



Abbildung 3 ist einer von zwei ausgeführten Aufbauten dargestellt, die messtechnisch untersucht wurden.

Die größere Stahlbeton-Platte entspricht der Decke im Gebäude und liegt entkoppelt auf zwei Wänden. Die Masse-Feder-Resonanzfrequenz wurde auf 25 Hz ausgelegt [7]. Mit dieser Auslegung wurden zwei Ziele verfolgt: zum einen soll die Decke im erweiterten bauakustischen Frequenzbereich von 50 Hz und 5 kHz hinreichend von der Umgebung entkoppelt sein. Zum anderen soll das Schwingungsverhalten im Frequenzbereich unter 15 Hz dem im Gebäude entsprechen, um mögliche Schwingungsprobleme [7] untersuchen zu können. Letzteres erfordert eine „harte“ Stoßstelle.

An die größere Stahlbeton-Platte (Decke) ist eine kleinere Stahlbeton-Platte angeschlossen, die dem Balkon entspricht.

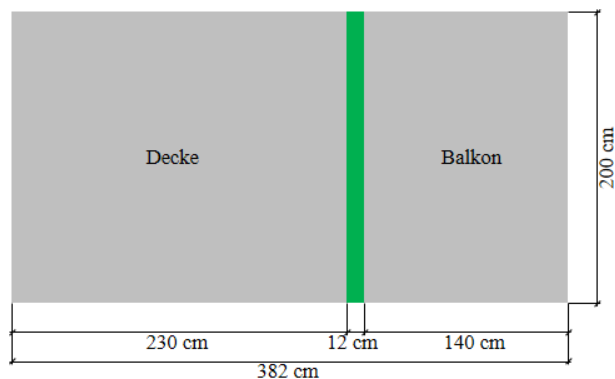


Abbildung 2: Maße des Labor-Prüfaufbaus, grün: Dämmelement.

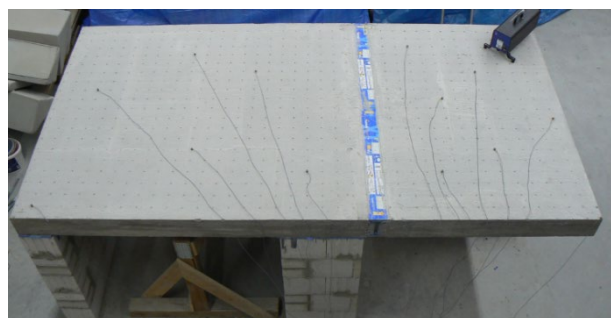


Abbildung 3: Realisierter Labor-Prüfaufbau (Aufbau I) mit Anregeposition und Messpositionen zur Bestimmung der Trittschallpegeldifferenz des Wärmedämmelementes aus Körperschallmessungen.

Die Prüfaufbauten wurde mit Plattendicken von 0,18 m (Aufbau I) und 0,22 m (Aufbau II) realisiert.

### Labor-Prüfverfahren

Die Bestimmung der Trittschallpegeldifferenz an diesem Aufbau erfolgt mit Körperschallmessungen (Abbildung 4).

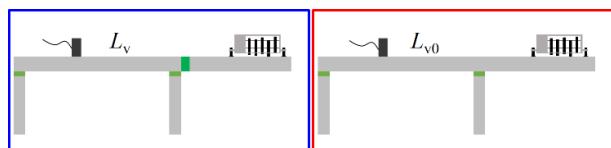


Abbildung 4: Seitenansicht des entkoppelten (blau) und durchbetonierten (rot) Labor-Prüfaufbaus.

Der von der Decke abgestrahlte Luftschallpegel in einen (fiktiven) Empfangsraum unter der Decke wird mit Gleichung (2) berechnet.

$$L_p = L_v + 10 \log \sigma + 6 + 10 \log \frac{S}{A} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Dabei ist:

- $L_p$ : Mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum
- $L_v$ : Mittlerer Schnellepegel auf der Decke ref 5e-8 m/s
- $\sigma$ : Abstrahlgrad; Annahme  $\sigma = 1$
- $S$ : Deckenfläche
- $A$ : äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum

Durch Normierung auf die Bezugs-Absorptionsfläche:  $A_0 = 10 \text{ m}^2$  ergibt sich der Norm-Trittschallpegel aus Körperschallmessungen nach Gleichung (3):

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

Die Bestimmung der Trittschallpegeldifferenz  $\Delta L^*$  des Wärmedämmelementes erfolgt über Messungen des Norm-Trittschallpegels an einem Aufbau mit Wärmedämmelement und einem durchbetonierten Aufbau nach Gleichung (4):

$$\Delta L^* = L_{n0,v} - L_{n,v} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Dabei ist:

- $\Delta L^*$ : Trittschallpegeldifferenz des Wärmedämmelementes
- $L_{n0,v}$ : Norm-Trittschallpegel des durchbetonierten Aufbaus
- $L_{n,v}$ : Norm-Trittschallpegel des Aufbaus mit Wärmedämmelement

Zur Bestimmung der bewerteten Trittschallpegeldifferenz  $\Delta L_w^*$  des Wärmedämmelementes bietet es sich wie bei Deckenaufbauten und Entkopplungselementen für Massivtreppen an, das Bezugsdeckenverfahren nach DIN EN ISO 717-2 [8] anzuwenden.

### Experimentelle Modalanalyse

Zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens wurden für Aufbau I mit Wärmedämmelement und durchbetoniert experimentelle Modalanalysen durchgeführt. Das hierfür verwendete Raster ist in Abbildung 3 zu erkennen. Bei dem gewählten Rasterabstand von 10 cm ergaben sich 819 Anregepositionen mit dem Impulshammer. Die Referenzposition des Körperschallaufnehmers für die nachfolgenden Auswertungen befand sich in einer Ecke auf dem Balkon.

Abbildung 5 zeigt die Punktadmittanz des entkoppelten (blau) und durchbetonierten (rot) Aufbaus. Die Schwingungsformen bei den Eigenfrequenzen sind auszugswise in Abbildung 6 dargestellt.

Die erste Eigenmode beim Aufbau mit Wärmedämmelement wird maßgeblich durch die Drehfedersteifigkeit des Wärmedämmelementes bestimmt. Dieses ist hier „weich“ und trennt den Balkon von der Decke effektiv, der Balkon schwingt wie ein Kragarm als Starrkörper. Untersuchungen in [7] zeigen, dass diese Schwingung deutlich wahrnehmbar ist und eventuell im Gebäude zu Unwohlsein bei Personen, die sich auf dem Balkon befinden, führen könnte, was beim durchbetonierten Aufbau nicht der Fall ist. Untersuchungen mittels FE-Simulationen bestätigen, dass die Entkopplung der Decke von den Stützwänden hier noch nicht wirkt, was das

Ziel bei der Auslegung war (die Analyse der Schwingungsproblematik ist ein weiteres Thema im Rahmen des Forschungsprojektes und wird hier nicht weiter behandelt). Im Frequenzbereich ab ca. 50 Hz wird das Schwingungsverhalten von Biege-Eigenmoden der Platte(n) bestimmt. Der Einfluss des Wärmedämmelementes auf die Schwingungen des Gesamtaufbaus ist im Frequenzbereich unter ca. 500 Hz relativ gering. Das Wärmedämmelement bewirkt hier keine effektive Trennung von Balkon und Decke. Oberhalb 500 Hz weisen die Balkon-Schwingungen mit Wärmedämmelement wesentlich höhere Amplituden auf als auf der Decke. Beim durchbetonierten Aufbau sind die Amplituden auf Balkon und Decke im gesamten Frequenzbereich in der gleichen Größenordnung, wie zu erwarten.

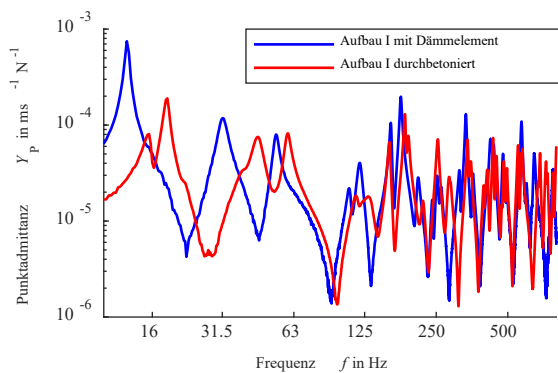


Abbildung 5: Punktadmittanz an der Referenzposition in der Ecke des Balkons des Aufbaus I mit Dämmelement und durchbetoniert.

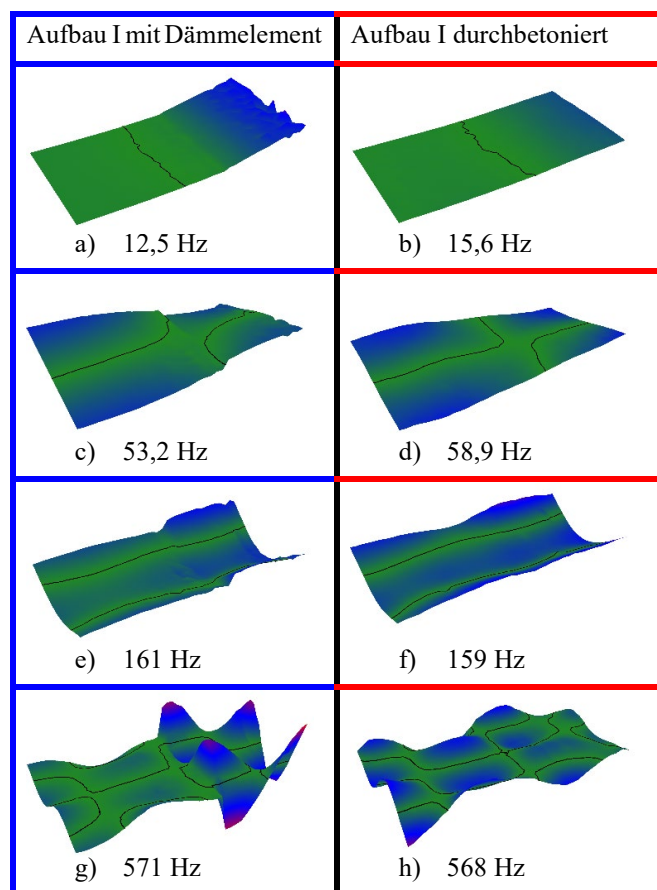


Abbildung 6: Schwingungsformen des Aufbaus I mit Dämmelement und durchbetoniert bei ausgewählten Frequenzen (gleiche Skalierung).

### Trittschallpegeldifferenz

Die flächengemittelten Schnellepegel auf Balkon und Decke wurden durch simultane Messung an jeweils sechs Positionen bestimmt. Die Anregung mit dem Normhammerwerk erfolgte an einer Ecke auf dem Balkon im Sinne einer „worst case“ Betrachtung, da hier die Eigenmoden optimal angeregt werden (siehe Abbildung 6).

Abbildung 7 zeigt die Norm-Trittschallpegel der Decke mit und ohne Dämmelement in Terzbändern von 50 Hz bis 5000 Hz, Abbildung 8 die daraus bestimmte Trittschallpegeldifferenz. Gemäß den Erkenntnissen aus der experimentellen Modalanalyse ergibt sich erst im Frequenzbereich oberhalb 400 Hz eine mit der Frequenz zunehmende Verbesserung der Dämmwirkung durch das Wärmedämmelement. Die bewertete Trittschallpegeldifferenz beträgt  $\Delta L_w^* = 10,2$  dB.

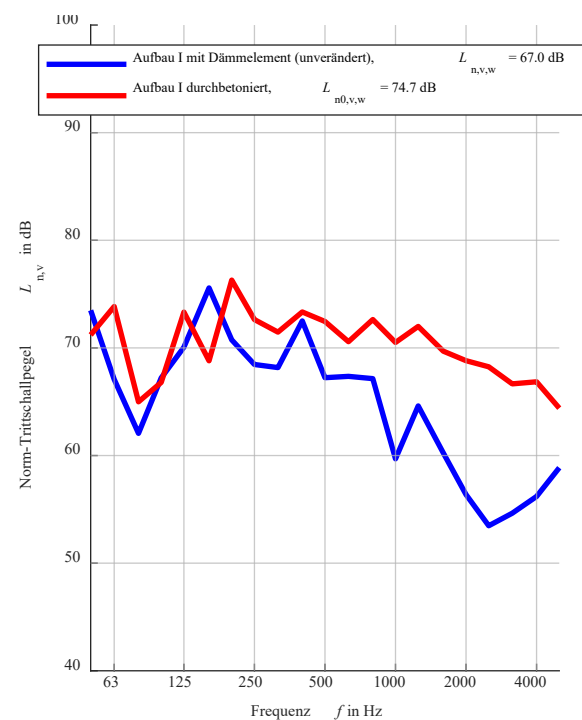
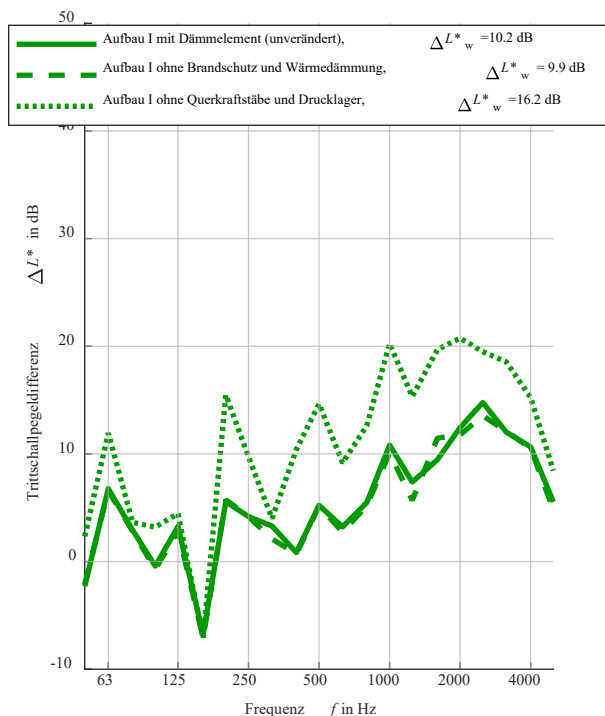


Abbildung 7: Norm-Trittschallpegel der Decke von Aufbau I mit Dämmelement und durchbetoniert.

### Modifizierung des Wärmedämmelementes

Die untersuchten Dämmelemente bestehen aus statisch erforderlichen Zug- und Querkraftstäben, Drucklagern, Dämmelementen, sowie Brandschutzplatten. Um den Einfluss der einzelnen Bestandteile des Dämmelementes auf die Trittschallübertragung bestimmen zu können, wurden diese nach erfolgter Messung im Originalzustand für weitere Messungen modifiziert. Dabei wurden alle tragenden, wärmedämmenden, sowie feuerhemmenden Elemente sukzessive entfernt und nach jedem Modifikationsschritt Messungen des Norm-Trittschallpegels durchgeführt. Im letzten Zustand bestand das Wärmedämmelement nur noch aus wenigen Zugstäben und Drucklagern. Der freigelegte Bereich zwischen Decken- und Balkonplatte wurde anschließend durchbetoniert, um so die starre Referenz für die Auswertung (Abbildung 4, rechts) zu erhalten.



**Abbildung 8:** Trittschallpegeldifferenz von Aufbau I im Originalzustand und bei unterschiedlichen Modifikationsschritten.

Die Änderung der Dämmwirkung bei Entfernung der Brandschutzplatten, sowie des wärmedämmenden Schaumkörpers ist vernachlässigbar. Die Entfernung aller Drucklager und Querkraftstäbe führt dagegen zu einer signifikanten Erhöhung der Trittschallpegeldifferenz.

## Aufbau II

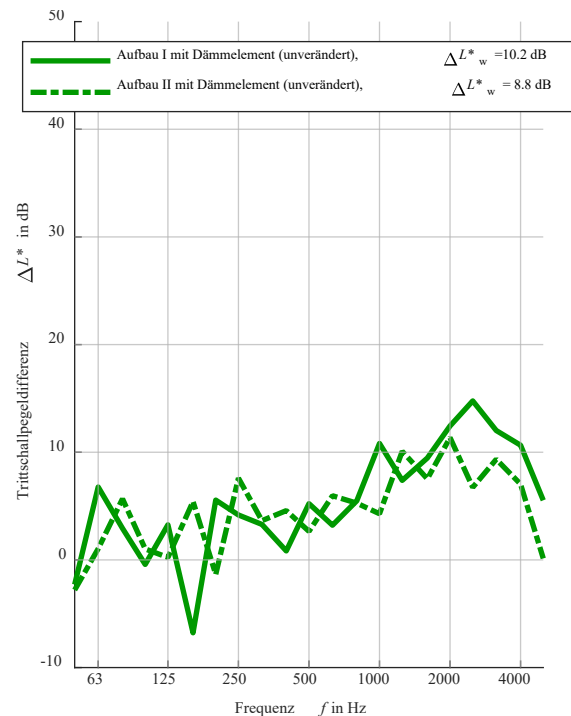
In Abbildung 9 ist die Trittschallpegeldifferenz für einen zweiten Aufbau mit einem Wärmedämmelement mit höherer Tragstufe und einer Höhe von 22 cm dargestellt. Durch die Veränderung der Plattendicke verändert sich das modale Verhalten, welches in den Ergebnissen für die Trittschallpegeldifferenz zwangsläufig mit enthalten ist. Dass die Ergebnisse für beide Aufbauten in derselben Größenordnung liegen, ist ermutigend. In weiteren Schritten wird genau untersucht, wie sich die Änderung der Abmessungen des Prüfaufbaus auf die Trittschallpegeldifferenz auswirkt und ob mit dem gewählten Aufbau eine aussagekräftige Kennzeichnung möglich ist.

## Fazit

Zur Produktkennzeichnung von Wärmedämmelementen für thermisch getrennte Balkone wird ein Labor-Prüfverfahren vorgeschlagen. Als Kenngröße wird die Trittschallpegeldifferenz verwendet, die im Labor anhand von Körperschallmessungen bestimmt und für die Prognose der Trittschallübertragung im Gebäude verwendet werden kann.

## Danksagung

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



**Abbildung 9:** Trittschallpegeldifferenz bei Aufbauten mit 0,18 m (Aufbau I) und 0,22 m Betondicke (Aufbau 2).

## Literatur

- [1] DIN 4109:2018-01, Schallschutz im Hochbau, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2018.
- [2] S. Blessing, „Balkone in der DIN 4109,“ in DAGA, München, 2018.
- [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] DIN 7396:2016-06, Bauakustische Prüfungen - Prüfverfahren zur akustischen Kennzeichnung von Entkopplungselementen für Massivtreppen, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2016.
- [5] J. Maack, T. Möck und J. Scheck, „Trittschallschutz,“ in Bauphysik Kalender, Berlin, Ernst & Sohn, 2020, pp. 235 - 313.
- [6] M. Schneider und H.-M. Fischer, „Vibration reduction of thermal break balcony connections,“ in Acoustics'08, Paris, 2008.
- [7] M. S. Kluth, Schwingungsverhalten von thermisch getrennten Balkonplatten, Bachelorarbeit HFT Stuttgart, 2016.
- [8] DIN EN ISO 717-2:2013-06, Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2013.
- [9] C. Fichtel und J. Scheck, „Prediction of horizontally transmitted Sound from Impacted Lightweight Stairs - Part 2: Proposal for a Standard Test Procedure,“ in AIA-DAGA, Meran, 2013.