

Simulation der Trittschalldämmung von Balkonen

Lucas Heidemann¹, Jochen Scheck¹, Berndt Zeitler¹

¹ Hochschule für Technik Stuttgart, 70174 Stuttgart, E-Mail: lucas.heidemann@hft-stuttgart.de

Einleitung

Die Trittschalldämmung von Balkonen ist spätestens mit Erscheinen der Revision der DIN 4109 im Jahr 2018 [1] in den Fokus der Bauakustik gerückt. Eine grundsätzliche Beschreibung der Problematik ist in einem Beitrag der gleichen Autoren zur DAGA 2020 zu finden [2]. Dieser Beitrag zeigt die Entwicklung seither, insbesondere zur Prognose der Trittschall-Übertragung, sowie zur Finite-Elemente-Simulation der tragenden Wärmedämm-Elemente, die durch eine Trittschallpegelminderung bzw. eine Trittschallpegeldifferenz gekennzeichnet werden können.

Bausituation

Um Wärmebrücken zu vermeiden und so Schimmel vorzubeugen sind Balkone und Laubengänge thermisch vom restlichen Gebäude getrennt. Diese Ausführung kann als allgemein anerkannte Regel der Technik betrachtet werden.

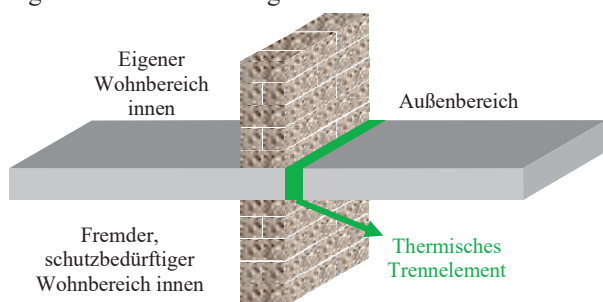


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer typischen Bausituation mit einem thermisch getrennten Balkon.

Balkone sind meist diagonal über schutzbedürftigen Räumen angeordnet. Dies kann zu einer störenden Trittschallübertragung in die untere Wohneinheit führen.

Um dem vorzubeugen wird in der DIN 4109-1:2018-01 die Anforderung an den Trittschallschutz von Balkonen von $L'_{n,w} \leq 58$ dB gefordert.

Es gibt jedoch bisher im Normenverbund des DIN weder ein standardisiertes Messverfahren zur akustischen Kennzeichnung der Trennelemente noch ein Prognoseverfahren für den Trittschallschutz.

Die diagonale Übertragung kann nach den existierenden Normen- und Regelwerken nicht direkt berechnet werden. Sie kann nach dem EN 12354 Rechenmodell ausgehend von der Prognose ohne Trennelement der vertikalen Übertragung bei Anregung der Decke als auch als horizontale Übertragung bei Anregung des Balkons berechnet werden. Die beiden Ansätze führen zu unterschiedlichen Ergebnissen und werden im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens betrachtet.

Prognose der Trittschallübertragung

Beim Ansatz der vertikalen Übertragung geht das thermische Trennelement analog zu einer Deckenauflage mit der Kenngröße Trittschallpegelminderung in die Prognose ein.

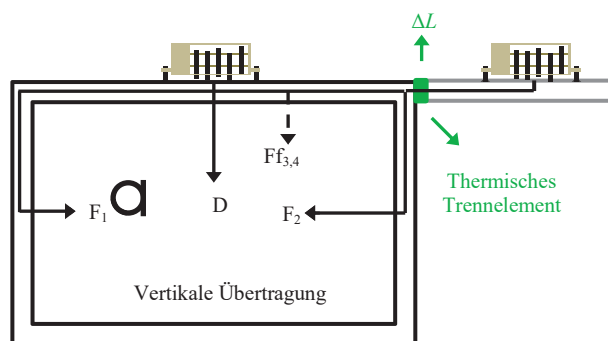


Abbildung 2: Ansatz mit Prognose der vertikalen Übertragung der Decke mit Trittschallminderung des Trennelementes.

Für die Berechnung wird der Normtrittschallpegel bei Anregung der Rohdecke als L_{n0} bezeichnet und der Normtrittschallpegel bei Anregung des thermisch getrennten Balkons als L_n . Die für die Prognose benötigte Trittschallpegelminderung des Trennelementes ergibt sich nach Formel (1).

$$\Delta L = L_{n0} - L_n \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

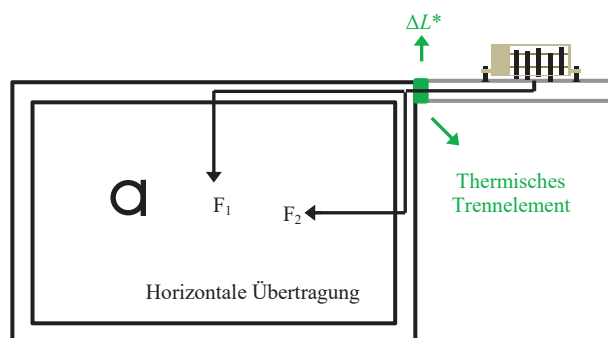


Abbildung 3: Ansatz mit Prognose der horizontalen Übertragung bei Anregung des Balkons (wie durchlaufende Decke) mit Trittschallpegeldifferenz des Trennelementes.

Alternativ kann die Bausituation als horizontale Übertragung über eine durchlaufende bzw. getrennte Decke gesehen werden. Hierbei wird die Trittschallpegeldifferenz als Unterschied zwischen der Anregung eines starr angeschlossenen Balkons (L_{n0}) und eines thermisch getrennten Balkons (L_n) nach Formel (2) für die Prognose benötigt.

$$\Delta L^* = L_{n0} - L_n \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Diese Herangehensweise kann nur mit großem Aufwand messtechnisch im Labor realisiert werden. Im realen Gebäude wird dieses Szenario nicht messbar sein. Dieser Ansatz wurde in [2] betrachtet.

Der Vergleich der beiden Ansätze nach EN 12354-2 [3] (Prognosen frequenzabhängig und mit Einzahlwerten) sowie nach DIN 4109-2 [1] (Prognose mit Einzahlwerten) erfolgt aktuell durch Vergleich von Messungen und Prognose in Bausituationen. In [4] wurde bereits ein Vergleich unter Verwendung von K_T -Werten der DIN 4109 durchgeführt.

Messung der Kenngrößen im Prüfstand

Den Prognoseverfahren entsprechend werden auch zwei unterschiedliche Labor-Messverfahren für die dämmenden Eigenschaften der thermischen Trennelemente betrachtet.

Messtechnisch wird der Normtrittschallpegel bei Schallabstrahlung der Decke an einem Labor-Prüfaufbau aus Schnellepegeln bestimmt. Die Umrechnung erfolgt nach Formel (3), wobei der Abstrahlgrad σ mit 1 angesetzt wird. Die abstrahlende Fläche S ist die gesamte Deckenfläche, der Schnellepegel L_v wurde aus 6 stochastisch verteilten Messpunkten auf der Deckenfläche gemittelt.

$$L_{n,v} = L_v + 10 \log \sigma + 6 + 10 \log \frac{S}{A_0} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Der Aufbau für die Messung der Schnellepegel auf der Decke bei Anregung des thermisch getrennten Balkons ist ausführlich in [2] beschrieben. Eine ausreichende Entkopplung des Prüfaufbaus (Balkon – Trennelement – Decke) von den stützenden Hilfswänden muss gewährleistet sein. Die Maße des verwendeten Labor-Prüfaufbaus sind in Abbildung 2 von [2] erläutert. Ein schematischer Aufbau des Trennelements ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Trittschalldämmung des Trennelements wird durch die Minderung des Normtrittschallpegels der Decke bei direkter Anregung der Decke und bei Anregung des thermisch getrennten Balkons gekennzeichnet. Dies entspricht der Übertragungssituation in Abbildung 2. Die Labor-Trittschallpegelminderung ergibt sich nach Formel (1). Dieses Verfahren wurde bereits in die EAD 050001-01-0301: Load bearing thermal insulating elements which form a thermal break between balconies and internal floors [5] aufgenommen.

Für die Messung der Trittschallpegeldifferenz des Trennelements wird ein zusätzlicher Aufbau mit einer durchgehenden Betonplatte mit identischen Abmessungen benötigt. Dieses Verfahren sowie dazugehörige Messungen wurden bereits in [2] vorgestellt.

Finite Elemente Simulationen

Mit dem Ziel, den Labor-Prüfaufbau, v.a. in Bezug auf die gewählten Abmessungen zu validieren und sowohl den Prüfaufbau selbst als auch die Trennelemente zu optimieren, wurden FE-Simulationen durchgeführt. Dabei wurde zunächst der in [2] beschriebene Aufbau mit allen Bestandteilen möglichst genau nachgebildet. Messungen mit modifizierten Aufbauten [2] ergaben keinen akustischen Einfluss der Brandschutzplatten, deswegen wurden diese nicht simuliert.

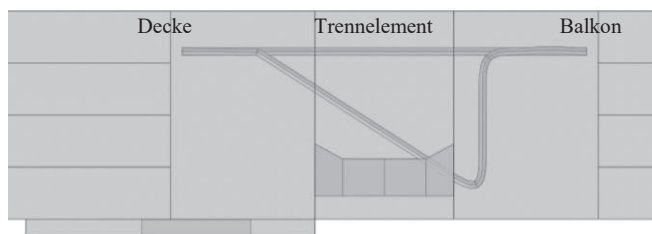


Abbildung 4: Seitenansicht des Trennelements in der Simulation.

Validierung des Modells

Die gemessenen und simulierten Schwingungsformen und Eingangs-Admittanzen, sowie die Normtrittschallpegel werden für die Validierung herangezogen. Die Schwingungsformen wurden mittels einer experimentellen Modalanalyse gemessen. Schwingungsformen aus Messung und Simulation sind beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt.

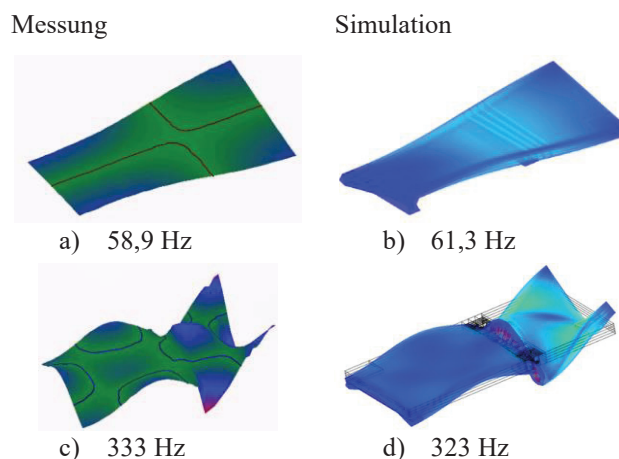


Abbildung 5: Schwingungsformen des durchbetonierten (a, b) sowie des thermisch getrennten (c, d) Prüfaufbaus.

Die Eigenfrequenzen der Simulationen weichen in weiten Frequenzbereichen um weniger als 5 % von den gemessenen Eigenfrequenzen bei den gleichen Schwingungsformen ab. Wie man in Abbildung 5 a) und b) sieht, schwingt der durchbetonierte Aufbau zur Bestimmung der Trittschallpegeldifferenz wie eine Platte, bei dem man bei tiefen Frequenzen einen Einfluss der durch ein Elastomer-Auflager entkoppelten Hilfswände sieht. Das System mit Trennelement schwingt bei hohen Frequenzen unabhängig von der Unterkonstruktion, zudem weisen die Balkon-Schwingungen mit Trennelement wesentlich höhere Amplituden auf als auf der Decke.

Die Admittanz zwischen einem Beschleunigungsaufnehmer und einem sehr nah daran an 2 Punkten angeschlagenen Impulshammer wurde bis 800 Hz gemessen und simuliert. Für die Simulation wurde die Platte an zwei Punkten in je 3 cm Abstand von einem Empfangspunkt an der gleichen Stelle angeregt. Da jede Frequenz eine eigene Simulation ist, wurde mit zunehmender Frequenz eine geringere Auflösung gewählt. Die gute Übereinstimmung von Simulation und Messung zeigt, dass der reale Aufbau im Modell sehr gut abgebildet wird.

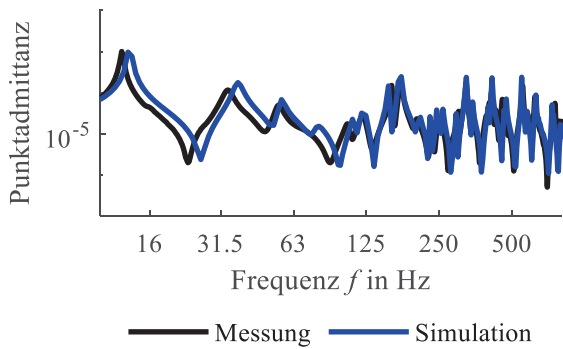


Abbildung 6: Punktdmittanz in einer Ecke des Balkons bei Aufbau mit Trennelement.

Die in Bezug auf die Validierung der Labor-Prüfaufbaus maßgebliche Größe ist der gemittelte Schnellepegel auf der Decke, da aus diesem direkt der Normtrittschallpegel und so die Trittschallpegelminderung oder -differenz bestimmt werden kann. An dem in [2] vorgestellten Aufbau wurde lediglich die Trittschallpegeldifferenz gemessen. Um zu zeigen, dass die Trittschallpegelminderung in der Simulation vergleichbar ist wird diese in Abbildung 7 zusätzlich dargestellt.

Gemessene und simulierte Norm-Trittschallpegel stimmen im Frequenzbereich bis 1 kHz gut überein. Die größere Abweichung im Frequenzbereich oberhalb 1 kHz führt dazu, dass sich die Einzahlwerte nach DIN EN ISO 717-2 [6] um 2 dB unterscheiden. Vermutlich ist dies auf eine unzureichende Elementgröße im Modell zurückzuführen. Im Allgemeinen kann das Modell jedoch als hinreichend validiert betrachtet werden.

Die Simulation zeigt sehr gute Übereinstimmungen mit den Messungen beim Schwingungsverhalten, bei der Anregbarkeit sowie in weiten Frequenzbereichen der Trittschallpegeldifferenz. Um zu überprüfen, ob das Modell auch auf Veränderungen korrekt reagiert, wurden Modifikationen des Trennelements simuliert, die wiederum eine gute Übereinstimmung mit Messergebnissen zeigten, siehe Abbildung 8. Dadurch können z.B. andere Tragkraftstufen eines vergleichbaren Trennelements simuliert werden, ohne einen kostenintensiven und nicht nachhaltig nutzbaren realen Aufbau zu benötigen.

Parameterstudien

Mit Hilfe des validierten Modells können nun Parameterstudien mit Modifikationen des Prüfaufbaus und der Trennelemente in Simulationen durchgeführt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Entkopplung des Prüfaufbaus von den Hilfwänden mit einer Abstimmung auf < 25 Hz geeignet ist (Abbildung 9).

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass die gewählten Abmessungen des Labor-Prüfaufbaus zur messtechnischen Kennzeichnung der Trennelemente geeignet sind. Deutlich kleinere Aufbauten sind infolge der zu geringen Modendichte auf Balkon und Decke bei tiefen Frequenzen nicht geeignet, wohingegen eine Vergrößerung des Prüfaufbaus keine relevanten Unterschiede gibt (Abbildung 10).

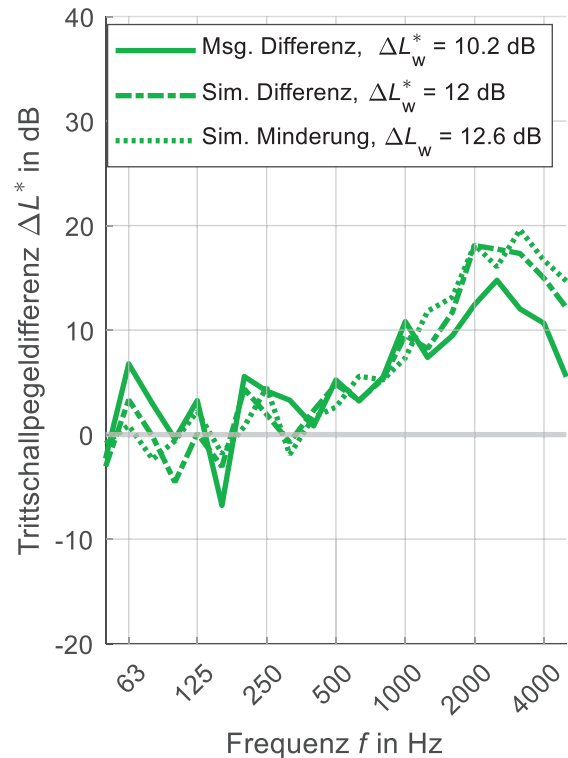


Abbildung 7: Trittschallpegeldifferenz gemessen und simuliert und Vergleich Trittschallpegeldifferenz und Trittschallpegelminderung.

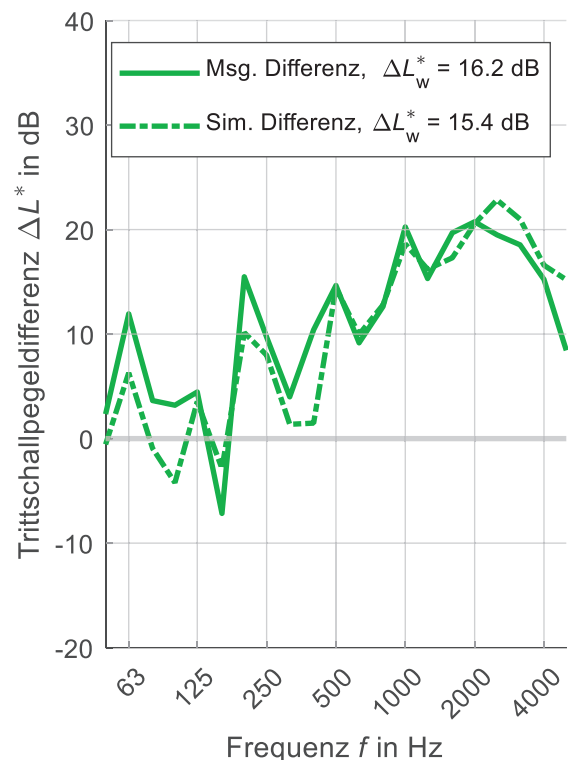


Abbildung 8: Messung und Simulation eines modifizierten Trennelements.

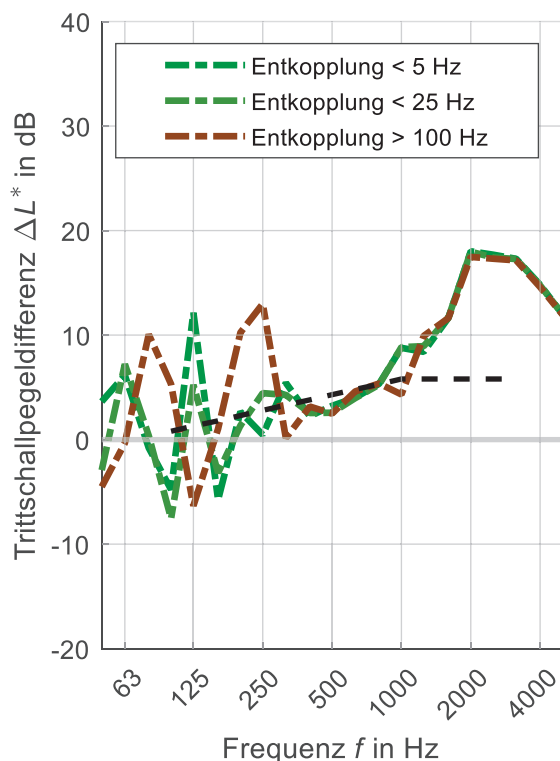


Abbildung 9: Einfluss der Entkopplung des Labor-Prüfaufbaus. Die bewertete Trittschalldifferenz ist bei allen Simulationen $\Delta L_w^* = 11,8$ dB.

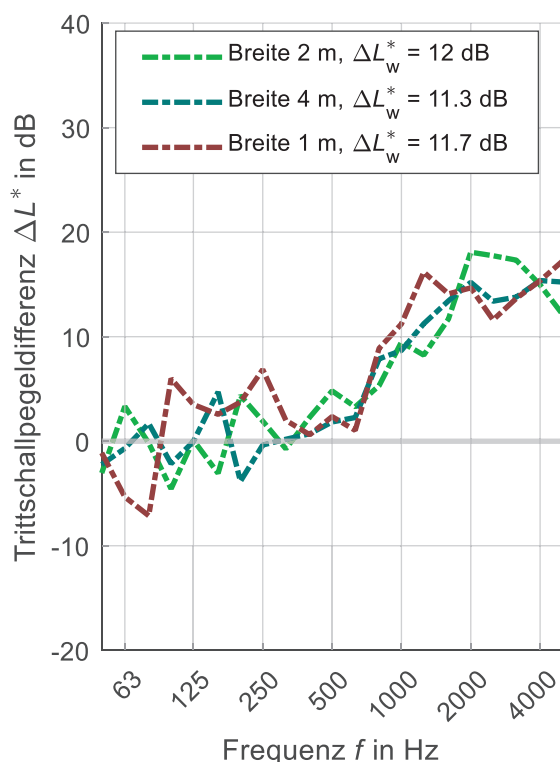


Abbildung 10: Einfluss der Breite des Labor-Prüfaufbaus auf die Trittschalldifferenz.

Fazit und Ausblick

Für die Trittschallübertragung von Balkonen in einen angrenzenden, schutzbedürftigen Raum wird ein Prognoseverfahren entwickelt. Die Trittschallübertragung der Trennelemente wurde anhand von Labor-Prüfaufbauten untersucht und mit Hilfe von FE-Simulationen validiert. Somit können mit dem Labor-Prüfaufbau Kenngrößen für verschiedene Trennelemente gewonnen werden, die sowohl für die Produktkennzeichnung also auch für die Prognose geeignet sind. Die FE-Simulationen können in Zukunft auch zur Durchführung von Parameterstudien und zur Entwicklung optimierter Trennelemente verwendet werden. Das Prognoseverfahren muss mit Baumessungen validiert werden. Anschließend kann es in eine Norm überführt werden, um so eine Planungsgrundlage für die Trittschallübertragung von Balkonen zu schaffen.

Danksagung

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4109:2018-01, *Schallschutz im Hochbau*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2018.
- [2] L. Heidemann, B. Zeitler und J. Scheck, „Trittschalldämmung von thermisch getrennten Balkonplatten,“ in *DAGA*, Hannover, 2020.
- [3] DIN EN ISO 12354-2:2017-11, *Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2017.
- [4] S. Blessing, „Balkone in der DIN 4109,“ in *DAGA*, München, 2018.
- [5] EAD 050001-00-0301, *Load bearing thermal insulating elements which form a thermal break between balconies and internal floors*, Brüssel: European Organisation for Technical Assessment, Entwurf 2021.
- [6] DIN EN ISO 717-2:2013-06, *Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2013.