

Vergleich der Trittschallpegelminderung von Deckenauflagen auf einer Massivdecke und einem Treppenpodest

Ralf Hehl¹, Jochen Scheck^{2,3}, Christoph Fichtel³, Berndt Zeitler²

¹ Kurz und Fischer GmbH, Brückenstraße 9, 71364 Winnenden, E-Mail: ralf.hehl@kurz-fischer.de

² Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart, E-Mail: jochen.scheck@hft-stuttgart.de, berndt.zeitler@hft-stuttgart.de

³ STEP GmbH, Brückenstraße 9, 71364 Winnenden, E-Mail: christoph.fichtel@steponline.de

Einleitung

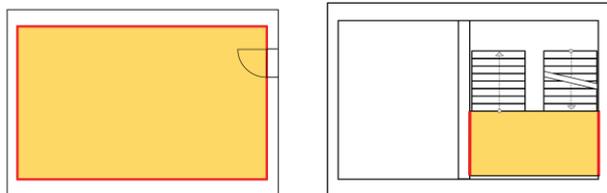
Ziel der Arbeit war die Untersuchung der Schallübertragung eines schwimmenden Estrichs auf einem Treppenpodest und der Vergleich mit der Schallübertragung auf einer Massivdecke. Insbesondere sollte untersucht werden, ob die normgemäß nach DIN 10140 Teil 3 [1] im Deckenauflagenprüfstand gemessene Trittschallpegelminderung, als kennzeichnende Größe für Deckenauflagen, für die Prognose nach DIN EN SO 12354-2 [2] bzw. DIN 4109-2 [3] auf Treppenpodeste übertragbar ist. Hierfür wurden Messungen im Deckenauflagenprüfstand und im Treppenprüfstand nach DIN 7396 [4] mit einem starr in der Treppenraumwand eingespannten, massiven Treppenpodest durchgeführt.

Aus einer Forschungsarbeit [5] standen Daten eines schwimmenden Estrichs im Deckenauflagenprüfstand zur Verfügung. Für die Untersuchungen wurde derselbe Estrich zunächst auf dem Treppenpodest und anschließend mit den Maßen des Podests im Deckenauflagenprüfstand eingebaut. Vorbereitend zu den Messungen mit schwimmendem Estrich erfolgten in beiden Prüfständen Messungen mit lokal reagierenden Deckenauflagen.

Neben bauakustischen Messungen wurden eine experimentelle Modalanalyse und theoretische Betrachtungen zum Einfluss der Luftschallabstrahlung des Estrichs auf die Gesamtübertragung durchgeführt.

Unterschiede bei Massivdecken und Podesten

Während der Deckenauflagenprüfstand die reale Situation von Massivdecken in Bezug auf die Einbaufäche und die Einspannbedingungen gut abbildet, sind Estriche auf Podesten mit teils nur 2 m² deutlich kleiner und weisen zudem sehr unterschiedliche Einspannsituationen mit meist zwei oder drei festen Einspannungen in den Treppenraumwänden auf, wie in Abbildung 1 beispielhaft dargestellt.



Massivdecken:
Allseitig fest eingespannt

Treppenpodeste:
Abweichende
Einspannsituationen

Abbildung 1: Vergleich der Einspannsituationen von Massivdecken und Treppenpodesten (Feste Einspannungen in Rot dargestellt)

Aufbau und Vergleichbarkeit der Estriche

Der Vergleich der Ergebnisse im Deckenauflagen- und im Treppenprüfstand erfolgte anhand von Daten aus einer

Forschungsarbeit, an der die HFT-Stuttgart beteiligt war. In dieser Arbeit wurde ein vollflächiger schwimmender Estrich im Deckenauflagenprüfstand detailliert untersucht. Voraussetzung für den Vergleich der trittschalldämmenden Wirkung des Estrichs ist der identische Aufbau in beiden Situationen. Dem Abschlussbericht der Forschungsarbeit wurden Angaben zu den verwendeten Dämmmaterialien entnommen. Sowohl für die Forschungsarbeit als auch für die aktuellen Prüfaufbauten wurde die dynamische Steifigkeit der verwendeten Materialien nach DIN EN 29052-1 bestimmt.

Die Ergebnisse der Messungen der dynamischen Steifigkeiten der verwendeten Wärme- und Trittschalldämmung aus Polystyrol-Hartschaumplatten zeigt Tabelle 1.

Für das System aus Wärme- und Trittschalldämmung wurde für die im Deckenauflagenprüfstand verwendeten Materialeien eine dynamische Steifigkeit von $14,7 \frac{MN}{m^3}$ gemessen. Für die im Treppenprüfstand eingebauten Dämmmaterialien ergab sich mit einer Abweichung um lediglich $\Delta s_{ges} \approx 0,3 \frac{MN}{m^3}$ (ca. 2,0 %) eine sehr gute Übereinstimmung der dynamischen Steifigkeit. Damit war hinreichend sichergestellt, dass die im Deckenauflagenprüfstand und im Treppenprüfstand verwendeten Dämmplatten die gleiche schalltechnische Qualität besitzen.

Tabelle 1: Dyn. Steifigkeiten der verwendeten Dämmmaterialien

	Dynamisch Steifigkeiten der Materialien		
	Deckenauflagenprüfstand	Treppenprüfstand	
Trittschalldämmung s_{TSD}	$23 \frac{MN}{m^3}$	$23,3 \frac{MN}{m^3}$	
Wärmedämmung s_{WD}	$41 \frac{MN}{m^3}$	$42,2 \frac{MN}{m^3}$	
System aus Wärme- u. Trittschalldämmung s_{ges}	rechnerisch	$14,7 \frac{MN}{m^3}$	$15,0 \frac{MN}{m^3}$
	gemessen	k. A.	$14,4 \frac{MN}{m^3}$

Auf der Dämmschicht wurde jeweils ein Zementestrich ZE 30 – S mit 45 mm Dicke und einer flächenbezogenen Masse von $m'_{Estrich} = 90 \frac{kg}{m^2}$ eingebaut. Bei der Betrachtung des Systems als Zweimassenschwinger ergibt sich mit $m'_{Rohdecke} = 322 \frac{kg}{m^2}$ bzw. $m'_{Podest} = 432 \frac{kg}{m^2}$ eine Resonanzfrequenz von $f_{0,Rohdecke} = 73,5$ Hz bzw. von $f_{0,Podest} = 70,0$ Hz.

Prüfstände und Messsituation

Abbildung 2 zeigt den Schnitt des Deckenauflagenprüfstandes am Zentrum für Bauphysik der Hochschule für Technik Stuttgart.

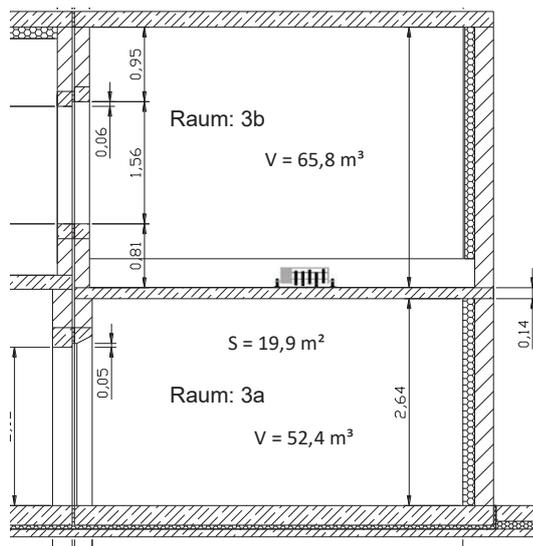


Abbildung 2: Deckenauflagenprüfstand im Zentrum für Bauphysik der Hochschule für Technik Stuttgart

Der Treppenprüfstand ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Podest ist einseitig starr in der Treppenraumwand eingespannt und liegt auf der anderen Seite frei auf einer Hilfsmauer auf Bitumenpappe auf. Die Messrichtung ist hier horizontal.

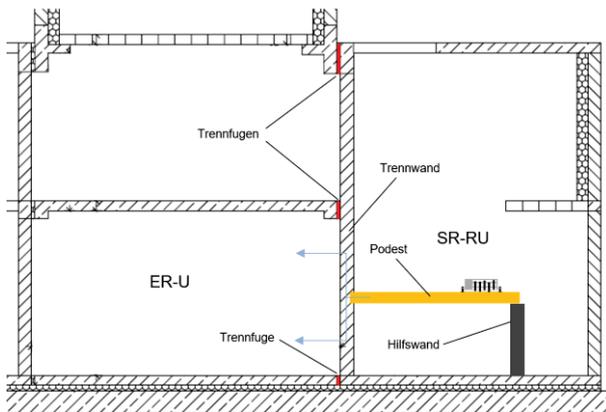


Abbildung 3: Aufbau des Treppenprüfstandes nach DIN 7396

Messungen mit lokal reagierenden Auflagen

Zunächst wurde in beiden Prüfständen die Trittschallpegelminderung sieben lokal reagierender Deckenauflagen (4 Teppichfliesen, PVC, Linoleum, Korkment) gemessen. Hierbei ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen frequenzabhängigen Kurvenverläufe als auch der Einzahlwerte (Tabelle 2). Abbildung 4 zeigt beispielhaft den Verlauf einer Teppichfliese und von PVC. Bei der Teppichfliese ergibt sich eine hervorragende Übereinstimmung bis 1000 Hz. Bei höheren Frequenzen zeigt sich ein nicht ausreichender Grundgeräuschabstand. Die geringen Abweichungen bei den Messungen mit PVC, Linoleum und Korkment ergeben sich aus Unebenheiten der Rohdecke im Deckenauflagenprüfstand, die in Ortbeton gefertigt ist. Die sich hierdurch bildenden Luftsinschlüsse zwischen Rohdecke und Deckenaufgabe wirken als zusätzliche Steifigkeiten und führen zu einer scheinbar höheren Trittschallpegelminderung der Auflage gegenüber der Messung auf dem Podest, das als Betonfertigteile eine sehr plane Oberfläche aufweist. Bei lokal reagierenden Deckenaufgaben bestätigen die Messungen die Übertragbarkeit der Trittschallpegelminderung aus dem Deckenaufgabenprüfstand auf Treppenpodeste.

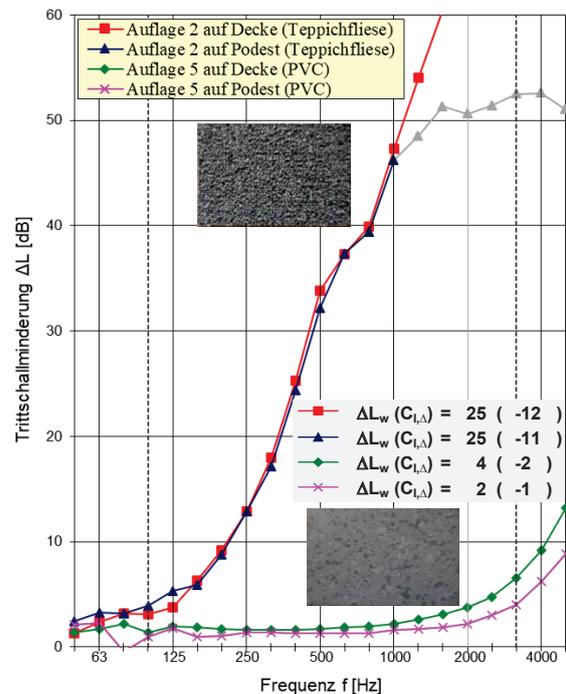


Abbildung 4: Trittschallpegelminderung lokal reagierender Deckenaufgaben

Tabelle 2: Einzahlwerte der Trittschallpegelminderungen ΔL_w der lokal reagierenden Deckenaufgaben im Deckenaufgaben- und im Treppenprüfstand

Auflage	Deckenaufgabenprüfstand ΔL_w [dB]	Treppenprüfstand ΔL_w [dB]	Differenz ΔL_w [dB]
Teppich 1	28	29	+1
Teppich 2	25	25	0
Teppich 3	20	20	0
Teppich 4	22	22	0
PVC	4	2	-2
Linoleum	6	4	-2
Korkment	16	15	-1

Messungen mit schwimmendem Estrich

Bei den Messungen mit Estrich wurden drei Situationen betrachtet. Zunächst wurde die Trittschallpegelminderung des Estrichs auf dem Podest bestimmt und anschließend mit der des vollflächigen Estrichs im Deckenaufgabenprüfstand verglichen. Dabei ergaben sich Unterschiede, deren mögliche Ursachen im Folgenden näher betrachtet wurden. Neben einer experimentellen Modalanalyse wurden hierfür Körperschallmessungen durchgeführt und die Luftschallanregung des Podestes aus der Schallabstrahlung des Estrichs betrachtet. Abschließend wurde ein Estrich mit den Abmessungen des Podestes (1,00 m x 2,40 m) im Deckenaufgabenprüfstand eingebaut, um den Einfluss der Auflagersituation und das Schwingungsverhalten zu untersuchen.

Die spektralen Verläufe der Trittschallpegelminderung zeigt Abbildung 5. Die Frequenzverläufe aller Messkurven zeigen einen Einbruch der Trittschallpegelminderung im Bereich der berechneten Resonanzfrequenzen von ca. 70 Hz. Oberhalb dieses Einbruchs steigt die Trittschallpegelminderung des vollflächigen Estrichs wie erwartet mit ca. 12 dB/Oktave. Sowohl auf dem Podest als auch beim Teilestrich im Deckenaufgabenprüfstand zeigt sich dieser Anstieg lediglich bis 125 Hz. Im Bereich von 125 Hz bis 200 Hz steigt die

Trittschallpegelminderung in beiden Situationen hingegen nicht weiter an. Während sich für den Teilestrich ab 200 Hz ein steiler Anstieg ergibt und dessen Kurve bis 1600 Hz gut mit der des vollflächigen Estrichs übereinstimmt, steigt die Trittschallpegelminderung auf dem Podest hier mit lediglich ca. 10 dB/Oktave und erreicht die nicht die hohen Minderungen der Estriche im Deckenauflagenprüfstand. Als Ursache hierfür werden die unterschiedlichen Einspannsituationen der Tragkonstruktion (Massivdecke bzw. Podest) vermutet.

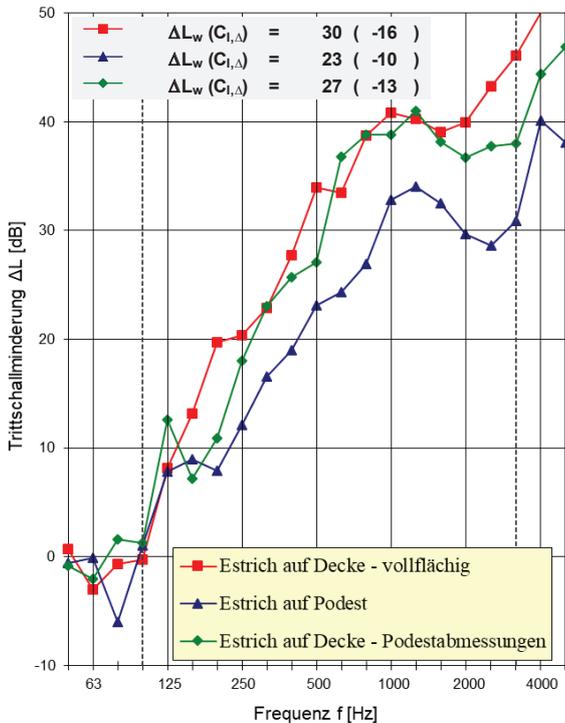


Abbildung 5: Trittschallpegelminderung ΔL mit Estrich im Deckenauflagen- und im Treppenprüfstand für den vollflächigen Estrich (rot), den Estrich auf dem Podest (blau) und den Teilestrich (1,00 m x 2,40 m) im Deckenauflagenprüfstand (grün)

Tabelle 3: Einzahlwerte der Trittschallpegelminderungen ΔL_w mit Estrich im Deckenauflagen- und im Treppenprüfstand

	Vollflächiger Estrich auf Bezugsdecke	Estrich auf Podest	Teilestrich auf Bezugsdecke
ΔL_w [dB]	30	23	27

Untersuchung möglicher Ursachen für die Abweichungen

Körperschallmessungen

Zunächst wurden die Ergebnisse der Luftschallmessungen durch Körperschallmessungen überprüft. Durch die Messung der Schnellepegel auf dem Estrich und an der Unterseite des Podests wurde die Trittschallpegelminderung für den Direktdurchgang gemessen und somit der Einfluss der Stoßstelle bei der horizontalen Übertragung eliminiert. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse dargestellt.

Bis 315 Hz zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Insbesondere die im Frequenzbereich von 125 Hz bis 200 Hz nicht ansteigende Trittschallpegelminderung wird durch die Körperschallmessungen bestätigt. Eine Erklärung für die etwas geringeren Pegel bei der Luftschallmessung im mittleren Frequenzbereich konnte nicht gefunden werden.

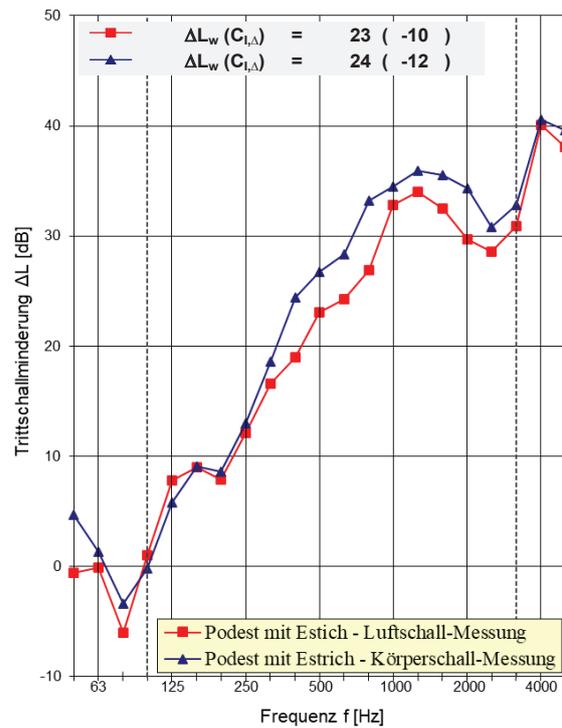


Abbildung 6: Trittschallpegelminderung ΔL auf dem Podest aus Luft- und Körperschallmessungen

Experimentelle Modalanalyse

Durch eine experimentelle Modalanalyse wurde das Schwingungsverhalten des gekoppelten Systems aus Estrich und Podest untersucht und geprüft, ob sich hieraus - und speziell aus der Auflager- bzw. Einspannsituation des Podestes - Rückschlüsse auf die geringere Trittschallpegelminderung ableiten lassen.

Die Analyse bestätigte einerseits die starre Einbindung des Podestes in der Treppenraumwand sowie die freie Auflagerung auf der Hilfsmauer. Im Weiteren entsprach das Schwingungsverhalten den Erwartungen und folgte den Ergebnissen aus der Forschungsarbeit. In beiden Situationen ergab sich eine Entkopplung von Rohdecke bzw. Podest und Estrich bereits unterhalb der berechneten Resonanzfrequenz. Zudem zeigte sich in beiden Analysen das gegenphasige Schwingen von Estrich und Rohdecke bzw. Podest im Bereich der berechneten Resonanzfrequenz und anschließend eine zunehmende Entkopplung mit steigender Frequenz. Hinweise auf die geringere Trittschallpegelminderung gegenüber dem Deckenauflagenprüfstand konnten aus der Analyse jedoch nicht abgeleitet werden.

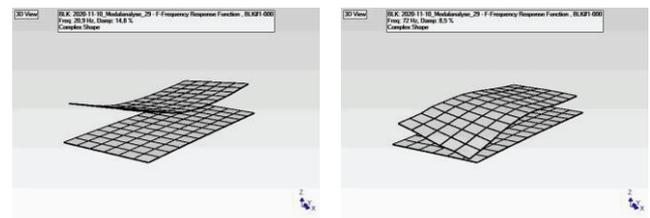


Abbildung 7: Schwingungsbilder im Treppenprüfstand bei $f = 21\text{ Hz}$ und $f = 72\text{ Hz}$

Luftschallanregung

Als weitere mögliche Ursache für die geringere Trittschallpegelminderung des Estrichs auf dem Podest wurde dessen Anregung durch die Schallabstrahlung des Estrichs rechnerisch abgeschätzt. Hierfür wurde im Sinne eines „worst

case Szenario“ angenommen, dass der Schnellepegel $L_{v,E}$, der auf dem Estrich gemessen wurde, gleich dem Schalldruckpegel L_p unterhalb des Podestes ist. Dies entspricht der Vorstellung, dass sich der Estrich direkt unter dem Podest befindet und dieses direkt anregt (Abbildung 8).

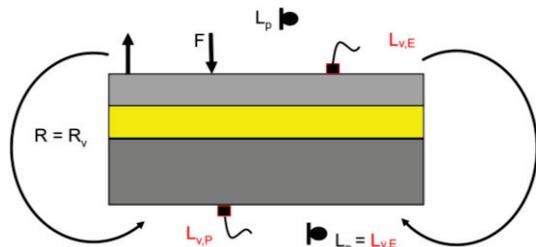


Abbildung 8: Modell zur Abschätzung des Einflusses der Luftschallabstrahlung des Estrichs auf die Anregung des Podestes

Die Berechnung erfolgte unter der Annahme eines Abstrahlgrades von $\sigma = 1$ gemäß der Gleichung

$$L_{v,P} = L_p - R_v - 6 \text{ dB}$$

Dabei ist

$L_{v,P}$	Der Schnellepegel gemessen an der Podest-Unterseite [dB]
L_p	Der Schalldruckpegel unter dem Podest [dB]
R, R_v	Das Schalldämm-Maß, berechnet nach DIN EN ISO 12354-1 [dB]
F	Die anregende Kraft

In Abbildung 9 sind die auf dem Estrich gemessenen Schnellepegel in Orange dargestellt, die Schnellepegel an der Unterseite des Podestes in Hellblau. Diese ergeben sich aus der Summe der Luftschallanregung des Podestes sowie der Körperschallanregung über die Dämmschichten. Die berechneten Schnellepegel, die sich rein aus der Luftschallanregung ergeben, zeigt die dunkelblaue Kurve.

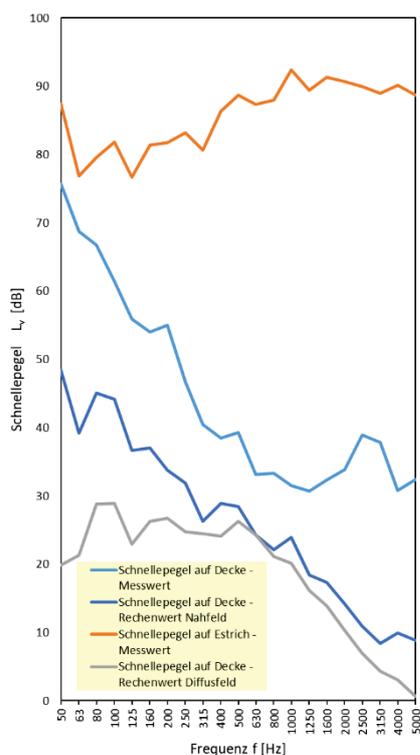


Abbildung 9: Luftschallanregung des Podestes als Folge der Schallabstrahlung des Estrichs

Diese liegt in beinahe allen Terzbändern mehr als 10 dB und somit deutlich unterhalb der gemessenen Schnellepegel. Das Ergebnis zeigt, dass die Luftschallanregung vernachlässigbar ist und daher nicht ursächlich für die geringere Trittschallpegelminderung auf dem Podest sein kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Während für den vollflächigen Estrich im Deckenauflagenprüfstand eine bewertete Trittschallpegelminderung von $\Delta L_w = 30$ dB gemessen wurde, liegt diese beim Teilestrich bei lediglich 27 dB und auf dem Podest bei 23 dB. Die bisherigen Untersuchungen zeigen somit, dass sowohl auf dem Podest als auch im Deckenauflagenprüfstand nicht dieselbe Minderung erreicht wird, wie beim vollflächigen Estrich.

Als Ursache für die in den Terzbändern 125 Hz bis 200 Hz sowohl auf dem Podest als auch beim Teilestrich nicht weiter ansteigende Trittschallpegelminderung wird das modale Verhalten der Estrichplatte und die sich hieraus ergebenden Auswirkungen auf das gekoppelte System vermutet. Oberhalb von 250 Hz ergeben sich für den Teilestrich im Deckenauflagenprüfstand für den Teilestrich deutlich höhere Minderungen als auf dem Podest. Die Kurve folgt hier weitestgehend der des vollflächigen Estrichs. Dies deutet auf einen Einfluss der unterschiedlichen Einspannbedingung der Tragkonstruktion (Massivdecke bzw. Podest) hin, die es noch näher zu untersuchen gilt.

Nach den bisherigen Ergebnissen ist festzuhalten, dass die Trittschallpegelminderung auf einem Treppenpodest bei der Prognose durch Messungen im Deckenauflagenprüfstand möglicherweise überschätzt wird.

Zur Überprüfung der Messergebnisse und der vermuteten Ursachen sind weitere Untersuchungen geplant. Zunächst ist die Berechnung der Trittschallpegelminderung auf dem Podest durch ein FE-Modell und die Simulation unterschiedlicher Einspannsituationen vorgesehen. Durch weitere Messungen im Treppenprüfstand, bei denen das Podest auf der frei schwingenden Seite übermauert und somit eine starre Einspannung erreicht wird, soll der Einfluss der Einspannsituation auch messtechnisch untersucht werden. Letztlich sind vergleichende Messungen in Gebäuden vorgesehen.

Verweise

- [1] Normenreihe DIN EN ISO 10140 Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand.
- [2] DIN EN ISO 12354-2:2017-11 Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen.
- [3] Normenreihe DIN 4109 Schallschutz im Hochbau.
- [4] DIN 7396:2016-06 Bauakustische Prüfungen - Prüfverfahren zur akustischen Kennzeichnung von Entkopplungselementen für Massivtreppen.
- [5] Abschlussbericht zur Forschungsarbeit "Ursachen und Verbesserungspotenzial des Phänomens der tiefrequenten Trittschallgeräusche bei klassischen schwimmenden Estrichen auf Stahlbetondecken im Wohnungsbau" SF-10.8.18.7-11.43.