

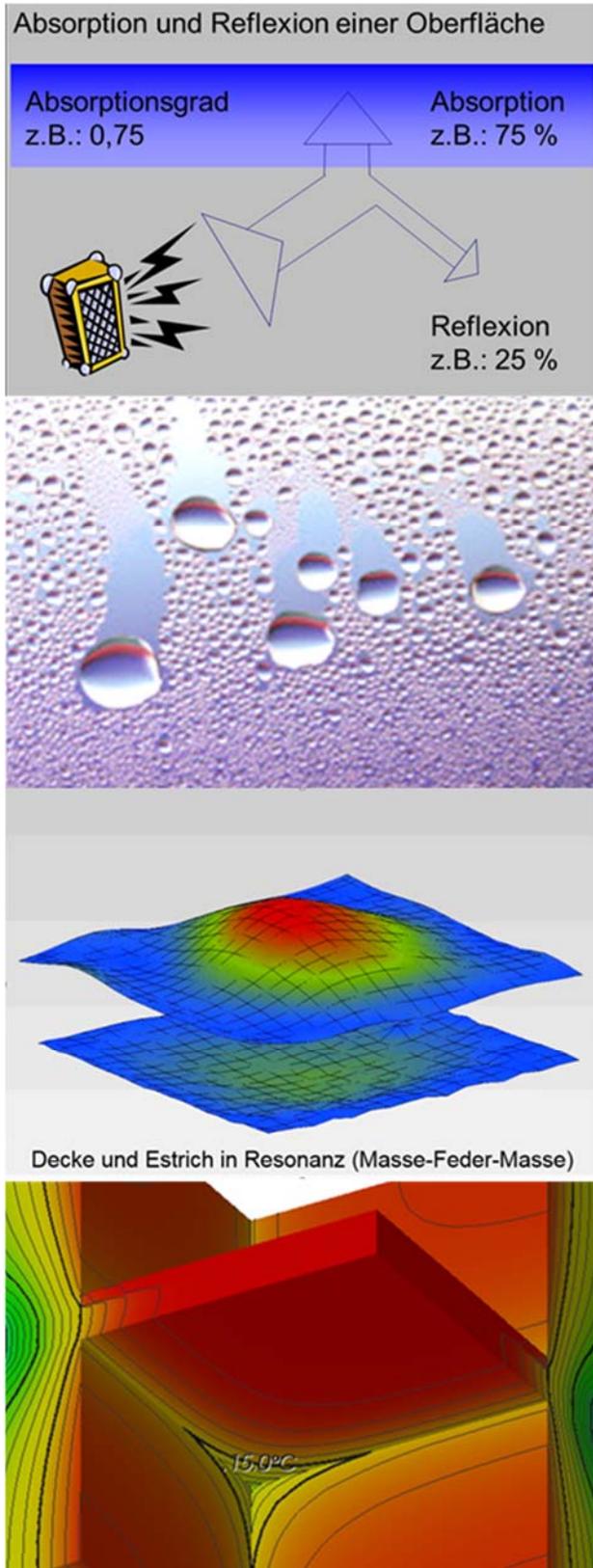
BauphysikerInnen-Treffen 2024

3. Oktober 2024

Veranstaltungszentrum
MA39

Prüf-, Inspektions- und
Zertifizierungsstelle
der Stadt Wien

Rinnböckstraße 15
1110 Wien



Programm

- 09:00 Eintreffen
- 09:15 Begrüßung
Clemens Häusler, MSc, bauphysik.at, A-2511 Pfaffstätten
- 09:30 **Die Ausgleichsschüttung trägt Verantwortung ...**
Ing Th. Huber, W. Riegler, Schilowsky Baustoffhandel GmbH, 2620 Neunkirchen
Ing Markus Huber, Baunit GmbH, 2754 Waldegg/Wopfing
- ... vom Niveaueausgleich zum bauphysikalischen Spielmacher**
Emanuel Mairinger, BV für Schimmelsanierung & Technische Bauteiltrocknung
Ing Mag Herbert Müllner, Versuchsanstalt TGM, 1200 Wien
- 11:00 Pause
- 11:30 **Flankenübertragung im sanierten Gründerzeithaus**
DI Paul Wegerer, Gassner & Partner Baumanagement GmbH, 1050 Wien
DI Dr Maximilian Neusser, TU Wien, 1040 Wien
- Schall-Lokalisierung in der Bau- und Raumakustik**
Dr Thomas Rittenschober, Seven Bel GmbH, 4020 Linz
- 13:00 Mittagspause
- 14:00 **systematische thermische Renovierung - Überblick**
DI Armin Knotzer, AEE - Institut für Nachhaltige Technologien, 8200 Gleisdorf
- systematische thermische Renovierung - Beispiele**
Dr Tobias Hatt, Energieinstitut Vorarlberg, 6850 Dornbirn
- 15:30 Pause
- 16:00 **EU Taxonomie - was die Bauphysik beachten muss**
DI(FH) Benjamin Zauner, MSc, Ingenieurbüro Zauner, 5020 Salzburg
- Gesamtenergieeffizienz (OIB 6: 2025)**
DI Dr Christian Pöhn, Magistratsdirektion der Stadt Wien, 1010 Wien
- 17:30 Ende Vorträge
- Einblick in die bauphysikalischen Prüfstände der MA 39**
Großbrandöfen, Trittschallturm, etc. mit Livevorführungen
- 18:30 Hocketse

CURRICULUM VITAE



Ing.

Markus HUBER-DOLEZAL

Baumit GmbH, Teamleitung Fussbodensysteme & Flächenprogramm
Wopfing 156
A-2754 Waldeg
markus.huber@baumit.com



Ing.

Thomas HUBER

Schilowsky Baustoffhandel GmbH
Anwendungstechnik Trockenbau, a.b.g.z. Sachverständiger Trockenbau
Sandgasse 4
2620 Neunkirchen
thomas.huber@schilowsky.at / t.huber@gerichts-sv.at



Dipl.(HTL) Ing.

Emanuel MAIRINGER

Bundesverband für Schimmelsanierung und technischer Bauteiltrocknung
Arndtstraße 40
A-2232 Deutsch Wagram
mairinger@bv-schimmel.at



HR Ing. Mag.

Herbert MÜLLNER

Versuchsanstalt am Technologisches Gewerbemuseum (TGM)
Wexstrasse 19-23
A-1200 Wien
herbert.muellner@tgm.ac.at



Walter RIEGLER

Schilowsky Baustoffhandel GmbH
Technik Estrich, a.b.g.z. Sachverständiger Estrich und Industrieboden
Sandgasse 4
2620 Neunkirchen
w.riegler@schilowsky.at / office@bodentechnik-riegler.at

Die Ausgleichsschüttung trägt Verantwortung

vom Niveauegleich zum bauphysikalischen Spielmacher

Ing. Thomas Huber, Walter Riegler, Schilowsky Baustoffhandel GmbH, 2620 Neunkirchen

Ing. Markus Huber, Baunit GmbH, 2754 Waldegg/Wopfing

Dipl. (HTL) Ing. Emanuel Mairinger, BV für Schimmelsanierung & Technische Bauteiltrocknung

HR Ing. Mag. Herbert Müllner, TGM-Versuchsanstalt, Wexstrasse 19-23, 1200 Wien

1. Einleitung

Die Bedeutung von Ausgleichsschüttungen als Komponente von Deckenaufbauten für die Trittschalldämmung wird bereits in älterer Literatur thematisiert (z.B. [1]). Unterschiedliche Aufbauten werden im Vergleich betrachtet. Inzwischen wurde bemerkt und in der Literatur auch darauf hingewiesen, dass sich ein Einfluss zeigt, ob die Deckenbeschwerung als lose Schüttung oder gebunden bzw. als Platte ausgeführt ist (z.B. [2]). Versuche zur Quantifizierung im Hinblick auf eine systematische Wirkung generell erfolgten erst sukzessive in jüngerer Zeit. Auch der Einfluss der Verarbeitungsqualität [3] – im Sinne von gleichen Eigenschaften der Schüttung nach dem Aufbringen auf die Rohdecke - wurde bisher auch wegen des damit verbundenen Aufwandes zur Herstellung der Versuchsaufbauten nicht eingehend im Detail untersucht.

In Zusammenhang mit Holzdecken wurde Mitte der 1990er Jahre mehr und mehr der Fokus auf den möglichen Beitrag der Schüttung zur Trittschalldämmung gelegt, als damit begonnen wurde nun auch Mehrfamilienhäuser in Holzbauweise zu bauen. Eine der zu lösenden Herausforderungen war es, Konstruktionen zu finden, um die anspruchsvollen Anforderungen an den Trittschallschutz in Österreich erfüllen zu können.

2. Rückblick

In der zweiten Hälfte der 1990er Jahre wurden ernsthafte Schritte unternommen, mehrgeschoßige Wohnbauten in Holzrahmenbauweise zu errichten. Um die Anforderungen an den Trittschallschutz mit einem bewerteten Standard-Trittschallpegel von $L'_{nT,w} \leq 48$ dB erfüllen zu können, mussten Deckenkonstruktionen „entwickelt“ werden, die holzbautechnisch möglichst einfach realisiert werden konnten, dem Prinzip der Vorfertigung in einem hohem Ausmaß genügten und auch verarbeitungstechnisch fehlerresistent sein sollten.

Hergeleitet auf Basis von bis dahin geprüften Deckenbauarten wurden die variablen Komponenten im Hinblick auf ihr Einflusspotenzial untersucht. Optimiert ergaben sich Holzbalkendecken im Prüfstand mit Trockenestrichelementen mit geeigneter Trittschalldämmplatte auf loser Schüttung und mit Federschienen abgehängter Untersichte mit ausreichender Trittschalldämmung, die als Geschoßdecke zwischen Wohneinheiten eingesetzt werden konnten. Bei der endgültigen Ausführung wurde im Besonderen darauf geachtet, dass die statischen Vorgaben an Estrichaufbauten erfüllt werden.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung einer prinzipiellen Einbausituation.

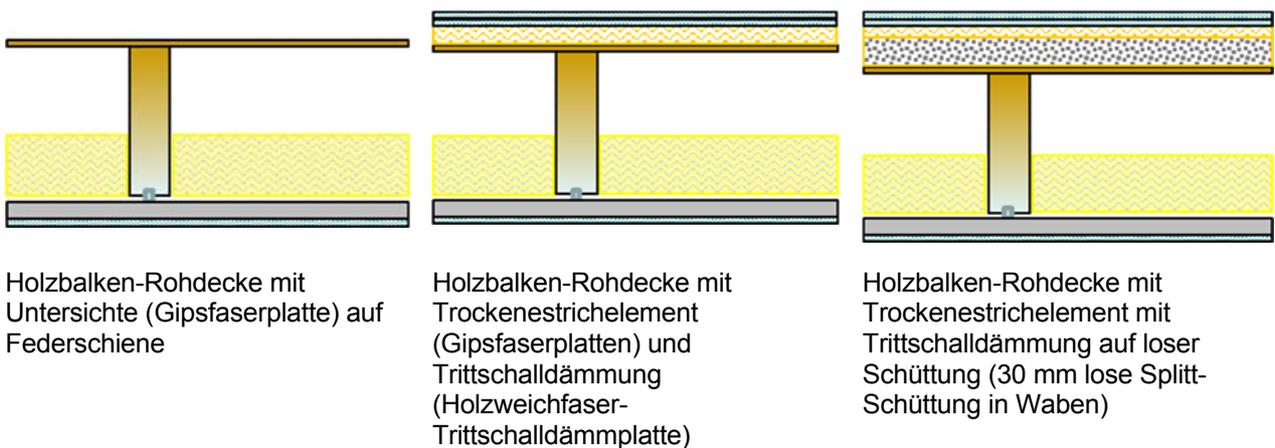


Abbildung 1: Holzbalckendecke für den Einsatz zwischen Wohnungen

Abbildung 2 zeigt den Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ in Abhängigkeit von der Frequenz. In der Legende der Darstellung in Abbildung 2 sind auch die Einzulangaben, der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ sowie die Spektrum-Anpassungswerte C_1 und $C_{1,50-2500}$, angeführt.

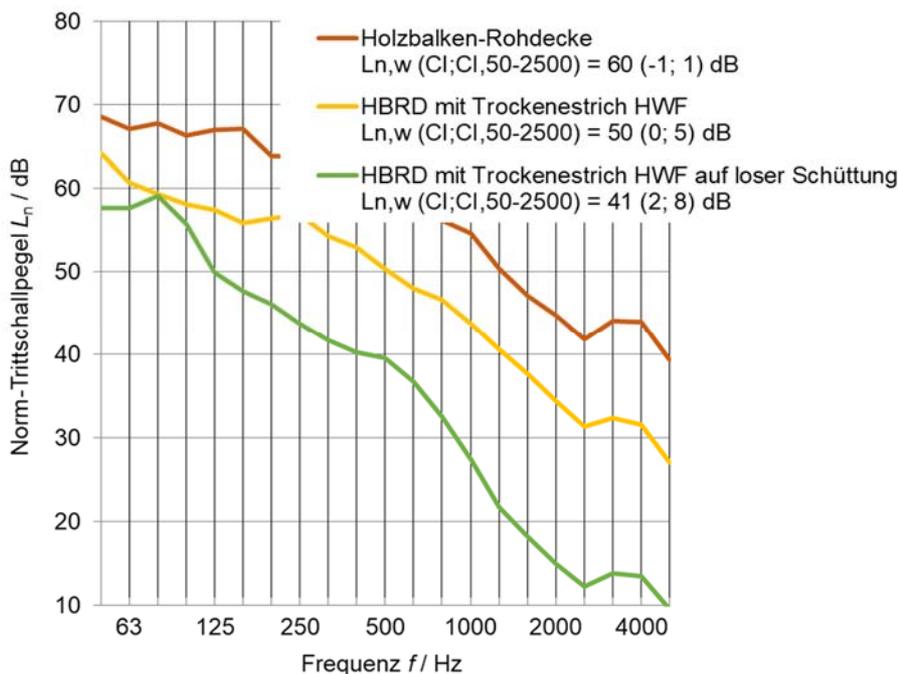


Abbildung 2: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz einer Holzbalcken-Rohdecke mit Untersichte auf Federschiene, der Rohdecke mit Trockenestrichelement sowie Rohdecke mit Trockenestrichelement auf loser Schüttung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schüttung bei derartigen Ausführungen eine maßgebliche Rolle spielt, um die Voraussetzung zu haben, die Anforderungen an den Trittschallschutz zwischen Wohneinheiten erfüllen zu können.

Die nächste Frage war, ob die sich im Prüfstand optimierten Decken in Wechselwirkung mit den damals bekannten Bedingungen der Flankenübertragung bei Anwendung im Bauwerk bewähren werden. Um den Nachweis führen zu können, wurden in mit der oben beschriebenen Deckenbauart realisierten Gebäuden der Schallschutz gemessen. Abbildung 3 zeigt den frequenzabhängigen Verlauf des Standard-Trittschallpegels L'_{nT} von zwei untersuchten Situationen zwischen übereinanderliegenden Wohnräumen unterschiedlicher Wohneinheiten in unterschiedlichen Gebäuden. Im Diagramm in Abbildung 3 sind auch die Einzulangaben, jeweils der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ sowie die Spektrum-Anpassungswerte C_1 und $C_{1,50-2500}$ angeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Bauweise die Anforderungen an den Trittschallschutz mit genügend Reserve erfüllt. Wird in der Auswertung auch der Spektrum-Anpassungswert $C_{1,50-2500}$ mitberücksichtigt, dann zeigt sich, dass über die Mindestanforderungen hinaus auch die Anforderungen der Komfortklasse B nach ÖNORM B 8115-5 [4] erfüllt werden.

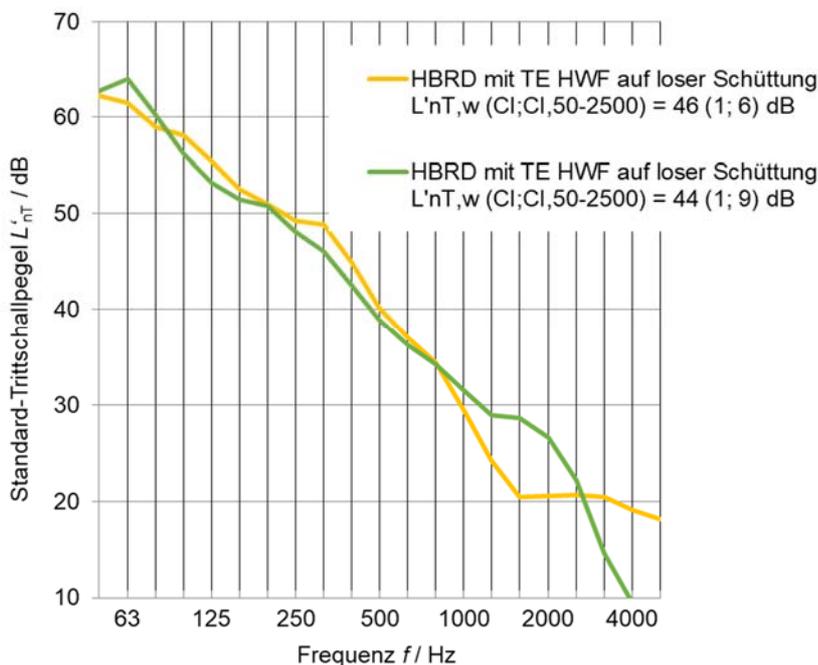
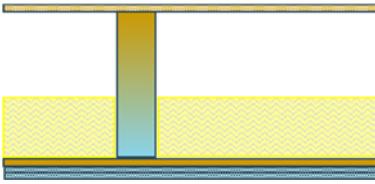


Abbildung 3: Standard-Trittschallpegel L'_{nT} in Abhängigkeit von der Frequenz zwischen zwei übereinanderliegenden Wohnräumen, getrennt durch eine Holzbalkendecke mit Untersichte auf Federschiene und Trockenestrichelementen mit geeigneten Trittschalldämmplatten auf loser Splitt-Schüttung

3. Trittschalldämmpotenzial mit Trockenestrich

Um einen näheren Einblick auf den Einfluss von Schüttungen in Zusammenhang mit Trockenestrichen gewinnen und quantifizieren zu können, wurden im Rahmen des vom NÖ Wirtschafts- und Tourismusfonds initiierten und geförderten F&E-Projektes „Schall.Holz.Bau II“ [5] verschiedene Trockenestrichaufbauten sowohl auf einer Holzbalkendecke als auch auf einer Brettsperrholzdecke unter anderem mit unterschiedlichen Schüttungen untersucht (vgl auch [6]). Abbildung 4 zeigt den Aufbau der beiden in die Untersuchung einbezogenen Rohdecken. Der Aufbau der Holzbalkenrohdecke orientiert sich am Aufbau der Holzbalken-Normrohdecke „Typ 1“ (Untersichte nicht abgehängt, sondern starr auf Lattung) aus ÖNORM EN ISO 10140-5 [7]. In der nachfolgenden Abbildung 4 ist der jeweilige Rohdeckenaufbau dargestellt (schematisch) und beschrieben. Zudem ist auch der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ der jeweiligen Rohdecke angegeben.

Abbildung 5 zeigt die Situation im Prüfstand während Einbauarbeiten.



18 mm OSB, $m' = 11 \text{ kg/m}^2$
 250 mm / 50 mm, $e = 470 \text{ mm}$
 100 mm Glaswolle, $\rho = 13 \text{ kg/m}^3$
 22 mm / 72 mm Lattung, $e = 350 \text{ mm}$
 2 x 12.5 mm Gipsfaserplatten, je $m' = 15 \text{ kg/m}^2$

bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w} = 75 \text{ dB}$



140 mm CLT (5 Lagen)
 $m' = 69 \text{ kg/m}^2$

bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w} = 90 \text{ dB}$

Abbildung 4: Holzbalken-Rohdecke und Brettsperrholz-Rohdecke, Aufbaubeschreibung und bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$

Es war nicht explizites Ziel des Projektes, Deckenaufbauten zu entwickeln, die in der Lage wären die Anforderungen an den Trittschallschutz nach OIB-Richtlinie [8] bzw. nach ÖNORM B 8115-5 zu erfüllen, sondern um das Potenzial der einzelnen Estrich-Komponenten quantitativ näher eingrenzen zu können.

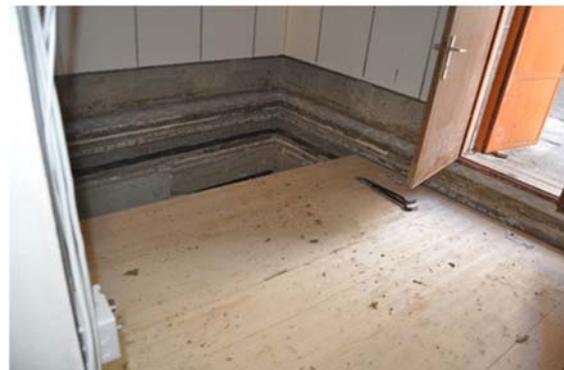


Abbildung 5: Holzbalkendecke (links) und Brettsperrholzdecke (rechts) im Deckenprüfstand nach ÖNORM EN ISO 10140-5 während der Einbauarbeiten (jeweils aus der Sichtrichtung Prüfraum „unten“ nach Prüfraum „oben“ und umgekehrt)

In einem Betrachtungsdurchgang wurde der Einfluss von unterschiedlichen Trittschalldämmplattenmaterialien unter einem Trockenestrichelement aus 2 x 10 mm Gipsfaserplatten untersucht. Die Montage der Trockenestrichelemente erfolgte nach den Systemvorgaben des Herstellers. Um einen eventuellen Einfluss der Verarbeitung auszuschließen und den Zeitaufwand zu minimieren, wurde die fertige Estrichplatte für den jeweiligen Wechsel des Unterbaus mit einem Hebesystem im Ganzen abgehoben und nach erfolgtem Umbau wieder abgesenkt. Abbildung 6 zeigt den prinzipiellen Versuchsaufbau. In Tabelle 1 sind die eingesetzten Trittschalldämmplattenmaterialien mit ihren Eigenschaften aufgelistet. Die angeführte dynamische Steifigkeit s' der Dämmplatten wurde gemäß ÖNORM EN 29052-1 [9] gemessen. Die Messungen der Trittschalldämmung erfolgten nach ÖNORM EN ISO 10140-3 [10].



Abbildung 6: Rohdecken mit Trockenestrich mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten im Prüfstand
Trockenestrich aus 2 x 10 mm Gipsfaserplatten, $m' = 25 \text{ kg/m}^2$

Tabelle 1: Material und Eigenschaften der eingesetzten Trittschalldämmplatten

Material	Dicke / mm	dyn. Steifigkeit $s' / \text{MN/m}^3$	Rohdichte $\rho / \text{kg/m}^3$
Polystyrol	25	62	16
Holzweichfaser	30	50	140
Steinwolle	30	40	188
Glaswolle	30	8,2	90

Abbildung 7 zeigt den prinzipiellen Versuchsaufbau mit Trockenestrichelement über Trittschalldämmplatte auf Schüttung. In Tabelle 2 sind die eingesetzten Schüttungen, Höhe der Schüttung und die sich daraus ergebende flächenbezogene Masse m' aufgelistet.

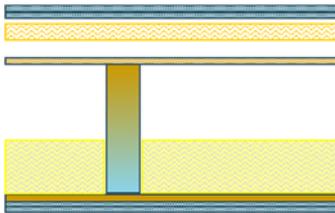


Abbildung 7: Rohdecken mit Trockenestrich mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten auf Schüttung im Prüfstand, Trockenestrich aus 2 x 10 mm Gipsfaserplatten, $m' = 25 \text{ kg/m}^2$

Tabelle 2: Schüttungsmaterial, Schüttungshöhe und flächenbezogene Masse m' der Schüttung

Material	Dicke / mm	flbz. Masse m' / kg/m ²
Perlite lose	80	10
Zellulose-Dämm pellets lose	80	40
Basaltsplittschüttung gebunden	80	125
Kiesschüttung lose	80	148

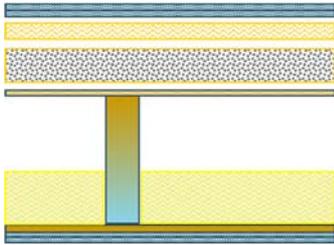
In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Werte des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ sowie die Trittschalldämmwerte unter Berücksichtigung des jeweiligen Spektrum-Anpassungswertes $C_{1,50-2500}$ der Holzbalkendecke bei Verwendung der unterschiedlichen Trittschalldämmplattenmaterialien im Vergleich aufgelistet. Mit zunehmender dynamischer Steifigkeit erhöhen sich (erwartungsgemäß) die Werte der Norm-Trittschallpegel sowohl ohne und mit Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswertes $C_{1,50-2500}$. Der Anstieg der Werte ist ohne Berücksichtigung des tiefen Frequenzbereichs deutlich steiler als jener für die Wertekombination $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$.

Tabelle 3: Trittschalldämmung Holzbalkendecke mit Trockenestrich mit unterschiedlichen Trittschalldämmplattenmaterial

Material	$s' / \text{MN/m}^3$	$L_{n,w} / \text{dB}$	$L_{n,w} + C_{1,50-2500} / \text{dB}$
nur Rohdecke	-	75	75
Holzweichfaser	50	66	69
Steinwolle	40	63	67
Glaswolle	8,2	62	66

Tabelle 4 zeigt die Werte des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ sowie die Trittschalldämmwerte unter Berücksichtigung des jeweiligen Spektrum-Anpassungswertes $C_{1,50-2500}$ der Holzbalkendecke bei Verwendung der unterschiedlichen Schüttungen mit Trockenestrich über Steinwolle-Trittschalldämmplatten. Für den einfacheren Überblick sind in den Spalten der Trittschalldämmwerte auch die Werte ohne Schüttung sowie die Differenz mit und ohne Schüttung eingetragen. Sowohl für $L_{n,w}$ als auch für $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ ergeben sich bei gleichen Eigenschaften der Trittschalldämmplatte grob betrachtet etwa die gleiche Verbesserung durch die jeweilige Schüttung.

Tabelle 4: Trittschalldämmung Holzbalkendecke mit Trockenestrich mit 30 mm Steinwolle-Trittschalldämmplatte, $s' = 40 \text{ MN/m}^3$, auf unterschiedlichen Schüttungen



Material (rd. 80 mm)	$m' / \text{kg/m}^2$	$L_{n,w} / \text{dB}$ mit / ohne	$L_{n,w} + C_{1,50-2500} / \text{dB}$ mit / ohne
Perlite (lose)	10	59 / 63 / -4	62 / 67 / -5
Zellulose-Dämm pellets (lose)	40	57 / 63 / -6	61 / 67 / -6
Basaltsplitt (gebunden)	125	54 / 63 / -9	60 / 67 / -7
Kies (lose)	148	54 / 63 / -9	59 / 67 / -8

In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die Werte des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ sowie die Trittschalldämmwerte unter Berücksichtigung des jeweiligen Spektrum-Anpassungswertes $C_{1,50-2500}$ der Brettsper Holzdecke bei Verwendung der unterschiedlichen Trittschalldämmplattenmaterialien im Vergleich aufgelistet. Wie bei der Holzbalkendecke zeigen sich die Vorteile der geringeren dynamischen Steifigkeit der Trittschalldämmplatten deutlicher, wenn der bewertete Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ ohne Berücksichtigung des tiefen Frequenzbereiches betrachtet wird.

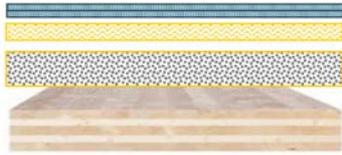
Tabelle 5: Trittschalldämmung Brettsper Holzdecke mit Trockenestrich mit unterschiedlichen Trittschalldämmplattenmaterial



Material	$s' / \text{MN/m}^3$	$L_{n,w} / \text{dB}$	$L_{n,w} + C_{1,50-2500} / \text{dB}$
nur Rohdecke	-	90	90 (84)
Polystyrol	62	68	68
Holzweichfaser	50	65	67
Steinwolle	40	62	65
Glaswolle	8,2	59	64

Tabelle 6 zeigt die Werte des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ sowie die Trittschalldämmwerte unter Berücksichtigung des jeweiligen Spektrum-Anpassungswertes $C_{1,50-2500}$ der Brettsper Holzdecke mit Trockenestrich über unterschiedlichen Trittschalldämmplatten auf gebundener Basaltsplitt-Schüttung. Für den einfacheren Überblick sind in den Spalten der Trittschalldämmwerte auch die Werte ohne Schüttung sowie die Differenz mit und ohne Schüttung eingetragen.

Tabelle 6: Trittschalldämmung Brettsperrholzdecke mit Trockenestrich mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten auf rd. 80 mm dicker gebundener Basaltsplitt-Schüttung, $m' = 125 \text{ kg/m}^2$



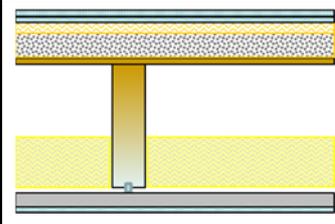
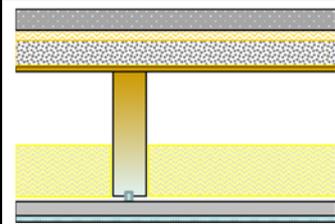
Material	$s' / \text{MN/m}^3$	$L_{n,w} / \text{dB}$ mit / ohne	$L_{n,w} + C_{l,50-2500} / \text{dB}$ mit / ohne
Holzweichfaser	50	53 / 65 / -12	58 / 67 / -9
Steinwolle	40	52 / 62 / -10	60 / 65 / -5
Glaswolle	8,2	46 / 59 / -13	55 / 64 / -9

4. Zementestrich

Holzbalkendecke

In mehrgeschoßigen Wohngebäuden mit Holzbalkendecken als Geschoßdecke werden sehr häufig aus Kosten- und traditionell bautechnischen Gründen anstatt Trockenestrich, Ausführungen mit Zementestrich gewählt. In Tabelle 7 ist eine Ausführung mit Trockenestrichelementen und eine Ausführung mit Zementestrich im Vergleich aufgelistet. Beide Varianten sind identische Holzbalken-Rohdecken mit abgehängter Untersichte sowie identischer Trockensplitt-Schüttung. Abbildung 8 zeigt den Vergleich des jeweiligen Norm-Trittschallpegels L_n in Abhängigkeit von der Frequenz. Die Ausführung mit Zementestrich zeigt erwartungsgemäß günstigere Werte im tieferen Frequenzbereich. Beide Ausführungen haben das Potenzial als Geschoßdecke einsetzbar zu sein.

Tabelle 7: Trittschalldämmung Holzbalkendecke (Untersichte abgehängt) mit Trockenestrich oder Zementestrich (Zementestrich $m' = 120 \text{ kg/m}^2$) über Mineralwolle Trittschalldämmplatten auf loser (Waben-) Splitt-Schüttung, $m' = 95 \text{ kg/m}^2$

Holzbalkendecke	$L_{n,w} / \text{dB}$	$L_{n,w} + C_{l,50-2500} / \text{dB}$
	44	58
	41	54

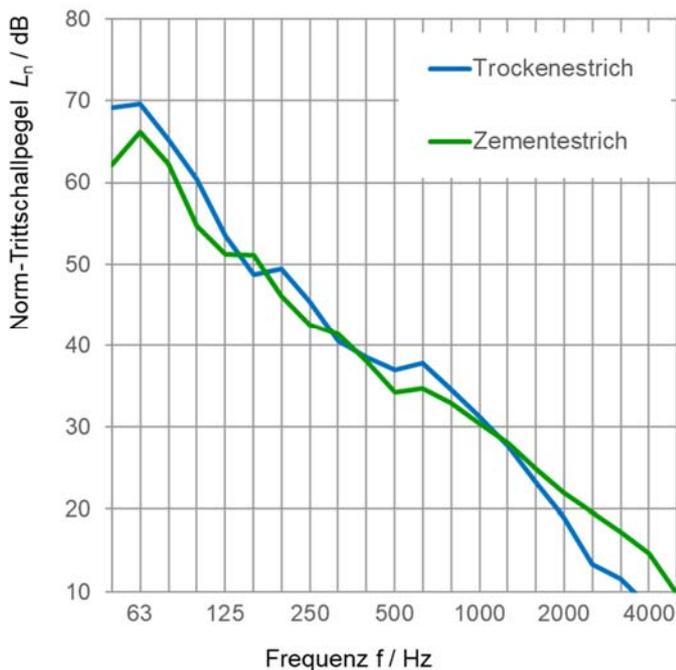


Abbildung 8: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz einer Holzbalkendecke (Untersichte abgehängt) mit Trockenestrich oder Zementestrich ($m' = 120 \text{ kg/m}^2$) über Mineralwolle Trittschalldämmplatten auf loser Splitt-Schüttung, $m' = 95 \text{ kg/m}^2$

Brettsperrholzdecke

In mehrgeschoßigen Holzbauten wird inzwischen die Anwendung von Massivholz-Rohdecken als Geschoßdecken bevorzugt. Im Vergleich zur Holzbalkendecke ist damit eine deutlich höhere Herausforderung verbunden, Trittschalldämmwerte zu erzielen, die eine Erfüllung der Anforderungen erlauben, insbesondere dann, wenn keine abgehängte Untersichte ausgeführt werden soll. Zahlreiche Versuche zeigen, dass bei entsprechenden Schütthöhen ($> 80 \text{ mm}$) und ausreichend hoher Schüttdichte (ρ möglichst $> 1500 \text{ kg/m}^3$) die Mindestanforderungen eingehalten werden können, wenn die Schüttung lose eingebracht wird. Für die baupraktische Umsetzung wird allerdings eine gebundene Schüttung aus unterschiedlichen Gründen (z.B. Begehbarkeit im weiteren Herstellungsprozess des Estrichs) bevorzugt.

In einer Versuchsreihe wurden Zementestrichvarianten mit loser und speziell gebundener Splitt-Schüttung „Elastosplitt“ (die gebundenen Varianten ausgeführt mit unterschiedlichen Schütthöhen) im Hinblick auf die erzielbare Trittschalldämmung untersucht. Abbildung 9 zeigt den grundsätzlichen Versuchsaufbau dieser Varianten.



Abbildung 9: 140 mm Brettsperrholz-Rohdecke mit Zementestrich über Mineralwolle-Trittschalldämmplatte auf „Elastosplitt-Schüttung“

In der nachfolgenden Tabelle 8 sind die Estrichaufbauten mit loser und speziell gebundener Schüttung im Hinblick auf die erzielten Trittschalldämmwerte aufgelistet. Aufgelistet sind Estrichdicke, Schütthöhe, die flächenbezogene Masse der Estrichplatten und der jeweiligen Schüttung sowie der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ und die Einzahlkombination aus $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$.

Abbildung 10 zeigt den frequenzabhängigen Verlauf des Norm-Trittschallpegels L_n der Varianten lose und gebundene Schüttung im Vergleich. Signifikante Vorteile zeigen sich für die lose Schüttungsvariante im Frequenzbereich um 200 Hz und über 2000 Hz.

Tabelle 8: Einzahlangaben der Trittschalldämmung einer Brettsperrholzdecke mit Zementestrich über Mineralwolle Trittschalldämmplatten auf loser und auf gebundener Splitt-Schüttung („Elastosplitt“) im Vergleich

Dicke Estrich/ mm	m' Estrich/ kg/m ²	Dicke Schüttung/ mm	m' Schüttung/ kg/m ²	$L_{n,w}$ / dB	$L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ / dB
56	117	82 lose	122	49	58
58	121	81 gebunden	114	52	59

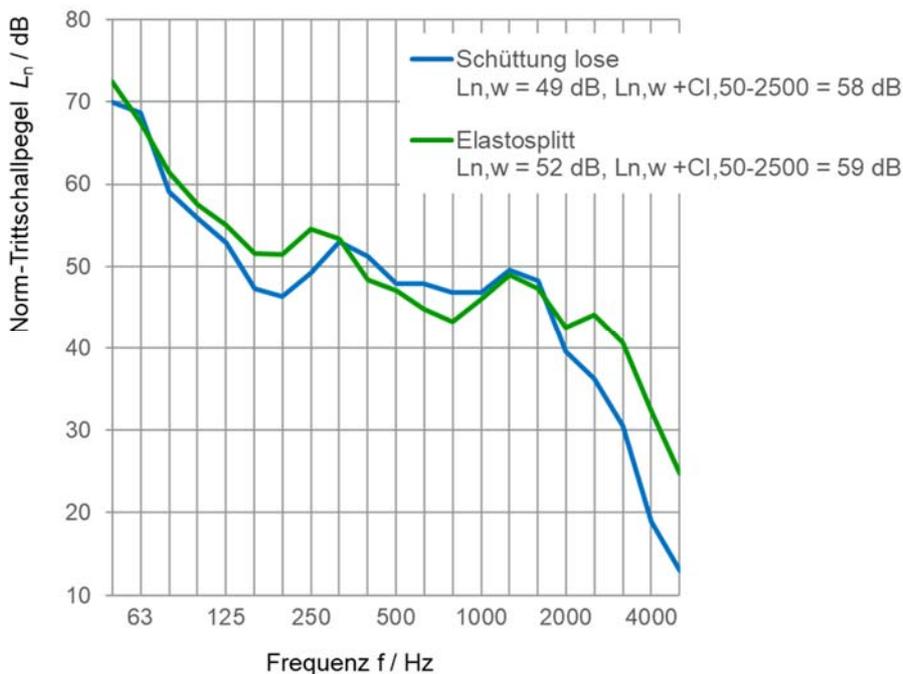


Abbildung 10: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz einer Brettsperrholzdecke mit Zementestrich über Mineralwolle Trittschalldämmplatten auf loser und auf gebundener Splitt-Schüttung („Elastosplitt“) im Vergleich

In Tabelle 9 sind die Einzahlangaben der Trittschalldämmeigenschaften der Brettsperrholzdecke mit den unterschiedlichen Schütthöhen (Schüttung gebunden) bei gleicher angestrebter Zementestrichdicke und gleicher Mineralwolle-Trittschalldämmplatte gegenübergestellt. Abbildung 11 zeigt den Verlauf des jeweiligen Norm-Trittschallpegels L_n in Abhängigkeit von der Frequenz. Im frequenzabhängigen Verlauf ist ersichtlich, dass die unterschiedlichen Schütthöhen bis 800 Hz die Trittschalldämmung der Ausführungen deutlich günstig beeinflusst. Im Frequenzbereich über 800 Hz zeigt sich kaum ein Einfluss der unterschiedlichen Schütthöhen. Bei der Ermittlung der klassischen Einzahlangabe des bewerteten Norm-Trittschallpegels dominiert in diesen Fällen jedoch der Bereich über 800 Hz und es zeigen sich in den Werteausprägungen kaum Unterschiede. Bei Berücksichtigung des tiefen Frequenzbereiches ergeben sich bedingt durch die höheren Schütthöhen sehr günstige Werte für die Einzahlkombination aus $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$, sodass sogar auch höhere Schallschutz-Komfortklassen nach ÖNORM B 8115-5 erfüllt werden könnten.

Tabelle 9: Einzahlangaben der Trittschalldämmung einer Brettsper Holz-Rohdecke (140 mm) mit Zementestrich über Mineralwolle Trittschalldämmplatten auf gebundener Splitt-Schüttung („Elastosplitt“) mit unterschiedlichen Schütthöhen im Vergleich

Dicke Estrich/ mm	m' Estrich/ kg/m ²	Dicke Schüttung/ mm	m' Schüttung/ kg/m ²	$L_{n,w}$ / dB	$L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ / dB
55	115	59	82	53	57
58	121	81	114	52	59
58	124	106	148	51	51
60	124	140	197	51	47

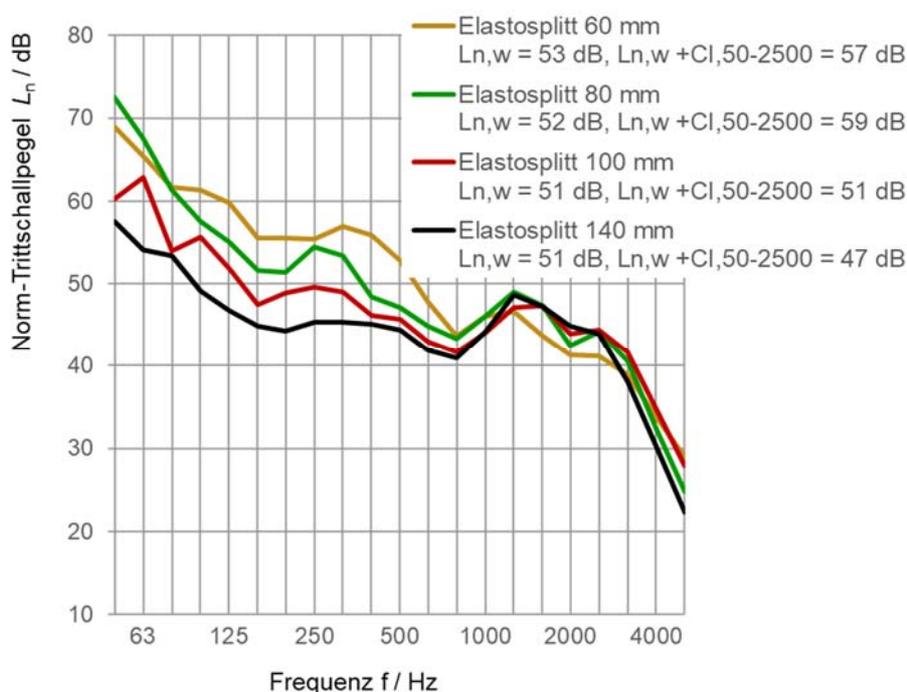


Abbildung 11: Norm-Trittschallpegel L_n in Abhängigkeit von der Frequenz einer Brettsper Holz-Rohdecke (140 mm) mit Zementestrich über Mineralwolle Trittschalldämmplatten auf gebundener Splitt-Schüttung („Elastosplitt“) mit unterschiedlicher Schütthöhe im Vergleich

Mit entsprechenden Aufbauten von CLT-Decken mit gebundener Schüttung und Zementestrich (vgl. dazu Tabelle 10) lassen sich auch für die klassische Einzahlangabe zur Kennzeichnung der Trittschalldämmung günstige Werte ohne zusätzliche Untersichte erzielen. Berücksichtigt man bei der Charakterisierung des in Tabelle 10 beschriebenen Aufbau auch den tiefen Frequenzbereich durch Anwendung der Einzahlkombination aus bewertetem Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ und dem Spektrum-Anpassungswert $C_{I,50-2500}$, so ergeben sich Trittschalldämmwerte, die es potenziell ermöglichen auch die höchste Komfortklasse nach ÖNORM B 8115-5 zu erfüllen.

Tabelle 10: Details einer 240 mm Brettsperrholzdecke mit 95 mm Heizestrich über Mineralwolle Trittschalldämmplatten ($s' = 10 \text{ MN/m}^3$) auf 85 mm gebundener Splitt-Schüttung („Elastosplitt“) sowie bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ und kombinierte Einzahlangabe aus $L_{n,w}$ und dem Spektrum-Anpassungswert $C_{1,50-2500}$ einer 240 mm Brettsperrholzdecke mit 95 mm Heizestrich über Mineralwolle Trittschalldämmplatten auf 85 mm gebundener Splitt-Schüttung („Elastosplitt“)

Rohdecke	Dicke Estrich/ mm (Heizestrich)	m' Estrich/ kg/m ²	Dicke Schüttung/ mm	m' Schüttung/ kg/m ²	$L_{n,w}$ / dB	$L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ / dB
240 mm CLT	95	194	85	132	47	47

5. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse aus den im Beitrag erörterten Untersuchungen zeigen, dass die Schüttung auf Holzdecken aller Bauarten im Hinblick auf die Beeinflussung der trittschalldämmtechnischen Eigenschaften eine wichtige Rolle einnimmt. Schüttungsmaterial und deren Anwendungsart spiegeln sich in den erzielbaren Trittschalldämmwerten wider.

Losene Schüttungen wird per se ein günstigerer Einfluss auf die Trittschalldämmung von Deckenkonstruktionen nachgesagt als gebundenen Ausführungen. Auch die im Beitrag gezeigten Ergebnisse weisen in diese Richtung. Praktische bautechnische Gründe erfordern aber begehbare Schüttungen. Bei der Anwendung von gebundene (in welcher Weise auch immer) und losen Schüttungen ist es wichtig, dass sich die trittschalldämmtechnische Unterstützung je nach Möglichkeit der Schüttungsart immer gleich verhält (Systemsicherheit), um verlässlich die typenspezifisch ermittelten Trittschalldämmwerte in der Planung einsetzen zu können. Die Art der Verarbeitung, wie das Schüttungsmaterial hergestellt, gelagert, geliefert und auf die Rohdecke aufgebracht wird, erlaubt einen Rückschluss auf die zu erwartende Verarbeitungsqualität und den daraus abzuleitenden Beitrag zur Streubreite der trittschalldämmtechnischen Eigenschaft der Decke. Im Planungsprozess sollte bei der Anwendung der angegebenen Trittschalldämmkennwerte der zur Auswahl stehenden Bauteile erhöhtes Augenmerk darauf gelegt werden. **Je weniger willkürliche oder unwillkürliche Manipulierbarkeit im Herstellungsprozess möglich ist, desto verlässlicher realisiert sich der zu erwartende Beitrag in der Wirkung.** Ähnlich gilt dies natürlich auch für die Herstellung der Estrichplatte, die bisher in der üblichen Praxis als „konstante“ Einflussgröße in Abhängigkeit von ihrer flächenbezogenen Masse betrachtet wurde. Nach ÖNORM EN ISO 10140-1 [11] ist eine Trocknungszeit von 3 Wochen empfohlen, um eine adäquate Aushärtung sicher zu stellen. Die sich ergebende Estrichoberfläche spielt im Hinblick auf die Impedanz beim Auftreffen der anregenden Hämmer des Normhammerwerkes eine Rolle. Auch die Größe der Prüffläche ist von Bedeutung, die nach ÖNORM EN ISO 10140-1 mit einer Mindestgröße von 10 m² vorgegeben ist. Die Estrichbetonqualität ist von Bedeutung, da diese auf die Anregbarkeit der Estrichplatte einen Einfluss ausübt. Bei zu kleinen Estrichflächen wird die Trittschallanregung dahingehend beeinflusst, dass günstigere Trittschalldämmwerte erzielt werden (vgl. z.B. [12]). Werte aus vergleichenden Versuchen an kleinformatischen Versuchsaufbauten können daher nicht direkt für die Planung übernommen werden.

Holzbalkendecken mit Schüttung und abgehängter Untersichte erzielen Trittschalldämmwerte, die ohne besonderem Zusatzaufwand über den Mindestschallschutz hinaus auch höhere Komfortklassen erfüllen können. Bei Holzmassivdecken sind hohe Splitt-Schüttungen erforderlich, um den klassischen Mindestschallschutz zu sichern. Ausgehend von der theoretischen Betrachtung und im Rahmen von Prüfstandsbedingungen wird dies durch lose Schüttungen erfüllt, allerdings genügt mit hoher Wahrscheinlichkeit die Verarbeitungsweise von losen Schüttungen im Hinblick auf den weiteren Herstellungsablauf ohne besonderen Nebenaufwendungen in der angewandten Praxis nicht den Ansprüchen bezüglich gleichbleibender Verarbeitungsqualität (robust Detail-Konzept).

6. Danksagung

Das Projekt Schall.Holz.Bau II wurde unterstützt im Rahmen der Kooperationsförderung des NÖ Wirtschafts- und Tourismusfonds.

Weitere Detailinformationen zum Projekt: <https://www.ecoplus.at/media/13256/projektblatt-schallholzbau-ii.pdf> sowie <https://www.ecoplus.at/newsroom/kooperationsprojekt-schallholzbau-ii-trenndecken-und-stosstellen-im-holzbau>

Die Untersuchungen des Einflusses der Elastosplitt-Schüttung auf Brettsperrholz-Rohdecken wurde von Baunit GmbH und Schilowsky Baustoffhandel GmbH beauftragt.

7. Literatur

- [1] Bruckmayer, F. (1962). Handbuch der Schalltechnik im Hochbau – Schall-, Lärm-, Erschütterungsschutz, Raumakustik (S. 109). Franz Deuticke. Wien.
- [2] Hessinger, J., Rabold, A. & Saß, B. (2009). Schallschutz im Holzbau. In N. A. Fouad. (Hrsg.), Bauphysikkalender 2014 (S. 359-435). Ernst & Sohn. Berlin.
- [3] Carrascal, T., Fausti, P., Beentjes, W., Clarke, E., Steel, C. (2013). Common Errors and Good Practice in Design and Workmanship, in B. Rasmussen, M. Machimbarrena (Eds.). COST Action TU0901 Towards a common framework in building acoustics throughout Europe, pp. 167-186.
- [4] ÖNORM B 8115-5: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Klassifizierung [4]OIB-Richtlinie 5. (2023). Schallschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien.
- [5] Schall.Holz.Bau II, Trenndecken und Stoßstellen (2023). Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich ecoplus. Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH https://www.ecoplus.at/media/28140/230505_schallholzbau-ii-wissenschaftlicher-endbericht.pdf
- [6] Muellner, H. & Neusser, M. (2023). The influence of dry screed floors on the impact sound pressure level of solid and timber frame ceiling systems. Proceedings forum acusticum 2023, Turino, Italy.
- [7] ÖNORM EN ISO 10140-5: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen
- [8] OIB-Richtlinie 5. (2023). Schallschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien.
- [9] ÖNORM EN 29052-1: Akustik - Bestimmung der dynamischen Steifigkeit - Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden
- [10] ÖNORM EN ISO 10140-3: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 3: Messung der Trittschalldämmung
- [11] ÖNORM EN ISO 10140-1: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte
- [12] Maack, J. & Möck, T. (2014). Trittschallschutz. In N. A. Fouad. (Hrsg.), Bauphysikkalender 2014 (S. 283-337). Ernst & Sohn. Berlin.

CURRICULUM VITAE



Dipl.-Ing.

Paul WEGERER

Gassner & Partner Baumanagement GmbH

Forschung und Entwicklung, Bauphysikalische Qualitätssicherung

Obere Amtshausgasse 20-24
1050 Wien

p.wegerer@gassner-partner.at
www.gassner-partner.at
www.ulreich.at

Dipl.-Ing. Paul Wegerer ist bei Gassner & Partner für Forschung und Entwicklung sowie für die bauphysikalische Qualitätssicherung zuständig. Er ist seit April 2018 für das Unternehmen tätig, nachdem er sieben Jahre lang am Forschungsbereich für Bauphysik der TU Wien beschäftigt war. Seine Themenschwerpunkte in der universitären Forschung waren hygrothermische Modellbildung und Bauteilsimulationen, Dauerhaftigkeit von Konstruktionen sowie das Risikomanagement zur Vermeidung von Feuchteschäden. All diese Themen fanden in der Sanierung von Bestandsgebäuden eine praktische Umsetzung.

Das Ziel bei Gassner & Partner ist die Erkenntnisse der universitären Forschung in der Praxis umzusetzen und neue praxisrelevante Forschungsinhalte in Projektkooperationen zu schaffen. Die aktuellen Themenfelder reichen von nachhaltigen Kellersanierungen mit effizienten Lüftungskonzepten über die Optimierung des Trittschallschutzes bei Holzbalkendecken bis hin zur Planung von solaren Heiz- und Kühlmöglichkeiten.

In den letzten Jahren entstanden mehrere Publikationen, die sich mit der Dauerhaftigkeit von sanierten Konstruktionen und der Risikoabschätzung von Bauschäden beschäftigen. Außerdem konnte ein Sanierungskonzept für Holztramdecken mit schalltechnischer Optimierung publiziert werden.



DI Dr.techn.

Maximilian NEUSSER

Technische Universität Wien

Forschungsbereich Bauphysik

Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie

Fakultät für Bauingenieurwesen

Postadresse: Karlsplatz 13/207-02, A-1040 Wien

maximilian.neusser@tuwien.ac.at

Geboren, 1984 in Wien, ist seit 2020 an der Technischen Universität Wien tätig. Seine Tätigkeiten umfassen die wissenschaftliche Leitung von Forschungsprojekten im Fachbereich der Bauphysik. Arbeitsschwerpunkte sind dabei Forschungs- und Entwicklungsarbeit in Zusammenarbeit mit Unternehmen zur Optimierung von Gebäudebauteilen (Fassaden, Decken, Trennwände, Bauteilknoten) durch aktuelle Simulations- und Messmethoden in der Bauakustik.

Flankenübertragung im sanierten Gründerzeithaus

DI Paul Wegerer, Gassner & Partner Baumanagement GmbH, 1050 Wien

DI Dr.techn. Maximilian Neusser, Technische Universität Wien, 1030 Wien

1. Einleitung

Die Gassner & Partner Baumanagement GmbH ist darauf spezialisiert, abgewohnte und desolate Gründerzeithäuser zu sanieren und auf den neuesten Stand der Technik zu bringen. Dabei spielt neben der Energieeffizienz auch der Schallschutz eine wesentliche Rolle. Durch den Einbau hocheffizienter Isolierglasfenster wird neben der thermischen Ertüchtigung der Gebäudehülle auch der Schallschutz der Fassaden deutlich verbessert. Somit wird der Grundgeräuschpegel in den Wohnungen merklich gesenkt. Infolgedessen steigt die subjektive Geräuschwahrnehmung der NutzerInnen und Geräusche, deren Quelle bzw. deren Ursache im Gebäude liegt, werden stärker wahrgenommen. Die Erfahrung aus der Praxis zeigt, dass die Wahrnehmung hausinterner Störgeräusche in den letzten Jahren massiv zugenommen hat. Auch die vermehrte Anwesenheit zuhause infolge der Pandemie erhöhte die Sensibilität auf Geräusche anderer Bewohner/innen.

Typische hausinterne Schallquellen sind Tritt- und Luftschall, Installationsgeräusche oder auch nutzungsbedingte Körperschallübertragungen wie beispielsweise Sesselrücken, Öffnen und Schließen von Schubladen, Kinderspielsachen am Fußboden oder Küchen- und Badgeräusche. Dieser Beitrag baut auf dem Artikel des Bauphysikertreffens 2021 [1] auf. Weiters wurden die Grundlagen der in-situ Messungen in zwei Publikationen zusammengefasst [2] und [3]. In diesem Beitrag wird ausschließlich auf die Flankenübertragung von Trittschall und Luftschall in sanierten Gründerzeithäusern eingegangen. Die Messungen wurden in eigens adaptierten Räumen in mehreren Gründerzeithäusern in-situ gemessen. Sämtliche Messungen wurden von der Gassner & Partner Baumanagement GmbH durchgeführt und finanziert.

2. Problemstellung Gründerzeithaussanierung

In der Regel werden die Sanierungsobjekte entkernt und sämtliche Installationen, Zwischenwände und Fußbodenaufbauten werden entfernt. Die bestehenden Holztrampoline bleiben erhalten, wobei die Deckschalung oftmals infolge Feuchteschäden ausgetauscht werden muss (siehe Abbildung 1 links). Die folgende Abbildung 1 (rechts) zeigt den Fußbodenaufbau im Gangbereich während der Abbrucharbeiten. Daraus wird ersichtlich, dass in diesem Fall wenig Platz für einen schwimmenden Estrich vorhanden ist. Das Sanierungskonzept dieser Problemstellung sowie die Umsetzung in der Praxis wurde in [1] und in [2] detailliert beschrieben.



Abbildung 1: Rohdecke mit schadhafter Deckschalung (links); Fußbodenaufbau des Bestands im Gangbereich (rechts)

Die Sturzschalung inklusive Schilfstuckatur und Deckputz bleibt erhalten und wird als luftdichte Ebene und als Brandschutzebene adaptiert. Während sämtliche Höhen im Gebäude, wie beispielsweise Deckenuntersichten und Fensterparapete variiert werden können, bleiben die Rohdecken sowie die Stiegenaustritte im Erschließungsbereich unverändert. Die Geschosshöhen bzw. das Gangniveau sind somit vorgegeben, wodurch sich in den Wohnungen – unter der Voraussetzung einer stufenlosen Erschließung – eine maximal mögliche Höhe des Fußbodenaufbaus ergibt.

Ein weiteres Spezifikum in Gründerzeithäusern sind die durchgehenden nichttragenden Ziegelwände. Diese bestehen aus einer Ziegelschar (14cm ohne Verputz) die in der Regel vom Erdgeschoß bis zur Dachbodendecke durchgehend aufgemauert sind. Im Bereich der Geschoßdecken liegen Holzträmme beidseitig mit geringem Abstand neben der Zwischenwand. Diese Trämme werden als Streichbalken bezeichnet und sind meist mittels Holzdübel mit der Ziegelwand verbunden. Dies begünstigt zwar eine Übertragung von Schubkräften, führt aber gleichzeitig zu einer Schallübertragung vom Deckenbauteil in das Wandbauteil, was wiederum die Schallausbreitung über mehrere Geschosse begünstigt.

Die vorliegende Forschungsarbeit beleuchtet speziell diese Schallübertragungswege, wobei zwischen originalem und saniertem Wand- und Deckenaufbau unterschieden bzw. verglichen wird. Die folgende Abbildung 2 zeigt einen Vertikalschnitt einer über mehrere Geschosse durchlaufenden einscharigen Ziegelwand. Im Bereich der Tramdecke sind die Streichbalken erkennbar, die zwar keine kraftschlüssige Verbindung mit der Wand eingehen, jedoch durch loses Schüttmaterial oder durch Bautoleranzen zu Schallbrücken führen können.

Abbildung 3 zeigt einen Polierplanausschnitt eines Sanierungsobjekts im Grundriss mit schematisch eingezeichneten Streichbalken neben den durchlaufenden einscharigen Ziegelwänden. Weiters ist die Luftschallübertragung über die Flanke der Fassade und der Mittelmauer schematisch eingezeichnet.

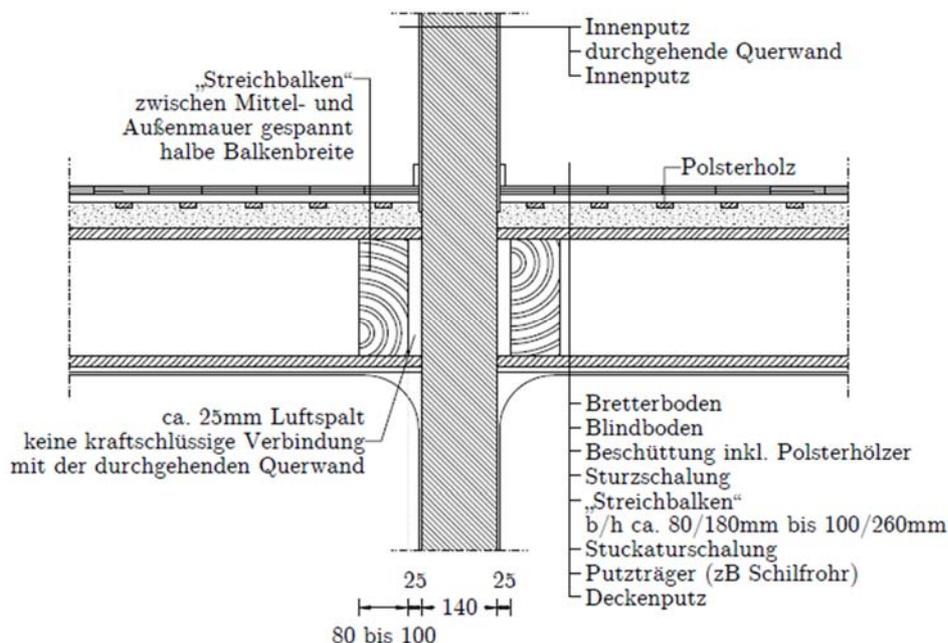


Abbildung 2: Fassadenparalleler Querschnitt durch eine Tramdecke sowie die über mehrere Geschosse durchgehende Wohnungstrennwand in einem Gründerzeithaus [4]

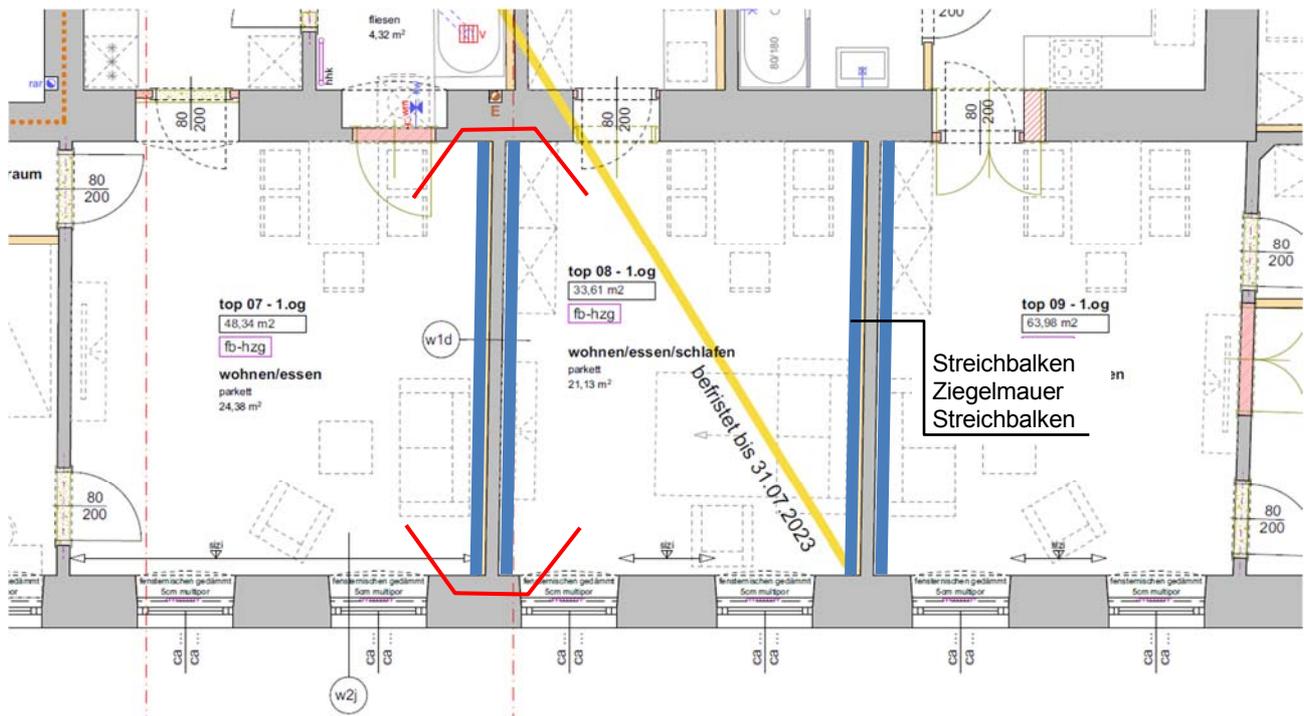


Abbildung 3: Grundriss Regelgeschoß mit durchlaufenden Wohnungstrennwänden und Streichbalken [Quelle: Polierplanung Gassner&Partner]

In der Regel wird die bestehende Ziegelwand im Zuge der Sanierung mit einer Vorsatzschale versehen. Dadurch kann einerseits die Trittschallflankenübertragung entschärft und andererseits die Direktschallübertragung zwischen den benachbarten Räumen gemindert werden. Gleichzeitig gewinnt jedoch die Luftschallflankenübertragung über die massiven Außen- bzw. Mittelmauern an Bedeutung. In den folgenden Auswertungen wird der Zusammenhang von Direktschall- und Flankenschallübertragung bewertet.

Bei den in [1], [2] und [3] beschriebenen Trittschallmessungen wurden insgesamt 82 Einzelräume in drei verschiedenen Gebäuden in den unterschiedlichsten Ausbaustufen von Rohdecke bis zum fertigen Zustand untersucht. Das Ziel der Trittschallmessungen war, eine ideale Kombination aus Fußbodenaufbau und abgehängter Decke zu generieren, um den Trittschallschutz der Holzbalkendecken unter Berücksichtigung der maximal möglichen Aufbauhöhe zu optimieren.

Die im Folgenden präsentierten Ergebnisse zeigen die Grenzen jener Maßnahmen auf, die zur Reduktion der Direktschallübertragung gesetzt wurden. Dies wird im Fall der Trittschallübertragung durch die Darstellung der Abhängigkeit des bewerteten Norm-Trittschallpegels mit Flankenübertragung gegenüber dem bewerteten Norm-Trittschallpegel der Deckenkonstruktion erreicht. Im Fall der Luftschallübertragung wird dies durch das Verhältnis zwischen der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz und der bewerteten Verbesserung des Gesamt-Schalldämm-Maßes erzielt.

3. Messmethodik

Für die In-Situ-Messungen wurden zwei unterschiedliche Versuchsaufbauten hergestellt. Zur Analyse des Flankentrittschalls wurde ein Raum mit allseitigen freistehenden Vorsatzschalen versehen. Dieser „Raum im Raum“ ermöglichte die Abschirmung jedes einzelnen Flankenbauteils und die Durchführung von sechs Einzelmessungen. Zur Analyse des Flankenluftschalls wurde eine Wohnungstrennwand sowie die benachbarten Flanken an der Mittel- und an der Außenwand mit freistehenden Vorsatzschalen einzeln abgeschirmt. Dadurch konnten die unbekanntenen Größen gemessen bzw. mittels eines Gleichungssystems rückgerechnet werden.

3.1. Trittschallübertragung

Der Anteil der Flankenübertragung am resultierenden Trittschallpegel im Empfangsraum wird durch eine Messung der einzelnen Norm-Flankentrittschallpegel in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 10848-1 bestimmt. Dazu ist in Bild 2 der Messablauf dargestellt, der aus folgenden Varianten besteht:

1. „Nullmessung“, keine Bauteile sind abgeschirmt, auch die Deckenuntersicht ist frei.
2. Die Deckenuntersicht (D1) ist mit einer freitragenden Unterdecke abgeschirmt.
3. Zusätzlich zu D1 ist die Mittelmauer (L1) mit einer freistehenden Vorsatzschale abgeschirmt.
4. Zusätzlich zu D1+L1 ist die Fassade mit den Fenstern (L2) mit einer freistehenden Vorsatzschale abgeschirmt.
5. Zusätzlich zu D1+L1+L2 ist die Wohnungstrennwand (L3) mit einer freistehenden Vorsatzschale abgeschirmt.
6. Zusätzlich zu D1+L1+L2+L3 ist die Wohnungstrennwand (L4) mit einer freistehenden Vorsatzschale abgeschirmt. Dadurch sind alle Flanken und der Direktweg abgeschirmt.

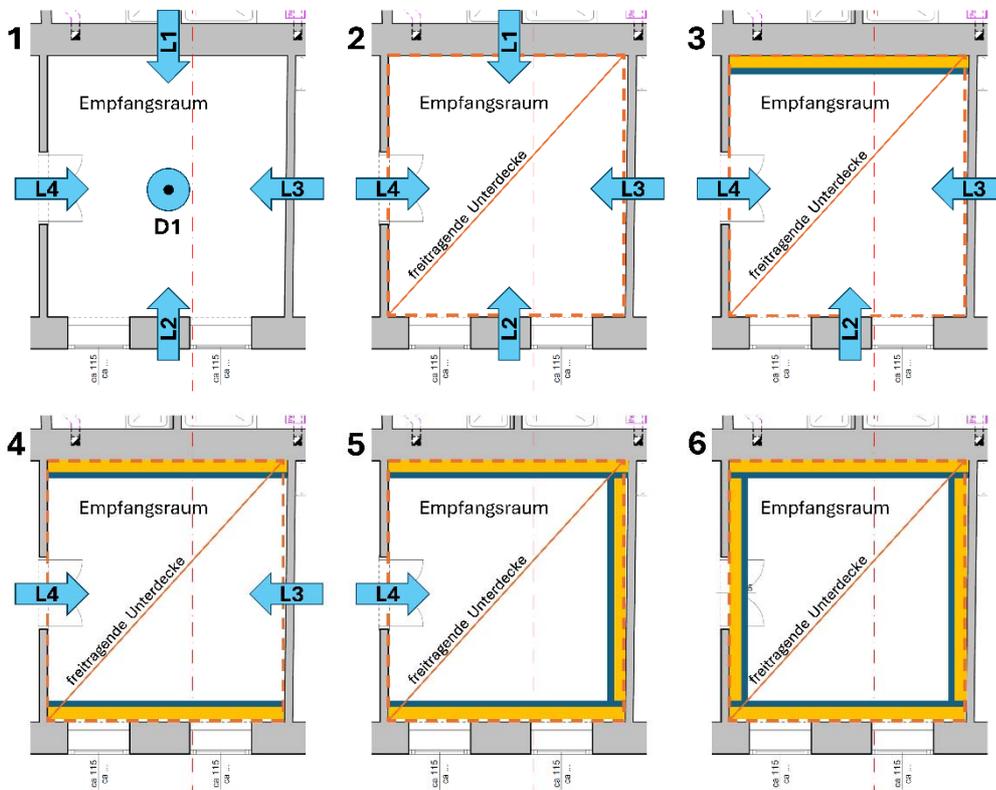


Abbildung 4: Messkonzept zur Bestimmung der Norm-Flankentrittschallpegel in Abhängigkeit des Sanierungszustands der Decken

Zur Abschirmung der abgestrahlten Schalleistung der Flanken wurde eine freistehende und selbsttragende Leichtbaukonstruktion (2x15 mm GKP, 75 mm Mineralwolle / CW75-Profil, 50-100 mm Luftraum) vor den jeweiligen Flächen abschnittsweise aufgebaut (siehe Abbildung 8). Nach der Abschirmung einer Flanke wurde der Norm-Trittschallpegel gemessen und auf Basis der ÖNORM EN ISO 12354-2 der jeweilige Norm-Flankentrittschallpegel berechnet.

3.2. Luftschallübertragung

Analog zu dem in Abschnitt 3.1 beschriebenen Konzept wurde im Rahmen der Studie [4] ein spezifisches Messkonzept zur Erfassung der Luftschallübertragung entwickelt. Dieses Konzept basiert auf dem Berechnungsmodell der ÖNORM EN ISO 12354-1 und ermöglicht die Messung der Anteile der Flankenschallübertragung an der Luftschallübertragung zwischen zwei durch eine Wohnungstrennwand getrennten Räumen in einem Gründerzeithaus. Abbildung 5 illustriert den Grundriss der gewählten Messsituation, der sowohl den Senderaum als auch den Empfangsraum sowie die relevante Wohnungstrennwand umfasst. Die durchgeführten Abschirmungsmaßnahmen konzentrierten sich ausschließlich auf den Senderaum, um die Genauigkeit der Messungen zu gewährleisten.

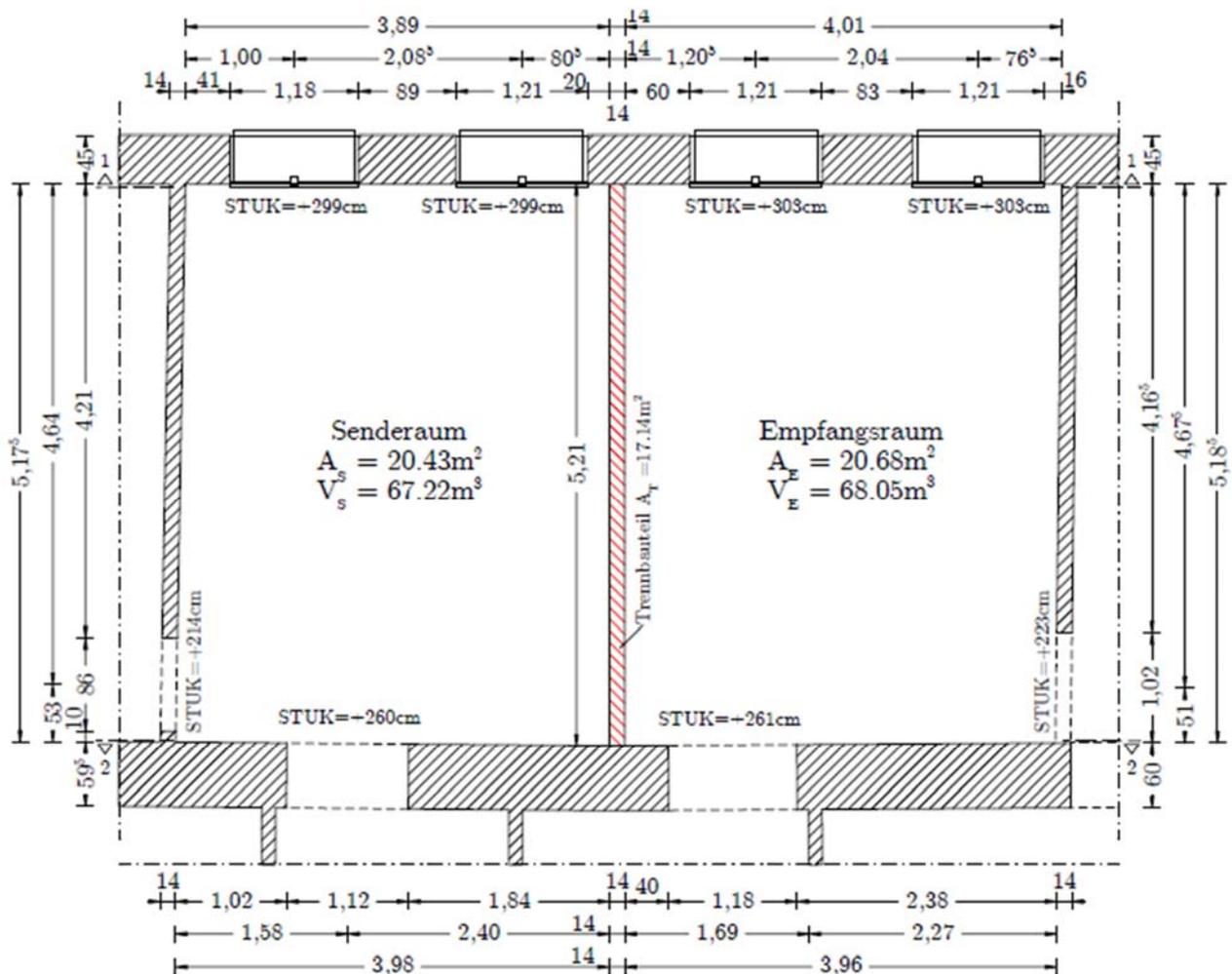


Abbildung 5: Grundriss des Versuchsaufbaus eines typischen Trennbauteils, das als Wohnungstrennwand zwischen Sende- und Empfangsraum adaptiert wurde [4]

In Übereinstimmung mit den in Abbildung 6 dargestellten Konfigurationen wurden verschiedene Maßnahmen zur Abschirmung einzelner Übertragungswege implementiert. Die dabei erzeugten Datensätze ermöglichten es, die Flankenschalldruckpegel zu analysieren und die spezifischen Flankenpegeldifferenzen zu bestimmen. Dies

geschah durch die Anwendung eines aufgestellten Gleichungssystems, dessen eindeutige Lösung in Abbildung 7 veranschaulicht ist.

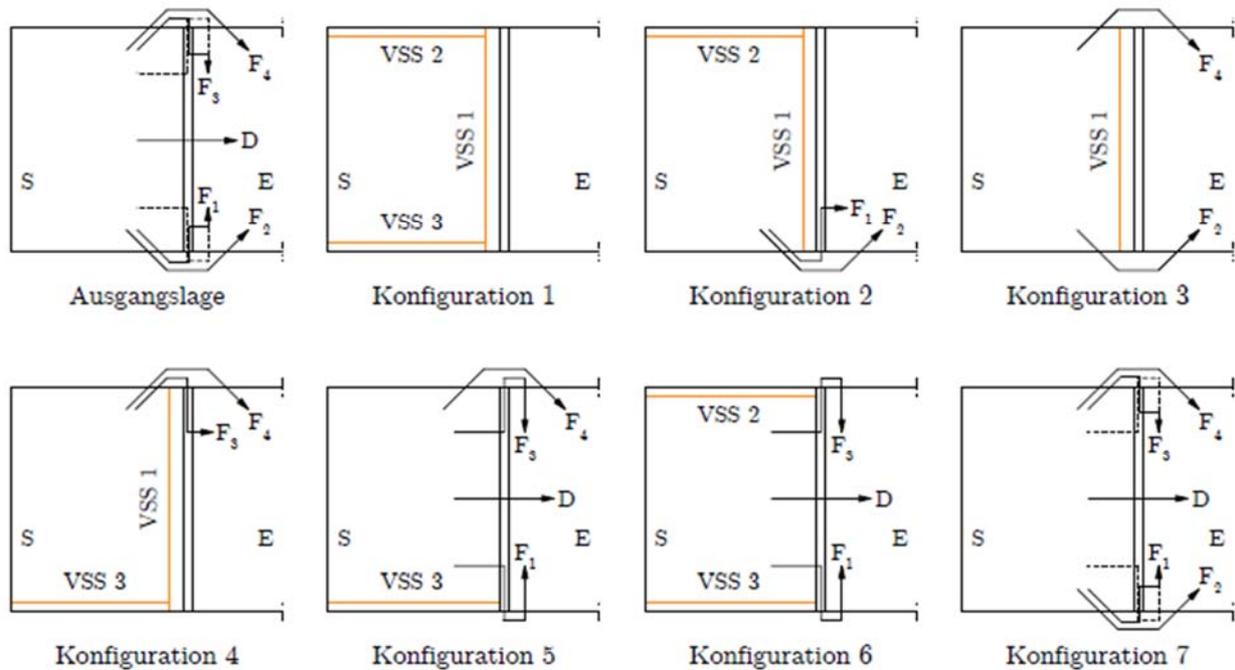


Abbildung 6: Messkonzept zur Bestimmung der Standardschallpegeldifferenz in Abhängigkeit der Konfiguration der Vorsatzschalen zur Abschirmung der Flankenschallübertragung [4]

$$\begin{aligned}
 F_1 &= G_2 - G_3 && + G_5 - G_6 \\
 F_2 &= && G_3 && - G_5 + G_6 \\
 F_3 &= && G_4 - G_5 + G_6 \\
 F_4 &= && G_5 - G_6 \\
 D &= -G_2 + G_3 - G_4 && + G_6
 \end{aligned}$$

Abbildung 7: Gleichungssystem zur Bestimmung der einzelnen Flankenschalldruckpegel über die Flanken 1 bis 4 bei Luftschallübertragung zwischen Sende- und Empfangsraum [4]

3.3. Abschirmung

Zur Abschirmung der einzelnen Flankenübertragungswege und zur Herstellung der in Abbildung 4 und in Abbildung 6 dargestellten Konfigurationen wurde eine freistehende Leichtbaukonstruktion erstellt, wie in Abbildung 8 skizziert. Diese Leichtbaukonstruktion orientiert sich an den Vorgaben der ÖNORM EN ISO 10848 zur Schallabschirmung von Übertragungswegen.

Durch die Anwendung dieser Richtlinien wird sichergestellt, dass die Konstruktion effektiv dazu beiträgt, unerwünschte Schallübertragungen zu minimieren und präzise Messungen der Flankenschallübertragung zu ermöglichen.

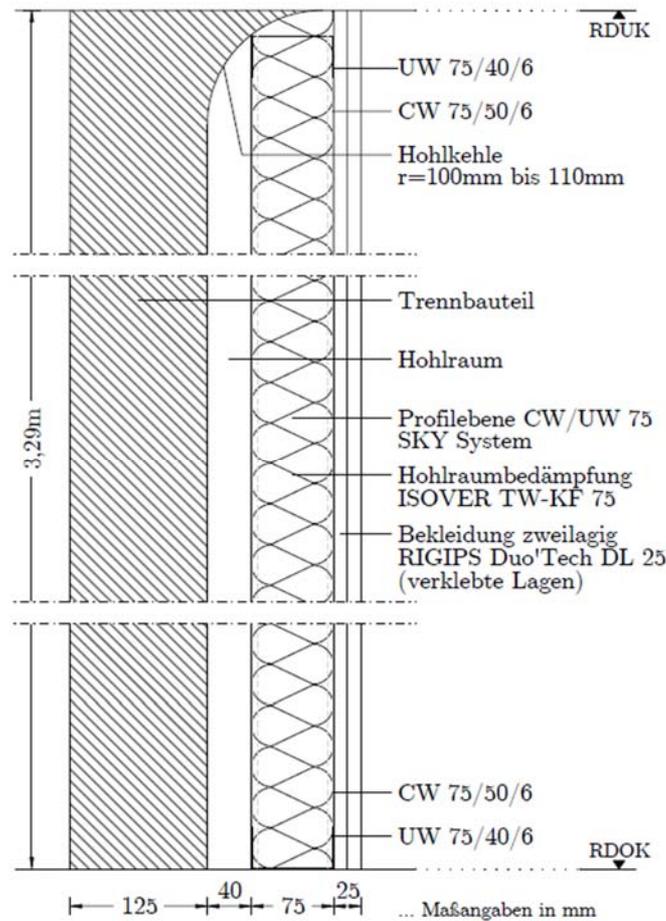


Abbildung 8: Abschirmung zur Unterdrückung der Flankenschallübertragung an der Wand gemäß ÖNORM EN ISO 10848-1 [4]

4. Flankenübertragung im sanierten Altbau

4.1. Trittschallübertragung

Wie bereits in [2] erläutert, konzentrieren sich Sanierungsmaßnahmen in der Regel auf die Verbesserung des Fußbodenaufbaus und der Unterdecke, was ausschließlich den Direktübertragungsweg des Trittschalls zwischen zwei Nutzungseinheiten betrifft. Jedoch nimmt der Anteil der Flankenübertragung des gemessenen Norm-Trittschallpegels im Gebäude zu, wenn der Direktübertragungsweg abnimmt. Daher ist es für eine sichere Planung von Sanierungsmaßnahmen, insbesondere für höhere Komfortklassen im Schallschutz, unerlässlich, die Übertragung durch flankierende Wände genau zu verstehen.

Aufgrund von Sanierungsmaßnahmen und den dadurch veränderten Grundrissen sind in Gründerzeithäusern oft sehr unterschiedliche Wand-Decken-Anschlüsse vorhanden. Das Spektrum reicht von sehr schweren Ziegelwänden bis hin zu neu errichteten leichten Trockenbauwandsystemen.

Der frequenzabhängige Verlauf der gemessenen Übertragungswege ist in Form des Norm-Flankentrittschallpegels $L'_{n,f}$ in Abbildung 9 dargestellt. Dabei zeigt die rot strichlierte Linie die untere Messgrenze. Dies ist die Summe aller Anteile, die sowohl über die abgeschirmten Bauteile als auch über nicht betrachtete Wege übertragen werden. Als obere Grenze wird die Summe aller Flankenübertragungswege in dickem Schwarz dargestellt. Diese wurde messtechnisch durch Entfernen aller Abschirmungen der flankierenden Wände bei montierter freitragender Unterdecke bestimmt. Zwischen den beiden Linien sind die jeweiligen Norm-Flankentrittschallpegel abhängig von den einzelnen Übertragungswegen dargestellt.

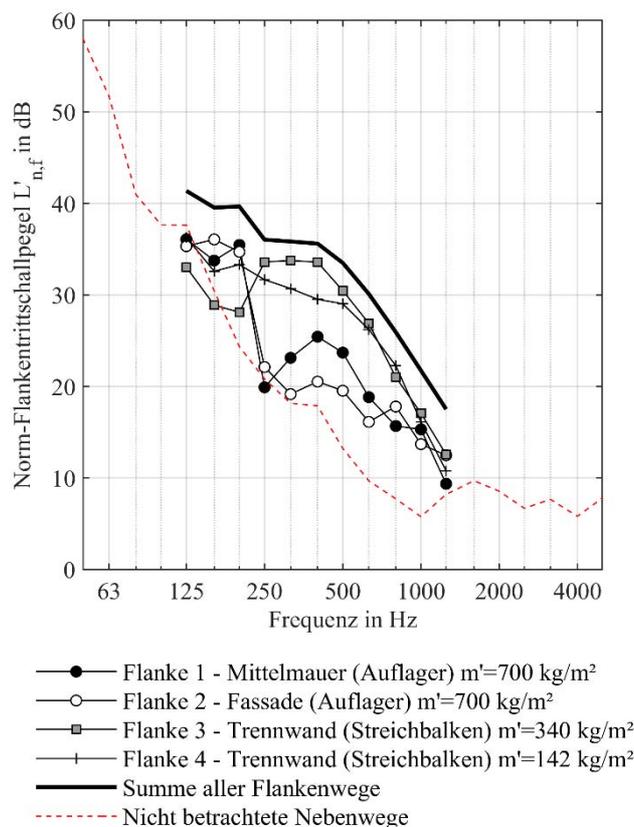


Abbildung 9: Frequenzabhängige Darstellung der gemessenen Norm-Flankentrittschallpegel $L'_{n,f}$ der betrachteten Übertragungswege zwischen Send- und Empfangsraum bei unterschiedlichen Knotenausbildungen zwischen Holzbalkendecke und Wand

Die Übertragungswege unterscheiden sich vor allem durch ihren Anschluss an die Deckenkonstruktion (Auflager oder Streichbalken) sowie durch das Flächengewicht der betrachteten Bauteile. Unterhalb von 100 Hz war es nicht möglich, die einzelnen Übertragungswege zu unterscheiden, da die gemessenen Pegelunterschiede zwischen den verschiedenen Messsituationen zu gering waren. Dies liegt hauptsächlich an der begrenzten Abschirmwirkung in diesem Frequenzbereich, was sich auch in der Überlappung der einzelnen Kurven mit der als untere Grenze definierten Summe aller nicht betrachteten Übertragungswege zeigt.

In Abbildung 10 ist zwischen 250 Hz und 800 Hz ein deutlicher Unterschied zwischen den einzelnen Norm-Flankentrittschallpegeln zu erkennen. Es lassen sich zwei Gruppen identifizieren, die sich durch die Art des Anschlusses von Decke und flankierendem Wandbauteil auszeichnen. Dabei sind die Übertragungswege über das Auflager der Holzbalkendecke unabhängig vom Flächengewicht deutlich ausgeprägter als jene über den Streichbalken und somit längs zur Deckentragrichtung. Daher sollten die Übertragungswege, an denen die Decke aufliegt und die am meisten zur Gesamtschallübertragung beitragen, vorrangig verbessert werden, um erhöhte Anforderungsniveaus zu erreichen.

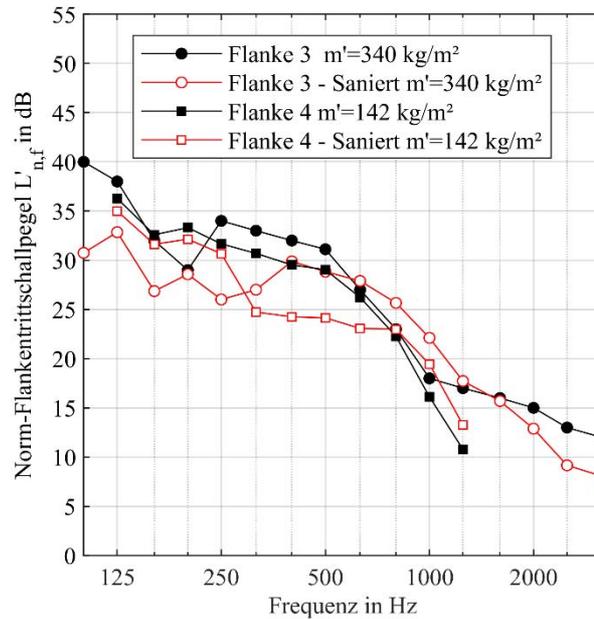


Abbildung 10: Vergleich der gemessenen Norm-Flankentrittschallpegel $L'_{n,f}$ zweier Übertragungswege in Abhängigkeit des Fußbodenaufbaus auf der Deckenkonstruktion (Bestand / Schwimmender Estrich)

Die Ergebnisse in Abbildung 10 wurden an einer Bestandsdeckenkonstruktion gemessen. Im Zuge der Sanierung und der damit einhergehenden Veränderungen im Bereich des schwimmenden Estrichs wurden auch für Flanke 3 und 4 die Norm-Flankentrittschallpegel in der sanierten Situation nach dem bereits beschriebenen Verfahren bestimmt. Hierfür wurde auf der Holzbalkenrohdecke ein schwimmender Zementestrich aufgebracht.

Um die Auswirkungen der Flankenübertragung auf die Gesamtbewertung im sanierten Bauzustand zu analysieren, wurde der Norm-Trittschallpegel als Summe der Direktübertragung im sanierten Zustand ermittelt. Dies geschah mithilfe der Rechenmethode der ÖNORM EN ISO 12354-2 [9], basierend auf den einzahlbewerteten Flankenübertragungsanteilen und einem variierenden Trittschallpegel der Deckenkonstruktion allein.

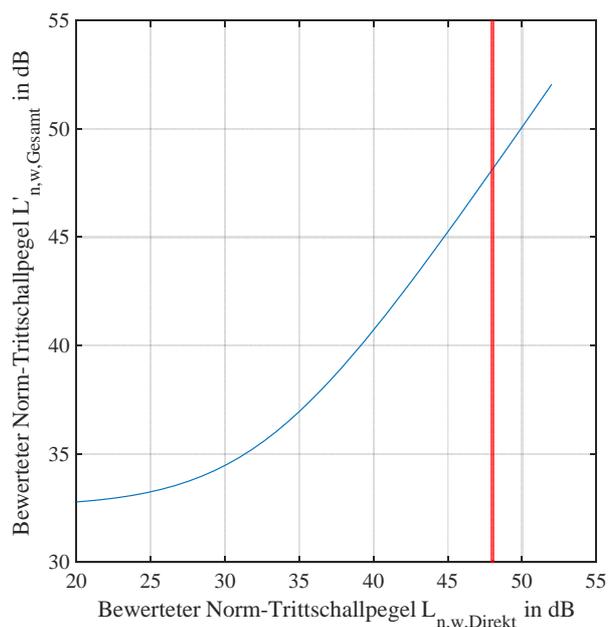


Abbildung 11: Abhängigkeit des Bewerteten Norm-Trittschallpegels mit Flankenübertragung $L'_{n,w,Gesamt}$ von dem bewerteten Norm-Trittschallpegel der Deckenkonstruktion $L_{n,w,Direkt}$

4.2. Luftschallübertragung

Der Datensatz der bauakustischen Messung umfasst die gemessenen Standard-Schallpegeldifferenzen je Konfiguration. Die daraus gewonnenen Ergebnisse werden für weitere Berechnungen verwendet, um sowohl das Gleichungssystem zu lösen als auch eine Grafik zu erstellen, die die technische Leistungsfähigkeit einer Vorsatzkonstruktion darstellt. Die Konfigurationen 1 und 7 markieren die obere und die untere Schranke der Schallpegeldifferenzen: Konfiguration 7 repräsentiert den Schallanteil, der unabhängig von Maßnahmen aufgezeichnet wird, während Konfiguration 1 den gesamten Übertragungsweg in den Empfangsraum abbildet.

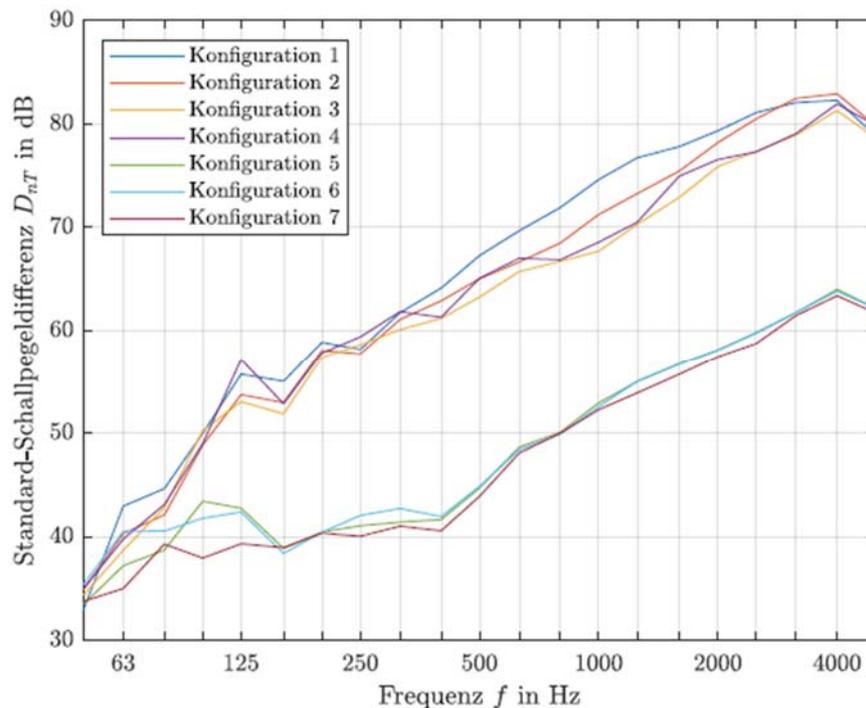


Abbildung 12: Standard-Schallpegeldifferenzen D_{nT} je Konfiguration in Abhängigkeit der Frequenz [4]

Die Schallübertragung erfolgt über drei Wege: den direkten Weg und zwei flankierende Wege (Außen F2 und Mittelmauer F4). In den untersuchten Konfigurationen (2, 4 und 6) erscheint jeweils nur eine unbekannte Größe. Der Verlauf ähnelt den Standard-Schallpegeldifferenzen, wobei im tiefen Frequenzbereich die Kurven nah beieinander liegen. Der direkte Weg erreicht die obere Schranke, während die flankierenden Wege sich an der unteren Schranke orientieren. Die Differenz zwischen dem direkten Weg und den flankierenden Wegen zeigt eine Verbesserung der Luftschalldämmung durch Abschirmung des direkten Weges. Maßnahmen am direkten Weg haben den größten Einfluss, während flankierende Bauteile nur bedingt Verbesserungen bieten. Dies wirft die Frage nach den akustischen Grenzen von Trockenbau-Vorsatzschalen auf, insbesondere im Hinblick auf das Luftschallverbesserungs-Maß ΔR .

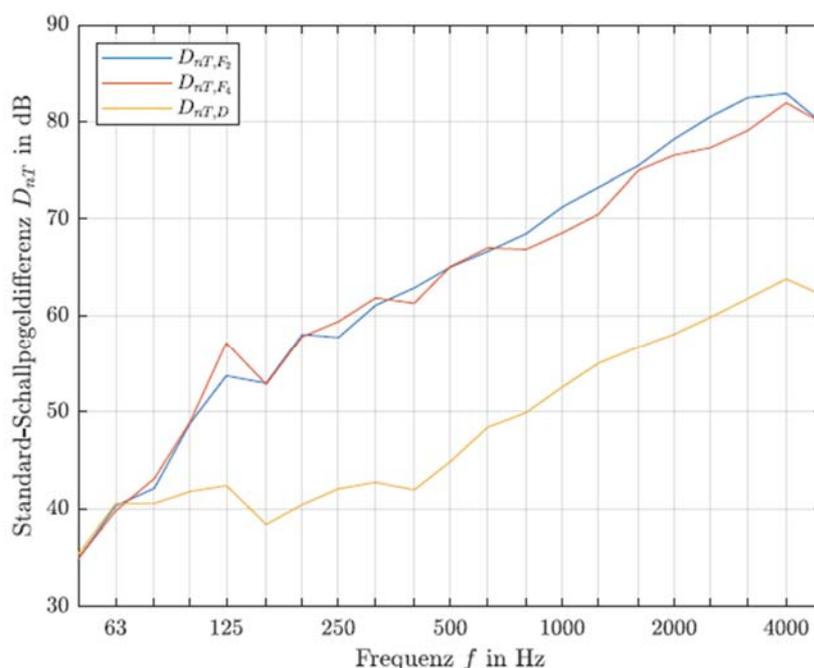


Abbildung 13: Standard-Schallpegeldifferenzen D_{nT} für die Übertragungswege F_2 , F_4 und D in Abhängigkeit der Frequenz [4]

Die in Abb. 4.8 ermittelten Standard-Schallpegeldifferenzen wurden in bewertete Größen umgewandelt und als Eingangsparameter für die Berechnung nach ÖNORM EN ISO 12354-1 herangezogen. Mithilfe dieses Formelwerks wurde der Gesamtübertragungsweg berechnet, wobei die Flankenübertragung konstant gehalten und die direkte Übertragung variiert wurde, um die akustische Leistungsgrenze von Vorsatzschalen zu ermitteln. Durch Variation des Luftschallverbesserungs-Maßes ΔR_w wurde die Standard-Schallpegeldifferenz als Funktion von ΔR_w berechnet. Abbildung 14 zeigt diese Kurve, die in drei Bereiche unterteilt ist: einen linearen Anstieg bis 15 dB, einen Übergangsbereich bis 30 dB und einen nahezu konstanten Bereich ab 30 dB, der die akustische Leistungsgrenze definiert. Die Anforderungen der ÖNORM B 8115-5 werden bei einem Luftschallverbesserungs-Maß von mindestens 5 dB erfüllt. Diese Ergebnisse gelten für Gebäude mit ähnlicher Tragstruktur wie Gründerzeithäuser.

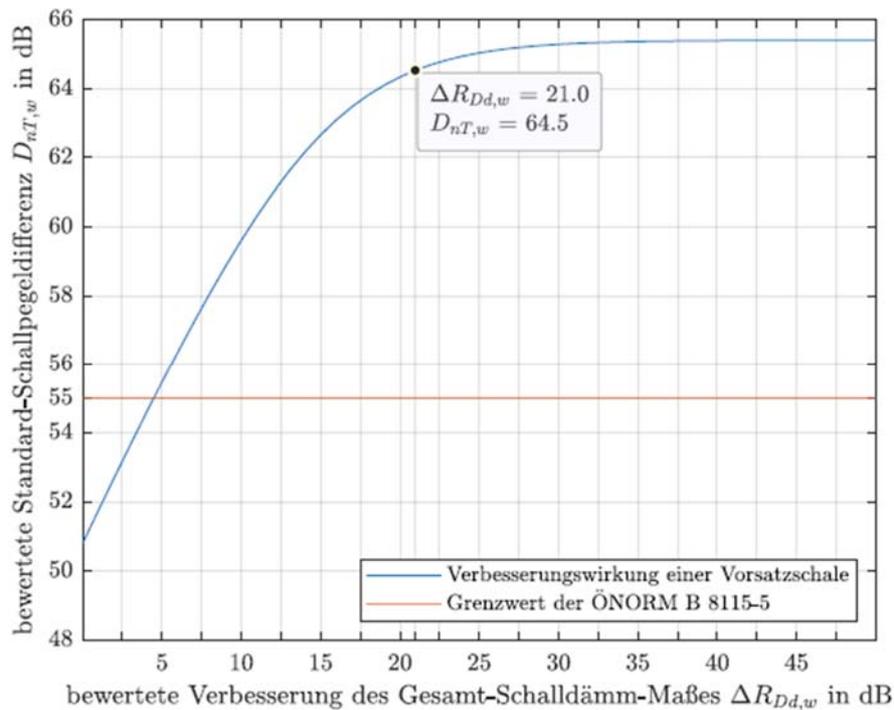


Abbildung 14: Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ als Funktion der bewerteten Verbesserung des Gesamt-Schalldämm-Maßes durch eine zusätzliche Vorsatzschale $\Delta R_{Dd,w}$ [4]

5. Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Messkonzept konnten die spezifischen Flankenschallpegelübertragungen für Luft- und Trittschall in den untersuchten Situationen erfolgreich ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass für die betrachteten Szenarien keine zusätzlichen abschirmenden Maßnahmen an den Flanken erforderlich sind, um die in der OIB RL 5:2023 festgelegten Anforderungsniveaus für den Schallschutz im Innenbereich zu erreichen.

Bei höheren Anforderungsniveaus, wie sie in der ÖNORM B 8115-5 definiert sind, könnte jedoch eine gezielte Berücksichtigung der Flankenübertragung und deren Abschirmung durch Vorsatzschalen im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen in Gründerzeithäusern notwendig werden. Im Bereich der Luftschallübertragung zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ von der Flankenübertragung, insbesondere ab einem Luftschallverbesserungsmaß von $\Delta R_w > 15$ dB. Bei der Trittschallübertragung hingegen ist eine Abhängigkeit des Norm-Trittschallpegels ab einem Wert von etwa $L_{n,w} < 38$ dB festzustellen. Diese Erkenntnisse verdeutlichen die Komplexität der Schallübertragung in Gebäuden und zeigen die Notwendigkeit bei erhöhten Anforderungsniveaus an den Schallschutz im Gebäudeinneren, sowohl Luft- als auch Trittschallaspekte in die Planung und Durchführung von Sanierungsprojekten zu integrieren.

6. Literatur

- [1] Wegerer P., Neusser M.: „Trittschall Holzbalkendecken – Sanierung & Optimierung“, in Tagungsband zum BauphysikerInnentreffen 2021, Wien 2021.
- [2] Neusser, M.; Wegerer, P. (2024) *Optimierung des Trittschallschutzes von Holzbalkendecken in Gründerzeithäusern – Teil 1: Problemstellung und Sanierungsmöglichkeiten*. Bauphysik 46, H. 4, S. 197–204.
- [3] Neusser, M.; Wegerer, P. (2024) *Optimierung des Trittschallschutzes von Holzbalkendecken in Gründerzeithäusern, Teil 2: Deckenaufbau und Flankenübertragung*. Bauphysik 46, H 5, ???.
- [4] Markovic, M., *Analyse der Flankenübertragungswege und der Wirksamkeit von Vorsatzschalen bei der Luftschallübertragung: Eine Untersuchung an einem Wiener Gründerzeithaus*, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, (2024)
- [5] M. Neusser, P. Wegerer, T. Bednar: „The influence of suspended ceilings on the impact sound insulation of wooden-beamed ceilings in a Wilhelminian style house“, International Buildings Physics Conference, Kopenhagen, 2021
- [6] L. Weber, B. Kaltbeitzel: „Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzdecken durch optimierte Deckenaufbauten“, IBP-Bericht B-BA 3/2016, Stuttgart, 2017
- [7] A. Rabold, S. Bacher, U. Schanda, A. Mayr, F. Schöpfer: „Schallschutz von Holzbalkendecken Planungshilfen für die Altbausanierung Teil 1: Direktschalldämmung“, Bauphysik 35, Heft 4, Seite 280-285, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2013
- [8] A. Rabold, S. Bacher, U. Schanda, A. Mayr, F. Schöpfer: „Schallschutz von Holzbalkendecken Planungshilfen für die Altbausanierung Teil 2: Flankenschalldämmung“, Bauphysik 35, Heft 6, Seite 398-392, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2013
- [9] ÖNORM EN ISO 12354-2 (2017) Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen (ISO 12354-2:2017). Austrian Standards International, Wien.

CURRICULUM VITAE



Dr.
Thomas Rittenschober

Seven Bel GmbH

Sevenbel.com
Hafenstraße 47-51
A-4020 Pfaffstätten

thomas.rittenschober@sevenbel.com

Herr Rittenschober ist der Gründer und Chef-Technologe bei Seven Bel, einem Hersteller von Hochleistungs-Akustikkameras basierend auf der Sound-Field-Scanning-Technologie.

Sein akademischer Hintergrund liegt in der Mechatronik, mit einem besonderen Fokus auf Multisensorsysteme, Regelungstechnik und Signalverarbeitung.

Vor seiner Tätigkeit bei Seven Bel war er als Global Engineering Manager bei General Electric tätig und verantwortlich für die Entwicklung und den Übergang zur Produktion von medizinischen Ultraschallsonden.

Schall-Lokalisierung in der Bau- und Raumakustik

Einsatz akustischer Kameras in der Schalltransmissions- und Schallpfadanalyse

Dr. Thomas Rittenschober, Seven Bel GmbH, A-4020 Linz

1. Einleitung

Schalltransmissions- und Nachhallzeitmessungen bilden die Grundlage für den Nachweis der Einhaltung von bau- und raumakustischen Anforderungen. Im Falle der Nichteinhaltung von Grenz- oder Zielwerten kann die Analyse aufgrund der Vielfalt möglicher Mängel - Planungsfehler eingeschlossen - herausfordernd sein. So können ungewollte Überhöhungen im Nachhall-Zeitsignal hervortreten, die speziell bei Räumen mit anspruchsvollen Anforderungen, wie zum Beispiel Großraumbüros oder Konzertsälen, schwer räumlich zuordenbar und nur mit großem zeitlichen Aufwand zu analysieren sind. Ebenso kann in der Bauakustik die Ursachenfindung von Schwachstellen in Trennwänden zeitaufwendig sein.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Einsatz akustischer Kameras basierend auf der sogenannten Sound Field Scanning Technologie für den Anwendungsfall der Ortung von primären und kritischen Raum-Reflexionen sowie Schwachstellen in baulichen Konstruktionen. Während im Fall der Raumakustik eine omnidirektionale Schallquelle an einer relevanten Sendeposition im Raum positioniert wird und mit bandbegrenzten Impulsen periodisch angesteuert wird, wird bei Schalltransmissionsmessungen in der Bauakustik die Quelle in einem Senderaum mit weißem Rauschen angesteuert. Die akustische Kamera wird in der Raumakustik an einem relevanten Beobachtungspunkt bzw. in der Bauakustik im sogenannten Empfangsraum positioniert. Das Schallfeld wird auf der Messfläche des rotierenden Mikrofon-Array erfasst und zugehörige akustische Bilder erzeugt.

Der Anwender kann so Auffälligkeiten im Nachhall-Zeitsignal mit hoher zeitlicher Auflösung oder Schwachstellen in baulichen Konstruktionen in problematischen Frequenzbereichen orten. Die Ursachenforschung kann in komplexen Situationen auf wenige Messungen unter verschiedenen Blickwinkeln reduziert und somit die Lösungsfindung mit hoher Zuversicht deutlich beschleunigt werden.

Das Verfahren wird anhand praxisrelevanter Probleme in der Bau- und Raumakustik evaluiert, namentlich die Lokalisierung von Leckagen in einer Gipskartontrennwand sowie von kritischen Reflexionen im Bühnenbereich einer Konzerthalle.

2. Stand der Technik

Die Lokalisierung von Schallquellen basierend auf der Erfassung des Schallfeldes mit einem zweidimensionalen Mikrofonarray ist eine attraktive Technik, da die Visualisierung von Schallemissionen aus der Ferne ermöglicht wird, ohne das Schallfeld durch das Messgerät zu verfälschen.

Diese Messinstrumente – oft als akustische Kameras bezeichnet – bestehen typischerweise aus zweidimensionalen Mikrofonarrays mit bis zu 130 Mikrofonen, die über eine kreisförmige Fläche mit einem Durchmesser von 35 cm bis zu 2,5 m verteilt sind, sowie einer optischen Kamera zur Überlagerung des akustischen und des optischen Bildes der Mess-Szene.

Die Leistung dieser Geräte wird hauptsächlich von zwei Faktoren bestimmt, nämlich dem Durchmesser des Mikrofonarrays und der Anzahl der über diese Fläche verteilten Mikrofone. Der Arraydurchmesser bestimmt im Wesentlichen die räumliche Auflösung. Je größer der Arraydurchmesser, desto höher ist die räumliche Auflösung.

Die Anzahl der Mikrofone beeinflusst den Dynamikumfang des resultierenden akustischen Bildes, d.h. den maximalen Unterschied im Lautstärkepegel zwischen verschiedenen Quellen, der aufgelöst werden kann. Eine höhere Anzahl an verteilten Mikrofonen führt auch direkt zu einem niedrigeren minimalen detektierbaren Schalldruckpegel aufgrund eines verbesserten Signal-Rausch-Verhältnisses.

Während die Lokalisierung von Schallemissionen in vielen Situationen bei stationären Anregungen – einschließlich der Trennung von Direktschallereignissen von Reflexionen – unkompliziert ist, kann die Lokalisierung kurzzeitiger Schallereignisse in der Größenordnung von 10 ms oder geringer schwieriger werden. Berücksichtigt man die Tatsache, dass sich Schall in Luft in weniger als 3 ms eine Strecke von 1 m zurücklegt, ist eine hohe zeitliche Auflösung von Schallereignissen erforderlich, um Reflexionen in Raum und Zeit zu lokalisieren.

Der aktuelle Stand der Technik bei akustischen Kameras erreicht eine zeitliche Auflösung von etwa 10 ms, was für viele raumakustische Anwendungen unzureichend ist, da das resultierende akustische Bild für ein kurzzeitiges Ereignis von weniger als 10 ms eine Überlagerung mehrerer Reflexionen darstellt.

Diese Leistungskriterien haben den Autor dazu veranlasst, ein neues Sensorkonzept vorzuschlagen, das auf eine hohe räumliche Auflösung, hohen Dynamikbereich und hohe zeitliche Auflösung für die Lokalisierung spezifischer Zeitbereiche des aufgenommenen Audiosignals abzielt.

3. Das Sensor-Konzept

Das vorgeschlagene Sensorkonzept ist motiviert durch die zugrunde liegende Physik, die die räumliche Auflösung und den Dynamikbereich eines Schallabbildungssystems beschreibt. Der Einfachheit halber betrachten wir einen Sensor mit einer linearen, kontinuierlich verteilten Mikrofonanordnung mit der Aperturlänge L . Die entsprechende normalisierte, horizontale Richtcharakteristik D wird durch die Formel

$$D(\lambda, \theta) = \text{sinc}\left(\frac{L}{\lambda} \cos \theta\right) \quad (1)$$

gegeben, wobei θ der Einfallswinkel einer ankommenden Schallwelle ist und $\lambda = c/f$ die Wellenlänge ist, c die Schallgeschwindigkeit in Luft und f die Frequenz der Schallwelle [2][3][4]. Die Form der Richtcharakteristik ist in Abbildung 1 dargestellt. In dieser Konfiguration ist der verteilte Sensor am empfindlichsten für Schallwellen, die in einem Winkel von 0 Grad eintreffen, und seine Empfindlichkeit nimmt bei anderen Winkeln ab.

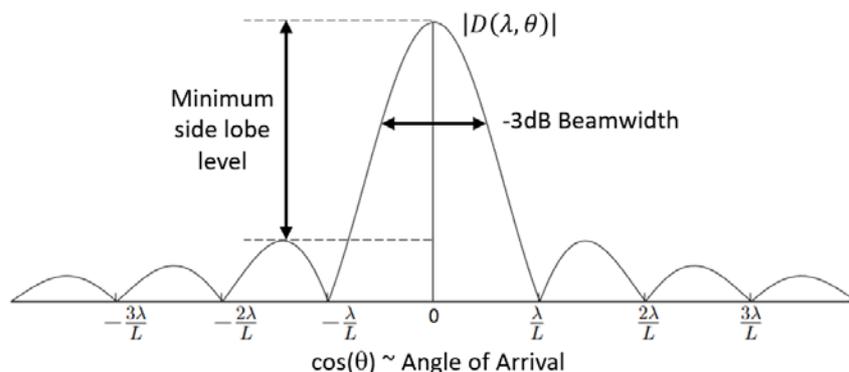


Abbildung 1: Normalisiertes, horizontales Richtdiagramm D für ein kontinuierliches lineares Array mit der Aperturlänge L , ausgewertet bei Wellenlänge λ .

Die räumliche Auflösung eines Schallvisualisierungssystems wird typischerweise durch die -3dB-Öffnungswinkel der Hauptkeule quantifiziert. Eine verbesserte räumliche Auflösung kann auf zwei Arten erreicht werden: (i) durch Erhöhung der Aperturlänge L oder (ii) durch Erhöhung der Frequenz des Schallereignisses. Option (i) bedeutet im Wesentlichen eine Vergrößerung des Sensors, was, wie wir später sehen werden, eine höhere Anzahl an verteilten Mikrofonen erfordert und somit die Hardwarekomplexität beeinflusst. Option (ii) könnte in Anwendungen verfügbar sein, bei denen die Anregungsfrequenz der Quelle in Richtung höherer Frequenzen gesteuert werden kann.

Die Nebenkeulen in Abbildung 1 spielen eine besondere Rolle für reale Arrays mit einer endlichen Anzahl diskreter Mikrofone. Tatsächlich quantifiziert der Seitenkeulenpegel den Dynamikbereich eines Schallvisualisierungssystems. Wenn beispielsweise der Nebenkeulenpegel bei einer bestimmten Frequenz 10 dB unter dem Hauptkeulenpegel liegt und davon ausgegangen wird, dass alle beteiligten Schallquellen räumlich aufgelöst werden können, ist das System immer noch in der Lage, sekundäre Quellen mit einem Schalldruckpegel zu lokalisieren, der weniger als 10 dB unter der dominantesten Quelle liegt. Der Dynamikbereich kann durch Erhöhung der Anzahl an verteilten Mikrofonen verbessert werden, was wiederum die Hardwarekomplexität beeinflusst.

3.1. Hardware Implementierung

Das Kernstück des Sensorkonzepts ist ein rotierendes lineares Array mit fünf verteilten Mikrofonen, das um ein stationäres Referenzmikrofon kreist. Die Trajektorie der übrigen beweglichen Mikrofone wird durch konzentrische Kreise beschrieben. Ein magnetischer Drehwinkelgeber, der koaxial mit der Rotationsachse des Arrays ausgerichtet ist, misst die Winkelposition des rotierenden Sensorstabs Rotationsachse, siehe Abbildung 2.

Die Mikrofone basieren auf digitaler MEMS-Technologie und die entsprechenden Signale werden über einen gemeinsamen Signalweg unter Verwendung der Zeitmultiplexing-Methode (TDM) erfasst. Diese Methode ermöglicht die einfache Implementierung eines Mikrofon-Multiplexing-Schemas zur Datenkompression und Emulation beliebiger, auch physisch nicht umsetzbarer zweidimensionaler Array-Geometrien mit sehr geringen, zum Teil überlappenden Abständen zwischen Mikrofonen.

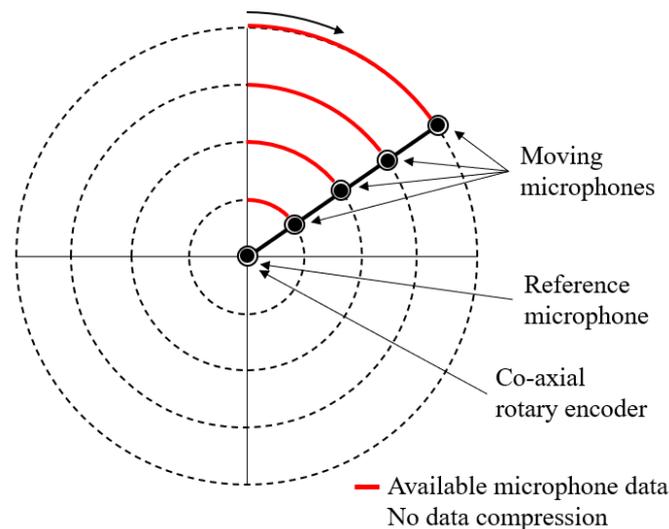


Abbildung 2: Rotierendes lineares Array mit fünf Mikrofonen, die um das Referenzmikrofon schwenken. Die Trajektorie der beweglichen Mikrofone wird durch konzentrische Kreise beschrieben.

Die Datenaufnahme kann so konfiguriert werden, dass das Referenzmikrofon zusammen mit einem zweiten Kanal, der periodisch zwischen den beweglichen Mikrofonen wechselt, aufgezeichnet wird, siehe Abbildung 3.

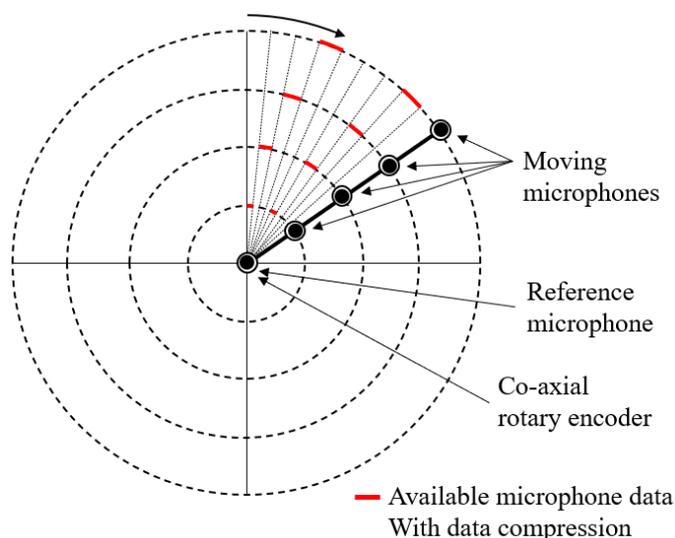


Abbildung 3: Multiplexing der beweglichen Mikrofone ermöglicht Datenkompression und Emulation beliebiger zweidimensionaler Array-Geometrien.

Es ist bekannt, dass die Richtcharakteristik des Arrays und die entsprechenden Mikrofonpositionen optimiert werden können, um bestimmte Leistungsanforderungen zu erfüllen, z.B. das Minimum des Nebenkeulenpegels bei bestimmten Frequenzen. Während zweidimensionale Arrays mit diskreten Mikrofonpositionen eine vollständige Hardware-Neukonfiguration in Bezug auf die Neupositionierung der Mikrofone erfordern, benötigt das rotierende lineare Array lediglich eine Software-Neukonfiguration, um die Daten an verschiedenen Positionen zu erfassen.

Auch die Implementierung großer Arrays mit einem Durchmesser von mehr als einem Meter erhöht nicht die Hardwarekomplexität. Tatsächlich kann die Anzahl der Mikrofone entlang des linearen Arrays gleich bleiben, da die feine räumliche Abtastung entlang der konzentrischen Kreise die Einhaltung des räumlichen Abtasttheorems garantiert [1][2].

Das rotierende lineare Array verwendet drahtlose Technologie zur Datenübertragung der Audio- und Drehgeberdaten an eine Verarbeitungseinheit.

3.2. Eigenschaften von Signalen, die durch bewegliche Mikrofone erfasst werden

Um die Eigenschaften eines durch ein bewegliches Mikrofon erfassten Signals besser zu verstehen, betrachten wir eine Punktschallquelle mit harmonischem Anregungssignal $u(t)$ bei der Frequenz f_0

$$u(t) = \text{Re}\{e^{i2\pi f_0 t}\}.$$

Angenommen, die entsprechende Schallwelle ist unabhängig von der Entfernung zur Quelle und die Drehgeschwindigkeit f_{rot} des beweglichen Mikrofons ist konstant, ergibt sich das durch das bewegliche Mikrofon erfasste Audiosignal $y_1(t)$ zu:

$$y_1(t) = \text{Re}\left\{e^{i2\pi f_0 t} e^{-i2\pi f_0 \frac{d_1(t)}{c}}\right\}$$

wobei $d_1(t)$ die zeitlich veränderliche Entfernung zwischen der Schallquelle und der Position des beweglichen Mikrofons entlang seiner Kreisbahn mit Radius R ist siehe Abbildung 4.

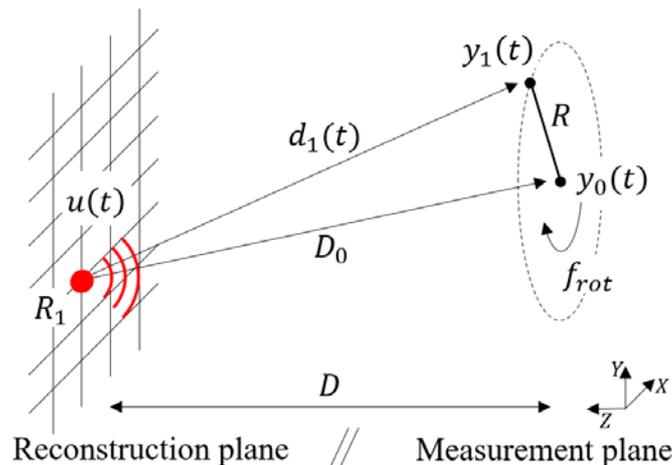


Abbildung 4: Notationen zur Beschreibung der Anordnung mit einer Punktschallquelle in der Rekonstruktionsebene, einem Referenzmikrofon und einem beweglichen Mikrofon in der Messebene.

Wir bezeichnen die konstante Entfernung zwischen der Schallquelle am Rekonstruktionspunkt R_1 und dem stationären Referenzmikrofon mit D_0 , das entsprechende Audiosignal mit $y_0(t)$

$$y_0(t) = \text{Re}\left\{e^{i2\pi f_0 t} e^{-i2\pi f_0 \frac{D_0}{c}}\right\}$$

und die Entfernung zwischen den parallelen Rekonstruktions- und Messebenen mit D . Der Ursprung des kartesischen Koordinatensystems, dessen Punktdarstellung durch (X,Y,Z) gegeben ist, befindet sich an der Position des Referenzmikrofons, und die XY -Ebene ist die Messebene. Unter Berücksichtigung der Parameter

$$f_0 = 1\text{kHz}, f_{rot} = 1\text{Hz}, R = 1\text{m}, D = 3\text{m}, D_0 = (-0.1\text{m}, -0.1\text{m}, D), \quad (2)$$

erhalten wir das folgende Ergebnis für den zeitvarianten Abstand $d_1(t)$

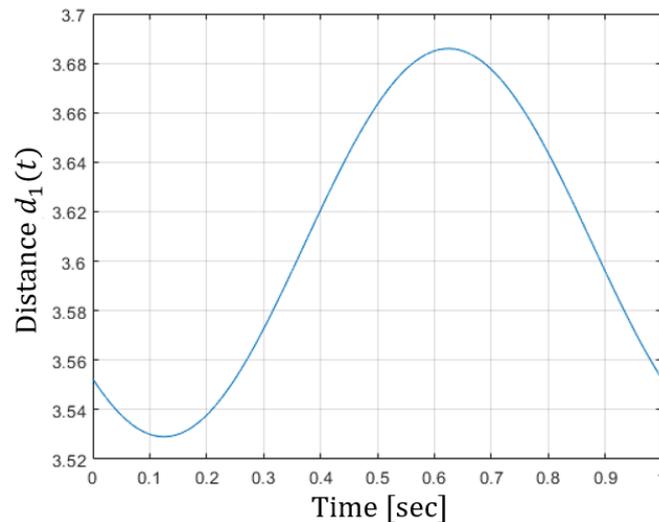


Abbildung 5: Die zeitlich veränderliche Entfernung zwischen der Schallquelle und der Position des beweglichen Mikrofons entlang seiner Kreisbahn.

und die Kurzzeit-Fourier-Transformation des Audiosignals $y_1(t)$, siehe Abbildung 5 und Abbildung 6.

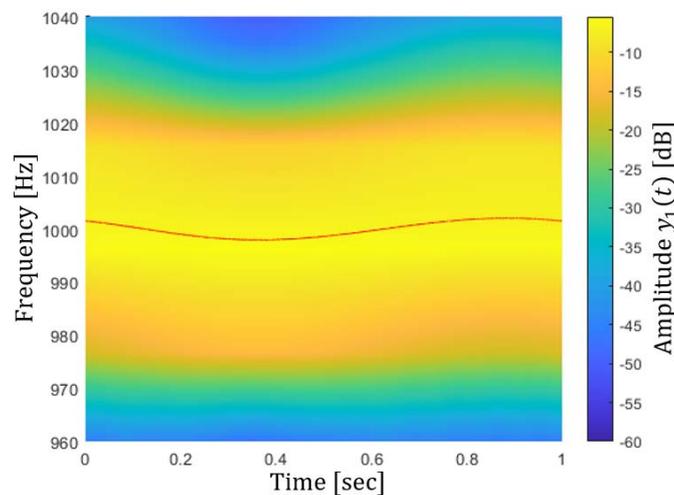


Abbildung 6: Die Kurzzeit-Fourier-Transformation des Mikrofonsignals für die zeitlich veränderliche Entfernung $d_1(t)$, wie in Abbildung 5 dargestellt.

Wie erwartet, ist die Kurzzeit-Fourier-Transformation des Mikrofonsignals $y_1(t)$ eine Doppler-verschobene Version des ursprünglichen Quellsignals $u(t)$.

4. Akustische Bildberechnung

Der Messaufbau, der in Abbildung 4 dargestellt ist, zusammen mit den grundlegenden Beobachtungen zu den Signalcharakteristiken des beweglichen Mikrophon- und Referenzmikrofonsignals ermöglichen es nun, einen

Algorithmus zur Berechnung eines akustischen Bildes zu entwickeln, die die Verteilung der Schallquellen in der Rekonstruktionsebene beschreibt.

4.1. Der Fall einer perfekten Doppler-Shift-Kompensation

Im ersten Schritt wird das Signal $y_1(t)$ des bewegten Mikrofons auf die räumliche Position des Referenzmikrofons abgebildet. Diese Transformation umfasst die Rückprojektion von $y_1(t)$ auf den Punkt der Schallquelle in der Rekonstruktionsebene unter Verwendung der zeitlich veränderlichen Entfernung $d_1(t)$ und anschließend die Vorwärtsprojektion des Signals auf die Position des Referenzmikrofons unter Verwendung der konstanten Entfernung D_0 .

Das resultierende Signal

$$\underline{y}_1(t) = y_1(t + d_1(t) - D_0) = \text{Re} \left\{ e^{i2\pi f_0 t} e^{-i2\pi f_0 \frac{(d_1(t) - d_1(t) + D_0)}{c}} \right\} = y_0(t)$$

hat die Eigenschaft, dass die zuvor in $y_1(t)$ induzierte Dopplerverschiebung vollständig kompensiert wird und mit dem Signal identisch ist, das an der Position des Referenzmikrofons erfasst wurde.

4.2. Der allgemeine Fall

Wir betrachten nun die Transformation für einen Punkt R_2 in der Rekonstruktionsebene, der sich in konstanter Entfernung D_0 zur Position des Referenzmikrofons befindet und von der Schallquelle entfernt ist, siehe Abbildung 7.

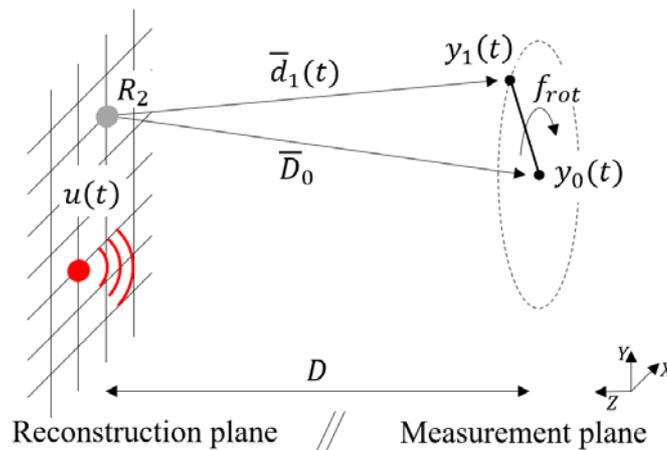


Abbildung 7: Notation, die zur Beschreibung des Aufbaus verwendet werden, wenn das Signal des bewegten Mikrofons $y_1(t)$ über den Punkt R_2 in der Rekonstruktionsebene auf die Position des Referenzmikrofons abgebildet wird.

Eine zusätzliche Dopplerverschiebung wird in das transformierte Signal $\underline{y}_1(t)$ eingeführt, gegeben durch:

$$\underline{y}_1(t) = y_1(t + \underline{d}_1(t) - \underline{D}_0) = \text{Re} \left\{ e^{i2\pi f_0 t} e^{-i2\pi f_0 \frac{(d_1(t) - \underline{d}_1(t) + \underline{D}_0)}{c}} \right\}.$$

Es wird nun die Kohärenzfunktion $C_{\underline{y}_1 y_0}(f)$ als frequenzabhängiges Maß für die statistische Ähnlichkeit des transformierten Signals $\underline{y}_1(t)$ und des am Referenzmikrofon erfassten Signals $y_0(t)$ eingeführt,

$$C_{\underline{y}_1 y_0}(f) = \frac{|S_{\underline{y}_1 y_0}(f)|^2}{S_{\underline{y}_1 \underline{y}_1}(f) S_{y_0 y_0}(f)}$$

wobei $S_{y_1 y_0}(f)$ das Kreuz-Leistungsdichtespektrum der Signale $y_1(t)$ und $y_0(t)$, und $S_{y_1 y_1}(f)$ und $S_{y_0 y_0}(f)$ sind die Leistungsdichtespektren von $y_1(t)$ bzw. $y_0(t)$ [4]. Die Kohärenzfunktion variiert im Intervall $0 \leq C_{y_1 y_0}(f) \leq 1$. Wir erhalten einen hohen Kohärenzwert bei einer bestimmten Frequenz f für Punkte in der Rekonstruktionsebene, an denen sich tatsächlich eine Schallquelle befindet, und einen niedrigen Kohärenzwert für Punkte, an denen keine oder nur geringe Schallemissionen auftreten.

Wir können nun diese Metrik nutzen, um ein akustisches Bild zu erstellen, das die Verteilung der Schallquellen über die gesamte Rekonstruktionsfläche darstellt. Unter Berücksichtigung der Parameter aus Gleichung (2) und einer Punktquelle an der räumlichen Position $(-0.1m, -0.1m, -D)$ erhalten wir die farbcodierte Darstellung der Kohärenzfunktion $C_{y_1 y_0}(f)$, ausgewertet bei $f = 1 \text{ kHz}$, die in Abbildung 8 dargestellt ist. Mit diesem speziellen Satz von Parametern wird das resultierende akustische Bild auch als Punktspreizfunktion (PSF) bezeichnet, die verwendet wird, um die Leistung eines Bildgebungssystems hinsichtlich der räumlichen Auflösung und des Dynamikbereichs zu quantifizieren [1].

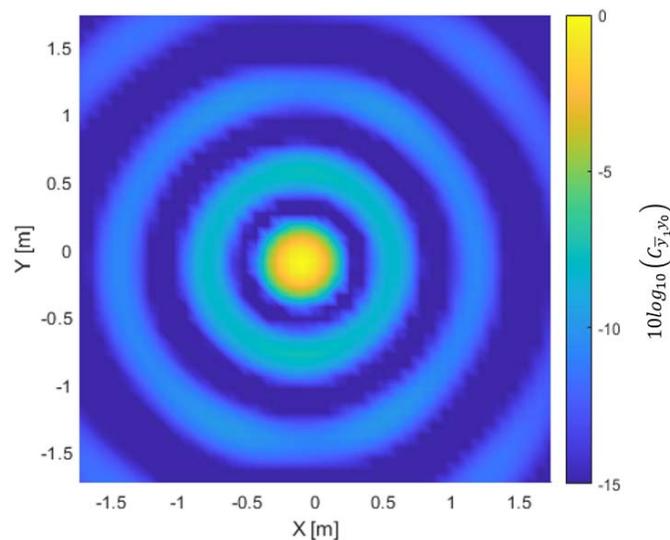


Abbildung 8: Farbcodierte logarithmische Darstellung der Kohärenzfunktion $C_{y_1 y_0}(f)$, ausgewertet bei $f = 1 \text{ kHz}$.

4.3. Vergleich mit fester Anordnung von Mikrofonen

Um die Bildqualität zu schätzen, die mit nur einem beweglichen Mikrofon erreicht wird, können wir die Kohärenzfunktion für eine Hardwarekonfiguration mit einer festen räumlichen Anordnung von Mikrofonen berechnen, die gleichmäßig entlang der Trajektorie des beweglichen Mikrofons angeordnet sind. Abbildung 9 zeigt das Ergebnis für 12, 24 und 96 Mikrofone.

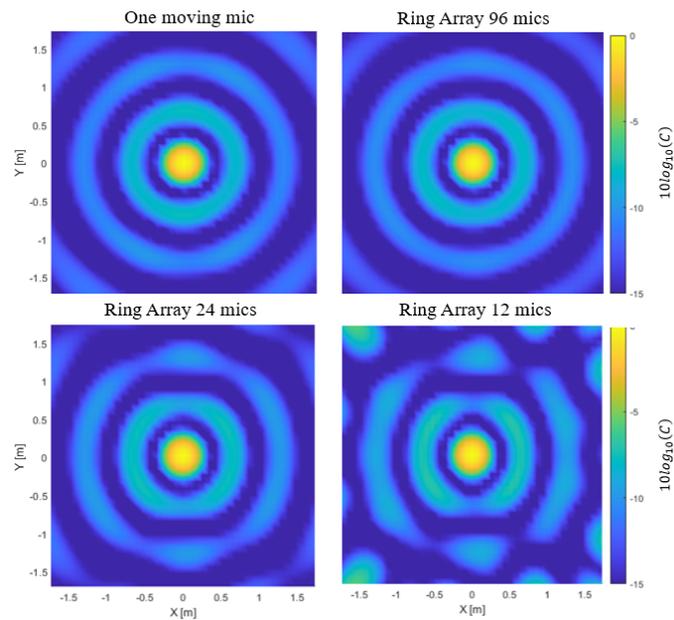


Abbildung 9: Kohärenzfunktion $c_{y_1, y_0}(f)$ für eine feste räumliche Anordnung von 12, 24 und 96 Mikrofonen im Vergleich zu einem beweglichen Mikrofon.

Es ist deutlich sichtbar, dass die Kohärenzfunktion für die Anordnung von 96 Mikrofonen dem Ergebnis des beweglichen Mikrofons näherkommt. Die Verwendung von nur 12 Mikrofonen führt zu dem bekannten Artefakt der *Grating Lobes*, das durch die räumliche Unterabtastung des einfallenden Schallfeldes verursacht wird [2].

5. 3D-Tracking von Reflexionen

Die in den vorherigen Abschnitten beschriebene Datenaufnahme und -verarbeitung kann in einfacher Weise an die Aufgabe der Lokalisierung impulsartiger Schallereignisse mit hoher zeitlicher Auflösung angepasst werden.

Im ersten Schritt muss das untersuchte Schallereignis wiederholbar gemacht werden. Während sich das lineare Mikrofonarray dreht, werden die sich wiederholenden Schallereignisse bei verschiedenen Drehwinkeln aufgezeichnet, siehe Abbildung 11.

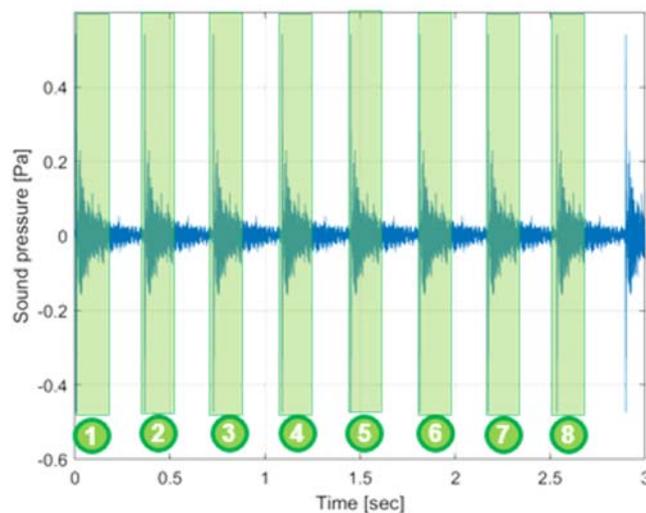


Abbildung 11: Aufzeichnung periodischer, übereinstimmender Schallereignisse. Der Benutzer wählt einen repräsentativen Impuls aus, und übereinstimmende Impulse werden basierend auf Autokorrelation und Merkmalen im Frequenzbereich identifiziert.

In einem zweiten Schritt wählt der Benutzer einen repräsentativen Impuls aus, und alle Wiederholungen werden im verbleibenden Audiosignal gesucht. Der Suchalgorithmus nutzt Autokorrelation und Merkmale im Frequenzbereich, um gültige Wiederholungen des repräsentativen Impulses robust zu identifizieren.

Es wird dann überprüft, ob die aufgezeichneten Impulse homogen über der Messfläche verteilt sind, siehe Abbildung 12. Zu diesem Zweck wird die Messfläche in Sektoren unterteilt, wobei maximal ein Impuls einem Sektor zugeordnet werden soll. Die Zuordnung eines Sektors zu mehr als einem Impuls oder das Nicht-Zuordnen eines Sektors zu einem Impuls würde einer Apodisierung bzw. Gewichtung der Funktion entsprechen, die die räumliche Verteilung der Mikrofone beschreibt.

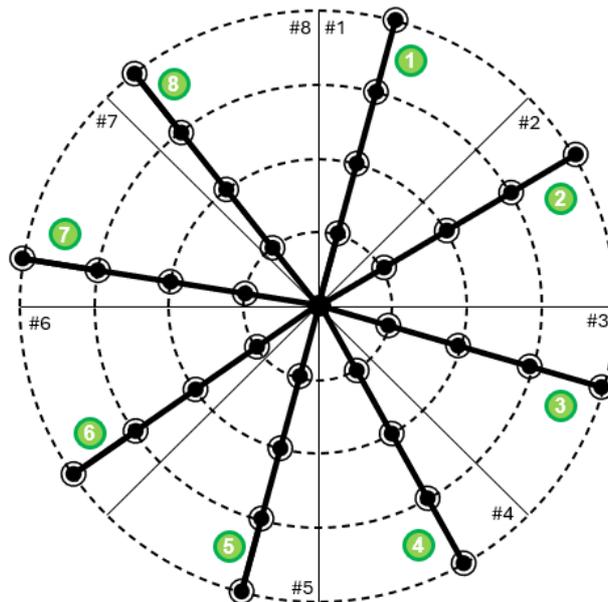


Abbildung 12. Die bestmögliche Menge räumlich aufgezeichneter Impulse wird abgeleitet, indem redundante Impulse für spezifische Sektoren der Messfläche weggelassen werden und eine zusammengesetzte Metrik basierend auf dem Trägheitstensor und dem Schwerpunkt dieser räumlichen Verteilung berücksichtigt wird.

Nachdem die relevanten Impulse identifiziert wurden, unterteilen wir den ausgewählten Impuls des Audiosignals in überlappende Zeitintervalle im Millisekundenbereich. Die übereinstimmenden Teilabschnitte in den anderen Impulsen können basierend auf ihrem Zeitversatz vom ausgewählten Impuls gefunden werden siehe Abbildung 13.

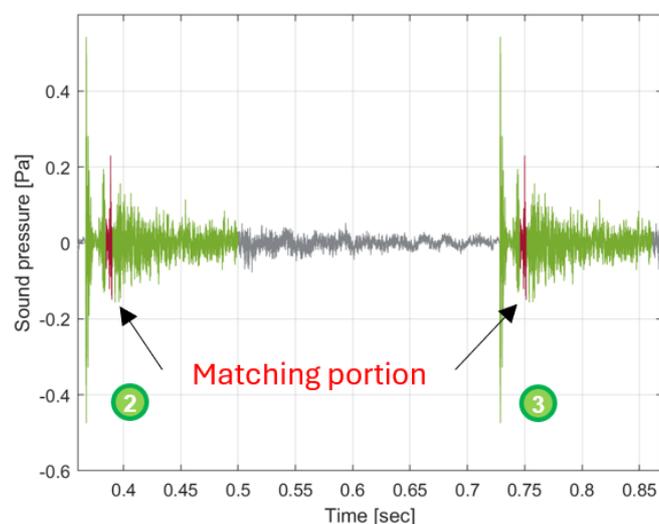


Abbildung 13. Übereinstimmende Partionen für die Impulse 2 und 3, die räumlich den Sektoren 2 bzw. 3 zugeordnet sind.

Ein akustisches Bild für eine spezifische Partition des ausgewählten Impulses kann nun basierend auf Audiosignalen berechnet werden, die nur aus übereinstimmenden Partitionen aller relevanten Impulse bestehen. Da der Beginn des Direktschalls vom Lautsprecher zum Referenzmikrofon des linearen Arrays bekannt ist, kann der Abstand zwischen der Messfläche und der Rekonstruktionsfläche für einen bestimmten Signalanteil des Nachhallsignals entsprechend berechnet werden. Das bedeutet, dass sich die Rekonstruktionsfläche mit der Schallgeschwindigkeit von der Messfläche entfernt. Daher wird für jeden Signalanteil des Nachhallsignals ein unterschiedlicher Abstand zur Messfläche gewählt.

6. Anwendungen

Das vorgeschlagene Sensorsystem wird nun verwendet, um einerseits eine Anomalie im Nachhallzeitsignal zu lokalisieren, das im Bühnenbereich eines Konzertsaals aufgezeichnet wird und andererseits Leckagen in einer Gipskartontrennwand im Rahmen einer Schalltransmissionsmessung zu lokalisieren.

6.1. Setup

Die Messanordnung umfasst folgende Geräte:

1. Ein rotierenden Sensor mit insgesamt fünf Mikrofonen, die mit 21,3 kHz abgetastet werden und über eine Länge von 66 cm verteilt sind, wobei sich ein Referenzmikrofon im Zentrum der Rotation und vier Mikrofone entlang kreisförmiger Trajektorien auf einer Scheibe mit einem maximalen Durchmesser von 132 cm bewegen.
2. Ein mobiles Gerät (Modell: Samsung Galaxy Tab S9) zum Erfassen des Audios sowie der Daten des Drehencoders und zum Senden der Daten an
3. Ein Hochleistungs-Laptop (Modell: Dell Precision 7680) zur Berechnung der akustischen Bilder und
4. Ein omnidirektionaler Lautsprecher (Modell: Norsonic Nor276 inklusive Verstärker Nor 280).

6.2. Anomalie im Nachhallzeitsignal im Bühnenbereich einer Konzerthalle

Der omnidirektionale Lautsprecher ist zusammen mit dem rotierenden linearen Array im Zentrum der Bühne positioniert, siehe Abbildungen 14 und 15.



Abbildung 14: Anordnung der omnidirektionalen Quelle und des rotierenden linearen Arrays im Bühnenbereich eines Konzertsaals.



Abbildung 15: Ko-lokierte Anordnung der omnidirektionalen Schallquelle und des rotierenden linearen Arrays.

Der Sensor rotiert mit einer Geschwindigkeit von zwei Umdrehungen pro Sekunde. Das impulsartige Schallereignis wird mit einer Wiederholfrequenz von 2 Hz ausgesendet. Insgesamt werden 20 Schallereignisse erfasst. Das optische Bild wird mit einem horizontalen Sichtfeld von 69,5° aufgenommen, und die optische Kamera ist in Richtung der linken Hälfte des Bühnenbereichs ausgerichtet.

6.3. Ergebnis

Abbildung 16 zeigt das aufgezeichnete Nachhall-Zeitsignal des Referenzmikrofons, wobei die horizontale Achse als Abstand in Metern von der Messfläche angegeben ist. Der Impuls des Direktschalls ist zu Beginn des Zeitdiagramms sichtbar, d. h. in einem Abstand von 0 m von der Messfläche. In einem Abstand von 17 m von der Messfläche können wir eine Anomalie im Nachhallzeit-Signal erkennen.

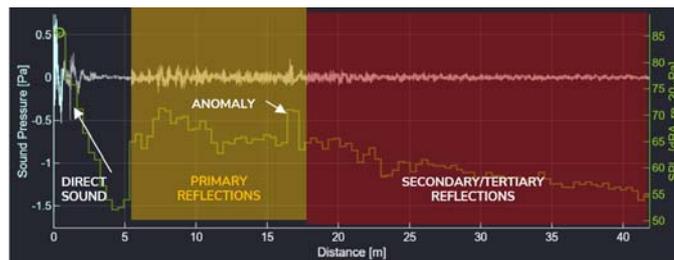


Abbildung 16. Aufgezeichnetes Nachhallzeit-Signal mit Anomalie in einem Abstand von 17 m von der Messfläche.

Abbildung 17 zeigt das entsprechende akustische Bild, das die Anomalie im oberen linken Deckenbereich der Bühne lokalisiert. Die Decke ist mit Diffusor-Paneelen ausgestattet.

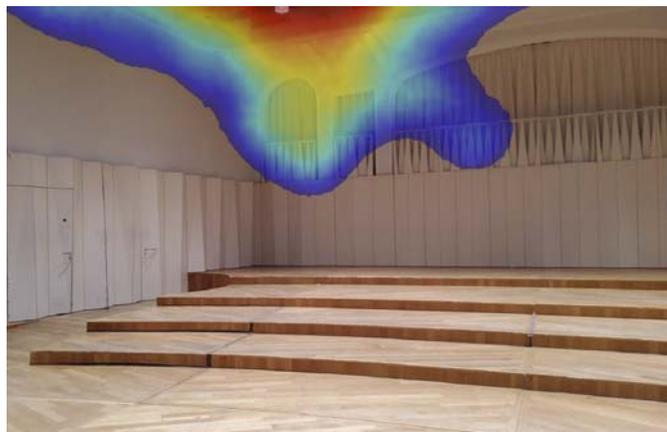


Abbildung 17. Anomalie im Nachhall-Zeitsignal in einem Abstand von 17 m von der Messfläche. Der ausgewählte Frequenzbereich liegt bei 250 Hz – 3,1 kHz mit einem Dynamikumfang von 3 dB.

Die Anordnung der omnidirektionalen Quelle und des rotierenden linearen Arrays kann für die Analyse der Schallausbreitung von einem Punkt im Raum zu einem Beobachtungspunkt abgeändert werden, siehe Abbildung 18.



Abbildung 18: Anordnung der omnidirektionalen Quelle und des rotierenden linearen Arrays für die Analyse der Schallausbreitung vom Bühnenbereich zu einem Beobachtungspunkt im Zuschauerraum.

Abbildung 16 zeigt das aufgezeichnete Nachhall-Zeitsignal des Referenzmikrofons. Das Zeitdiagramm kann in ein Zeitintervall von 20-60ms nach dem Direktschallereignis (primäre Reflexionen) und ein zweites Zeitintervall von 60-170ms nach dem Direktschallereignis (kritische Reflexionen) aufgeteilt werden.

Während die primären Reflexionen das Niveau des empfangenen Audiosignals steuern, beeinflussen die kritischen Reflexionen die verzögerte Wahrnehmung des Audiosignals.

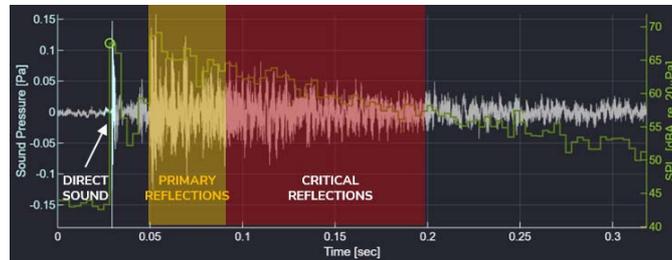


Abbildung 19: Aufgezeichnetes Nachhall-Zeitsignal mit primären Reflexionen (20-60ms nach dem Direktschallereignis) und kritischen Reflexionen (60-170ms nach dem Direktschallereignis).

Die entsprechenden räumlichen Bereiche, aus denen diese Reflexionen am Beobachtungspunkt empfangen werden, sind in Abbildung 20 und 21 dargestellt.



Abbildung 20: Primäre Reflexionen, die am Beobachtungspunkt lokalisiert werden. Der ausgewählte Frequenzbereich liegt bei 250 Hz – 3,1 kHz mit einem Dynamikumfang von 2 dB.



Abbildung 21. Kritische Reflexionen, die am Beobachtungspunkt lokalisiert werden. Der ausgewählte Frequenzbereich liegt bei 250 Hz – 3,1 kHz mit einem Dynamikumfang von 6 dB.

Falls die verzögerte Wahrnehmung von Audiosignalen am Beobachtungspunkt ein Problem darstellt, kann die Diffusordecke im Bühnenbereich als primärer Reflektor betrachtet werden, während die Diffusorwand im Bühnenbereich als sekundärer Effekt mit Schalldruckpegeln von 6 dB darunter angesehen werden kann.

6.4. Körperschallübertragung zwischen angrenzenden Räumen

Im Rahmen einer Schalltransmissionsmessung sollen Schwachstellen in Form von Leckagen in einer Trockenbauwand zwischen einem Büroraum und einem Besprechungsraum lokalisiert werden. Im Büroraum mit einer Kapazität für vier Personen wird ein omnidirektionaler Lautsprecher positioniert, während im Besprechungsraum mit einer Kapazität für 10 Personen die akustische Kamera in einem Abstand von 2.8m mit Blick auf die Trennwand ausgerichtet wird, siehe Abbildung 22.

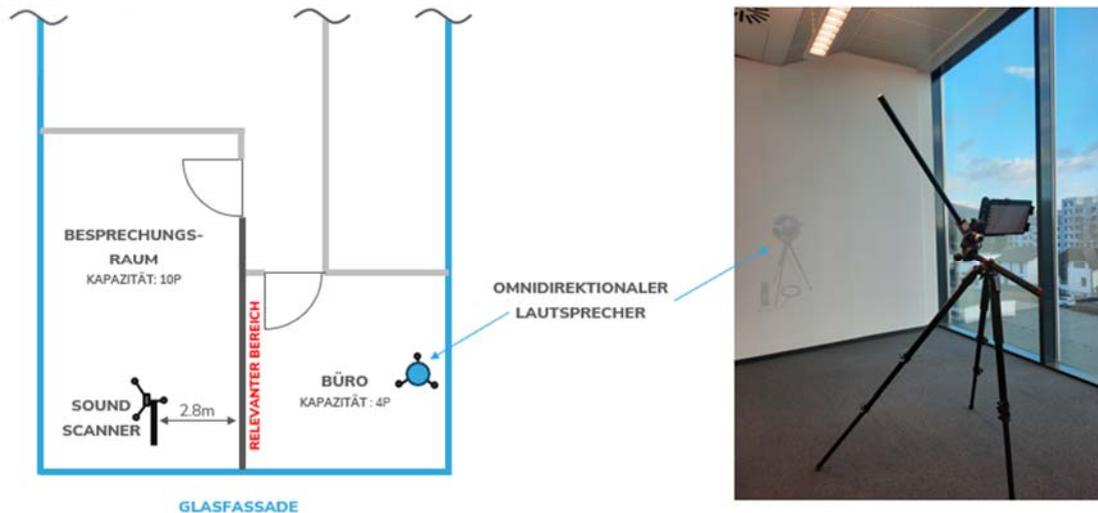


Abbildung 22: Anordnung von omnidirektionalem Lautsprecher und akustischer Kamera zur Lokalisierung von Schwachstellen in einer Trennwand.

Das Ergebnis zeigt breitbandig im Frequenzbereich von 500Hz-6kHz eine dominante Quelle im Bereich der perforierten Decke, siehe Abbildung 23.

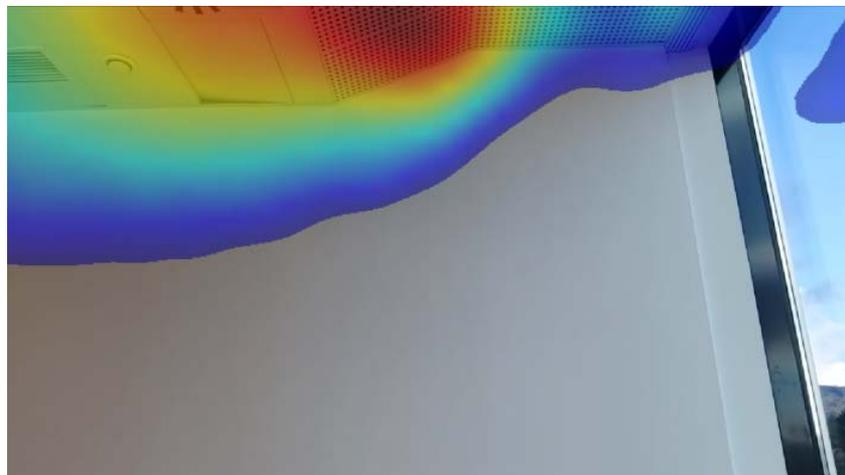


Abbildung 23: Lokalisierte Quelle im Bereich der perforierten Decke im Frequenzband 500Hz-6kHz bei 3dB Dynamikumfang.

Eine untergeordnete Reflexion ist an der Fensterscheibe am rechten Rand des akustischen Bilds erkennbar.

Eine Inspektion möglicher Ursachen in diesem Bereich zeigt eine nicht isolierte Durchführung von Elektroinstallationsrohren siehe Abbildung 24.



Abbildung 23: Ursache aufgrund nicht isolierter Durchführung von Elektroinstallationsrohren im Bereich der perforierten Decke.

7. Zusammenfassung

Dieser Beitrag behandelt die Anwendung der Sound Field Scanning-Methode zur schnellen räumlichen Lokalisierung von Raumreflexionen und Leckagen in Trennwand-Konstruktionen. Die zugrunde liegende Messmethode wird abgeleitet und ihre Leistungsmerkmale werden beschrieben. Eine Messanordnung, die den oben genannten Sensor, ein mobiles Gerät, einen Hochleistungs-Laptop und einen omnidirektionalen Lautsprecher umfasst, wird verwendet, um akustische Bilder für Anwendungen im Bereich der Raum- und Bauakustik zu erzeugen.

Zukünftige Arbeiten werden die Effektivität der Methode zur Optimierung der Bau- und Raumakustik in verschiedenen Umgebungen, z. B. Büros und Produktionsumgebungen, analysieren.

8. Literatur

1. M. Brandstein, D. Ward: Microphone Arrays, Springer, 2001.
2. S. Haykin: Array Signal Processing. Prentice-Hall, 1985.
3. L. J. Ziemek: Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing. CRC Press, 1995.
4. Shin. K, Hammond. J.: Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers. John Wiley & Sons, 2008.



DI

Armin KNOTZER

CURRICULUM VITAE

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)

Feldgasse 19
A-8200 Gleisdorf

a.knotzer@aee.at

Geboren 1972 in NÖ, absolvierte seine Schulausbildung in Österreich (Bundesgymnasium Neunkirchen/NÖ) und studierte danach in Österreich (BOKU Wien, DI Studium Irregulare „Angewandte Ökologie und Umweltschutzwissenschaften“). Nach einer vierteljährigen Forschungsmitarbeit an der Energy Economics Group der TU Wien, arbeitete er von 2000 bis 2009 als Energieberater und Gruppenleiter bei "die umweltberatung" Wien.

Seit Februar 2009 ist er als Projektleiter und Forscher am AEE - Institut für Nachhaltige Technologien in Gleisdorf / Steiermark, seit Jänner 2022 auch für das Innovationslabor RENOWAVE.AT tätig. Die Kernbereiche seiner Aktivitäten derzeit sind Demonstrationsprojekte im Bereich Gebäude und Integration Erneuerbarer Energietechnologien sowie Lüftungssysteme, aber auch das Thema „Smart Readiness Indicator“ für Gebäude.

Im Fokus stehen die Prozesse und innovativen Technologien für die Sanierung von Bestandsobjekten sowie die Erarbeitung von Methoden zur Beurteilung der „Smart Readiness“.

Systematische thermische Renovierung

Überblick aus Sicht der Forschung

DI Armin Knotzer, AEE INTEC, A-8200 Gleisdorf

DI Dr. Tobias Weiss, AEE INTEC, A-8200 Gleisdorf

1. Einleitung

Der Gebäudesektor ist von entscheidender Bedeutung, um die Klimaziele zu erreichen. In den Jahren von 2005 bis 2014 gab es im Gebäudesektor durchaus Erfolge mit einer Reduktion von Treibhausgasemissionen um 40 Prozent. Seitdem stagnieren diese Fortschritte jedoch. Gemäß den Zielen der EU-Initiative "Fit-for-55" müssen bis 2030 jedoch drastische Emissionsreduktionen erreicht werden, um die Vorgaben zu schaffen.

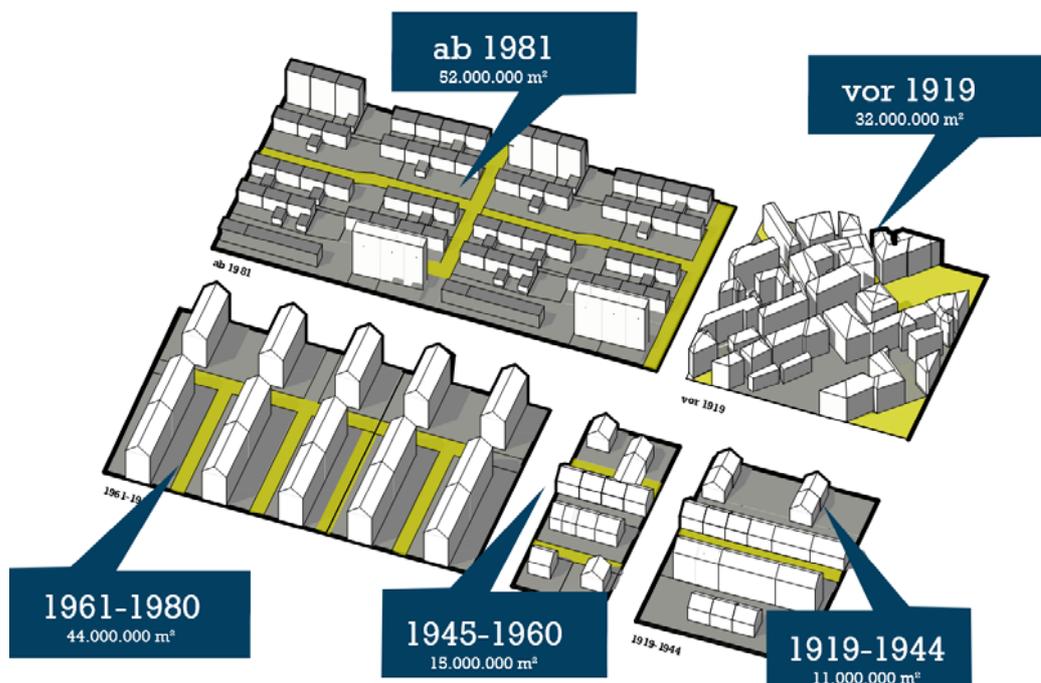


Abbildung 1: Quadratmeteranzahl der Wohnnutzfläche großvolumiger Wohngebäude in Österreich (Quelle Tobias Weiss, AEE INTEC)

Die Renovierung des Gebäudebestands steht also vor einer gewaltigen Herausforderung: Wie kann der großteils fossil versorgte und nur teilweise sanierte Gebäudebestand effizient dekarbonisiert werden?

2. Erreichung von Klimazielen mit Sanierung

Das wichtigste Ziel im Einklang mit den Klimazielen ist natürlich die umfassende hochqualitative Sanierung des Gebäudebestands auf möglichst niedriges Energiebedarfs-Niveau. Sollte das nicht in einem Schritt möglich sein, dann bietet sich eine stufenweise, einem „Sanierungsfahrplan“ oder „Sanierungskonzept“ folgende Sanierung eines Gebäudes oder Quartiers an. Als erste pragmatische und kurzfristige Maßnahme können Teile der Gebäudehülle so verbessert werden, dass die Wärmeabgabe in den Räumen auf Niedertemperatur (Senkung der Vorlauftemperatur auf unter 50°C) umgestellt werden kann. Dazu sind die Erhöhung von Wärmeabgabeflächen und die rasche Umsetzung kostengünstiger Dämmmaßnahmen förderlich. Denn Niedertemperaturwärme und -kälte lassen sich sinnvoll in großem Maßstab aus erneuerbaren Quellen gewinnen, beispielsweise mittels Wärmepumpen in Kombination mit effizienten Quellen wie dem Erdbreich.

Folgend dem zuvor ausgearbeitetem Stufen- bzw. Sanierungsplan können weitere Maßnahmen in Abstimmung dazu später folgen.

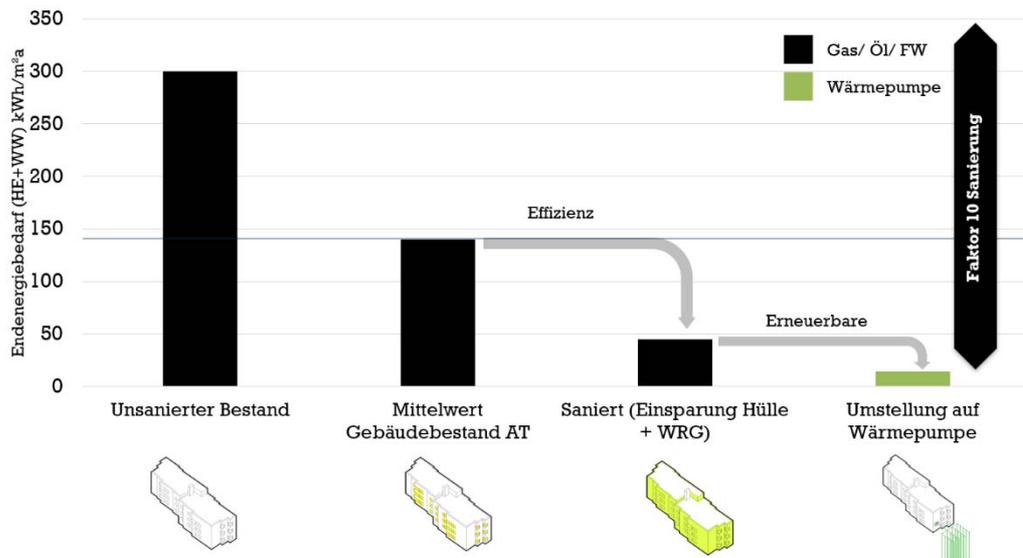


Abbildung 2: State of the Art: „Faktor 10 Sanierung“ (Quelle Tobias Weiss, AEE INTEC)

3. Gebäudesanierung im Wandel: Vom Prototypen zu seriellen Lösungen

Noch immer stehen Architekt:innen, Ingenieur:innen, Bauunternehmer:innen und Gebäudeeigentümer:innen und Hausverwaltungen vor der Herausforderung, für jedes Sanierungsprojekt individuelle Lösungen entwickeln zu müssen. Doch oft bleiben die erarbeiteten Erkenntnisse auf der Strecke, sobald das Projekt abgeschlossen ist. Jede Gebäudesanierung wird somit zu einem Prototyp, und die „Bauindustrie“ ist keine Industrie, die standardisierte Lösungen herstellt. Kein Sanierungsprojekt gleicht dem anderen, trotz immer gleicher Fragestellungen in der Planung und Schnittstellenproblematiken in der Ausführung; viel Potenzial für Optimierungen bleibt ungenutzt.

Die herkömmliche Sanierungspraxis	Serielle Sanierungslösungen / Out-of-the-box Systemlösungskonzepte
<ul style="list-style-type: none"> Arbeiten für übliche Sanierungsprozesse und Techniken sind sehr zeitintensiv und erfordern monatelange Arbeiten vor Ort inkl. bzw. sogar zwischenzeitliche Aussiedelungen der Bewohner*innen. Risiko in Bezug auf Umsetzungsqualität und Energieeinsparung für die Eigentümer*innen Bei jedem Projekt wird eine neue Lieferkette aufgebaut. Ein erheblicher Anteil der Sanierungsarbeit entfällt auf Nacharbeiten von Fehlern, was Zeit und Geld kostet; etwa 14 Prozent des Umsatzes werden für die Behebung von Fehlern aufgewendet. Baueinreichungsverfahren sind langwierig und müssen aufgrund fehlender Standardisierung umfassend von den Behörden geprüft werden. 	<ul style="list-style-type: none"> Statt Prototypen anzufertigen, wird auf Standardisierung gesetzt. Komplexität soll durch den Verzicht auf Sonderlösungen reduziert werden. Vereinfachte Behördenverfahren durch „Bautypengenehmigung“ Garantien für energetische Performance und Behaglichkeit können ein wichtiger Schritt in Richtung Warmmiete sein, um das Investoren-Nutzer*innen-Dilemma zu lösen. Pilotprojekte zeigen, dass hochwertige Sanierungen schnell und ohne große Störungen der Bewohner*innen umgesetzt werden können. Fehler können durch den Einsatz von BIM (Building Information Modeling), minimiert werden.

Abbildung 3: Gegenüberstellung herkömmliche und Serielle Sanierung (Quelle AEE INTEC)

3.1. Ansätze aus Forschung und Entwicklung

AEE INTEC hat sich über viele Jahre hinweg gemeinsam mit Partner:innen aus Unternehmen und Forschung intensiv an Sanierungsprojekten allgemein, der Entwicklung von Technologien zur Seriellen Sanierung und der Integration von Sanierungskomponenten beteiligt.

Zuerst wurden in Monitoring-Projekten mit den ersten Seriellen Sanierungen wie der Mittelschule Schwanenstadt oder dem Wohnbau in der Makartstraße in Linz sowie am Dieselweg Graz Erfahrungen gesammelt. Dann folgten vor etwa 15 Jahren erste internationale Austauschprojekte wie IEA ECBCS Annex 50 „Vorgefertigte Systeme zur Sanierung von Wohngebäuden“ und das nationale Haus der Zukunft-Leitprojekt e80³.

Projekte wie SaLüHI, MultiTAB, HVAC via Facade, EXCESS, Inspire wurden dann ausgehend von niedrigen TRL-Stufen¹ begleitet und haben in diesem Bereich in den letzten Jahren wichtige Fortschritte erzielt und marktreife Produkte in Nischenmärkten hervorgebracht. Doch die Integration haustechnischer Anlagen in modularen Hüllelementen mit maximalem Vorfertigungsgrad hätte größeres Potenzial zur synergetischen Nutzung von haus- und gebäudetechnischer Sanierung. Es gibt zentrale Punkte, die bislang nicht ausreichend berücksichtigt wurden und die die Markteinführung behinderten.

Im Projekt SaLüHI „Gebäudetechnische Lösungen für die Sanierung von kleinen Wohnungen“, geleitet von der Universität Innsbruck, wurden standardisierte Konzepte der gebäudetechnischen Sanierung als Systemlösungsansätze erarbeitet, die von Wohnbaugesellschaften, Herstellern von Lüftungs- und Heizsystemen sowie Planungsbüros genutzt werden können. Diese aufeinander abgestimmten Konzepte umfassen Wärmedämmung, Fenster, eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sowie Heizung und Trinkwarmwasseraufbereitung durch Kleinstwärmepumpen. Sie sind kostengünstig, einfach zu installieren und können schrittweise (Wohnung für Wohnung) umgesetzt werden, wobei die Bewohner:innen möglichst wenig beeinträchtigt werden.

Eine Weiterentwicklung dieser Ideen wurde im Projekt HVAC VIA FACADE umgesetzt. Es wurden in die bestehende Brüstung bzw. in eine vorgehängte Holzleichtbau-Fassade modulare Split-Wärmepumpen integriert. Sie wurden für eine dezentrale Wärmeversorgung mit sehr kompakten und leisen fassadenintegrierten Außeneinheiten für Heizung und Trinkwarmwasserversorgung und optional Kühlung in Verbindung mit PV bis zum Prototyp entwickelt. In einem weiteren Schritt wurden vorgefertigte Fassadenelemente, die die gesamte Gebäudetechnik, d.h. PV, Heizung, Lüftung sowie Ver- und Entsorgungsstränge beinhalten, entwickelt. Der wesentliche Vorteil ist, dass für die Zentralisierung der Energieversorgung im Zuge der Sanierung nicht aufgestemmt werden muss und die Bewohnerinnen und Bewohner ihre Wohnungen während der Sanierung nicht verlassen müssen. Aber auch schallabsorbierende Fassaden und Oberflächen können eingesetzt werden, um schallharte Oberflächen im städtischen Raum zu reduzieren und damit zusammen mit dem künftigen elektrischen Verkehr die Schallbelastung generell zu vermindern.

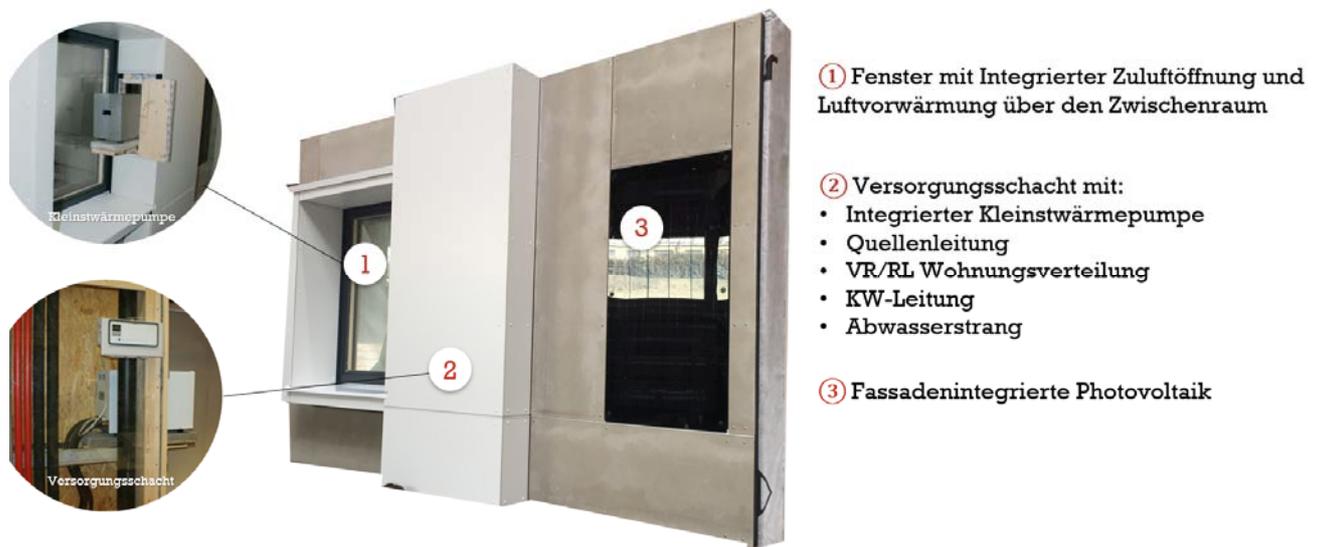


Abbildung 4: Das HVAC VIA FACADE – Projektkonzept (Quelle AEE INTEC)

Projekte wie MultiTAB, EXCESS und CEPA haben die Beheizung von Bestandsgebäuden durch Bauteilaktivierung von außen durch die Aktivierung massiver Bestandswände vorangebracht. Ein Vorteil der aktiven Energiefassade, wie sie derzeit am TAGGER-Areal in Graz demonstriert wird, ist es, dass sie Gebäude

¹ Der Technology Readiness Level (TRL), auf Deutsch als Technologie-Reifegrad übersetzt, ist eine Skala zur Bewertung des Entwicklungsstandes von neuen Technologien

und Wände als thermische Speicher nutzbar macht. Durch diese Bauteilaktivierung wird es möglich, fluktuierenden Wind- oder Solarstrom genau dann in Wärmepumpen zu nutzen, wenn er in großen Mengen verfügbar ist. Die maximale Speicherkapazität des Gebäudes durch diese Art von bauteilaktivierten Gebäuden kann im Vergleich zu ähnlichen Gebäuden mit Radiatorheizungen um bis zum zehnfachen, durch Nutzung der thermischen Masse der Außenwände gesteigert werden. Dafür hat AEE INTEC mit TOWERN3000 die CEPA-Fassadentechnologie als eine Sanierungs-Komplettlösung für Dämmen, Heizen und Kühlen auf den Markt gebracht und patentiert.



Abbildung 5: Die Fassade als Energiespeicher – CEPA (Quelle TOWERN 3000)

Das Leitprojekt e80³ hat gezeigt, dass es mit multiplizierbarer, hochwertiger Gebäudehülle möglich ist, über die Jahresbilanz Plus-Energie-Standard bei Sanierungen bis zu vier Geschossen zu erreichen. Die Zutaten: Außenhülle mit Passivhauskomponenten, gleichzeitige Integration von energieerzeugenden Aktivelementen wie thermischen Solarkollektoren und PV sowie eine intelligente Steuerung und Netzinteraktion mit bestehender Abwärme und Stromnetzen. Mit der Seriellen Sanierung der Wohnhausanlage „Johann-Böhm-Straße 34/36“ in Kapfenberg wurde erstmals in Österreich ein bestehendes Mehrfamilienhaus aus den 1960-er Jahren in ein nahezu Plus-Energie-Gebäude verwandelt.



Abbildung 6: E80³ Sanierung Johann-Böhm-Straße Kapfenberg (Quelle AEE INTEC)

In den Projekten SüdSan, Happening und smarteVeranda sollen einige der oben angesprochenen Technologielösungen im Maßstab der Quartiersebene in Arbeitersiedlungen in Vorarlberg und der Steiermark etappenweise umgesetzt werden.

4. Ausblick: Standardisierung, Digitalisierung und Finanzierbarkeit

Mit dem Leitprojekt RENVELOPE der Vorzeigeregion Energie soll nun gemeinsam mit Industriepartnern wie Rhomberg, Nussmüller Architekten und Towers3000 ein entscheidender Schritt zur Markteinführung und Finanzierbarkeit serieller Sanierungslösungen gesetzt werden. Im Zuge dieses Projektes werden drei Gebäude mit einer seriellen Komplettlösung, in Form einer vorgefertigten Außenhülle mit integrierter Gebäudetechnik modernisiert. Drei großvolumige Gebäude werden dabei in Österreich mit diesem System seriell saniert: ein mehrgeschoßiges Wohngebäude der Sozialbau AG in Wien in der Arenberggasse, die Landesberufsschule in Knittelfeld der LIG Steiermark und ein weiteres Gebäude in Graz. Mit den drei Demonstratoren soll gezeigt werden, dass aus einer Vielzahl an prototypischen Einzellösungen ein Gesamtsystem für die CO₂-neutrale Gebäudesanierung mit vorgefertigten innovativen Fassaden- und Dachelementen kosten- und zeiteffektiv umgesetzt werden kann.

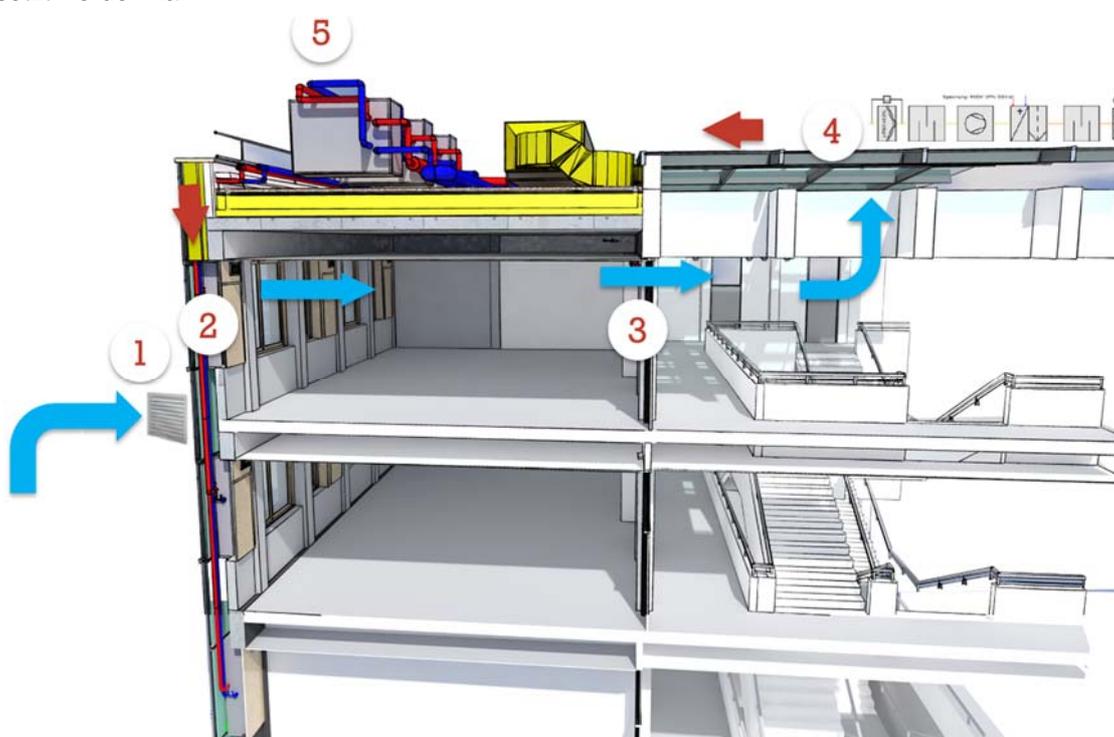


Abbildung 7: RENVELOPE – Neues Lüftungssystem in Kombination mit vorgefertigter Fassade in einem Schulgebäude in Knittelfeld (Quelle Tobias Weiss AEE INTEC)

Gelingt es durch Digitalisierung, Standardisierung und Vorfertigung sowie Kosteneinsparung durch multifunktionale Bauteile, auch wirtschaftlich tragbare Konzepte für das Marktsegment der Mehrfamilienhäuser und großvolumiger Gebäude zu etablieren, so können diese in einem nächsten Schritt auf größere Gebäudeportfolios skaliert werden.

5. Literatur

Delmastro, C., De Bienassis, T., Goodson, T., Lane, K., Le Marois, J.-B., Martinez-Gordon, R., & Husek, M. (2022). IEA Tracking Report – Buildings, 2022-09-30. Abgerufen am 25. September 2024 unter <https://www.iea.org/energy-system/buildings#tracking>

European Commission (2021). 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. COM(2021) 550 final. Brussels, 14.7.2021. Abgerufen am 24. September 2024 unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0550>

CURRICULUM VITAE



Dipl.Ing.(FH), M.Eng.

Dr. Tobias HATT

Energieinstitut Vorarlberg

Stadtstraße 33
A-6850 Dornbirn

info@energieinstitut.at

Geboren 1981 in Deutschland. Nach seiner Lehre als Zimmermann und dem anschließenden Studium des Bauingenieurwesens führte Tobias Hatt sein Weg nach Chile, wo er fünf Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter an der Universidad del Bio-Bio tätig war. Dort promovierte er über das Thema Passivhäuser in Chile und spielte eine entscheidende Rolle bei der Errichtung des ersten Passiv-Wohnhauses in Holzbauweise des Landes. Seine Forschung konzentrierte sich auf energieeffizientes Bauen und die Analyse der Lebenszykluskosten solcher Gebäude. Seit 2015 bringt Dr. Tobias Hatt seine Expertise im Bereich des energieeffizienten und ökologischen Bauens beim Energieinstitut Vorarlberg ein. Sein Fokus liegt auf der energetisch-wirtschaftlichen Optimierung von Gebäuden und der Dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation.

Bauteilaktivierung als nachträgliches Wärmeabgabesystem in der Sanierung

Tobias Hatt, Energieinstitut Vorarlberg, A-6850 Dornbirn

1. Die sanierungsbedürftige Südtiroler Siedlung in Bludenz

Die erhaltenswerte Südtiroler Siedlung in Bludenz/Vorarlberg wurde zwischen 1940 und 1962 errichtet und erstbezogen [Bußjäger et al., 1998]. Die am Stadtrand von Bludenz gelegene Siedlung umfasst 397 Wohnungen und wird von 650 Personen bewohnt. Die Siedlung ist geprägt von kleinen MFH mit durchschnittlich 6-9 Wohnungen (siehe auch Tagungsbandbeitrag von Martin Ploss).

Vor allem die in den Kriegsjahren errichteten Gebäude wurden in einem sehr materialsparenden Niveau errichtet und sind baulich und bezüglich ihrer Wärmeversorgung weitestgehend im Originalzustand. Nur die Fenster wurden Anfang der 80er Jahre erneuert. Alle Wohnungen werden nach wie vor mit Einzelraumlösungen beheizt, sei es mit Holz/Ölöfen oder direktelektrisch; sie weisen sehr hohe Energieverbräuche und deutliche Komfortdefizite sowohl im Winter, als auch im Sommer auf. Aufgrund des schlechten Zustands, des sehr hohen Energieverbrauchs und der unzureichenden thermischen Behaglichkeit ist eine Sanierung der zumeist 75 bis 80 Jahre alten Gebäude dringend notwendig, wenn die längerfristige Nutzbarkeit gewährleistet werden soll.



Abbildung 1: Gebäude vor und nach der Sanierung. Im Bild rechts ist unten rechts die Luftwärmepumpe zu erkennen. Quelle: Energieinstitut Vorarlberg.

Im Jahr 2023 wurden zwei Pilotgebäude im Rahmen des österreichischen von der FFG geförderten Forschungsprojekts SüdSan saniert, damit Erkenntnisse für die restliche Siedlung abgeleitet werden können. Bei den Gebäuden, welche im bewohnten Zustand saniert werden, wird eine sehr hohe thermische Qualität im EnerPHit Plus Standard angestrebt. Hierzu ist neben sehr guter Dämmung und Fenstern (abgestimmt mit dem Denkmalschutz), Wärmepumpe und Komfortlüftung das Dach südseitig vollflächig mit PV belegt (Abbildung 1).

2. Nachträgliches Wärmeabgabesystem: Aktivierung der Bestandswand

Da die Gebäude kein hydraulisches Wärmeabgabesystem besaßen, werden verschiedene Wärmeabgabesysteme im Niedertemperaturbereich untersucht, die wärmepumpenoptimiert betrieben werden können. Varianten, alle im bewohnten Zustand umzusetzen, sind unter anderem Niedertemperaturheizkörper (NT-HK) sowie die thermische Aktivierung der Außenwände. Diese erfolgt durch Heizschlangen auf der

Außenseite der Bestands-Außenwände, welche dann mit einer sehr guten Dämmfassade überdeckt werden (Abbildung 2).



Abbildung 2: Nachträglich installierte Bauteilaktivierung der Außenwand. Links: Heizschlangen mit Wärmeleitblechen (System CEPA) Rechts: Kreuzlagen in Holzbauweise, welche mit Dämmstoff gefüllt werden. Quelle: Energieinstitut Vorarlberg.

Dieses so gezeigte System wird in einem der Mustergebäude erstmals in der Sanierung als alleiniges Wärmeabgabesystem eingesetzt. Ähnliche Systeme wurde zuvor in einigen Forschungsvorhaben untersucht und teilweise auch in der Praxis umgesetzt.

- AEE INTEC Versuchsfassade, theoretische Untersuchungen und Modellprojekte [Hengel et al., 2020]
- Forschungsvorhaben LEXU, Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES) gGmbH [Altgeld et al., 2010] und Nachfolgeprojekt LEXUII. Unter anderem praktische Umsetzung an einer Versuchsfassade.
- Dissertation von Christoph Schmidt 2019 [Schmidt, 2019]
- Forschungsvorhaben Sani60ies: Große Neugasse, Sanierung und Heizungsumstellung mit fassadenintegrierter Bauteilaktivierung [Lea-M. Hackl et al., 2022], Institute of Building Research & Innovation.
- Wohnen findet Stadt! - Smarte Modernisierung und Umsetzung am Beispiel der Burgfriedsiedlung Hallein [Paul Schweizer, 2021]

Die EnerPHit Sanierung wurde mit PHPP modelliert und die haustechnischen Systeme, vor allem die Bauteilaktivierung, wurden mit Hilfe von dynamischer Gebäude und Anlagensimulation mit IDA ICE abgebildet.

3. Einflussfaktoren für die Aktivierung der Bestandswand

Ein wichtiger Parameter ist die thermische Qualität der Bestandswand, da der Wärmedurchgang (U-Wert) entscheidend für die Beheizung der Innenräume ist. Je schlechter der U-Wert der Bestandswand ist, desto besser für die Beheizung. Dieser wurde mit 2D Wärmestromberechnungen und anschließend Vor-Ort Messung bestimmt und es wird von einem U-Wert von 1,7-1,8 W/(m²K) je nach Wanddicke gerechnet. Damit die zusätzlichen Verluste nach außen durch die Erhöhung der Wandtemperatur mittels Bauteilaktivierung nicht zu

hoch werden, müssen die Heizschlangen sehr gut überdämmt werden. Die Wand wurde daher auf einen U-Wert von $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ saniert.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Wärmeübergang vom Fluid (Heizungswasser) der Heizschlangen in die Bestandswand. Der beste Übergang würde z.B. durch vollflächiges Einputzen dicht verlegter Leitungen erreicht werden. Vor allem aus Kosten-, Zeit- und Umsetzungsgründen (Leckagerisiko durch nachträgliche Bohrungen zum Befestigen der außenliegenden Dämmung) wurde hier eine Lösung mit Wärmeleitblechen umgesetzt. Ohne Wärmeleitbleche auf dem rauen Putz würden laut Wärmestromberechnungen¹ $14 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{Wandfläche}}$ an der Innenwand an den Raum abgegeben, mit Wärmeleitblechen $34 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{Wandfläche}}$. Ohne Leitbleche würde die Abgabeleistung bei Vorlauftemperaturen im Niedertemperaturbereich nicht in allen Räumen genügen um auf die gewünschte Raumtemperatur von 22°C zu kommen.

Die Abgabeleistung hängt stark von der zur Verfügung stehenden Wandfläche ab und diese von der Geometrie des Raumes. Zur Einordnung der Werte wird ein theoretischer Raum betrachtet mit $4 \times 5 \text{ m} = 20 \text{ m}^2$; Raumhöhe $2,4 \text{ m}$ (siehe Abbildung 3). Im Fall des Eckraumes (links) und einer Abgabeleistung der Wandheizung von $25 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{Wand}}$ können somit bei fast gleicher Außenwandfläche zu Fußbodenfläche etwa $25 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{Boden}}$ eingebracht werden. Dieser Wert entspricht in etwa der Heizlast eines energetisch mittelmäßig sanierten Gebäudes. Im Falle des schmalen Mittelraums ist das Verhältnis Außenwandfläche/Fußbodenfläche etwa $0,4$ wodurch etwa $10 \text{ W}/\text{m}^2_{\text{Boden}}$ eingebracht werden können. Dieser Wert entspricht im Mittel einem Neubau in Passivhausstandard. Das bedeutet, dass Eckzimmer mit niedrigen Heizlasten (z.B. Zwischengeschoße) eventuell ohne Wärmeleitbleche oder mit weiteren Verlegeabständen ausgeführt werden können, andere Zimmer, welche nur eine Außenwand haben, aber mit Wärmeleitblechen. Des Weiteren gilt zu beachten, dass Vorbauten oder Möblierung vor der Wand den Wärmedurchgang mindern. In den Bädern mit sehr kleinen Außenwandflächen, an denen auch die WC-Spülkästen verbaut sind, genügt die Heizleistung der Wandheizung nicht. Deshalb werden in diesen zusätzlich, zur temporären Beheizung auf 24°C , Infrarotpaneele (IR) mit automatischer Abschaltung nach 15 Minuten installiert. Infrarotpaneele deshalb, weil ein zusätzlicher Eingriff in den Wohnungen durch ein zusätzliches wasserführendes System vermieden werden sollte.

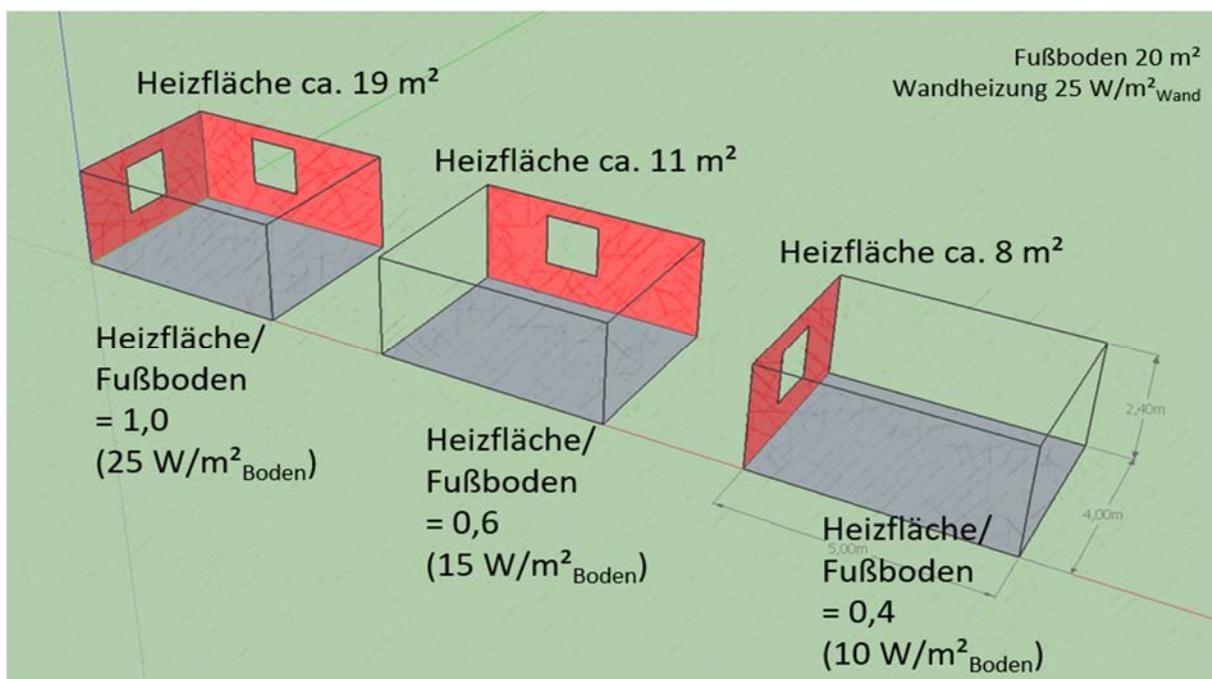


Abbildung 3: Wärmeabgabefläche der Wandheizung im Verhältnis zur Fußbodenfläche verschiedener Räume (Grafik: Energieinstitut Vorarlberg).

¹ $T_i=22^\circ\text{C}$; $T_a=-10^\circ\text{C}$; Mittlere Fluidtemperatur: $37,5^\circ\text{C}$ aus $40^\circ\text{VL}/35^\circ\text{RL}$; $12,5 \text{ cm}$ Verlegeabstand der Rohre, $U_{\text{Bestandswand}}= 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Für die Regelung der Wandheizung wurden verschiedene Strategien untersucht, auch unter dem Aspekt der baulichen Mehrkosten. Es wurde zum einen ein System nur nach Außentemperatur geregelt untersucht, eines in vier Zonen unterteilt und zuletzt die Einzelraumregelung. In einer Masterarbeit wird noch die Auswirkung einer prädiktiven Regelung und einer rücklauftemperaturegeführten Regelung analysiert. Im Forschungsprojekt wurde, trotz geringer Mehrkosten, die Einzelraumregelung umgesetzt, vor allem, damit die Nutzer die Möglichkeit bekommen, einzelne Räume abzuschalten. Das System ist laut Simulationsergebnissen sehr träge (6-12 Std), und die Regelung mit Einzelraumreglern wirkt daher nicht sofort auf die Raumlufttemperatur. Sie verhindert aber das generelle überhitzen oder abkühlen einzelner Räume im Zeitraum mehrerer Tage. Damit eine Akzeptanz bei den Nutzern erreicht wird, werden die Bewohner im Rahmen einer Nutzerschulung auf die langsame Regelbarkeit hingewiesen.

4. Nachträgliche Bauteilaktivierung oder Niedertemperaturheizkörper

Statt der nachträglichen Aktivierung der Bestandswand wurden im zweiten Pilotgebäude Niedertemperaturheizkörper (NT) installiert, mit dem Nachteil, dass in den bewohnten Wohnungen ein Eingriff notwendig ist. Damit die beiden Systeme besser verglichen werden können, wurden in Simulationen beide Systeme nacheinander im selben Gebäude abgebildet. Bei beiden Wärmeabgabesystemen wird als Wärmeerzeuger eine Luftwärmepumpe (LWP) modelliert². Die Ergebnisse der Verbrauchsprognoseberechnungen (siehe Fußnoten) sind in Tabelle 1 dargestellt.

In kWh/(m ² _{EBFA})	Aktivierung Bestandswand (Einzelraumregelung) + IR Paneele	Niedertemperatur-heizkörper (PI Regelung)
Nutzenergie Raumheizung ³	39,0 (34,5 ohne IR)	37,1
Verteil- und Speicherverluste ⁴	7,3	6,3
Strom Wärmepumpe	13,3	13,3
Strom IR Paneele	4,5	0,0
Strom Pumpen	1,5	1,0
Summe Strom Heizung	19,3	14,3

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse (keine PHPP Ergebnisse) für die Raumheizung ohne Warmwasser beider Varianten a) nachträgliche Bauteilaktivierung und b) Niedertemperaturheizkörper.

Die Variante der nachträglich aktivierten Außenwand, inkl. der IR-Paneele in den Bädern, weist einen um 5,0 kWh/(m²_{EBFA}) höheren Strombedarf auf als die Variante mit Niedertemperaturheizkörpern. Es konnte bei dem untersuchten Gebäude in den Simulationen keine wesentlich niedrigere Vorlauftemperatur⁵ im Flächenheizsystem erreicht werden, als mit den NT-Heizkörpern, wodurch die Effizienz der LWP bei beiden Systemen ähnlich ausfällt. Der höhere Strombedarf setzt sich zusammen aus: - höherer Nutzwärmebedarf durch träge Regelung, - zusätzliche Wärmeverluste durch „wärmere“ Außenwand, - höhere Verteilverluste durch Leitungsführung teilweise außerhalb thermischer Hülle, - höherer Pumpenstrombedarf und - als größter Faktor die direkt elektrische Zusatzheizung in den Bädern. Letztere könnte zur Effizienzsteigerung durch ein hydraulisches System ersetzt werden, welches an die LWP angeschlossen wird.

Ein Kostenvergleich der abgerechneten Kosten steht noch aus, aber aus den Angebotskosten⁶ der Ausschreibungsphase können für die nachträgliche Aktivierung der Außenwand 163 €/m²_{WNF} und für die Niedertemperaturheizkörper 133 €/m²_{WNF} angegeben werden. Da sich das vorgestellte Außenwandheizsystem im Projekt noch in der Prototypphase befindet, sind während der Umsetzung noch zusätzliche Aufwände und Abstimmungstermine entstanden, welche die Differenz bei den abgerechneten Kosten vermutlich noch erhöhen wird. Durch Standardisierung und Erfahrungsgewinn können diese Kosten aber in Zukunft noch gesenkt werden.

² Berechnungsstand: Werkplanung, Tsoll 22,5°C (Bad 24° während Nutzung), Luft-Wärmepumpe COP 7/40 = 4,0

³ Bei 22,5° Raumtemperatur, IWQ und Personenanzahl eigene Ermittlung,

⁴ ohne zusätzliche Verluste der Wandheizung nach außen, diese sind im Strom WP mit Berücksichtigt

⁵ Vorlauftemperatur 45°C bei -10°C Außenlufttemperatur, 37°C bei 0°C

⁶ inkl. Verteilung; bei Wandheizung inkl. FBH DG, inkl. Infrarotpaneelle, ohne bauliche Mehrkosten Dämmung o.ä.

Wenn es gelingt, das System in vorgefertigte Fassadenelemente zu integrieren, wäre der Aufwand auf der Baustelle stark reduziert und das System hätte einen Wettbewerbsvorteil.

5. Erkenntnisse

Hauptvorteil der nachträglich aktivierten Außenwand im Vergleich zu NT-Heizkörpern ist, dass in den bewohnten Wohnungen kein Eingriff stattfindet, auch eine Kühlung ist mit dem System möglich. Nachteil sind der höhere Energiebedarf für die Beheizung und die schlechtere Regelbarkeit aufgrund der Trägheit des Systems. Ebenfalls als Nachteil wurde im Projekt die Komplexität in der Ausführung gesehen, da es noch kein Standardprodukt ist. Es gibt Schnittstellen zwischen den Gewerken HLS und Fassadenbau, auch in den Verantwortlichkeiten, welche sehr gut koordiniert sein müssen und es wird empfohlen dies frühzeitig im Projekt abzuklären. Die NT-Heizkörper sind in der Umsetzung ein Standardvorgehen. Durch die niedrigen Vorlauftemperaturen haben die NT-Heizkörper als Nachteil niedrige Oberflächentemperaturen, was zu niedrigerer Nutzerakzeptanz führen kann. Beide Systeme lassen aber in Kombination mit der sehr guten Hüllqualität und Lüftung mit Wärmerückgewinnung sehr niedrige Energiebedarfe erwarten. NT-Heizkörper sind laut Kostenschätzung etwas günstiger in der Anschaffung.

Solange es noch keine ausreichende Praxiserfahrung gibt, ist es sinnvoll solche Systeme zu simulieren. Im Vorfeld eine Analyse der Bestandswand durchführen, da der Bestands-U-Wert einen hohen Einfluss auf die Wirksamkeit und Effizienz hat.

Ein Monitoring ist installiert und Ergebnisse zu Nutzerzufriedenheit, Energieeffizienz und abgerechneten Kosten gibt es nach dem ersten Winter 2023/2024. In der kalten Januarwoche 2023 wurden die gewünschten Raumlufttemperaturen erreicht.

6. Literatur

- [Altgeld et al., 2010] Altgeld, H., Mahler, M., Cavalius, R., Horst, J., Dürnhöfer, A., Boettcher, J., 2010. Energieeinspar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außenliegenden Wandheizungssystemen (aWH) für Niedertemperaturanlagen. Endbericht Proj. LEXU Fkz 327370.
- [Bußjäger et al., 1998] Bußjäger, P., Concini, J., Gerstgrasser, K., 1998. Die Bludener Südtiroler Siedlung und ihre Bewohner, Bludener Geschichtsblätter. Geschichtsverein Region Bludenz, Bludenz.
- [Hengel et al., 2020] Hengel, F., Ramschak, T., Gumhalter, M., Venus, D., 2020. Showing new concepts with thermal activated prefabricated Façades for retrofitting residential buildings, in: BauSIM 2020. Presented at the BauSIM 2020.
- [Lea-M. Hackl et al., 2022] Lea-Marie Hackl, Albana Deralla, Peter Holzer, 2022. Große Neugasse; Sanierung und Heizungsumstellung mit fassadenintegrierter Bauteilaktivierung. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien.
- [Paul Schweizer, 2021] Paul Schweizer, 2021. Wohnen findet Stadt! - Smarte Modernisierung und Umsetzung am Beispiel der Burgfriedensiedlung Hallein (Publizierbarer Endbericht). Paul Schweizer Architekt, Salzburg.
- [Schmidt, 2019] Schmidt, C.W., 2019. Feldtest und dynamische Simulation der außenliegenden Wandtemperierung (PhD Thesis). University of Luxembourg, Luxembourg.



MSc, DI(FH)

Benjamin Zauner

CURRICULUM VITAE

Ingenieurbüro für Bauphysik

ib-zauner.at

Scherenbrandtnerhofstrasse 6

A-5020 Salzburg

office@ib-zauner.at

Geboren 1971 in Oberösterreich, absolvierte seine Schulausbildung in Österreich (HTL Hallstatt, Ing. für Möbelbau). Mehrere Jahre Planung und Bauleitung folgen, mit Einsätzen im Wohnungsbau und Schulbau. Nach 6 Jahren folgt ein Studium für Holztechnik und Holzwirtschaft in Kuchl mit Vertiefung im Holzbau. 2020 folgt ein weiteres Studium für Personalführung mit Abschluss 2024.

Ende 2001 beginnt die Selbstständigkeit als IB für Holztechnik, gefolgt 2006 mit dem IB für Bauphysik. Die Bauphysik wird grundsätzlich in allen Fachbereichen geplant jedoch mit Schwerpunkt Holzbau, dabei kann das gesamte Gebiet der DACH – Region zu den Auftraggebern gezählt werden.

An und mit der Taxonomie wird seit 2022 gearbeitet.

EU – Taxonomie und was der Bauphysiker beachten soll

DI(FH) Benjamin Zauner MSc, ib-zauner.at; 5020 Salzburg

1. Einleitung

Mit November 2022 wurde die delegierte Verordnung (EU) 2021/2139 in Österreich gültig. Die als Taxonomieverordnung bekannte Vorschrift regelt den Umgang mit der Taxonomie.

Taxonomie = Klassifikationsschema;

von Objekten (Lebewesen, Dinge, Wörter) die nach Kriterien geordnet werden.

Es ist der Versuch die verschiedenen Wirtschaftstätigkeiten zu klassifizieren und durch eine monetäre Bewertung deren Umsetzung eine wirtschaftliche Bedeutung zu geben.

Die **Taxonomie** ist somit der in Zahlen gegossene **Green Deal** der EU-Kommission.

In kurzen Worten könnte man sagen:

„werden vom Auftraggeber die Vorgaben eingehalten = günstigere Finanzierung“ es soll damit nicht mehr an den technischen Vorschriften gedreht werden, sondern der Wirtschaft durch eine neue Bedeutung der Finanzierung der **Green Deal** schmackhaft gemacht werden.

Zwei Wörter oder Begriffe sind dabei für uns im Hochbau wichtig:

Taxonomiefähig:

dies sind praktisch alle Gebäude, welche nicht der Produktion oder Wertschöpfungskette der Ölindustrie dienen

Taxonomiekonform:

Alle Anforderungen der Taxonomieverordnung werden erfüllt bzw. eingehalten.

Die Taxonomie ist eine binäre Einteilung, d.h. JEDER einzelne Punkt der Taxonomieverordnung ist positiv zu erfüllen, um ein „konform“ zu erhalten. Mit diesem Konform können Banken die Finanzierung anders gestalten. Grundsätzlich sind die Banken von der EZB dazu verpflichtet mindestens 50% Ihrer Kreditfinanzierungen Taxonomiekonform zu gestalten.

Daher sind besonders die Banken derzeit in diesem Bereich federführend und versuchen die Anforderungen der Taxonomie abzudecken. Die meisten Banken haben in Ihrem Mitarbeiterstab inzwischen eigene Abteilungen geschaffen, die sich mit diesem Thema beschäftigen. Aus Sicht der Bauphysik sind die Anforderungen der Taxonomie jedoch eindeutig technische Eigenschaften und sollten daher durch Bauphysiker, Architekten, Geologen, Wasserwirtschaft etc. gelöst werden.

2. Kerninhalte und Funktionsweise der Taxonomie

Ziel:

Generierung nachhaltiger Finanzströme durch mehr Transparenz und Vermeidung von Green Washing.

Weg:

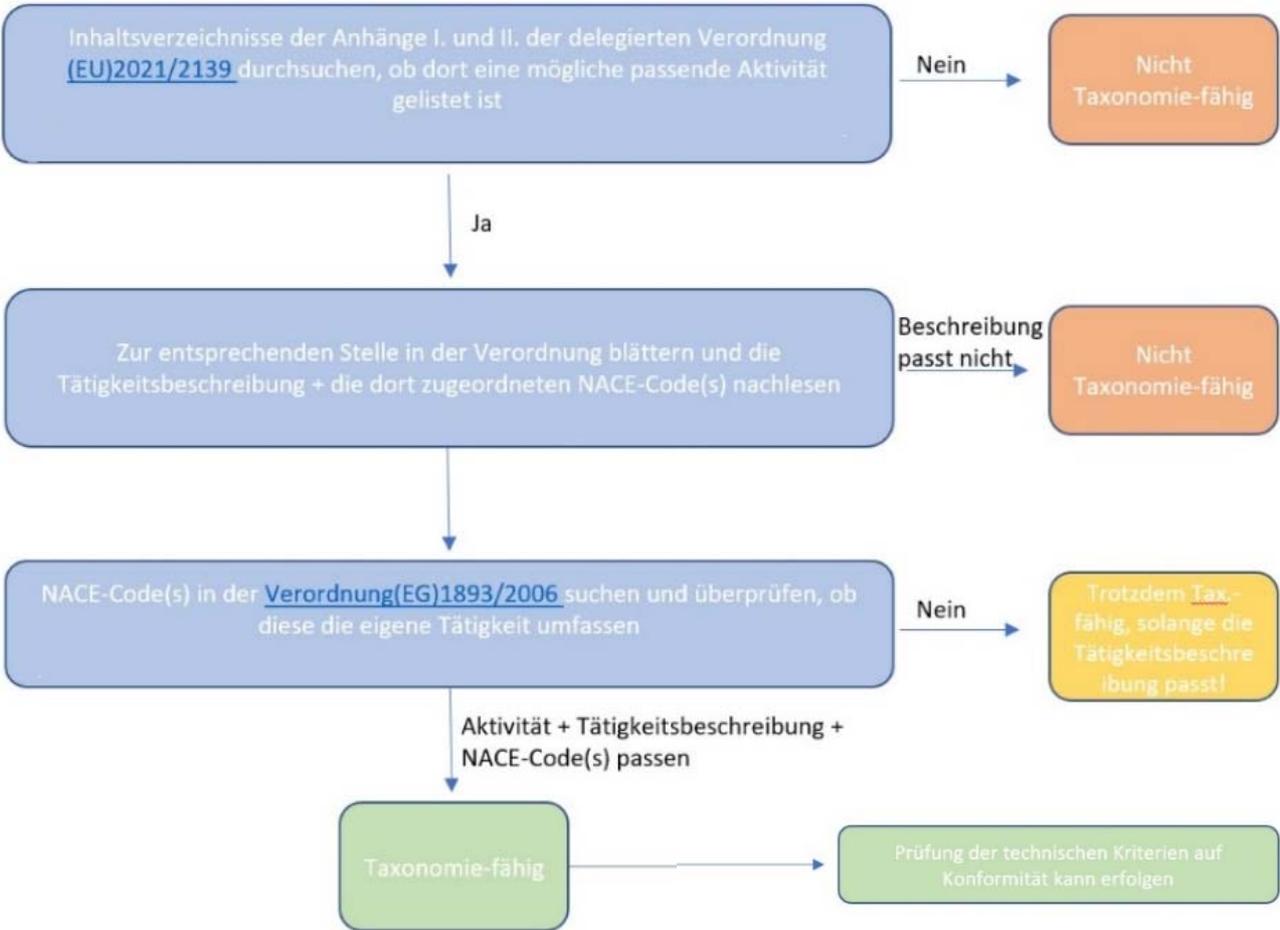
Vereinheitlichung des Nachhaltigkeitsbegriffs anhand konkreter technischer Bewertungskriterien und Offenlegung dieser in nicht-finanziellen Geschäftsberichten von Unternehmen

3. Welche Unternehmen sind betroffen

Bisher: Unternehmen > 500 MA (börsennotiert etc.)
Ab Geschäftsjahr 2023: Unternehmen > 250 MA Bilanzsumme >20 Mio. Umsatz >40 Mio.
Ab Geschäftsjahr 2026: Kapitalmarktorientierte KMUs ab dem Berichtsjahr 2026
KMU`s indirekt?

4. Ablauf der Taxonomiefähigkeit als Teil der Nachhaltigkeitsberichterstattung

Ablaufstruktur zur Identifikation einer Taxonomie fähigen Aktivität



5. Inhalte der Bauphysik

A1 Klimaschutz

- Festlegung ob der Bau mit dem PEB 10% unter OIB 6 Standard
- Luftdichtheit und Thermographie über 5000m²
- Lebenszyklus und GWP über 5000m²

A2 Anpassung an den Klimawandel

- Klimarisikoanalyse
- Gefahrenzonenanalyse
- Anpassungslösungen in naher (bis 2050) und ferne Zukunft (2100)

A4 Kreislaufwirtschaft

- Recycling von mind. 90% (nach Gewicht)
- Wiederverbarkeit
- LCC/LCA inkl. GWP
- Kreislaufwirtschaft – Designunterstützt

DNSH – Do Not Significant Harm; „Vermeidung von signifikanter Beeinträchtigung“

B3 Wasser- und Meeresressourcen (als Beispiel herausgegriffen)

- Durchflussraten für sanitärtechnische Geräte
- Risikoermittlung für Gewässer im Zusammenhang mit der Baustelle
- Wasserbewirtschaftungsplan

B1 bis B6 sind je nach eingeschlagenem Weg ergänzend zu bearbeiten. So sind z.B.: Formaldehydmessungen oder krebserregende Stoffe in Bauteilen anzugeben bzw. zu messen. Schadstoffuntersuchungen des Standortes vorzulegen sowie eine mögliche Emmissionsminderung (Lärm, Staub, Schadstoffe) nachzuweisen. Hier erscheinen besonders die Kriterien der Biodiversität und Ökosysteme ein massives Hindernis zu werden. Neben einer möglichen UVP ist besonderes im Neubau eine Prüfung der Baufäche notwendig. Ackerflächen, oder Bodenklassen 4 und 5 (sehr ertragreiche landwirtschaftliche Nutzungen) stellen einen Ausschlussgrund dar. Daher ist in Zukunft bereits eine Standortentwicklung bei der Widmung zu bedenken. Die Beratungsdienstleistung für Gemeinden wird in diesem Sinne besonders gefragt sein.



Dipl.-Ing. Dr.

Christian PÖHN

CURRICULUM VITAE

Magistratsdirektion - Geschäftsbereich BAUTEN UND TECHNIK
Kompetenzzentrum Bahninfrastruktur, Regulative Bau, Ingenieurservices, Normen
1010 Wien, Lichtenfelsgasse 2

christian.poehn@wien.gv.at

Geboren 1962 in Wien, Studium der Technischen Physik und Technischen Mathematik als Werkstudent an der TU Wien, Abschluss des Studiums der Technischen Physik an der TU Wien und Sponsion zum Diplom-Ingenieur der Technischen Physik, Promotion zum Doktor der Technischen Wissenschaften mit einer Arbeit zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Bauprodukten (mittlerweile EN 15498), Ziviltechniker-Prüfung

Freier Mitarbeiter am Institut für Energiewirtschaft der TU Wien (ab 1982), Assistent am Institut für Technische Physik der TU Wien (ab 1984), später Univ.-Ass. am Institut für Technische Physik der TU Wien, Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien vormals: Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien (ab 1992), Leiter des dortigen Bauphysiklabors (ab 1996), Dienststellenleiter-Stellvertreter der MA 39 (ab 2008), seit 2018 Experte für Energieeffizienz- und Klimaschutzangelegenheiten im Gebäudesektor, Kompetenzzentrum Bahninfrastruktur, Regulative Bau, Ingenieurservices, Normen (KBI), Magistratsdirektion der Stadt Wien, Stadtbaudirektion

Vertreter der Stadt Wien in zahlreichen Nationalen und Internationalen Gremien

Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

Eine Ausblick auf Änderungen in der OIB-Richtlinie 6: 2025

Dipl.-Ing. Dr. Christian Pöhn, Magistratsdirektion – Baudirektion der Stadt Wien

Einleitung

Mit dem Erscheinen der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) am 8.5.2024 wurde auch diese Richtlinie als zentrales Element der politischen Agenda der Europäischen Union der Jahre 2020 bis 2024 abgeschlossen. Nachdem in den Themenbereichen des Klimaschutzes erheblicher Handlungsbedarf besteht, werden in dieser Richtlinie äußerst ambitionierte Umsetzungsfristen festgeschrieben. Der Vortrag im Rahmen des BauphysikerInnen-Treffens 2024 versucht zu einem Zeitpunkt, zu dem noch keine konsolidierte Meinung dazu auf der Ebene der Legistik in Ländern und Bund, auf der Ebene der Sachverständigen im Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) und auf der Ebene der Normung besteht, einen Ausblick auf die Zukunft zu skizzieren.

1. Historischer Rückblick

2. Die EPBD:2024

An zentraler Stelle des Vortrages stehen daran anschließend die Inhalte der neuen EPBD:2024, und zwar von der Vorlage des Vorschlages im Dezember 2021 bis zur Veröffentlichung im Amtsblatt der EU am 8. Mai 2024.

Dabei werden vor allem jene Artikel behandelt, für die vermutet werden darf, dass sie mittelbar oder unmittelbar Auswirkungen auf die Methodik zur Ermittlung von Energiekennzahlen bzw. auf die Randbedingungen dazu oder auf OIB-Dokumente haben werden.

Dies sind der Übergang auf die Festlegung des totalen Primärenergiebedarfes oder des Endenergiebedarfes als zukünftige Anforderungsgröße, die Notwendigkeit der ex-ante-Festlegung zugehöriger Konversionsfaktoren (anstelle der bisherigen ex-post-Festlegung) und Notwendigkeit der Definition des Nullemissionsgebäude sowie der Schwellenwerte für allfällig wünschenswerte thermisch-energetische Verbesserungen von Gebäuden.

2.1. Totaler Primärenergiebedarf oder Endenergiebedarf als zukünftige Anforderungsgröße

Bisher war der nicht erneuerbare Anteil des Primärenergiebedarfes die Anforderungsgröße als Ergebnis der Ermittlung der Kostenoptimalität sowohl für den Neubau als auch die größere Renovierung. Die Begründung dafür lautete, dass man über eine Begrenzung des nicht erneuerbaren Anteils eine Begrenzung des Einsatzes von fossilen Energieträgern angestrebt hat, und zwar überall dort, wo dies hinsichtlich des Aufwandes machbar und verantwortbar erschienen ist. Durch die Zielsetzung der Klimaneutralität ist jedenfalls für den Neubau diese letzte Option des Einsatzes fossiler Energieträger gestrichen worden und – ganz ähnlich dem Erneuerbaren-Wärme-Gesetz in Österreich – das Nullemissionsgebäude das neue Ziel. Um keinesfalls über den Einsatz nicht-fossiler Energieträger die Energieeffizienzanforderungen zu schmälern, wurde hinsichtlich dieser eine um 10% unter dem bisherigen Niedrigstenergiegebäude ambitionierte Anforderung festgelegt.

Die so festgelegten Anforderungen werden durch die Europäische Kommission verglichen und bewertet. Daher erscheint ein von den überwiegend zur Anwendung kommenden Bemessungswerten für die Innentemperatur abweichender Wert (22°C anstelle von zumeist 20°C) nicht aufrecht zu erhalten.

Gleichzeitig können große Bedenken gegen eine Festlegung von Anforderungen an den Primärenergiebedarf angeführt werden, zumal noch weder der Umgang mit der Umweltenergie seitens der Europäischen Kommission festgelegt worden ist noch eine rollierende Verbesserung einer ex-ante-Festlegung mit all ihren Unwägbarkeiten als erste Wahl erscheint. Auch würde eine solche Festlegung vermutlich zu differierenden Anforderungen zwischen Nutzungsprofilen führen.

Angenehmerweise gibt es in Österreich die Größe des Referenz-Heizwärmebedarfes, der auch gegen spätere Nutzungswechsel als Anforderung eine gute Anwendbarkeit bisher unter Beweis gestellt hat. Nachdem es auch möglich sein wird Anforderungsensembles zu definieren, ist es gut möglich darauf aufzubauen.

2.2. Definition des Nullemissionsgebäudes

Die Festlegung des neuen Standards Nullemissionsgebäude für den Neubau erscheint auf den ersten Blick nicht allzu schwierig. Allerdings ist natürlich hier anzumerken, dass die Zielsetzung des Aufrechterhaltens des dualen Weges (also der Ermöglichung eines Abweichens beim Referenz-Heizwärmebedarf, sofern dieses Abweichen durch andere Effizienzmaßnahmen kompensiert wird) möglicherweise eine gewisse Einschränkung erfährt, zumal die neue EPBD eine Verpflichtung zu möglichst hoher Ertragserwirtschaftung von Solarenergie beinhaltet und somit ein derartige Ertragserwirtschaftung nicht mehr ganz so wie bisher als Effizienzverbesserung angesehen werden kann. Allerdings kann hier gesagt werden, dass es auch andere Wege einer Erhöhung der Effizienz gibt, wie dies beispielhaft die Verminderung der Verluste bei der Wärmebereitstellung und bei der Wärmeverteilung zeigen sowie dies bei der Anwendung von Wärmerückgewinnungsmaßnahmen der Fall ist.

Für die größere Renovierung und die Teilschritte davon ist diese Festlegung mitunter durch andere Vorschriften limitiert, wie dies Abstandsflächen oder Orts- oder Stadtbildeinschränkungen sein können. Daher gilt es hier weiterhin die Nachweisführung genügend flexibel zu halten.

2.3. Festlegung von Schwellenwerten als Grundlage von Renovierungsplänen

Die Festlegung von Schwellenwerten in Form eines 16%-Schwellenwertes, über dem 16% aller Gebäude liegen und entsprechend anderer Schwellenwerte erscheint ebenfalls unter der Annahme einer Normalverteilung über dem mittleren Energieverbrauch nicht allzu schwierig. Allerdings gilt es dabei abzuschätzen, wie viele Gebäude allenfalls Ausnahmetatbeständen unterliegen und daher nicht vollständig renoviert werden können. Daher könnte eine Festlegung auch versuchen, solche Ausnahmetatbestände statistisch zu berücksichtigen.

Neben der Festlegung der Schwellenwerte wird hier allerdings ohnehin noch intensiv darüber nachgedacht, in welchen Gesetzesmaterien derartige Verpflichtungen festgelegt werden könnten.

3. Zeitpläne

Als absolut wichtigster Punkt erscheinen die Zeitpläne für die einzelnen Umsetzungsschritte.

Dabei gilt es vorab festzulegen, in welchen Dokumenten überhaupt Änderungen durchzuführen sein werden bzw. welche neuen Dokumente es unbedingt brauchen wird.

3.1. Die neue OIB-Richtlinie 6:2025

Klar ist, dass es vermutlich eine neue OIB-Richtlinie 6 benötigen wird, in der die neuen Konversionsfaktoren, die neuen Anforderungen konform zum Nullemissionsstandard und die Festlegung der Schwellenwerte beinhaltet sein werden. Geht man davon aus, dass diese Inhalte am 29. Mai 2026 gesetzlich verankert sein müssen (vermutlich in Bautechnik-Verordnungen der Länder) und der Weg zu einer Bautechnik-Verordnung günstig 10 Monate braucht, sollte im Juli 2025 die OIB-Richtlinie 6 vorliegen; daher kommt auch die Annahme für das Ausgabejahr der OIB-RL6:2025.

Damit aber die entsprechenden Beschlüsse im OIB gefasst werden können braucht es ca. einen Monat vorher einen Beschluss der OIB-GV und wiederum einen Monat vorher eine an die OIB-GV ausgesandte fertige Fassung. Berechnet man das vorgeschaltete Anhörungsverfahren, Kontaktforum und notwendige Sitzungen zur Abarbeitung der eingelangten Stellungnahmen ein, so wäre eine Fertigstellung eines Vorschlages der OIB-RL6:2025 zum Jahreswechsel 2024/25 wünschenswert.

3.2. Begleitende Dokumente

Üblicherweise erscheinen dazu auch Dokumente wie der dazugehörige Leitfaden und entsprechende Erläuternde Bemerkungen. Die Erfahrungen der letzten Ausgaben lassen es durchaus überlegenswert erscheinen, so manchen Inhalt dieser beiden Dokumente in die Richtlinie zu ziehen. Dafür muss bei anderen Inhalten (z.B. Default-U-Werten etc.) nachgedacht werden, ob diese angesichts verpflichtender Begehungen

noch weiter enthalten sein müssen bzw. sollen. Ebenso sind natürlich auch das neue Dokument zur Unterstützung bei Anforderungen aus der Taxonomie-VO und die Ausfüllhilfe hier parallel zu erstellen.

3.3. Methodik-Normen

Eine besondere Rolle spielt hier die Überarbeitung der Methodik-Normen. Diese stellen gleichsam die Grundlage zur Ermittlung von Energie- und Emissions-Kennzahlen dar. Hier soll versucht werden, nur minimal einzugreifen. Allerdings erscheint es angesichts der Inhalte der Ausfüllhilfe durchaus überlegenswert editorielle bzw. redaktionell so manche über die Jahre und über die Ausgaben entstandenen Inkonsistenzen, die durch kundige LeserInnen nicht einmal wahrgenommen werden, trotzdem zu bereinigen.

3.4. Validierungs-Normen

Dieses Alleinstellungsmerkmal der Österreichischen Methodik parallel zu den Änderungen in Vorschriften, Anforderung und Methodik muss nachgeführt werden.

3.5. OIB-Dokument zum Renovierungspass

Ebenso wie die OIB-Richtlinie 6 braucht es ein Dokument, das den Weg zu einem verbindlichen Renovierungspass festlegt. Der zeitliche Ablauf dazu entspricht sehr stark jenem der OIB-Richtlinie 6.

3.6. Nationaler Renovierungsplan

Ein Entwurf eines solchen Nationalen Renovierungsplans ist bis zum 31. Dezember 2025 an die EK zu übermitteln. Daher sollte zeitnah zum Vorschlag zur OIB-RL6 und zum OIB-Dokument zum Renovierungspass ein Vorschlag eines Nationalen Renovierungsplans in ein Anhörungsverfahren gehen. Hier gilt es zusätzlich zu klären, wie bzw. in welcher Form ein derartiger Plan formal beschlossen werden muss bzw. kann.

4. Schlussbemerkung

Abschließend sei festgehalten, dass auf legislativer Seite sowohl durch die Länder als durch den Bund etliche weitere Themenfelder zu behandeln und zu erledigen sein werden, die nicht minder spannende Inhalte aufweisen.

Darüber hinaus ist laufend mit Empfehlungen und Rechtsakten der Europäischen Kommissionen zu rechnen, die helfen sollen, gleichartige Umsetzungen in den Mitgliedsstaaten zu gewährleisten. So darf davon ausgegangen werden, dass auch die eine oder andere Änderung nach dem Anhörungsverfahren notwendig sein wird um allenfalls Ableitungen aus derartigen Dokumenten zu berücksichtigen.

Als letzter Punkt, allerdings durchaus sehr wichtigem Punkt, darf hier auf die verschiedensten Verschränkungen mit anderen Richtlinien aus dem Energiebereich der EU verwiesen werden.