plattenmaterialien durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 rechts als mittlere Differenzen der Verbesserungsmasse relativ zu Aufbau 4 mit den Hartgipsplatten (GKF) dargestellt. Im Mittel ergibt sich für Aufbau 3 mit der leichteren Gipsplattenschale (GKB)

eine geringfügige Verschlechterung von circa 2 dB. Bei Aufbau 5 mit den etwas schwereren Extrahartgipsplatten ergibt sich eine Verbesserung von ca. 2 dB. Bei Aufbau 6 mit etwa gleich schweren Gipsfaserplatten wie bei Aufbau 5 ergibt sich bei tiefen Frequenzen eine ähnliche Verbesserung. Im mittleren und hohen Frequenzbereich ergibt die Verschiebung der Koinzidenzfrequenz jedoch erst eine Verschlechterung und dann eine Verbesserung. Das bedeutet, wenn man die Werte von Aufbau 4 mit Hartgipsplatten für die Prognose für Aufbauten mit Extrahartgipsplatten und Gipsfaserplatten verwendet sind die Ergebnisse eher als konservativ und bei der Prognose von Aufbauten mit Gipsplatten (GKB) eher als optimistisch einzuschätzen. Die Resonanzfrequenz aller abgehängten Aufbauten liegt bei unter 50 Hz, somit ist die Maßnahme sehr gut auch für den tieffrequenten Schallschutz geeignet

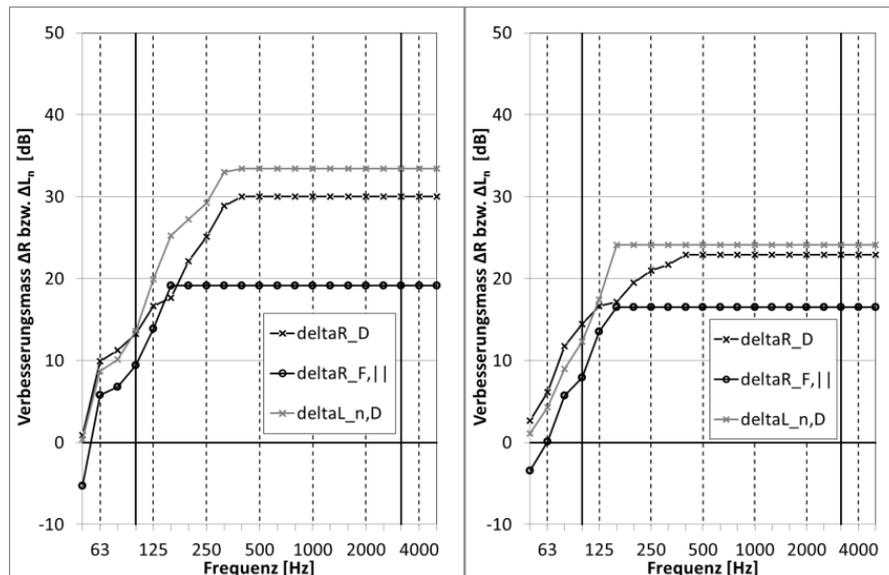


Abbildung 9: Rechenwerte der Verbesserungsmasse der Luft- und Trittschalldämmung durch Deckenaufbauten: Aufbau 1 «Abhängecke unter Brandschutzbeplankung» (links), Aufbau 4 «Abhängecke aus Hartgipsplatten (GKF) unter Rohdecke» (rechts)

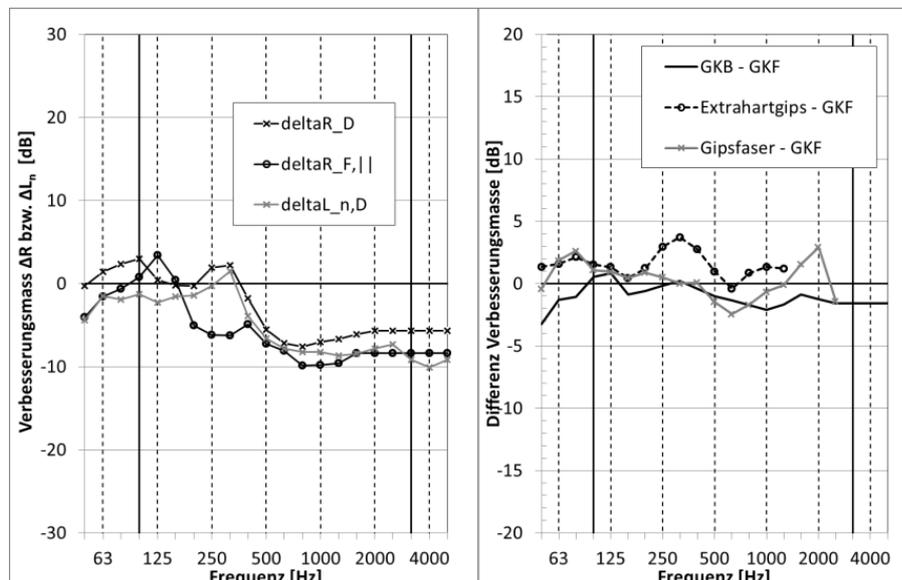


Abbildung 10: Rechenwerte der Verbesserungsmasse der Luft- und Trittschalldämmung durch Deckenaufbauten und Einfluss der Beplankung;

Links: Aufbau 2 «Rohdecke sichtbar»

Rechts: Unterschiede in den Verbesserungsmassen relativ zu Aufbau 4 mit jeweils zwei Lagen 15 mm Hartgipsplatten (GKF, 16 kg/m²), 15 mm Gipsplatten (GKB, 12 kg/m²), 15 mm Gipsfaserplatten (18.6 kg/m²) und 12.5 mm Extrahartgipsplatten (17.8 kg/m²)

Die Verbesserungsmasse von Aufbau 2 nach dem Entfernen der brandschutztechnischen Beplankung mit sichtbarer Rohdecken-Unterseite sind links in Abbildung 10 dargestellt. Es ergibt sich wie zu erwarten eine Verschlechterung der Schalldämmung von circa 10 dB, diese tritt jedoch bei der Direktübertragung erst oberhalb 315 Hz und bei der flankierenden Übertragung schon oberhalb 160 Hz auf. Darunter hat die brandschutztechnische Beplankung auf Grund ihrer geringen Masse und Steifigkeit keinen signifikanten Einfluss.

5.2.1. Wandaufbauten

Die Verbesserungsmasse der zwei untersuchten Wandaufbauten sind in Abbildung 11 dargestellt. Beide Maßnahmen, bei Aufbau 1 eine zusätzliche Lage Gipsfaserplatten, die direkt auf die Holzwerkstoffplatte geschraubt sind und bei Aufbau 2 eine Lage Gipsfaserplatten auf einer Lattung mit einem geringen Zwischenraum ergeben in etwa dieselbe Verbesserung. Bei Aufbau 1 ist diese jedoch höher als man durch die Erhöhung der Masse der Beplankung erwarten würde und ist vor allem auch in der Verstimmung der Koinzidenzfrequenz begründet. Bei Aufbau 2 entstehen durch den geringen Schalen-Abstand zusätzliche Resonanzen im Bereich von 125 Hz bis 500 Hz, die dort die Verbesserung limitieren.

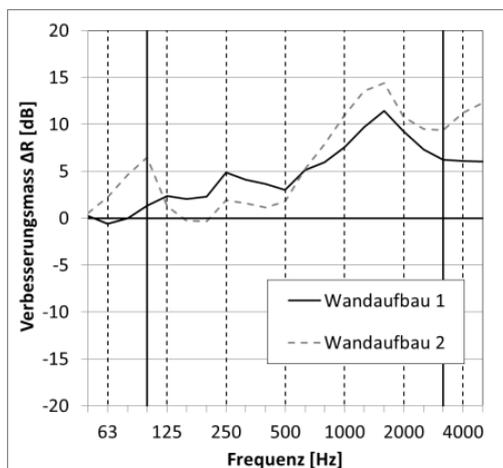


Abbildung 11: Rechenwerte der Verbesserungsmasse der flankierenden Luft- und Trittschalldämmung durch Wandaufbauten: Aufbau 1 «zusätzliche Lage Gipsfaserplatten» (links), Aufbau 2 «Vorsatzschale mit Gipsfaserplatten» (rechts).

5.3. Bausituation

Basierend auf der vorgestellten Datengrundlage wurde die erreichbare Luft- und Trittschalldämmung in Einzahlangaben exemplarisch für eine Bausituation mit Kombination der verschiedenen Maßnahmen abgeschätzt und in Tabelle 4 dargestellt. Es wurden zwei Räume übereinander mit jeweils einer Grundfläche von 4 m x 5 m angenommen. Die Schalldämmung wurde für die Direktübertragung, und unter Annahme eines T-Stoß an 4, 3 und 2 Bodenkanten angenommen. Diese Situation entspricht somit Bausituationen, bei denen entweder alle 4 Wände gekoppelt, bzw. 1 oder 2 Wände schalltechnisch von der Rohdecke, zum Beispiel bei nichttragenden Innenwänden die nur bis zur Abhangdecke reichen, entkoppelt sind.

Es wird in der ersten Spalte deutlich, dass zum Teil sehr hohe Werte für die Direktschalldämmung der Decke erreicht werden können. Diese Werte relativieren sich jedoch in den folgenden Spalten, wenn die Flankenübertragung berücksichtigt wird. Ebenso zeigen die Spektrum-Anpassungswerte, dass es nur wenig Kombinationen gibt, die eine ausreichende Schalldämmung auch im tiefen Frequenzbereich bieten.

6. Schlussfolgerung

In dem Referat wurde die Vorgehensweise vorgestellt, die für die Ermittlung von Eingangsdaten für die Prognose der Luft- und Trittschalldämmung angewandt wird. Die dazu erforderlichen Messmethoden sind im Prinzip recht einfach und robust. Bei der Ermittlung der Messdaten für die Prognoserechnungen sind zahlreiche Messungen in einem Prüfstand notwendig, der Aufwand reduziert sich jedoch enorm bei einer effizienten Planung der Messserie und intelligenten Datenauswertung. Die ermittelten Verbesserungsmasse von

zusätzlichen Maßnahmen sind in der Regel unabhängig von der Ausführung der Stoßstelle. So können sie, wenn sie einmal für jedes Bauteil ermittelt sind auf andere Stoßstellen und bzw. Kombinationen von Bauteilen angewandt werden. So wird die Anzahl der prognostizierbaren Situation signifikant erhöht. Der limitierende Faktor bei der Prognose ist die limitierte Anzahl von Stoßstellen, die bisher auf diese Weise charakterisiert wurden. Im weiteren Verlauf des Projekts ist geplant weitere Stoßstellen und deren Modifikation zu untersuchen und so gegebenenfalls auf deren Einfluss auf die Luft- und Trittschalldämmung schließen und prognostizieren zu können.

Tabelle 4: Prognostizierte Einzahlangaben und Spektrums-Anpassungswerte R'_w (C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{tr,50-3150}$) und $L'_{n,w}$ (C_r , $C_{i,50}$) der Luft- und Trittschalldämmung für eine exemplarische Bausituation mit zwei Räumen (Grundfläche 5m x 4m) übereinander in Abhängigkeit der Anzahl der Stoßstellen und ausgewählter Kombinationen von Boden-, Wand- und Deckenaufbauten.

Boden-/Deckenaufbau	Direkt-Schall-dämmung	Bauschalldämmung R'_w (C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{tr,50-3150}$) und $L'_{n,w}$ (C_r , $C_{i,50}$)									
		Grundwand			Wandaufbau 1			Wandaufbau 2			
		4 Stöße	3 Stöße	2 Stöße	4 Stöße	3 Stöße	2 Stöße	4 Stöße	3 Stöße	2 Stöße	
Bodenaufbau 1	Grunddecke	67 (-5,-13, -8,-20) 51 (-1, 3)	54 (-1,-6, -2,-10)	55 (-1,-6, -2,-10)	57 (-2,-7, -3,-12)	63 (-4,-12, -7,-18)	64 (-5,-13, -7,-19)	65 (-5, -13, -8, -19) 51 (-1, 3)	62 (-3,-10, -5,-16)	62 (-2,-9, -5,-16)	63 (-3,-10, -5,-17)
	Decke 1	87 (-10,-19, -20,-33) 26 (4, 22)	55 (-1,-5, -2,-9)	56 (-1,-5, -2,-9)	58 (-2,-6, -2,-10)	67 (-5,-13, -8,-19)	68 (-5,-13, -8,-19)	69 (-4, -12, -8, -19) 35 (3, 16)	65 (-2,-7, -4,-15)	66 (-2,-7, -4,-16)	68 (-2, -8, -5,-17)
	Decke 2	68 (-4,-11, -8,-20) 56 (-4, 0)	54 (-2,-5, -2,-10)	55 (-2,-6, -3,-10)	56 (-1,-5, -2,-10)	62 (-3,-10, -6,-17)	63 (-3,-10, -6,-17)	64 (-4, -11, -6, -18) 56 (-4, 1)	61 (-2,-7, -4,-15)	62 (-2,-8, -4,-15)	63 (-2,-8, -5,-16)
	Decke 3	86 (-8,-17, -19,-33) 30 (3, 18)	55 (-1,-5, -2,-8)	56 (-1,-5, -2,-8)	58 (-2,-6, -2,-9)	67 (-5,-13, -7,-19)	68 (-5,-13, -8,-19)	69 (-4, -12, -7, -19) 35 (2, 16)	65 (-2,-7, -4,-15)	66 (-2,-7, -4,-15)	68 (-2,-7, -5,-17)
Bodenaufbau 2	Grunddecke	63 (-8,-16, -9,-19) 55 (1, 1)	53 (-2,-8, -3,-11)	54 (-2,-9, -3,-12)	55 (-3,-9, -4,-12)	61 (-7,-15, -8,-18)	61 (-7,-15, -8,-18)	62 (-8, -16, -9, -19) 55 (1, 1)	59 (-5,-13, -6,-16)	60 (-6,-13, -7,-17)	60 (-6,-13, -7,-17)
	Decke 1	79 (-10,-18, -13,-25) 32 (3, 10)	55 (-1,-6, -2,-8)	56 (-1,-5, -2,-9)	58 (-2,-6, -3,-9)	67 (-6,-14, -8,-19)	67 (-5,-13, -7,-18)	69 (-6, -14, -8, -19) 38 (2, 7)	64 (-2,-8, -4,-14)	65 (-2,-8, -4,-14)	67 (-3,-9, -5,-16)
	Decke 2	64 (-7,-15, -9,-18) 58 (0, 0)	53 (-2,-7, -3,-10)	54 (-2,-7, -3,-10)	55 (-2,-8, -3,-11)	61 (-6,-13, -7,-17)	61 (-6,-13, -7,-17)	62 (-6, -14, -8, -17) 58 (0, 0)	59 (-4,-11, -5,-14)	60 (-4,-11, -6,-15)	61 (-5,-12, -6,-16)
	Decke 3	79 (-9,-17, -13,-25) 35 (2, 9)	55 (-1,-5, -2,-8)	56 (-1,-5, -2,-8)	58 (-2,-6, -3,-9)	67 (-6,-14, -8,-19)	68 (-6,-14, -8,-19)	69 (-6,-14, -8,-19) 39 (1, 7)	64 (-1,-7, -3,-13)	65 (-2,-8, -3,-14)	67 (-2,-9, -5,-15)

7. Danksagung

Die vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des Projektes «Schallschutz im Holzbau» der Lignum Holzwirtschaft Schweiz und ihren Industriepartnern durchgeführt. Das Projekt wird durch den «Aktionsplan Holz» des Bundesamts für Umwelt (BAFU) der Schweizerischen Eidgenossenschaft gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung.

8. Referenzen

- [1] «EN 12354-1: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen», 2000
- [2] «EN 12354-2: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen», 2000
- [3] «prEN ISO 12354-1: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen (ISO/DIS 12354-1:2016)», 2016
- [4] «prEN ISO 12354-2: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen (ISO/DIS 12354-2:2016)», 2016
- [5] «Bauteilkatalog Schallschutz als integrierte BIM Lösung», Hansueli Schmid, Tagungsband 8. HolzBauSpezial Bauphysik, Bad Wörishofen, 2017
- [6] «Measurement of flanking sound transmission at low frequencies with a laser doppler vibrometer», Stefan Schoenwald, Hans-Martin Tröbs, Armin Zemp, Euro-noise 2015, Maastricht