

# Flankenübertragung an Holzbetonverbund-Decken – Eingangsdaten für ein Designtool

Stefan Schoenwald  
Empa Materials Science and Technology  
Dübendorf, Schweiz





# Flankenübertragung an Holzbetonverbund-Decken -Eingangsdaten für ein Designtool

## 1. Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Schallschutz im Holzbau“ der Lignum Holzwirtschaft Schweiz untersucht die Empa experimentell die Schallübertragung von üblichen Holzbaukonstruktionen in der Schweiz und entwickelt ein online Planungstool, welches die gewonnenen Daten Planern und Ingenieuren möglichst intuitiv zur Prognose zur Verfügung stellt. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Luft- und Trittschalldämmung innerhalb eines Gebäudes zwischen Nutzungseinheiten. Die Strategie liegt darin, die schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen und Verbindungen so zu ermitteln, dass diese Daten anschliessend in einer Art „Baukastensystem“ kombiniert werden können, um die Direkt- und Flankenübertragung in Gebäuden rechnerisch zu ermitteln. Das angewandte Mess- und Prognoseverfahren zur Ermittlung der Eingangsdaten wurde bereits beschrieben [1]. Es ist an die normierten Verfahren der EN 12354 angelehnt [2,3].

Es gibt zwei Herausforderungen im Projekt. Zum einen sind es die mangelnden und zum Teil für manche üblichen Holzbauweisen gar nicht vorhandenen schalltechnischen Eingangsdaten für die Prognoseberechnung, da die Planung und Auslegung des Schallschutzes bisher oft auf der Erfahrung der Planer beruht. Die Herausforderung in diesem Teil ist vor allem der immense zeitliche und materielle Aufwand zur Durchführung der Studien. Die zweite weitaus größere der beiden Herausforderungen ist jedoch der Wissenstransfer um diese Daten auch einem breiten Anwenderkreis, der zum Teil über keine akustische Fachausbildung verfügt, verständlich und verfügbar zu machen. In diesem Beitrag wird auf beide Herausforderungen eingegangen.

## 2. Schalldämmung in Holzgebäuden

### 2.1. Übertragungswege

Die Schalldämmung zwischen benachbarten Räumen in Gebäuden resultiert aus der sogenannten direkten Schalldämmung des Trennbauteils, sowie der Flankenübertragung über eine Anzahl von Nebenwegen, wie in Abbildung 1 für die Stossstelle, einem sogenannten T-Stoss einer Trenndecke mit zwei flankierenden Aussenwänden dargestellt ist.

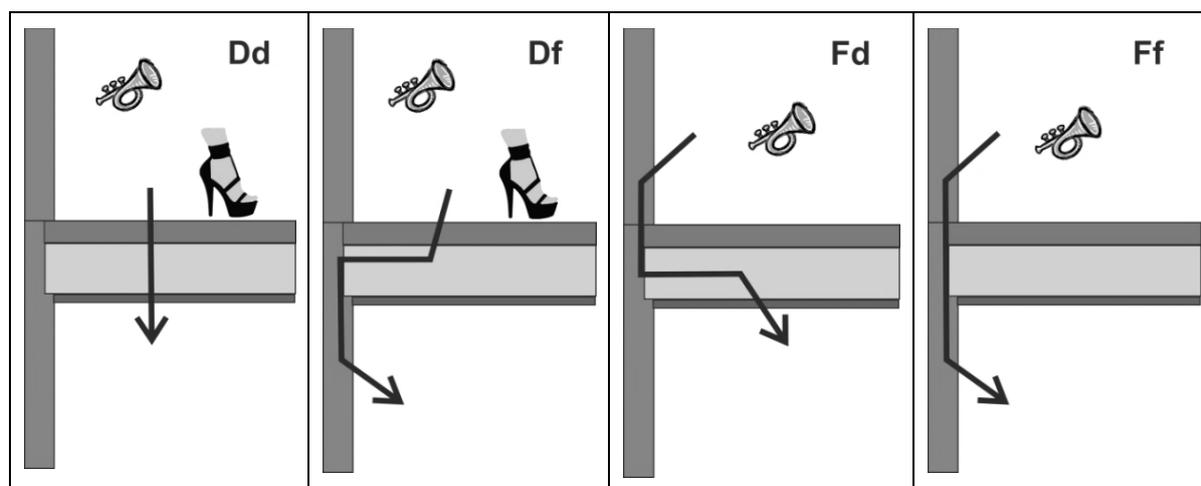


Abbildung 1: Schematische Darstellung der relevanten Übertragungswege (Direkt und primäre Nebenwege) eines Boden-Wand-T-Stoßes für Luft- und Trittschallanregung. Die Bezeichnung der Nebenwege entspricht dem Schema der EN 12354.

Bei den Nebenwegen werden Bauteile, die mit dem Trennbauteil verbunden sind im Senderraum angeregt oder strahlen Schall im Empfangsraum ab. An dem Bauteilstoss, der Verbindung zwischen den Bauteilen, wird hierbei Körperschall zwischen den gekoppelten Bauteilen übertragen. Für die Luftschallübertragung gibt es an jeder Stosstelle drei Nebenwege („Df“, „Fd“ und „Ff“) und für Trittschallübertragung jeweils nur einen zusätzlichen Weg („Df“), da hier nur der Fussboden angeregt wird. Die Bezeichnung erfolgt gemäss EN ISO 12354, wobei „D“ bzw. „d“ das direkte Bauteil und „F“ bzw. „f“ die Flanke bezeichnet. Grossbuchstaben stehen für den Senderraum und Kleinbuchstaben für den Empfangsraum. Bei einem rechteckigen Raumgrundriss mit 2 Räumen übereinander gibt es also insgesamt 12 zusätzliche Nebenwege für die Luftschallübertragung und nur vier für den Trittschall.

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  $L'_n$  wird der Norm-Trittschallpegel  $L_{n,Dd}$  der Direktübertragung und des Nebenwegs  $L_{n,Df}$  der vier Stoßstellen energetisch aufsummiert.

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

## 2.2. Prognoserechnung

Das Ziel der Prognoserechnung ist es nun die Luft- und Trittschallübertragung der einzelnen Nebenwege hinreichend genau zu berechnen, damit sie mittels den Gleichungen 1 und 2 energetisch auf bilanziert werden können.

Die Schalldämmung eines Nebenwegs hängt hierbei zum einen von der Anregbarkeit des Bauteils im Senderraum, der Körperschallübertragung innerhalb dieses Bauteils, der Körperschallübertragung an der Verbindung zwischen den Bauteilen am Bauteilstoss, der Körperschallausbreitung im Bauteil auf der Empfangsseite, sowie dessen Luftschallabstrahlung ab. Eine detaillierte getrennte Beschreibung der fünf Mechanismen ist für jede einzelnen Kombination von Bauteilen und jeden Übertragungsweg nicht einfach möglich und für ein Ingenieursmodell auch gar nicht nötig. Die Strategie der Empa besteht darin die Luft- und Trittschalldämmwerte für typische Bauteile und Bauteilstöße zu ermitteln. Es wird zunächst die Schalldämmung von sogenannten Grundbauteilen bzw. Grundstößen, das heisst von Bauteilen ohne zusätzliche Vorsatzschalen oder andere schalltechnische Massnahmen, betrachtet. In einem zweiten Schritt wird die Verbesserung der Schalldämmung durch eben diese Massnahmen an Hand von sogenannten Verbesserungsmassen zu der Schalldämmung des Grundstosses hinzugerechnet. Hierbei muss jedoch sichergestellt werden, dass diese Verbesserungsmasse kompatibel zu den Grundbauteilen, den jeweiligen Übertragungswegen und die betrachtete Anregungssituation sind. Das Verfahren ist beispielhaft für den Weg „Df“ in Abbildung 2 dargestellt. Anschliessend werden die so ermittelten Schalldämmmasse und Normtrittschallpegel der Nebenwege, unter Berücksichtigung des Verhältnisses der jeweiligen Bauteilstosslängen zur Fläche des Trennbauteils auf die zu prognostizierende Bausituation angepasst und schliesslich energetisch aufbilanziert. Die Berechnungen werden jeweils mit frequenzabhängigen Daten im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5 kHz durchgeführt. Das Verfahren wurde bereits detailliert in [1] beschrieben.

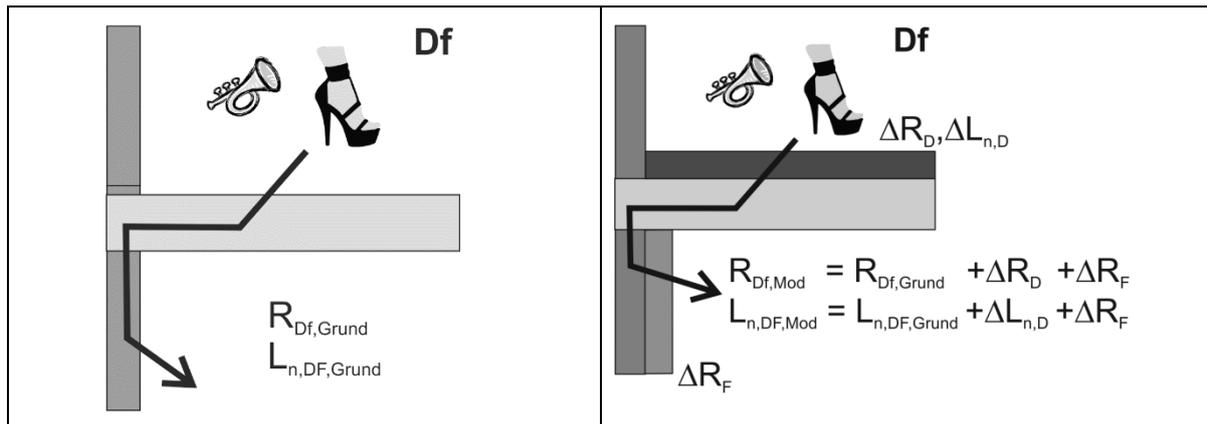


Abbildung 2: Ermittlung des Flankenschalldämm-Mass  $R_{Df,Mod}$  und des Flanken-Normtrittschallpegels  $L_{n,Df}$  aus den Daten des Grundstosses (links) und mit der Berücksichtigung der Verbesserungsmasse für einen zusätzlichen Fussbodenaufbau  $\Delta R_D$  bzw.  $\Delta L_{n,D}$  und das einer Wandvorsatzschale  $\Delta R_F$  (rechts).

### 3. Ermittlung von Eingangsdaten

#### 3.1. Durchführung der Untersuchungen

Die Eingangsdaten für die Prognose werden zurzeit experimentell in verschiedenen Versuchsaufbauten in den Labors der Empa ermittelt.

Im Empa Leichtbaulabor [4], wo ganze Gebäudesegmente mit bis zu vier Räumen - mit zwei im Erdgeschoss und zwei darüber - aufgebaut und untersucht werden können, wurde die Luft- und Trittschallübertragung am Bauteilstoss gemäss EN ISO 10848 [5] und abgewandten Methoden [6, 7] untersucht. Der Empa Leichtbauprüfstand ist in Abbildung 3 exemplarisch dargestellt.

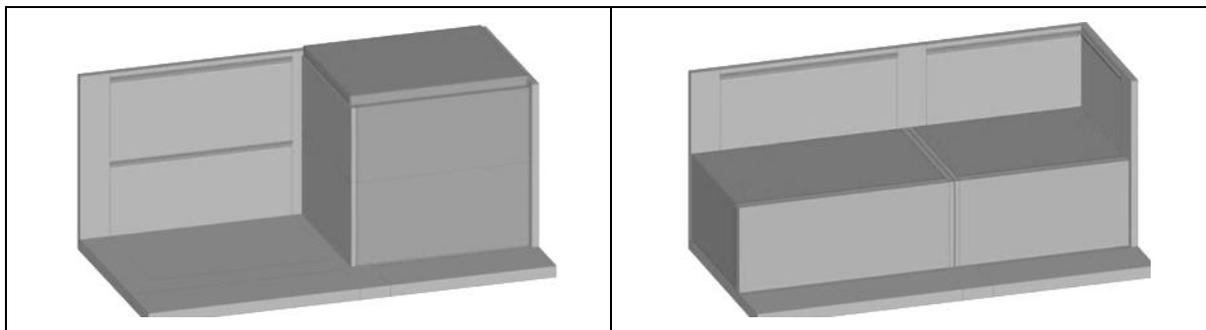


Abbildung 3: Dreidimensionale Prinzipdarstellung der Geometrie des Leichtbauprüfstands mit der massiven Grundkonstruktion, den eingebauten Prüfkörpern und den versetzbaren Default-Abschlusselementen. Der linke Bildteil zeigt den Prüfstandaufbau für die Messung der vertikalen Schallübertragung, der rechte Bildteil zeigt den Prüfstandsaufbau für die Messung der horizontalen Schallübertragung.

Parameterstudien zur direkten Luftschalldämmung von Holzwänden wurden im akkreditierten Wandprüfstand der Empa gemäss EN ISO 10140-2 [8] durchgeführt. Hier wurde die Schalldämmung der Grundkonfiguration der Wand bestimmt und anschliessend die Verbesserungsmasse durch zusätzliche Wandschalen oder Änderungen der Schalldämmung durch andere einzelne konstruktive Massnahmen, zum Beispiel ein Austausch der Beplankung, ermittelt.

Die direkte Luft- und Trittschalldämmung von Holzdecken, sowie Parameterstudien an schwimmenden Fussbodenaufbauten, zum Beispiel zur Ermittlung des Einflusses der Trittschalldämmplatten oder Kiesschüttungen, wurden bisher ebenfalls im Leichtbauprüfstand gemäss EN ISO 10848 durchgeführt. Hier erwies sich aber der Einbau der Deckenelemente und Fussbodenaufbauten als recht aufwändig und verzögerte die Untersuchungen zur Nebenwegsübertragung. Im Sommer 2018 wurde daher ein neuer akkreditierter Versuchsaufbau zur Untersuchung der Direktschalldämmung von Holzdecken nach EN ISO 10140-2 [8] und EN ISO 10140-3 [9] eingeweiht [10]. Er ist in Abbildung 4 dargestellt und besteht aus zwei entkoppelten Räumen zwischen welche die Trenndecke in einen Prüfraum eingebaut werden kann. Zur einfacheren Montage von vorgefertigten

Deckenelementen kann der obere der beiden Räume komplett mit einem Hallenkran abgehoben werden, so dass sich Umbauzeiten signifikant verkürzen. Für Parameterstudien an Fussbodenaufbauten stehen zwei vollflächige Estrichelemente, d.h. eine Zementestrichplatte und eine Trockenestrichplatte, zur Verfügung, die ebenfalls komplett mit dem Kran eingehoben werden können.

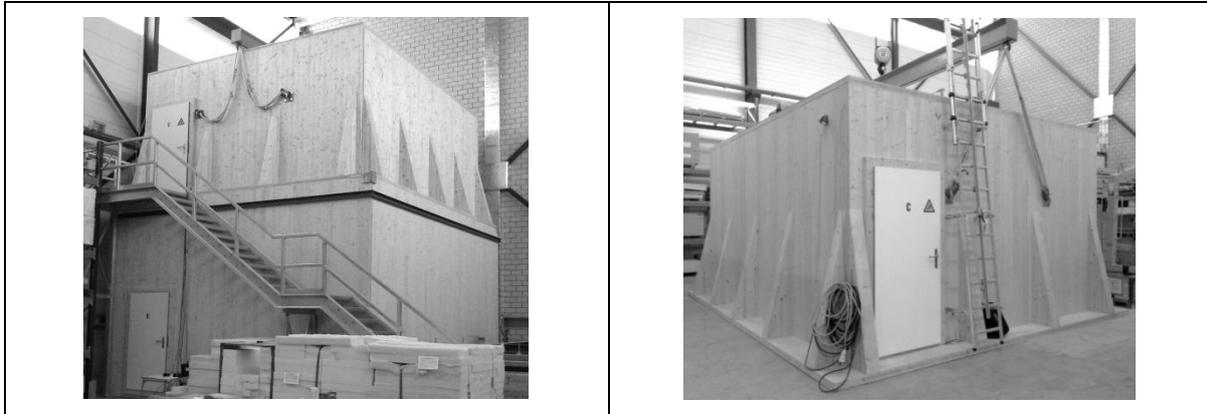


Abbildung 4: Der neue Versuchsaufbau zur Untersuchung der Luft- und Trittschalldämmung nach EN ISO 10140 von leichten Deckenkonstruktionen der Empa. Links: der Prüfstand mit den beiden übereinanderliegenden Räumen, rechts: der komplette obere Raum wird zur Montage von Deckenelementen abgehoben.

### 3.2. Untersuchte Konstruktionen

Von der Vielzahl von möglichen Holzbaukonstruktionen und Übertragungssituation im üblichen mehrgeschossigen Holzbau wurde vor allem die Flankenübertragung zwischen übereinanderliegenden Räumen über lastabtragende Aussenwände als kritisch eingestuft und daher ist das Hauptaugenmerk zuerst auf diese Situationen gerichtet. Eine Übersicht der bisher im Rahmen des Projekts „Schallschutz im Holzbau“ durch die Empa untersuchten Bauteilstöße ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Übersicht der bereits untersuchten Bauteilstöße

Übertragungsrichtung	Stoss	Trennelement	Flankenelement	Elementverbindungen
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Rippendecke	Ständerwände, lastabtragend	starr
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Rippendecke	Massivholzwände, lastabtragend	starr
vertikal	T-Stoss	Brettschichtholz-Decke	Ständerwände, lastabtragend	starr
vertikal	T-Stoss	Brettschichtholz-Decke	Massivholzwände, lastabtragend	starr, entkoppelte Varianten
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Decke	Ständerwände, lastabtragend	starr, entkoppelte Varianten
vertikal	T-Stoss	Holzbetonverbund-Decke	Massivholzwände, lastabtragend	starr, entkoppelte Varianten
vertikal, horizontal	X-Stoss	Holzbetonverbund-Decke	Ständerwände, nicht lastabtragend	starr

Als nächstes sind Untersuchungen an T-Stößen aus Massiv- und Ständerwänden mit einer Hohlkastendecke als Trennelement, sowie einer gewöhnlichen Holzbalkendecke geplant. Bei den Trenndeckensystemen wurden jeweils eine Vielzahl an verschiedenen schwimmenden Fussbodenaufbauten mit unterschiedlichen Trittschalldämm-Matten und Bodenkonstruktionen, Kiesschüttungen zur Beschwerung sowie unterschiedliche Dach- und Dachterrassenaufbauten untersucht. Auf der Unterseite wurden jeweils verschiedene

direkt aufgebrachte Brandschutzbeplankungen aus Gips- oder Gipsfaserplatten, sowie geschlossenen Unterdecken, mit verschiedenen Beplankungen, Unterkonstruktionen und Abhängesystemen untersucht.

Bei den flankierenden Ständerwänden wurde jeweils der Einfluss von verschiedenen Beplankungsmaterialien, Anzahl Schichten aber auch von zusätzlichen Lagen, wie zum Beispiel zusätzliche Vorsatzschalen oder auch Wärmedämmverbundsysteme mit jeweils verschiedenen Aufbauten ermittelt.

## 4. Beispiel Holzbetonverbund-Decke

Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse der Untersuchungen an Bauteilstößen mit einer Holzbetonverbund-Decke vorgestellt.

### 4.1. Konstruktionsdetails

Es wurden zwei Wand-Decken Stöße mit jeweils einer Holzbetonverbund-Decke als Trennbauteil untersucht. Der erste ist ein typischer T-Stoss bei der die Decke am Rand auf einer tragenden 240 mm Holzständerwand aufliegt. Beim dem zweiten Stoss handelt es sich um einen Kreuz-(X-)Stoss mit jeweils einer nichttragenden Innenwand unten und oben.

Die Holzbetonverbund-Decke ist wie folgt von oben nach unten aufgebaut:

- 120 mm bewehrter Ortbeton, über Schubkerven (6 Stück 25mm x 200 mm) und Schrauben (6 Reihen, 8 x 160 mm Verbundschrauben, Abstand 200 mm), schubsteif mit Holz verbunden
- 120 mm Brettstapeldecke, Fichte/Tanne, gedübelt mit stehenden Lamellen

Der Aufbau der lastabtragenden Außenwände ist 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  $m^2$
- 15 mm Gipsfaserplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk geklammert

Die nicht lastabtragenden Innenwände sind jeweils wie folgt aufgebaut:

- 15 mm Gipsfaserplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk verschraubt
- 140 mm Holztragwerk mit Ständerwerk 60 mm x 140 mm und 625 mm Achsabstand, dazwischen:  
140 mm Wärmedämmung aus Mineralwolle, Wärmeleitfähigkeit  $<0.035$  W/mK und Strömungswiderstand  $>5$  kPa/s  $m^2$
- 15 mm Gipsfaserplatte, 1-lagig, direkt mit Tragwerk verschraubt

Bei dem Aussenwand T-Stoss sind im Folgenden zwei Anschlussvarianten näher untersucht.

T-Stoss 1 ist in Abbildung 5 auf der linken Seite dargestellt. Die Decke liegt hierbei auf der unteren Wand in einem ausgefalteten Sturz auf. Das Stirnholz am Sturz ist aus Furnierschichtholz gefertigt und der Brettstapeldecke ist schräg mit dem Stirnholz (6 x 200 mm, Abstand 300 mm) verschraubt. Zusätzlich ist der Ortbeton mit dem Stirnholz der unteren Wand mit Ankern (Verbundschrauben, 6 x 100 mm, Abstand 300 mm), die mit dem Beton vergossen sind, verbunden. Die obere Wand sitzt auf der Kopfschwelle der unteren Wand auf und ist von aussen schräg an jedem Ständer mit der unteren verschraubt. Zwischen der oberen Wand und der Betondecke wurde ein Holzstreifen zum Höhenausgleich eingelegt. Dieser Anschluss entspricht der Standardverbindung bei dem Anschluss der Decke in der statischen Spannrichtung.

Bei dem T-Stoss 2 in der Abbildung 5 auf der rechten Seite ist die untere Wand nicht mit Betonankern mit der Decke verbunden. Diese Variante war für den Anschluss an eine Aussenwand parallel zur Hauptspannrichtung angedacht.

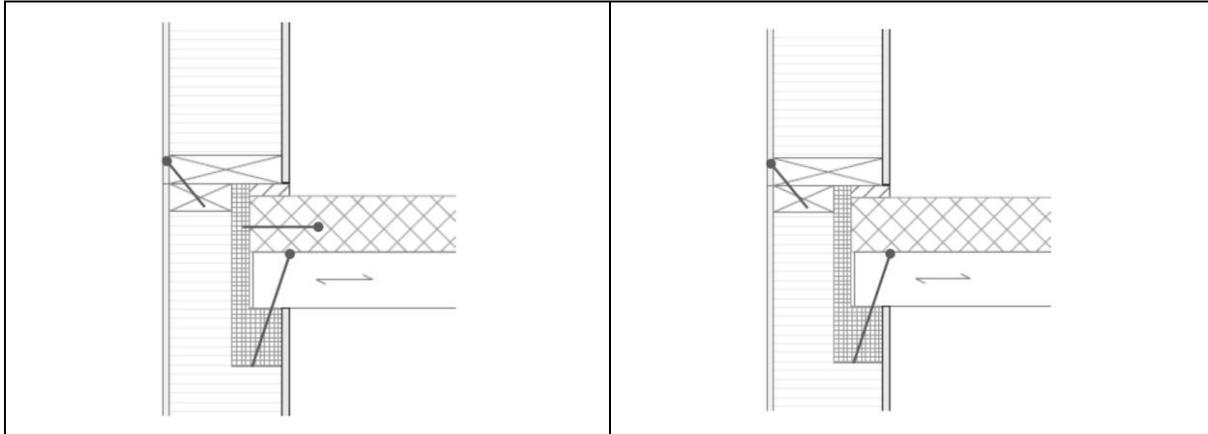


Abbildung 5: Der T-Stoss zwischen 240 mm Holzbetonverbund-Decke und lastabtragender 240 mm Holzständerwand. Links T-Stoss 1 mit Betonankern in der unteren Wand verschraubt, rechts T-Stoss 2 ohne die Betonanker.

Der X-Stoss mit den nichtlastabtragenden Innenwänden ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Trenndecke ist am Stoss durchlaufend. Die untere Wand hat eine doppelte Kopfschwelle und ist mit einer gleitenden Verbindung zum Höhenausgleich angeschlossen. Das heißt oberhalb des oberen Rahmenabschlussholzes befindet sich ein zweites Kantholz, welches direkt mit der Decke verschraubt ist. Zwischen den beiden Kanthölzern, die nicht direkt miteinander verbunden sind, befindet sich ein Luftspalt. Die Wandbeplankung ist beidseitig nur mit dem unteren Rahmen verschraubt und steht jedoch an der Oberseite bis zum Deckenlagerholz über, so dass die Decke sich vertikal bewegen kann und die Wand jedoch gleichzeitig horizontal gesichert ist. Die obere Wand steht direkt auf dem Beton auf und ist durch die Schwelle in dem Beton verschraubt.

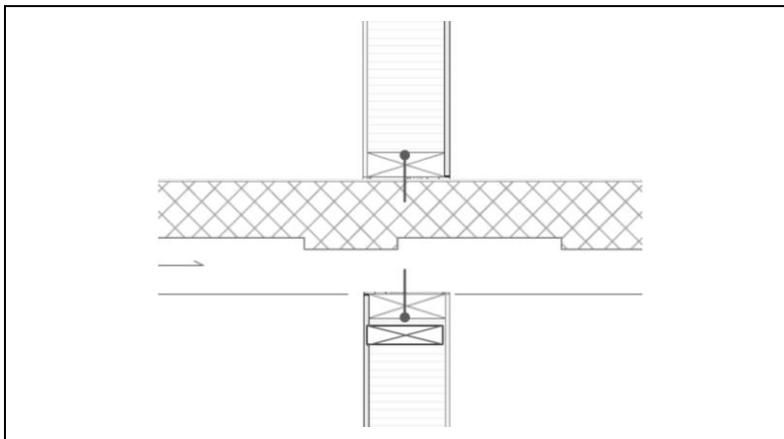


Abbildung 6: Der X-Stoss zwischen 240 mm Holzbetonverbund-Decke und nicht lastabtragenden 140 mm Holzständerwänden.

## 4.2. Massgebliche Übertragungswege T-Stoss

Die Schallübertragung ist jeweils für die einzelnen Übertragungswege am T-Stoss aus Abbildung 1 als Flanken-Schalldämm-Masse  $R_{ij}$  oder Flanken-Norm-Trittschallpegel  $L_{n,ij}$  angegeben. In Bereichen bei tiefen und hohen Frequenzen, in denen die Übertragung durch die Flankenwege auf Grund der angewandten Methode nicht genau bestimmt werden kann, wurde wie in [1] beschrieben eine konservative Abschätzung durchgeführt. Diese ist an dem geraden Verlauf der dargestellten Schalldämm-Masse ersichtlich. In Abbildung 7 sind die Schalldämm-Masse für den T-Stoss 1 mit den Betonankern dargestellt. Für diesen Grundstoss ohne zusätzliche Boden-, Wand- und Deckenaufbauten ist die direkte Schalldämmung der Trenndecke, ganz deutlich am geringsten. Unterhalb von 500 Hz tragen alle drei Nebenwege in etwa gleich zur Flanken-Übertragung am Stoss (graue Linie) bei, wobei das Schalldämm-Mass des „Df“ Weges, von der Decke zur Seitenwand etwas geringer als die der beiden anderen Wege ist. Während die Schalldämm-Masse des „Fd“ und „Df“ Weges oberhalb von 500 Hz mit unterschiedlicher Steigung weiter

ansteigen, bleibt das Schalldämm-Mass des Wand-Wand-Weges „Ff“ konstant und verringert sich im Bereich der Koinzidenzfrequenz der inneren Wandbeplankung bei 2000 Hz. Dadurch ändert sich die Rangordnung und die Schallübertragung am Stoss ist massgeblich durch die beiden Wände und deren guter Verbindung untereinander bestimmt. Durch die punktförmige Verbindung der Wand mit dem Beton über die Wandanker, „koppelt“ diese Masse aus akustischer Sicht bei hohen Frequenzen von der Stoss-Stelle ab und es kann sehr gut Körperschall zwischen den beiden direkt miteinander verbundenen Wänden übertragen werden.

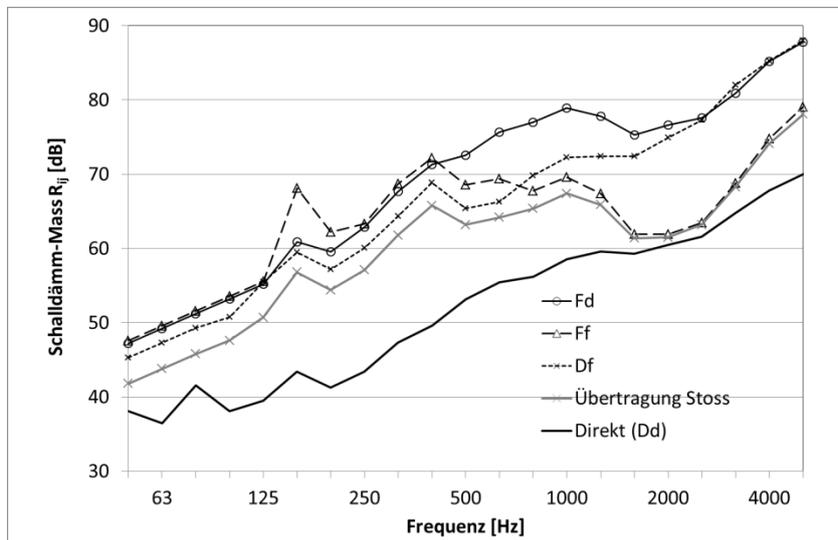


Abbildung 7: Schalldämm-Masse der einzelnen Übertragungswege am T-Stoss 1 mit den Betonankern.

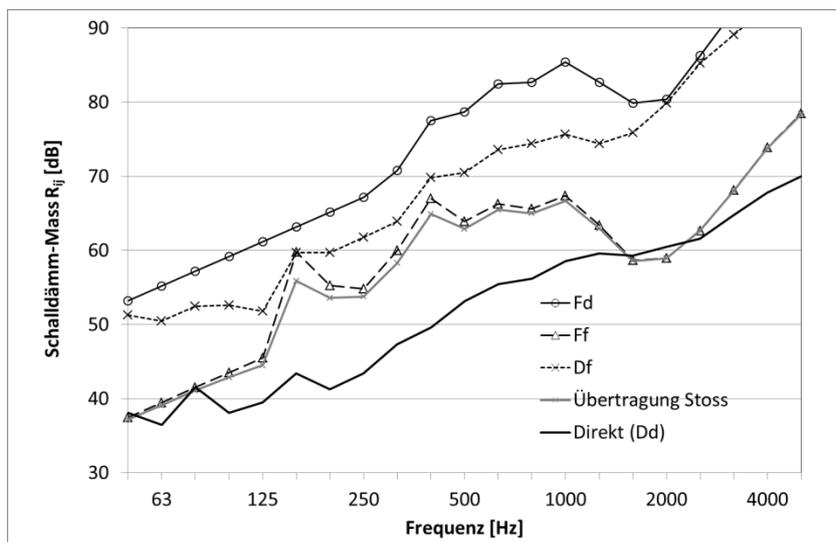


Abbildung 8: Schalldämm-Masse der einzelnen Übertragungswege am T-Stoss 2 ohne die Betonanker.

Der T-Stoss 2 ist für Anschlüsse, bei denen keine statischen Kräfte zwischen dem Beton und der unteren Wand übertragen werden sollen, angedacht. Durch den Verzicht auf die Betonanker, wird die Körperschallübertragung zwischen der Trenndecke und der unteren Wand etwas verringert. So ist das Flankenschalldämm-Mass des „Df“ Weges in Abbildung 8 etwas höher als für den T-Stoss 1 mit den Betonankern in Abbildung 7. Gleiches gilt ebenso für das Schalldämm-Mass für den „Fd“ Weg, da die obere Wand nur auf den Beton aufgestellt ist, und somit nur mit der unteren Wand und darüber nur mit der unteren Lage der Trenndecke kraftschlüssig verbunden ist. Auf den ersten Blick überraschend ist jedoch die Abnahme des Schalldämm-Masses des „Ff“-Weges. Jedoch ist ohne die Anker die Masse der Ortsbetonauflage im Bereich der Stoss-Stelle nicht mehr direkt an die untere Wand angekoppelt, wodurch im gesamten betrachteten Frequenzbereich mehr Körperschall zwischen den beiden Wänden übertragen werden kann. Der „Ff“-Weg bestimmt nun im gesamten Frequenzbereich die Übertragung am Stoss.

Die Norm-Trittschallpegel sind für die Übertragungswege an beiden T-Stößen in Abbildung 9 dargestellt. Auch hier ist die direkte Übertragung durch die Rohdecke massgeblich, die Flanken-Norm-Trittschallpegel für den Weg „Df“ sind wesentlich geringer. Ohne die Betonanker verringert sich der Norm-Trittschallpegel des Wegs „Df“ oberhalb von 160 Hz.

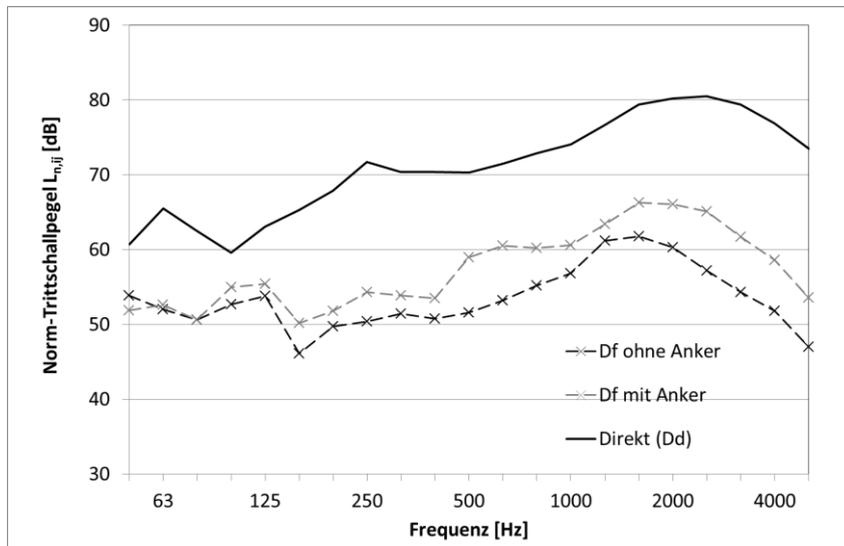


Abbildung 9: Norm-Trittschallpegel für die direkte und Flankenübertragung an den beiden T-Stößen.

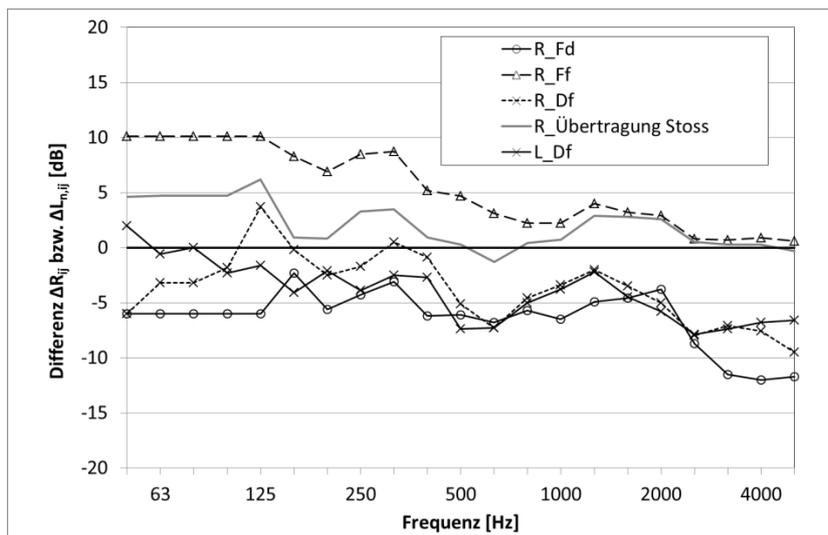


Abbildung 10: Einfluss der Betonanker auf die Schalldämm-Masse und Norm-Trittschallpegel der einzelnen Übertragungswege.

In Abbildung 10 sind die Differenzen der Flanken-Schalldämmmasse  $R_{ij}$  und der Flanken-Norm-Trittschallpegel  $L_{n,ij}$  für die einzelnen Übertragungswege mit und ohne die Betonanker dargestellt. Positive Werte zeigen hierbei eine Verbesserung und negative Werte eine Verschlechterung der Schalldämmung durch die Betonanker an.

Dabei wird noch einmal deutlich, dass die Schalldämmung für den „Ff“-Weg mit den Betonankern durch die angekoppelte Masse immer besser ist als ohne die Anker. Bei tiefen Frequenzen beträgt die Verbesserung bis zu 10 dB. Für die beiden anderen Wege „Fd“ und „Df“ verschlechtert sich die Schalldämmung, wobei die Änderung beim „Df“-Weg für Luft- als auch Trittschall insbesondere bei hohen Frequenzen sehr gut übereinstimmen. Eine erreichbare Verbesserung durch das Weglassen der Anker, beträgt also für die beiden Wege unterhalb von 500 Hz maximal ca. 5 dB und bei hohen Frequenzen maximal ca. 10 dB. Da bei hohen Frequenzen auch mit Betonanker die Flankenübertragung über den Stoss ohnehin durch den Direktdurchgang durch die Decke und den Weg „Ff“ bestimmt ist, führt ein Verzicht auf die Betonanker bei dem betrachteten Stoss nicht zu einer Verbesserung. Die gesamte Flanken-Schalldämmung ist mit den Betonankern grösser (Abbildung 10, graue Linie).

### 4.3. Massgebliche Übertragungswege X-Stoss

Im Folgenden werden nur die vertikalen Übertragungswege an dem X-Stoss mit der durchlaufenden Holzbetonverbund-Decke und den nicht lastabtragenden Ständerwänden dargestellt und erläutert. Die horizontale Übertragung ist weitaus komplexer und es ist geplant diese in einem separaten Beitrag zu behandeln. Die Bezeichnung der Wege entspricht der Abbildung 1 mit der Besonderheit, dass die Trenndecke auf der linken Seite weiterläuft. Da der Stoss und die Bauteile achsensymmetrisch zu den Trennwänden sind, gelten die Schalldämmwerte der Übertragungswege auch für die auf die linke Seite gespiegelte Situation.

In Abbildung 11 ist noch einmal das Direktschalldämm-Mass der Trenndecke, sowie neu die Flankenschalldämm-Masse der Nebenwege am nicht lastabtragenden Stoss dargestellt. Es ist deutlich, dass die Flankenschalldämmung für alle Wege sehr viel grösser als für den Aussenwandstoss ist. Grund sind die nicht lastabtragenden Wände, welche nicht direkt miteinander und jeweils nur mit einer der beiden Schichten der Trenndecke verbunden sind. Dies gilt insbesondere für den „Ff“ Weg, der eine so hohe Schalldämmung aufweist, dass diese nur sehr schwer messtechnisch zu ermitteln ist. Die dargestellten Werte sind eine konservative Abschätzung, aber sie zeigen deutlich, dass der Übertragungsweg für eine Planung ohnehin irrelevant ist.

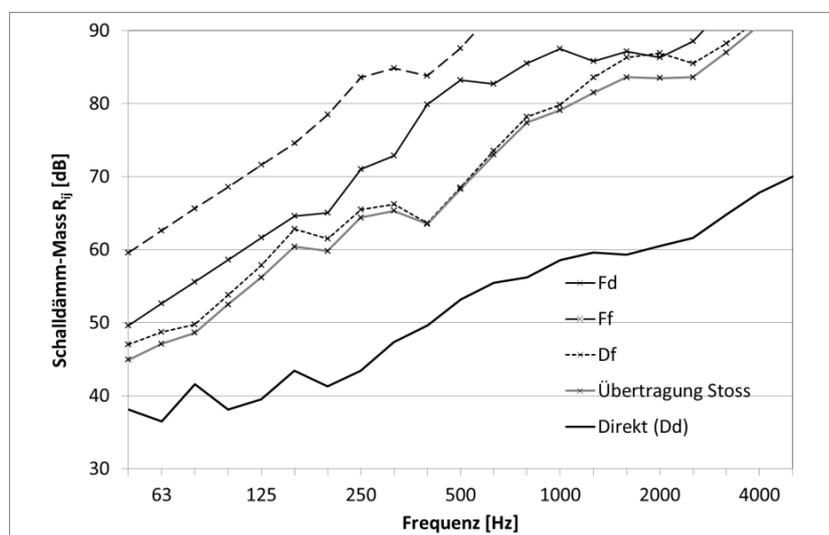


Abbildung 11: Schalldämm-Masse der einzelnen vertikalen Übertragungswege am X-Stoss mit nicht-tragenden Wänden.

Aber auch die Schalldämm-Masse der beiden Wege „Df“ und „Fd“ sind mindestens 10 dB und im weiten Frequenzbereich auch über 20 dB grösser als das der Trenndecke. Die Übertragung ist wie später deutlich wird auch auf diesen Wegen zu vernachlässigen, da diese durch notwendige Schallschutzmassnahmen an der Trenndecke, zum Beispiel schwimmender Fussbodenaufbau oder Abhangdecke, im etwa gleichen Masse wie die Direktschalldämmung verbessert werden. Überraschenderweise ist die Schalldämmung des „Fd“ Wegs zwischen der direkt mit dem Beton verbundenen oberen Wand und der Trenndecke grösser als die des „Df“-Wegs zwischen der Trenndecke und der unteren Wand mit dem gleitenden Anschluss. Dies liegt daran, dass die freie Kopfschwelle durch die Trenndecke leichter in Bewegung versetzt werden kann und die daran anliegende Beplanung, insbesondere durch Rotation, stärker anregen kann. Dadurch wird mehr Körperschall übertragen. Die Fusschwelle mit dem mit ihr verbundenen Ständerwerk oben setzt hingegen der Decke einen grösseren Widerstand entgegen. Somit wird weniger Körperschall übertragen.

Ein gleiches Bild gilt für die Norm-Trittschallpegel in Abbildung 12. Die Direktübertragung durch die Trenndecke ist in diesem Fall ebenfalls massgeblich. Notwendige Massnahmen zur Verbesserung dieser durch Fussbodenaufbauten verringern die Flankenübertragung gleichfalls.

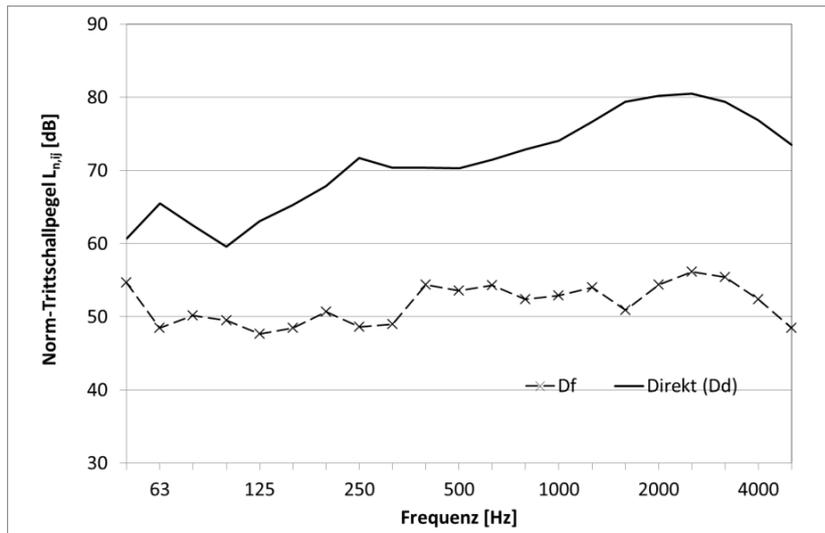


Abbildung 12: Norm-Trittschallpegel für die direkte und den vertikalen Flankenübertragungsweg am X-Stoss mit nicht-tragenden Wänden.

#### 4.4. Prognose einer Bausituation

Mit den vorgestellten Daten wird die Bauschalldämmung in einer vereinfachten fiktiven Situation mit zwei übereinander liegenden quadratischen Räumen mit einer Stosslängde von jeweils 5 m abgeschätzt. Es wird hierbei weiter angenommen, dass an zwei Seiten der X-Stoss mit den nicht lastabtragenden Wänden vorhanden ist. An den beiden anderen Seiten befindet sich der T-Stoss 1 mit den Aussenwänden, wobei die untere durch Betonanker mit der Trenndecke verbunden ist. Als Bodenaufbau ist ein schwimmender Unterlagsboden aus 55 mm Calciumsulfat-Estrich auf einer 20 mm dicken Trittschalldämmung aus Mineralwolle ( $9 \text{ MN/m}^3$ ) und einer 30 mm dicken EPS-Ausgleichsschicht aufgebracht. An der Decke und den Wänden sind keine weiteren Massnahmen angebracht. Die Ergebnisse für die Luftschalldämmung der beiden Innenwandstösse sind in Abbildung 13 dargestellt. Des Weiteren sind dort auch die Direktschalldämmung sowie das resultierende Bau-Schalldämm-Mass bereits unter Berücksichtigung aller Aussenwandstösse dargestellt. Das Schalldämm-Mass der Trenndecke steigt durch den schwimmenden Fussbodenaufbau an, so dass es bei mittleren und hohen Frequenzen dem der Flankenübertragung über den schwächsten Nebenweg am Innenwandstoss entspricht.

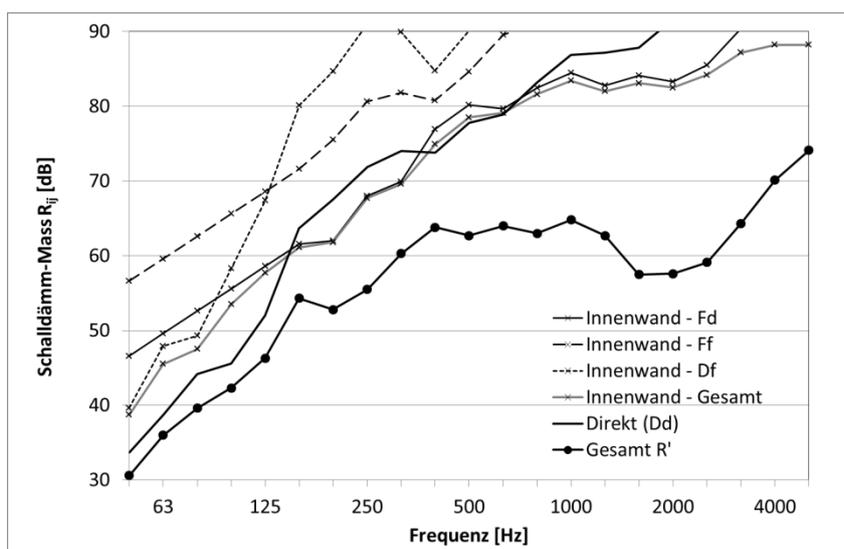


Abbildung 13: Schalldämm-Masse für die Übertragungswege durch das Trennbauteil und die Innenwandstösse, sowie Bau-Schalldämm-Mass auch mit Berücksichtigung der Aussenwandstösse

Mit einem bewerteten Schalldämm-Mass  $R_w = 78 \text{ dB}$  hält die Trenndecke alleine auch erhöhte Anforderungen an den Luftschallschutz gut ein. Das bewertete Bau-Schalldämm-Mass  $R'_w = 62 \text{ dB}$  ist jedoch sehr viel geringer.

Ein Blick in Abbildung 14 auf die Schalldämm-Masse des Aussenwand-Stosses zeigt nun deutlich, dass das Bau-Schalldämm-Mass durch die Nebenwege „Ff“ und „Df“ begrenzt ist. Die Luftschalldämmung könnte daher weiter durch weitere Massnahmen an der Aussenwand, wie zum Beispiel eine innenliegende Installationsebene mit Federschien, verbessert werden. Ohne Betonanker wie im T-Stoss 2 wäre die Bau-Schalldämmung durch die grössere Übertragung am Weg „ff“ noch geringer.

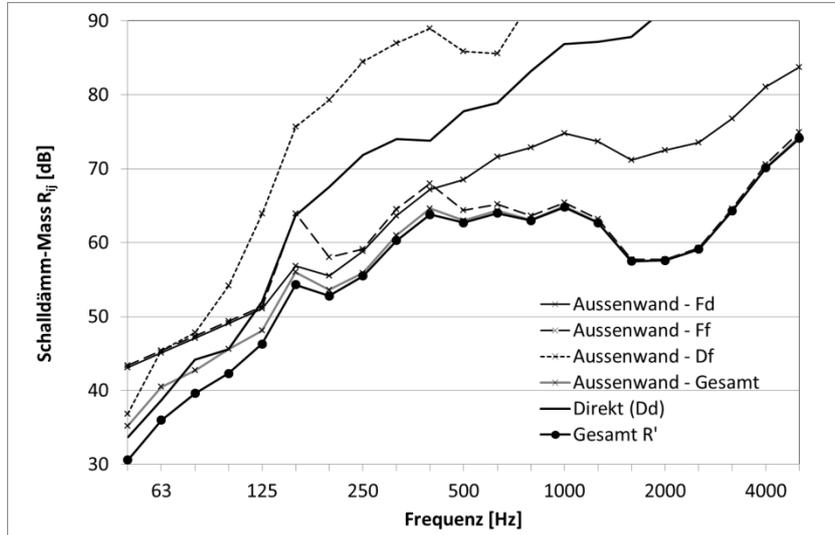


Abbildung 14: Schalldämm-Masse für die Übertragungswege durch das Trennbauteil und die Innenwandstösse, sowie Bau-Schalldämm-Mass auch mit Berücksichtigung der Innenwandstösse

Abbildung 15 zeigt jedoch, dass der Bau-Norm-Trittschallpegel im wesentlichen durch die Direktübertragung bestimmt und nur marginal durch die Flankenübertragung beeinträchtigt ist. Die erreichbare Schalldämmung erfüllt mit einem  $L_{n,w}(C_{I,C_{I,50-2500}}) = 49$  (-3, 5) dB gerade Bauakustische Mindestanforderungen. Daher wäre ein besserer Fussbodenaufbau, der ebenfalls die gleiche Verbesserung für die Nebenwege bringt oder eine Abhangdecke notwendig. Die Abhangdecke ist aber nur soweit wirksam bis sie durch die Nebenwegsübertragung beeinflusst wird. Beide Massnahmen haben Einfluss auf die Direktschalldämmung und den Weg „Fd“ bei der Luftschalldämmung. Daher würde diese Massnahmen ohne eine Verbesserung der Aussenwände nur eine begrenzte Verbesserung der Bau-Luftschalldämmung ergeben.

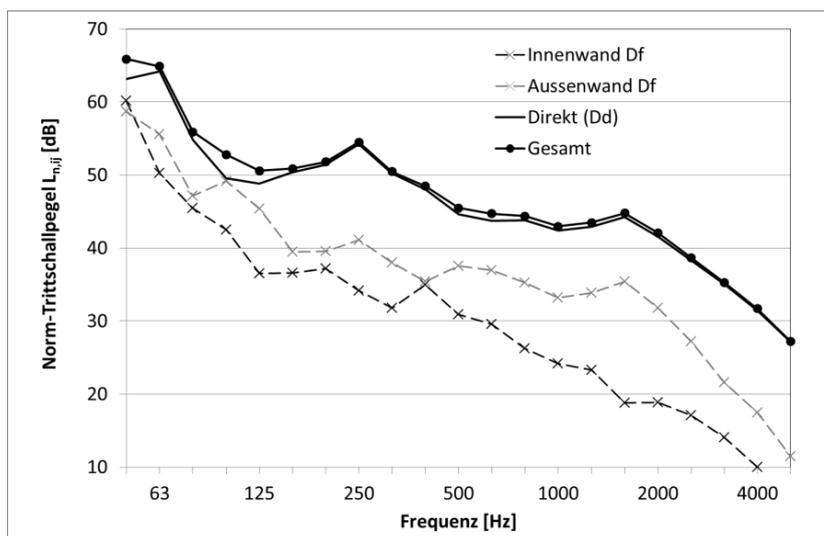


Abbildung 15: Norm-Trittschallpegel für die Übertragungswege durch das Trennbauteil und die Wandstösse, sowie Bau-Norm-Trittschallpegel

## 5. Ausblick - Wissenstransfer mit Online Designtool

Die in dem Projekt „Schallschutz im Holzbau“ bisher ermittelte Datengrundlage ist gross und wird weiter durch die geplanten weiteren Untersuchungen noch enorm zu nehmen. Wie im vorangegangenen Abschnitt deutlich wird, können die Daten recht flexibel zur Prognose der Schalldämmung von Situationen in Gebäuden verwendet werden. Jedoch ist diese Prognose nicht einfach und wenn die Massnahmen nicht gezielt geplant werden, können sie unter Umständen nicht zum erwünschten Ziel führen. Um den Datenpool auch für den Anwender ohne akustisch Fachausbildung verständlich und verfügbar zu machen, wird daher parallel zu den experimentellen Untersuchungen eine Datenbankstruktur und eine Online-App entwickelt, welche diese Möglichkeiten für Planer zur Verfügung stellt. In einer graphischen Benutzeroberfläche, wie in Abbildung 16 beispielhaft gezeigt, kann der Nutzer eine Bausituation aus Geometrie, den verfügbaren Bauteilen und deren Verbindungen zusammenstellen. Die erreichbare Schalldämmung wird wie in Abbildungen 13 bis 15 dargestellt. Der Nutzer kann nun zusätzliche Massnahmen an den Bauteilen oder der Verbindung der Elemente wählen. Gleichzeitig wird der dadurch erzielte Effekt dargestellt und der Nutzer kann nun die Kombination von Massnahmen optimal auf seine Situation anpassen und die Bauteilbeschreibungen und Ergebnisse als Einzahlwerte auszugeben. In einem zweiten Schritt ist geplant das Online-Tool in die Datenbank „www.Lignumdata.ch“ zu integrieren und BIM-fähig zu machen.

Abbildung 16: Entwurf einer graphische Benutzeroberfläche einer Online-App zur Prognose der Luft- und Trittschalldämmung in Holzgebäuden basierend auf den Daten aus dem Projekt „Schallschutz im Holzbau“.

## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Rahmen des Projekts „Schallschutz im Holzbau“ wurden experimentell bereits für eine Vielzahl von im Holzbau in der Schweiz typischen Bauteilen und deren Verbindungen Schallschutzdaten ermittelt. In Kombination mit Massnahmen an den Bauteilen (Vorsatzschalen, Fussbodenaufbauten und Abhangdecken) sowie deren Verbindungen an den Knoten können diese Daten gezielt zur Optimierung des Luft- und Trittschallschutzes angewandt werden. Dies wurde im Beispiel der vertikalen Übertragung durch eine Holzbetonverbund-Decke und deren Stossstellen erläutert. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Verbindungsdetails der Bauteile an den Knoten eine entscheidende Rolle für die notwendigen Massnahmen spielen. Vermeintliche Verbesserungen können zwar eine Verringerung der Übertragung für einen Übertragungsweg bringen, jedoch die Schalldämmung eines anderen weitaus kritischeren Übertragungsweges verschlechtern. Dies wurde am Beispiel des Verzichts auf die Betonanker am Wand-Decken-Anschluss der Holzbetonverbund-Decke aufgezeigt. Ausserdem wurde am Beispiel eines Kreuz-Stosses mit leichten

nichtlastabtragenden Ständerwänden gezeigt, dass diese für die Schallübertragung oft nicht relevant sind, wenn sie nicht verbunden und durch schwerere Bauteile getrennt sind. Daher wurde die Priorität der experimentellen Untersuchung bisher auf die Aussenwandstöße gelegt. In nächsten Schritten ist geplant, die horizontale Übertragung und in diesem Zusammenhang auch nichtlastabtragende Stöße zu untersuchen.

Um diese breite Datenbasis für ein breites Anwenderpublikum verfügbar zu machen, wird eine intuitive Online-App entwickelt, welche auf die Schallschutzdaten zugreift und den Schallschutz von Luft- und Trittschallschutz direkt darstellt. Der Nutzer braucht kein grundlegendes akustisches Verständnis und kann basierend auf den Bauteilbeschreibung und den zur Verfügung gestellten Bauteilen, Verbindungen und zusätzlichen Vorsatzschalen sich seine Bausituation zusammenstellen. Die dadurch erzielten Veränderungen werden direkt dargestellt und ermöglichen so eine Optimierung der Massnahmen.

## 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 sowie eine Vielzahl an Industriepartnern gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung.

## Referenzen

- [1] S. Schoenwald, H.-M. Tröbs, „Ermittlung von schalltechnischen Planungsdaten“, Beitragsband, 8. HolzBauSpezial, Bauphysik, Bad Wörishofen, 2017
- [2] „EN ISO 12354-1: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen“, 2017
- [3] „EN ISO 12354-2: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen“, 2017
- [4] Bütikofer, R., et al., „Der Leichtbauprüfstand in Dübendorf: ein neuartiger Prüfstand zur Messung der Schallübertragung im Holzbau“, Fortschritte der Akustik, Tagungsband der DAGA, Düsseldorf (2011)
- [5] „EN ISO 10848-1 Akustik - Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau - Teil 1: Rahmendokument“, 2017
- [6] S. Schoenwald, H.-M. Tröbs, „Flankierende Schallübertragung im Leichtbau“, Tagungsband, 28. Bauphysikertreffen, HfT Stuttgart, 2014
- [7] Stefan Schoenwald, H.-M. Tröbs and A. Zemp, „Measurement of flanking sound transmission at low frequencies with a laser doppler vibrometer“, in Proceedings of EURONOISE 2015, Maastricht, The Netherlands, 2015
- [8] „EN ISO 10140-2: Akustik - Messung der Schalldämmung von Gebäudeteilen im Prüfstand - Teil 2: Messung der Luftschalldämmung“, 2010
- [9] „EN ISO 10140-3: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 3: Messung der Trittschalldämmung“, 2010
- [10] H.-M. Tröbs, „Forschungsplattform zur Entwicklung von Leichtbau-Deckensystemen“, Herbst-Tagung der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik (SGA), [www.sga-ssa.ch/docs/events//5\\_tröbs.pdf](http://www.sga-ssa.ch/docs/events//5_tröbs.pdf), Sursee, 2018