

Flankenübertragung bei Trittschallanregung - Berechnung nach DIN 4109 und EN 12354 -

Andreas Rabold^{1,2}, Camille Châteauvieux-Hellwig^{1,2}, Joachim Hessinger²

¹ Hochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, E-Mail: andreas.rabold@fh-rosenheim.de

² ift Rosenheim GmbH, 83026 Rosenheim

Einleitung

Verglichen mit Gebäuden in Mauerwerks- und Betonbauweise ist die Planung eines Bauobjektes in Holzbauweise eine deutlich größere Herausforderung. Die Gründe hierfür liegen unter anderem im Mangel an bewährten Konstruktionen und Planungswerkzeugen für den Schallschutz und die Gebrauchstauglichkeit.

Die neue DIN 4109 wird nun die Möglichkeit bieten den rechnerischen Trittschallnachweis für Holzbauten auf Basis eines wesentlich umfangreicheren Bauteilkatalogs und eines einfachen Prognosemodells durchzuführen. Zur Berücksichtigung der Flankenübertragung im Holzbau werden hierzu im Teil 2 der neuen DIN 4109 Planungsdaten angegeben.

Neben diesem einfachen Einzahlwert-Modell, ist es auch möglich eine detailliertere Berechnung nach EN 12354-2:2000 [2] und prEN ISO 12354-2:2016 [3] durchzuführen. Das detaillierte Verfahren bietet die Möglichkeit Zusatzmaßnahmen, wie z.B. brandschutztechnisch erforderliche Zusatzbeplankungen in die Prognose aufzunehmen und die Stoßstelle differenzierter zu betrachten. Um die Flankenübertragung im Holzbau vollständig erfassen zu können, ist jedoch eine Erweiterung des Modells erforderlich.

Nachfolgend wird anhand von Vergleichen zwischen Messung und Berechnung der Einfluss der verschiedenen Übertragungswege aufgezeigt und Möglichkeiten zur Berücksichtigung und Ermittlung der Einflussgrößen vorgeschlagen. Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf einem aktuellen Gemeinschafts-Forschungsvorhaben zwischen der TU München, der Hochschule Rosenheim und dem ift Rosenheim [1].

Anwendung der EN 12354-2 auf den Massivholzbau

Während in der zugrundeliegenden SEA-Theorie alle Übertragungspfade der beteiligten Bauteile mit Ihren einzelnen Bauteilschichten (Subsysteme) berücksichtigt werden, reduziert der EN-Ansatz die Übertragungswege auf die direkte Übertragung (Dd bzw. d) und die Flankenübertragung Df (siehe Abbildung 1). Der Norm-Trittschallpegel inklusive Nebenwege berechnet sich somit zu:

$$L'_n = 10 \log \left(10^{L_{n,d}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,ij}/10} \right) \quad \text{dB} \quad (1)$$

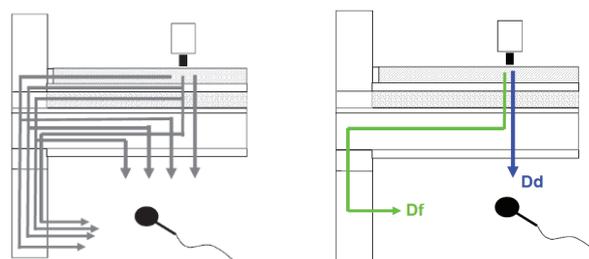


Abbildung 1: Flankenübertragungspfade für die Trittschallanregung von Decken bei der Unterteilung in die einzelnen Subsysteme für die vollständige SEA Betrachtung (links) bzw. die vereinfachte Berücksichtigung des Übertragungswegs Df nach EN 12354-2 [2] (rechts).

Für die Anwendung auf die Berechnung im Massivholzbau wird für die direkte Übertragung der Messwert L_n der Decke unter Laborbedingungen verwendet und auf die Bausituation anhand der vereinfachten Körperschallnachhallzeit-Korrektur nach Gleichung (2) und (3) umgerechnet. $L_{n,situ}$ kann je nach Situation eine Decke mit oder ohne schwimmenden Estrich beschreiben.

$$L_{n,d} = L_{n,situ} = L_n + 10 \log \left(\frac{\eta_{tot,lab}}{\eta_{tot,situ}} \right) \quad \text{dB} \quad (2)$$

$$\eta_{tot,situ} = \eta_{int} + \frac{m'}{300\sqrt{f}} \quad \eta_{tot,lab} = \eta_{int} + \frac{m'}{485\sqrt{f}} \quad (3)$$

Für die Flankenübertragung auf dem Weg Df wird neben $L_{n,situ}$ das Schalldämm-Maß der Decke ohne Estrichaufbau ($R_{i,situ}$ bzw. $R_{d,situ}$) und der unteren flankierenden Wand ($R_{j,situ}$ bzw. $R_{f,situ}$) benötigt, sowie die Schnellepegeldifferenz auf dem Weg Df , die aus dem Stoßstellendämmmaß K_{ij} berechnet werden kann.

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - \overline{D_{v,ij,situ}} - 10 \log \sqrt{\frac{S_i}{S_j}} \quad \text{dB} \quad (4)$$

$$\overline{D_{v,ij,situ}} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}} \quad \text{dB} \quad (5)$$

Das Stoßstellendämmmaß K_{ij} kann hierzu nach prEN ISO 12354-2:2016 [3],[4], oder aus Messwerten z.B. [1],[5] ermittelt werden.

Zum Vergleich der Berechnung mit Messergebnissen, wird in Abbildung 2, oben zunächst das Ergebnis für eine Massivholzdecke mit abgehängter Unterdecke ohne Estrichaufbau gezeigt.

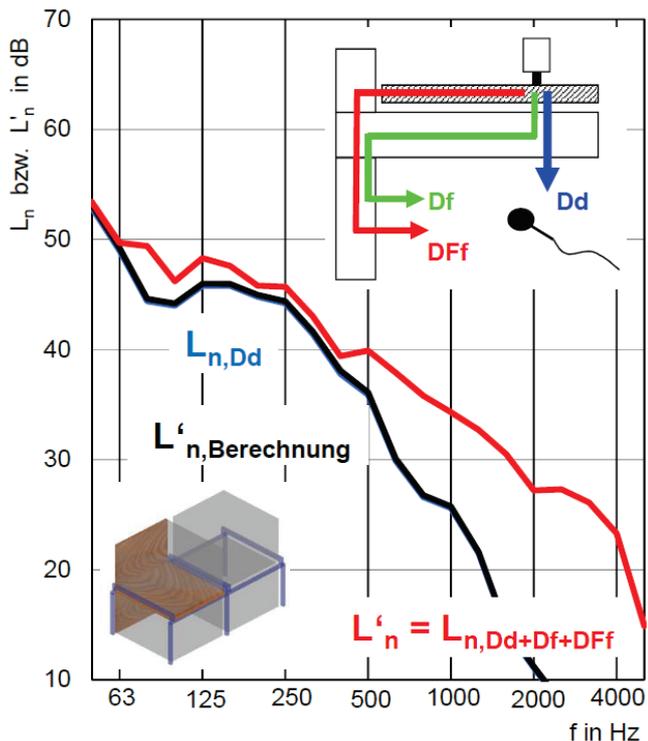
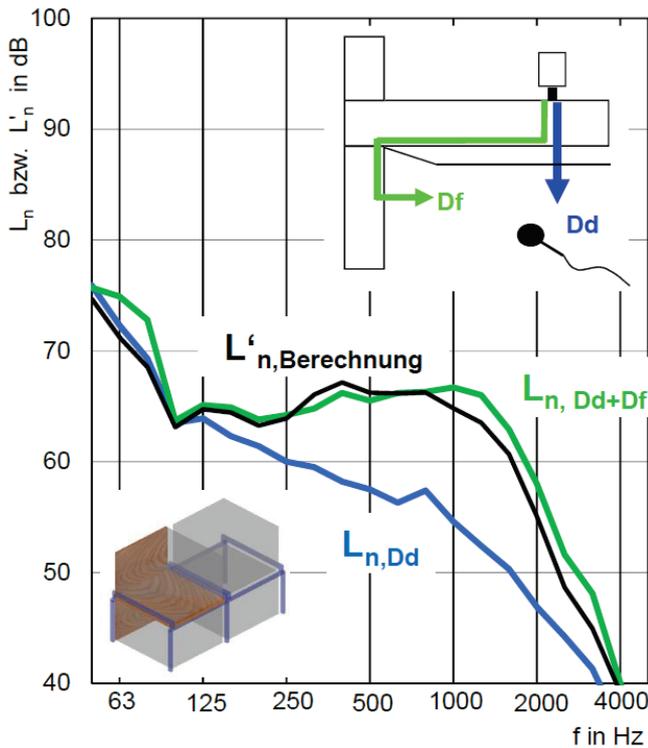


Abbildung 2: Vergleich zwischen Messung und Berechnung nach prEN ISO 12354-2 [3] für einen T-Stoß unter Laborbedingungen. Oben: Deckenaufbau aus 140 mm Brettschichtholz und 150 mm Unterdecke (Abschottung). Unten: 140 mm Brettschichtholz, 120 mm Splittschüttung, 40 mm Trittschalldämmplatte, 50 mm Zementestrich.

Als flankierende Wand wurde eine Holzwerkstoffplatte (80 mm OSB) eingesetzt, die durch die Decke vollständig getrennt wird. Die Messungen wurden unter Laborbedingungen an einem T-Stoß durchgeführt, um die Einflüsse der Übertragungswege möglichst genau ermitteln zu können. Die Decke und die flankierenden Wände des T-Stoßes sind bauüblich miteinander verbunden. Die restlichen Wände von Send- und Empfangsraum haben keinen Kontakt zur Prüfdecke. Durch die als Abschottung ausgebildete Unterdecke wird die direkte Übertragung stark reduziert, wodurch die Flankenübertragung auf dem Weg Df stark an Einfluss gewinnt.

Die gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung in Abbildung 2, oben zeigt die prinzipielle Anwendbarkeit der Berechnung auf den Massivholzbau und die gute Prognose für den Weg Df .

Abbildung 2, unten zeigt den Vergleich für eine Massivholzdecke mit Rohdeckenbeschwerung und schwimmendem Estrich. Da die Rohdeckenbeschwerung sowohl auf die direkte Übertragung als auch auf die Übertragung auf dem Weg Df gleichermaßen wirkt, hat diese kaum Einfluss.

Die Berechnung für L'_{n} ist nahezu deckungsgleich mit der direkten Übertragung und zeigt keine brauchbare Übereinstimmung mit der Messung für L'_{n} . Zusätzliche Untersuchungen mit sukzessiver Unterdrückung der Übertragungswege zeigten, dass die wichtigste Flankenübertragung bei diesem Deckenaufbau über den Estrichrand und Randdämmstreifen in die obere flankierende Wand erfolgt. Es wurde sichergestellt, dass hierdurch eine bauübliche Situation ohne Schallbrücken nachgebildet wurde.

Um eine befriedigende Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung zu erreichen, ist somit die Berücksichtigung dieses Übertragungswegs erforderlich.

Modell für den Übertragungsweg DFf

Für die Berechnung der Übertragung auf dem Weg DFf im Kontext der prEN ISO 12354 [3] wird nach Gleichung (6) zunächst $L_{n,F,situ}$ für die obere flankierende Wand berechnet. $L_{n,F,situ}$ ist ein fiktiver Norm-Trittschallpegel der berechnet wird indem man sich die Wandkonstruktion als Decke unter einer Trittschallbelastung vorstellt. Hierzu kann die Berechnung nach [3], Anhang B erfolgen. Eine Trittschallminderung über den Estrichrand ΔL_{edge} wird aus Messergebnissen gewonnen. Die restlichen Eingangsgrößen werden in gleicher Weise wie für den Weg Df berechnet.

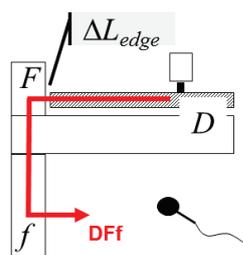


Abbildung 3: Übertragung auf dem Weg DFf

$$L_{n,DFf} = L_{n,F,situ} - \Delta L_{edge} + \frac{R_{F,situ} - R_{f,situ}}{2} - \overline{D_{v,Ff,situ}} - 10 \log \sqrt{\frac{S_F}{S_f}} \quad \text{dB} \quad (6)$$

Die Messung der so definierten Trittschallminderung über den Estrichrand erfolgte in Anlehnung an die Vorgehensweise für die Bestimmung der Trittschallminderung eines Estrichaufbaus auf der Rohdecke. Hierzu wird zunächst der Schnellepegel auf der direkt angeregten oberen Wand (Bauteil *F* ohne festen Kontakt zur Decke) ermittelt. In der zweiten Messung erfolgt die Anregung auf dem Estrichaufbau bei unveränderten Messpunkten auf der Wand (siehe Abbildung 4). Die Trittschallminderung über den Estrichrand ergibt sich dann aus der Differenz der Schnellepegel:

$$\Delta L_{edge} = L_{v,0} - L_{v,1} \quad \text{dB} \quad (7)$$

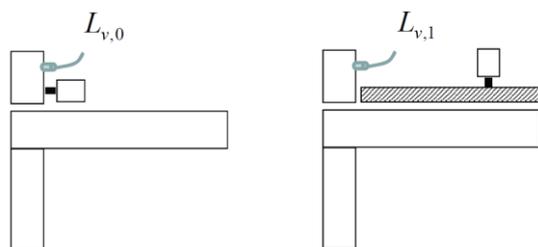


Abbildung 4: Messung einer Trittschallminderung ΔL_{edge} über den Estrichrand

Die Messergebnisse der Trittschallminderung für unterschiedliche Randdämmstreifen und Trittschalldämmplatten werden in Abbildung 5 gezeigt.

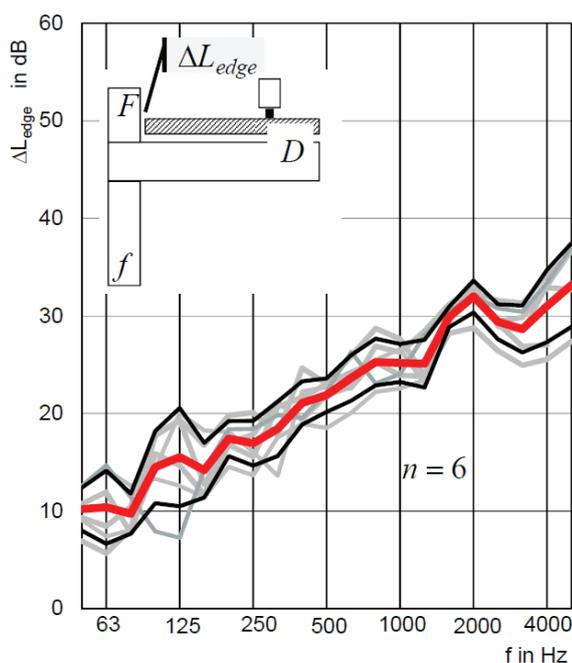


Abbildung 5: Messdaten für die Trittschallminderung über den Estrichrand ΔL_{edge} für verschiedene Trittschalldämmplatten und Randdämmstreifen bei Einsatz eines Zementestrichs.

Vergleich zwischen Messung und Rechnung

Das beschriebene Modell für die Berücksichtigung der Übertragung auf dem Weg *DFf* wird in Abbildung 6 zunächst auf den T-Stoß unter Laborverhältnissen angewendet. Der Aufbau ist der gleiche wie in Abbildung 2. Durch die modifizierte Berechnung wird eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung bei den mittleren und hohen Frequenzen erreicht.

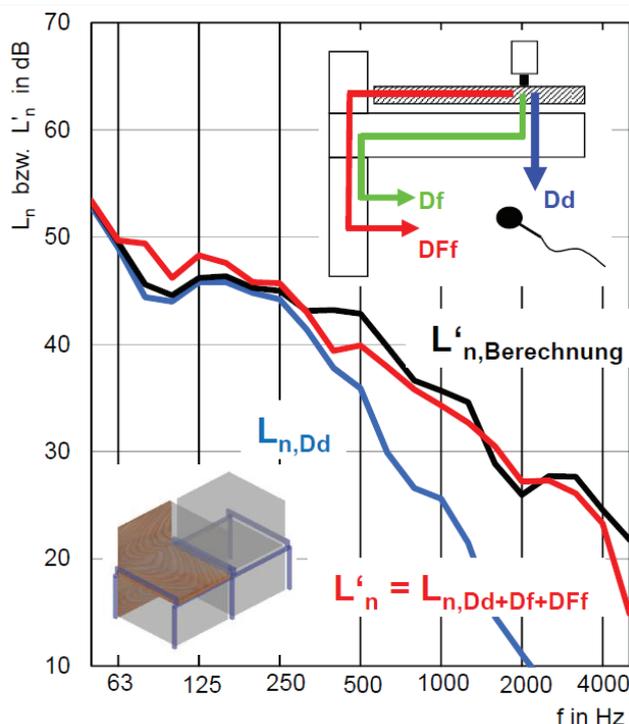


Abbildung 6: Vergleich zwischen Messung und Berechnung nach modifizierter prEN ISO 12354-2 für einen T-Stoß unter Laborbedingungen. Deckenaufbau aus 140 mm Brettschichtholz, 120 mm Splittschüttung, 40 mm Trittschalldämmplatte, 50 mm Zementestrich. Auswertung der Einzulangabe in 1/10dB nach ISO 717-2

Decke ohne Nebenwege nach ISO 10140-3: $L_{n,w} = 37,0$ dB

Decke mit einer flankierenden Wand: $L'_{n,w} = 39,9$ dB

Berechnung nach mod. prEN ISO 12354-2: $L'_{n,w} = 40,2$ dB.

In Abbildung 8 wird die Berechnung mit der Messung in einem Bauvorhaben in Massivholzbauweise verglichen. Der Decken- und Wandaufbau kann Abbildung 7 entnommen werden.



Decke:

- 60 mm Zementestrich
- 40 mm Trittschalldämmplatte
- 90 mm Splittschüttung
- 200 mm Brettschichtholz

Flankierende Wand:

- 18 mm Gipsfaser
- 18 mm Gipsfaser
- 80 mm Massivholzelement
- 18 mm Gipsfaser
- 18 mm Gipsfaser

Abbildung 7: Bauvorhaben in Massivholzbauweise (Bildrechte B&O Wohnungswirtschafts GmbH)

Der in Abbildung 7 beschriebene Wandaufbau wurde als tragende Innenwand und als Teil einer Wohnungstrennwand verwendet. Bei den Außenwänden wurde eine zusätzliche Außendämmung und eine Holzschalung verbaut.

Als Eingangsdaten für die Berechnung der Wohnungstrenndecke wurden folgende Eingangsdaten verwendet:

- L_n des Deckenaufbaus (Labordaten)
- R der Decke ohne Estrichaufbau (aus Labordaten)
- R der flankierenden Wände (Prognose nach EN 12354-1, Anhang B)
- K_{ij} der Stoßstellen nach prEN ISO 12354-1 [3]
- ΔL_{edge} aus Messdaten
- L_n der oberen flankierenden Wand (Prognose nach EN 12354-2, Anhang B)



Abbildung 8: Vergleich zwischen Messung und Berechnung für ein Bauvorhaben in Massivholzbauweise. Auswertung der Einzahlangabe in 1/10 dB nach ISO 717-2

Baumessung der Wohnungstrenndecke: $L'_{n,w} = 42,8$ dB

Berechnung nach EN 12354-2 [2]: $L'_{n,w} = 38,1$ dB

Berechnung nach mod. prEN ISO 12354: $L'_{n,w} = 41,7$ dB.

Der Vergleich der beiden Berechnungsmodelle zeigt, dass bei Anwendung einer modifizierten prEN ISO 12354-2 unter Berücksichtigung eines Flankenübertragungswegs DFf eine verbesserte Prognose der Trittschalldämmung im Holzbau für L'_n und $L'_{n,w}$ möglich ist.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes wurde die Anwendbarkeit der Prognose nach prEN ISO 12354-2 auf Massivholzelemente geprüft. Neben der prinzipiellen Eignung des Prognosemodells zeigte sich, dass es sinnvoll ist, die berücksichtigten Übertragungswege für den Holzbau um den Weg DFf zu erweitern. Hierfür konnte eine Vorgehensweise vorgeschlagen werden, die dem Prinzip der EN 12354 folgt. Erste Überprüfungen der Berechnung durch Laborergebnisse am T-Stoß und den Ergebnissen eines Bauvorhabens zeigten gute Übereinstimmungen zwischen Messung und Berechnung. Diese Validierungen sollen nun an weiteren Bauvorhaben fortgesetzt und auch für andere Estrichtypen (Trockenestriche) angewendet werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die hilfreichen Diskussionen und die Zusammenarbeit besonders bei den Projektpartnern Barbara Wohlmuth, Ernst Rank (TU München) und Ulrich Schanda (HS Rosenheim). Sowie für die finanzielle Unterstützung durch die AiF und die DFG.

Literatur

- [1] Wohlmuth, B., Rank, E., Kollmannsberger, S., Schanda, U., Rabold, A., Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten - Modellierung, numerische Simulation, Validierung, Kooperationsprojekt TU München, HS Rosenheim, ift Rosenheim, in Bearbeitung
- [2] EN 12354, Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products – Part 1 and Part 2, 2000
- [3] prEN ISO 12354, Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1 and Part 2, 2016
- [4] Guigou-Carter, C., pr EN 12354-1 Annex E, proposed for rigid CLT junctions to CEN/TC126/WG2
- [5] Rabold, A., Schramm, M., Châteaueux-Hellwig, C., SEA based prediction for integrated vibro-acoustical design optimization of multi-storey buildings, Euronoise proceedings, 2015, Maastricht