Die Nachhallzeit in Treppenhäusern

Reinhard O. Neubauer

IBN-Bauphysik GmbH & Co. KG, 85049 Ingolstadt, dr.neubauer@ibn.de

Einleitung

In Treppenhäusern und Fluren von mehrgeschossigen Wohngebäuden werden in DIN 18041 [1] als auch in der DEGA-Empfehlung 103 [2] Maßnahmen zur Raumbedämpfung empfohlen.

Werden nach DIN 18041 raumakustische Anforderungen oder Empfehlungen gestellt, unterscheidet die Norm die betreffenden Räume in Raumgruppen. Treppenräume zählen zu der Raumgruppe B. In Räumen der Gruppe B werden Empfehlungen für das Verhältnis von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A des Raumes zum Raumvolumen V (A/V-Verhältnis) im Frequenzbereich von 250 Hz bis 2 kHz angegeben. Das Gleiche gilt für die DEGA-Empfehlung 103. In der raumakustischen Planung werden jedoch Treppenräume häufig nicht berücksichtigt. In der einschlägigen Literatur sind raumakustische Daten, bezogen auf die Nachhallzeit oder die äquivalente Schallabsorptionsfläche, schwer zu finden. Welche Nachhallzeiten in Treppenhäuser auftreten und welche äquivalente Schallabsorptionsflächen sich daraus ableiten lassen, wird in diesem Beitrag anhand von Messergebnissen diskutiert.

Nachhallzeit in Treppenhäusern

In Treppenhäusern sind gewöhnlich aus brandschutztechnischen Gründen Einrichtungsgegenstände nicht zulässig. Ohne raumakustische, d.h. schallabsorbierende Maßnahmen können in Treppenhäusern sehr lange Nachhallzeiten auftreten. Um zu verhindern, dass in diesem für die Schallübertragung in Wohnungen wichtigen Bereich hohe Schalldruckpegel auftreten, sollte nach [1] [2] die Nachhallzeit in Treppenhäusern begrenzt werden.

Im Wohnungsbau treten zwei Bauarten auf, die sich grundsätzlich unterscheiden. Es wird zwischen massiver und leichter Bauart unterschieden. Die massive Bauart ist ein Stahlbetontreppenlauf mit einem Natur- oder Kunststeinbelag. Die leichte Bauart stellt dagegen eine Holztreppe dar. Nachstehend sind beispielhaft die zwei Treppentypen der untersuchten Treppenhäuser fotografisch wiedergegeben.

Abbildung 1: Beispieltreppenhäuser Massiv- und Leichtbauweise.

Anforderungen / Empfehlungen

Nach DIN 18041 gelten nachstehende Orientierungswerte für Räume der Gruppe B für die Nutzungsarten B1 und B2 (z.B. Treppenhäuser und Flure) für das A/V-Verhältnis in Abhängigkeit der Raumhöhe h.

Tabelle 1: Orientierungswerte für das A/V-Verhältnis nach [1]

Orientierungswerte für das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche A zum Raumvolumen V

Nutzungsart	bei Raumhöhen $h \leq 2,5$ m m^2/m^3	bei Raumhöhen $h > 2,5$ m m^2/m^3
B1	ohne Anforderung	ohne Anforderung
B2	$A/V \geq 0,15$	$A/V \geq [4,80 + 4,69 \lg(h/1\,\mathrm{m})]^{-1}$

Dabei ist

A die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raums in Quadratmeter

V das Raumvolumen in Kubikmeter

h die lichte Raumhöhe in Meter

Bei Raumhöhen kleiner gleich 2,5 m ist für Treppenhäuser (Nutzungsart B2, Treppenhäuser mit Aufenthaltsqualität) der Orientierungswert nach DIN 18041 für das A/V-Verhältnis konstant, d.h. A/V = 0,15 m²/m³ oder größer. In Abbildung 2 ist die erforderliche äquivalente Schallabsorptionsfläche A in Abhängigkeit der Grundfläche für verschiedene Raumhöhen h bei konstantem *A/V-Verhältnis* grafisch dargestellt.

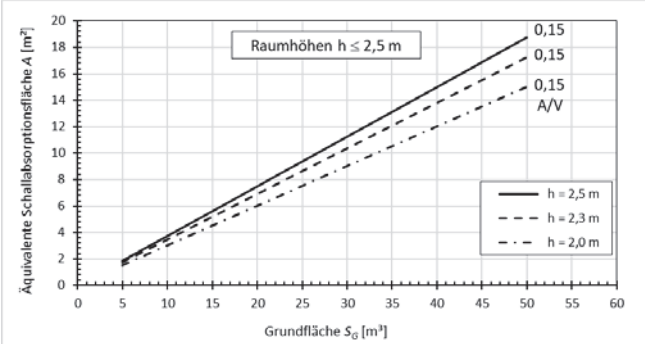

Abbildung 2: Erforderliche äquivalente Schallabsorptionsfläche A für Raumhöhen $h \leq 2,5$ m. Das A/V-Verhältnis ist konstant.

Für Raumhöhen ab 2,5 m ist der Orientierungswert zu berechnen. In Abbildung 3 ist die erforderliche äquivalente Schallabsorptionsfläche A in Abhängigkeit der Grundfläche S_G für verschiedene Raumhöhen h grafisch dargestellt.

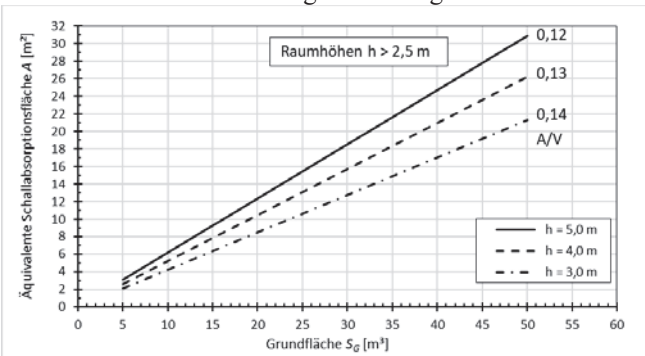

Abbildung 3: Erforderliche äquivalente Schallabsorptionsfläche A für Raumhöhen $h > 2,5$ m. Das A/V-Verhältnis wird berechnet.

Die Raumhöhe h von Treppenhäusern ist in der Praxis aber nicht beliebig hoch. In den hier untersuchten Treppenhäusern betrug die maximale Raumhöhe h = 3,45 m. Wird ein praktischer Bereich von 2,00 m ≤ h ≤ 5,50 m vorausgesetzt, ergibt sich die grafische Darstellung des Orientierungswertes A/V wie in Abbildung 4 dargestellt.

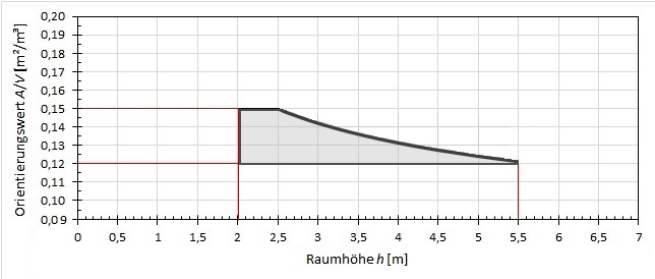

Abbildung 4: Orientierungswerte (A/V) in Abhängigkeit der Raumhöhe h. Das grau hinterlegte Feld markiert den Bereich des A/V-Verhältnisses für Raumhöhen von 2,0 m bis 5,5 m.

Aus Abbildung 4 ist zu erkennen, dass bei einer maximalen Raumhöhe von 5,5 m der Orientierungswert A/V = 0,12 m²/m³ beträgt. Damit lässt sich ein Bereich für den in der Praxis relevanten Fall der möglichen Orientierungswerte ableiten. Für Raumhöhen von 2,00 m bis 5,50 m beträgt das Verhältnis

$$0{,}15\ \mathrm{m^2/m^3} \geq A/V \geq 0{,}12\ \mathrm{m^2/m^3}$$

Aus den Orientierungswerten für das A/V-Verhältnis können unter der Voraussetzung eines diffusen Schallfeldes auch die Nachhallzeiten in Abhängigkeit der Raumhöhe h berechnet werden. In der Abbildung 5 sind die berechneten Nachhallzeiten grafisch dargestellt.

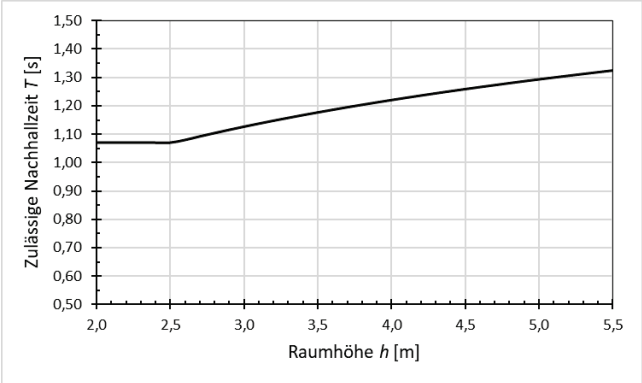

Abbildung 5: Aus den Orientierungswerten (A/V) in Abhängigkeit der Raumhöhe h berechnete Nachhallzeiten T für Raumhöhen von 2,0 m bis 5,5 m.

Die DEGA-Empfehlung 103 gibt für allgemein zugängliche Treppenhäuser und Flure von mehrgeschossigen Wohngebäuden entsprechend der dort angegebenen Schallschutzklassen nachstehende Empfehlung an das A/V-Verhältnis.

	F	E	D	C	B	A	A*
A/V	keine Maßnahmen			≥ 0,10		≥ 0,20 oder kein gemeinsames Treppenhaus	
Hinweis zur Tabelle: Ein A/V-Verhältnis von 0,10 führt in der Regel zu einer Nachhallzeit von ca. 1,4 bis 1,8 s.							

Abbildung 6: Empfehlung für das Verhältnis A/V in allgemein zugänglichen Treppenhäusern und Fluren von mehrgeschossigen Wohngebäuden nach [2].

Die DEGA-Empfehlung 103 stellt damit Anforderungen an ein konstantes A/V-Verhältnis in Abhängigkeit der Schallschutzklassen. Es gilt für die Klasse C bis A*:

$$0{,}10\ \mathrm{m^2/m^3} \leq A/V \geq 0{,}20\ \mathrm{m^2/m^3}$$

Messergebnisse

In 12 Treppenhäuser wurde die Nachhallzeit gemessen. Davon waren 9 massive Treppen und 3 Holztreppen. Die Nachhallzeit wurde nach DIN EN ISO 3382 Teil 2 [3] terzweise ermittelt. In Abbildung 7 sind die Messergebnisse grafisch wiedergegeben.
Um den Geltungsbereich der Norm DIN 18041 darzustellen, sind in der grafischen Wiedergabe der Messergebnisse die Maximal- und Minimalwerte (gestrichelte Linien) sowie der nach DIN 18041 eingeschränkte Frequenzbereich von 250 Hz bis 2 kHz (grau hinterlegtes Feld) in Abbildung 8 dargestellt.

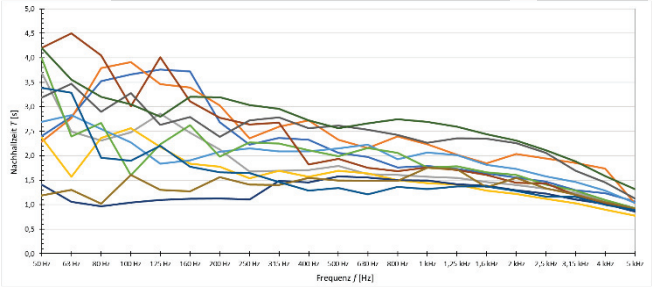

Abbildung 7: Gemessene Nachhallzeiten T_{30} im Terzspektrum von 50 Hz bis 5 kHz.

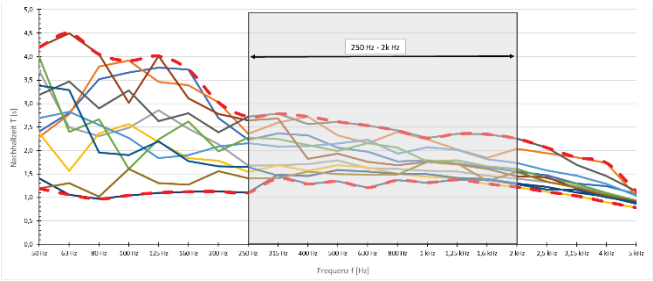

Abbildung 8: Darstellung der gemessenen Nachhallzeiten T_{30} in Terz-Mittenfrequenzen von 50 Hz bis 5 kHz. Die gestrichelten Linien zeigen die Einhüllende der Maximal- und Minimalwerte der Nachhallzeiten und das grau hinterlegte Feld markiert den eingeschränkten Frequenzbereich von 250 Hz bis 2 kHz.

In Tabelle 2 sind die gemessenen maximalen und minimalen Nachhallzeiten T_{30} im Frequenzbereich von 250 Hz bis 2 kHz wiedergegeben.

Tabelle 2: Gemessene Nachhallzeiten in 12 Treppenhäusern

	Nachhallzeit T [s] im Terzspektrum f [Hz]									
	250	315	400	500	630	800	1k	1,25k	1,6k	2k
Massiv T_{max}	**3,03**	2,96	2,73	2,61	2,66	2,74	2,69	2,59	2,44	2,31
T_{min}	1,54	1,69	1,57	1,69	1,62	1,50	1,44	1,41	1,29	1,22
Holz T_{max}	1,65	1,49	1,55	1,58	1,55	1,50	1,76	1,73	1,39	1,55
T_{min}	**1,10**	1,41	1,29	1,34	1,21	1,37	1,32	1,38	1,36	1,28

Aus Tabelle 2 ergibt sich, dass die kürzeste Nachhallzeit 1,10 s und die längste Nachhallzeit 3,03 s jeweils bei 250 Hz auftritt. Die mittlere Nachhallzeit (500 Hz – 1 kHz) beträgt 1,79 s.
In Tabelle 3 sind die mittleren Nachhallzeiten (500 Hz – 1 kHz) nach DIN EN ISO 3382 Teil 1 [4] und die entsprechenden Raumhöhen wieder-gegeben.

Tabelle 3: Raumhöhen h und mittlere Nachhallzeiten T_{30}

Nr.	Raumhöhe h [m]	Mittlere Nachhallzeit T_{30} [s]
1	2,0	2,09
2	2,0	2,67
3	2,47	1,57
4	2,47	1,65
5	2,47	1,90
6	2,47	2,28
7	2,89	1,78
8	3,24	1,53
9	3,24	1,99
10	3,35	1,56
11	3,41	2,46
12	3,45	1,31

Aus den Werten der Tabelle 3 erkennt man, dass die ermittelten Nachhallzeiten keine Korrelation zur Raumhöhe zeigen. Die niedrigste Nachhallzeit (T_{30} = 1,31 s) wurde bei der größten Raumhöhe (h = 3,45 m) ermittelt. Es liegt eine große Streuung der Nachhallzeit bei gleicher Raumhöhe vor.

Beziehung zwischen *T* und *A*

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A ist unter der stillschweigenden Voraussetzung, dass ein diffuses Schallfeld vorliegt, umgekehrt proportional zur Nachhallzeit T. Der funktionale Zusammenhang zwischen den Größen A und T wird durch die Gleichung (1) bestimmt [5]:

$$A = \left(\frac{C_{Sab} V}{T}\right) \qquad (1)$$

mit

C_{Sab} die Konstante nach Sabine in s/m mit C_{Sab} = 0,16 s/m
V Raumvolumen, in m³
A äquivalente Schallabsorptionsfläche, in m²
T Nachhallzeit, in s

Damit ergibt sich:

$$A = 0{,}16\, V/T \qquad (2)$$

Nach Gleichung (2) kann die äquivalente Schallabsorptionsfläche A aus den gemessenen Nachhallzeiten T_{30} (s. Abb. 7) berechnet werden. In Abbildung 9 sind die Ergebnisse grafisch im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5 kHz dargestellt.

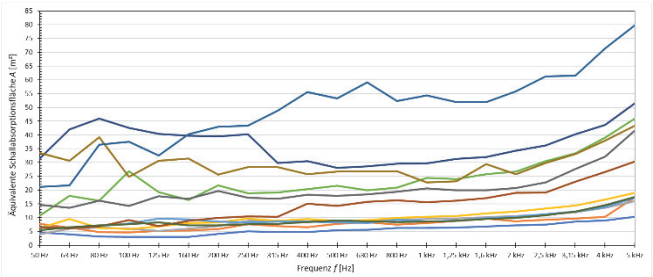

Abbildung 9: Aus den Messergebnissen berechnete äquivalente Schallabsorptionsfläche A im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5 kHz.

In der Abbildung 10 sind die Verhältnisse von äquivalenter Schallabsorptionsfläche A und Raumvolumen V grafisch dargestellt. Zusätzlich sind in dieser Grafik noch der eingeschränkte Frequenzbereich von 250 Hz bis 2 kHz, sowie der Gültigkeitsbereich (0,15 m²/m³ ≥ A/V ≥ 0,12 m²/m³) für die zulässige Raumhöhen h grafisch wiedergegeben.

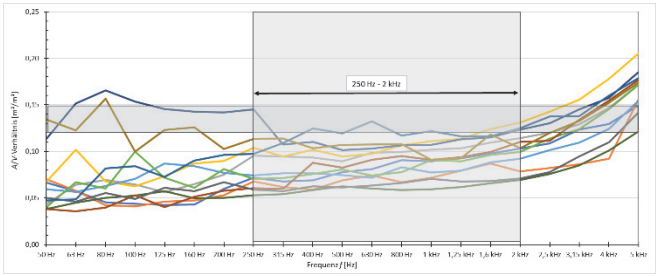

Abbildung 10: Frequenzabhängige A/V-Verhältnisse der untersuchten Treppenräume im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5 kHz. Das grau hinterlegte Feld markiert den eingeschränkten Frequenzbereich von 250 Hz bis 2 kHz, sowie den in Abbildung 2 dargestellten Gültigkeitsbereich für die zulässigen Raumhöhen h.

Aus der grafischen Darstellung der berechneten Ergebnisse in Abbildung 10 ist zu erkennten, dass kein Treppenraum die Anforderung erfüllt. Werden die mittleren Nachhallzeiten aus dem Messdatensatz der 12 untersuchten Treppenräume in die Grafik der „Soll-Nachhallzeiten“ in Abbildung 5 eingetragen, wird sofort deutlich, dass die Orientierungswerte nach DIN 18041 an Treppenräume der Nutzungsklasse B2 nicht erreicht werden. In der Abbildung 11 sind die Ergebnisse dargestellt.

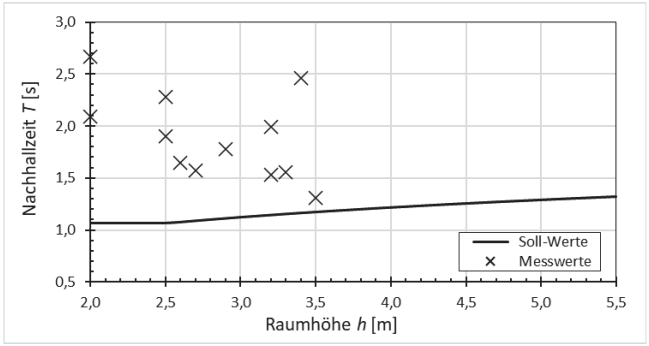

Abbildung 11: Vergleich der Messergebnisse der mittleren Nachhallzeiten und der aus den Orientierungswerten für A/V berechnete Nachhallzeiten T in Abhängigkeit von der Raumhöhe h.

Rechnerische Betrachtung

Im Zuge der Planung eines Treppenraumes und Vergleich mit Soll-Werten (Anforderungswert A/V) muss die äquivalente Schallabsorptionsfläche A berechnet werden. In der Praxis ist dies eine nicht ganz einfache Aufgabe. Für die raumakustische Berechnung muss die gesamte Oberfläche S_{ges} des Raumes, einschließlich der Innenbauteile (z.B. Treppenläufe) bestimmt werden. Jeder Teilfläche (S_i) wird ein Schallabsorptionsgrad (α_i) zugewiesen. Die gesamte äquivalente Schallabsorptionsfläche A ergibt sich dann unter der Voraussetzung eines diffusen Schallfeldes nach Gleichung (3):

$$A = \Sigma_i (\alpha\, S)_i \qquad (3)$$

mit

A äquivalente Schallabsorptionsfläche, in m²
α_i Schallabsorptionsgrad, [-]
S_i i-te Fläche, in m²

In Treppenhäusern werden üblicherweise Materialien eingesetzt, die kein hohes Schallabsorptionsvermögen aufweisen. In DIN 18041 sind Beispiele für den frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrad angegeben. In Tabelle 2 ist ein Auszug aus DIN 18041 wiedergegeben.

Tabelle 4: Beispiele für Schallabsorptionsgrade nach [1]

Spalte / Zeile	1 Kurzbeschreibung Schallabsorber	2	3	4	5	6	7
		Frequenz Hz					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
3	Glattputz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
4	Kalkzementputz	0,03	0,03	0,02	0,04	0,05	0,05
7	Tür, Holz, lackiert	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
8	unverputzter Beton	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
9	Marmor, Fliesen, Klinker	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
10	Fenster (Isolierverglasung)	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02

Aus den Werten in Tabelle 4 zeigt sich, dass die in Treppenhäusern typischerweise vorliegenden Materialien (Beton, Glas, Putz, Holz) einen Schallabsorptionsgrad zwischen 0,01 und 0,11 aufweisen. Im Wohnungsbau haben Treppenhäuser ein nicht zu großes Volumen, so dass auch die Wand- und Deckenflächen nicht sehr groß sind. In der vorliegenden Datenmenge der 12 untersuchten Treppenhäuser betragen die Volumina etwa 70 m³ bis 450 m³ und die Oberflächen etwa 170 m² bis 490 m². Damit ergibt sich ein A/V-Verhältnis zwischen 0,11 m²/m³ und 0,22 m²/m³.

Maßnahmen

Die raumakustischen Möglichkeiten in Treppenhäusern sind begrenzt. Als mögliche Flächen, die mit einem Schallabsorber bekleidet werden können, eignen sich z.B. die Unterseiten der Treppenläufe und Podeste sowie Teilflächen an den Wänden. Die Grundlage der Treppenraumplanung stellt DIN 18065 [6] in Verbindung mit den Länderbauordnungen dar. Danach muss die lichte Treppendurchgangshöhe bei allen Gebäuden mindestens 200 cm und die nutzbare Treppenlaufbreite muss mindestens 100 cm betragen. Die nutzbare Treppenlaufbreite ist im Unterschied zur Treppenlaufbreite nicht die gesamte Konstruktionsbreite eines Treppenlaufes, sondern die für die Benutzung maßgebliche Breite. In Deutschland wird die nutzbare Laufbreite definiert als: „… *lichtes Fertigmaß (gemessen in gebrauchsfertigem Zustand)… waagerecht gemessen zwischen begrenzenden Oberflächen, Bauteilen und/ oder Handlaufinnenkanten bzw. deren Projektionen*“ (DIN 18065). Die nutzbare Treppenlaufbreite bedeutet also der Abstand zwischen Wand und Handlauf oder zwischen den Handläufen. Eine nachträgliche Anbringung ist deshalb oft schwierig. In Abbildung 10 ist beispielhaft eine nachträgliche Anordnung eines Schallaborbers im Treppenhaus dargestellt.

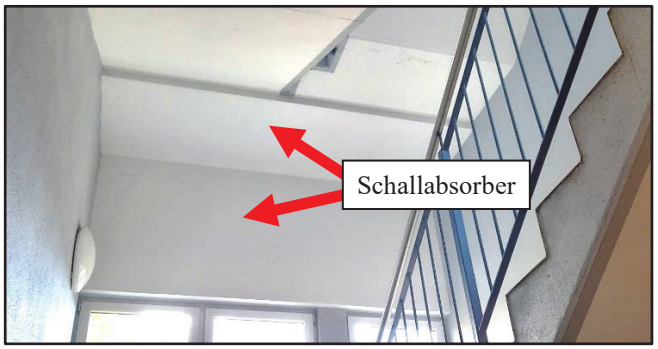

Abbildung 10: Beispiel einer nachträglichen Anordnung eines schallabsorbierenden Materials an der Rückwand und der Unterseite des Podestes (Fabr. StoSilent Direct 50 mm).

Schlussbetrachtung

Die gemessenen Nachhallzeiten ergaben für alle Messungen eine mittlere Nachhallzeit (500 Hz – 1 kHz) von 1,90 s. Die Standardabweichung der Mittelwerte beträgt ±0,41 s.

Massive Treppenhäuser weisen eine längere Nachhallzeit auf als Treppenhäuser mit Holztreppen. Die mittlere Nachhallzeit in den Treppenhäuser mit massiven Treppenläufen beträgt (2,04 ± 0,38) s und bei Holztreppen (1,40 ± 0,20) s.
Kein untersuchter Treppenraum erfüllte den Orientierungswert (A/V) nach DIN 18041. Aufgrund der erforderlichen Durchgangshöhe bei Treppen (Mindesthöhe 2 m) ist das nachträgliche Anbringen von Schallabsorbern auf der Unterseite von Treppenläufen oft nicht möglich, oder nicht gewünscht. Die Unterseite von Podesten sowie Teilflächen an Wänden können aber bei nachträglicher Anordnung von Schallabsorbern problemlos belegt werden.
Die Berücksichtigung in der Planungsphase ist deshalb von besonderer Bedeutung. Es ist aber immer im Abwägungsprozess der Planung und der Nutzung zu beurteilen, ob die Treppenräume tatsächlich im Sinne von DIN 18041 als Treppenhäuser mit Aufenthaltsqualität geplant oder genutzt werden sollen.

Literatur

[1] DIN 18041:2016-03 (2016) Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Beuth, Berlin.

[2] DEGA Empfehlung 103:2018-01 (2018) Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis.

[3] DIN EN ISO 3382-2:2008-09 (2008) Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen. Beuth, Berlin.

[4] DIN EN ISO 3382-1:2009-10 (2009) Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 1: Aufführungsräume. Beuth, Berlin.

[5] Neubauer, R. O. (2021) Einfluss der äquivalenten Schallabsorptionsfläche auf das Schalldämm-Maß. Bauphysik 43, H. 2, S. 79–86. https://doi.org/10.1002/bapi.202100003.

[6] DIN 18065:2020-08 (2020) Gebäudetreppen - Begriffe, Messregeln, Hauptmaße. Beuth, Berlin.