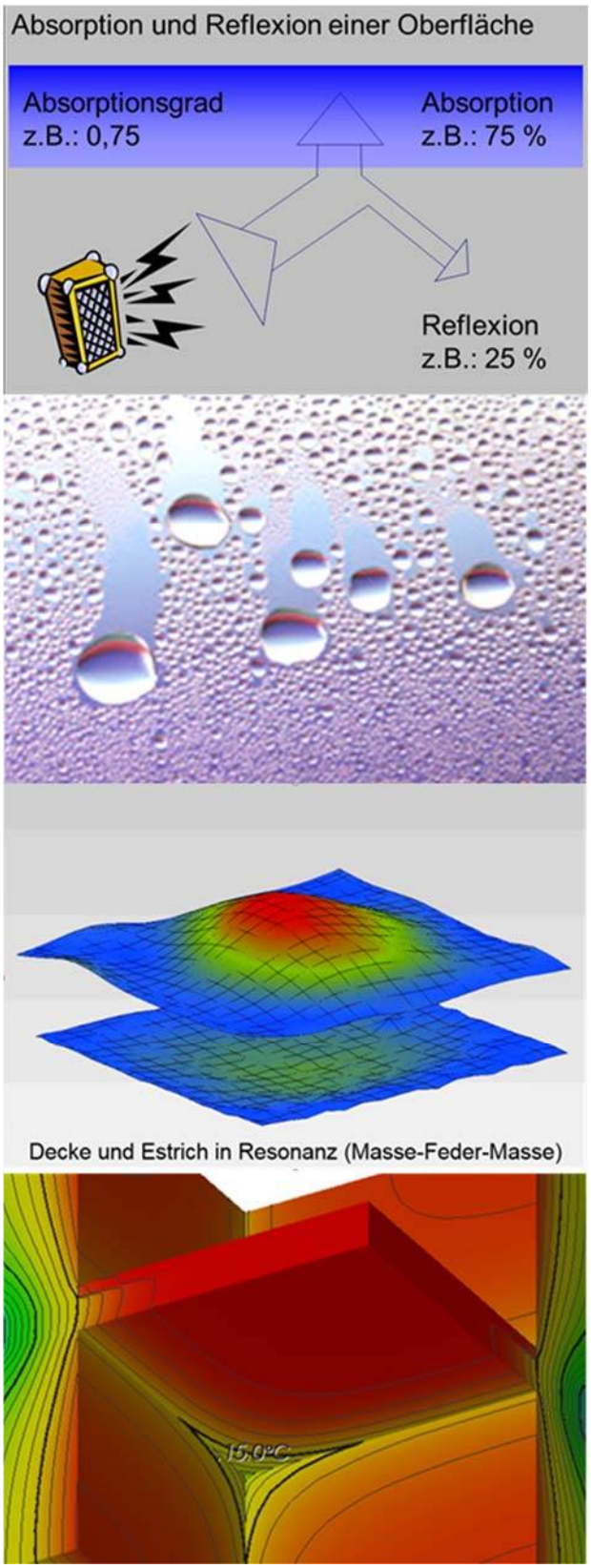
BauphysikerInnen-Treffen 2020



1. Oktober 2020

Veranstaltungszentrum
MA39

Prüf-, Inspektions- und
Zertifizierungsstelle
der Stadt Wien

Rinnböckstraße 15
1110 Wien

Stadt Wien | Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle

ofi FORTSCHRITT IN GUTEN HÄNDEN

tgm

BAUPHYSIK.AT

Programm

09:00 Eintreffen

09:15 Eröffnung
DI Brigitte Jilka, MBA, Stadtbaudirektorin der Stadt Wien, A-1010 Wien
Begrüßung „Bauphysik am Prüfstand“
Magistratsabteilung 39, A-1110 Wien

09:30 **Schalldämmung von Holzrahmenbauwänden**
Dr. Bernd Nusser, Holz-for-schung Austria, A-1030 Wien

Flankenschall - schöne Theorie und fehlerhafte Praxis
DI Dominik Dobler, Getzner Werkstoffe GmbH, A-6706 Bürs

11:00 Pause

11:30 **Resonanzen - Beispiele aus der Praxis**
DI Gustav Luckinger, Akustik Engineering Luckinger eU, A-7033 Pöttsching

Schallschutz WDVS - Einflussgrößen und Prognose
DI Dr. Maximilian Neusser, ACOM Research, A-2813 Thomasberg

13:00 Mittagspause

14:00 **Belüftetes (Holz-) Flachdach - kann das in der Praxis funktionieren**
DI Bmstr. Johann Spiessberger, IBTS GmbH, A-4814 Neukirchen

Erneuerbare Wärme im Bestand – Ohne Grünem Gas?
David Stuckey, MSc, IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH, A-1010 Wien

15:30 Pause

16:00 **Flächenheizung und Flächenkühlung**
DI Dr. Peter Holzer, Institute of Building Research & Innovation, A-1010 Wien

Corona und Lüftung(sanlagen)
DI Peter Tappler, IBO Innenraumanalytik OG, A-1150 Wien

17:30 Ende Vorträge

18:30 Hocketse

Moderation: DI Dieter Werner, MSc (MA39) & DI(FH) Clemens Häusler MSc (bauphysik.at)

Stadt Wien | Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle

CURRICULUM VITAE

Dr.
Bernd NUSSER

Holzforschung Austria
Fachbereich Bauphysik

Franz Grill Straße 7
A-1030 Wien

b.nusser@holzforschung.at

seit 2016 Leiter des Fachbereichs Bauphysik bei der Holzforschung Austria

2013 Projektkoordinator bauphysikalischer F&E-Projekte bei Saint-Gobain Isover Österreich/Deutschland

2012 Abschluss des Doktorats an der TU Wien zum Feuchteschutz von flachgeneigten hölzerne Dachkonstruktionen

2007 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Holzforschung Austria im Bereich Bauphysik, Hygrothermik

2007 Abschluss Masterstudium "Holztechnik" an der Hochschule Rosenheim (D), Masterarbeit mit Schwerpunkt Bauakustik

2005 Wissenschaftliche Hilfskraft am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen (D), Hygrothermik

2005 Abschluss Diplomstudium "Holzbau und Ausbau" an der Hochschule Rosenheim (D), Diplomarbeit mit Schwerpunkt Feuchteschutz

1997 Abschluss zum Tischlergeselle, Bautischlerei

Schalldämmung von Holzrahmenbauwänden

AUßENWÄNDE

Dr. Bernd Nusser, Holzforschung Austria, A-1030 Wien
Dr. Christian Lux, Holzforschung Austria, A-1030 Wien
DI Heinz Ferk, TU Graz, A-8010 Graz

1. Einleitung

Zur schallschutztechnischen Planung von Gebäuden in Holzbauweise sind belastbare Planungsdaten gefragt. Die Holzforschung Austria hat deshalb in Kooperation mit der TU-Graz das Forschungsprojekt „Sound.Wood.Austria - Steigerung der Planungssicherheit bei der Schallschutzkonzeptionierung von Gebäuden in österreichischer Holzbauweise“ initiiert und Ende 2018 gestartet. Im Zuge des Projektes werden u. a. detaillierte Planungsdaten für Wände, Decken und Bauteilknoten in Holzrahmen- und Holzmassivbauweise erarbeitet. Nachfolgend werden erste Ergebnisse des Forschungsprojektes zu Außenwänden in Holzrahmenbauweise vorgestellt. Dieser Beitrag ist bereits in (Nusser et al. 2020) erschienen.

2. Beschreibung der Schalldämmung

Zur einfachen Beschreibung der Luftschalldämmung eines Bauteils hat sich in den D-A-CH-Ländern die Verwendung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w etabliert. Es hat sich jedoch gezeigt, dass zwischen dem subjektiven Empfinden der Schalldämmung und der objektiven Beurteilung eines Bauteils durch den reinen R_w-Wert häufig eine schlechte Korrelation besteht. Um diese Situation zu verbessern, können normativ definierte Spektrum-Anpassungswerte mitberücksichtigt werden. Dadurch werden Frequenzspektren bestimmter Geräusche, wie z. B. der tieffrequente Anteil von Straßenverkehr, besser bei der objektiven Beschreibung der Schalldämmung eines Bauteils berücksichtigt. Gemäß Hörversuche in Finnland (Hongisto et al. 2018), sollten zur korrekten Beschreibung der subjektiven Wahrnehmung der Schalldämmung einer Außenwand, je nach Verkehrsart, entweder der $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Wert („tr“ für traffic, Hauptlärm durch schwere, langsame Fahrzeuge) oder der $R_w + C_{50\text{-}5000}$-Wert (Lärm durch allgemeinen Straßenverkehr) verwendet werden. Dass die angeführten Spektrum-Anpassungswerte auch wirklich das subjektive Empfinden bauweisenneutral wiederspiegeln, wird in der wissenschaftlichen Welt allerdings noch kontrovers diskutiert (Chmelík et al. 2020; Scrosati et al. 2019)]. Um dennoch eine erste Orientierung zur subjektiv empfundenen Schalldämmung der untersuchten Außenwände zu bekommen, werden im Weiteren neben den R_w-Werten auch die $R_w + C_{50\text{-}5000}$- und $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Werte der Außenwände mit aufgelistet.

3. Mindestanforderungen

In Österreich werden die gesetzlich einzuhaltenden Mindestanforderungen zur Schalldämmung von Bauteilen in der (OIB-Richtlinie 5) definiert. Abbildung 1 zeigt die minimal einzuhaltenden R_w-Werte für opake Außenbauteile und $R'_{res,w}$-Werte für die errichtete Wand inkl. Einbauteile in Abhängigkeit des Außenlärmpegels tagsüber (untere x-Achse) und nachts (obere x-Achse). Wie zu erkennen ist, liegt das geringst mögliche bewertete Schalldämm-Maß der reinen Wände (ohne Einbauteile) bei 43 dB. Zur Ermittlung der Mindestanforderungen in Deutschland wird auf (Rabold und Hessinger 2018) verwiesen. In dem dortigen Beispiel (Einfamilienhaus an verkehrsreicher Straße, maßgeblicher Außenlärmpegel Tag 67 dB) ergibt sich für Deutschland die Anforderung $R'_{w,ges} \geq 40{,}4$ dB (ohne geforderten Sicherheitsbeiwert von 2 dB). In Österreich muss für den selben Fall ein $R'_{res,w} \geq 41{,}5$ dB (ohne Sicherheitsbeiwert) eingehalten werden.

Die Spektrum-Anpassungswerte werden in den gesetzlichen Anforderungen derzeit weder in Österreich noch in Deutschland mitberücksichtigt, die Verwendung ist also freiwillig. Sie können zur Einschätzung der subjektiven Schalldämmung der Bauteile jedoch mitbetrachtet werden. Konkrete Grenzwerte zu $R_w + C_{50\text{-}5000}$ und $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$ wurden bisher noch nicht festgelegt. Die DEGA (deutschen Gesellschaft für Akustik e. V.) (DEGA 2018) empfiehlt für die Klasse A* (höchster Ausführungsstandard) die Einhaltung des R_w-Zahlenwerts gem. DIN 4109-1, allerdings für $R'_{w,ges} + C_{tr,50\text{-}3500}$. Die zahlenmäßig gleiche Empfehlung gibt es im Holzbau Handbuch 3|3|1 (Blödt et al. 2019) für die Klasse „Komfort“, jedoch für $R'_{w,ges} + C_{tr,50\text{-}5000}$. Zu möglichen Grenzwerten unter Berücksichtigung des tiefen Frequenzbereichs gibt es somit noch Forschungsbedarf.

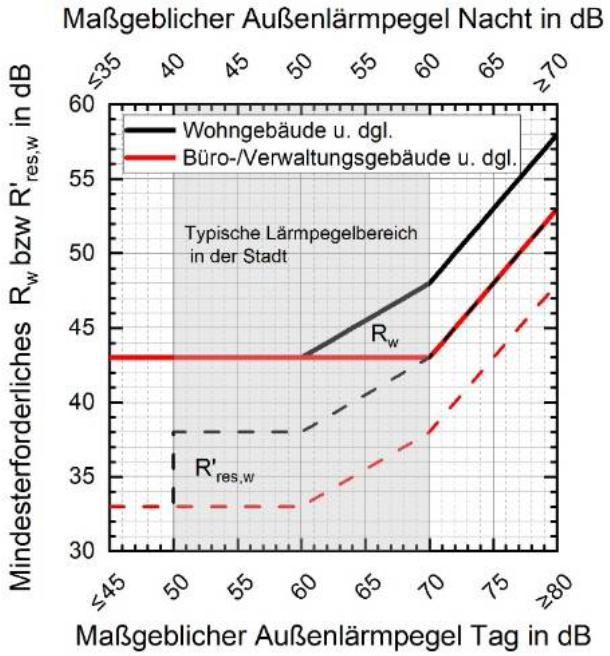


Abbildung 1: Mindestanforderungen der Schalldämmung für Außenbauteile in Österreich in Abhängigkeit des maßgeblichen Außenlärmpegels (OIB-Richtlinie 5).

4. Aufbau der Außenwände

Außenwände werden im mehrgeschossigen Holzbau zu einem Großteil mit Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) ausgeführt. Hierfür kommen häufig verputzte Polystyrol- oder Mineralwolle-Dämmungen zum Einsatz. Verputze Holzfaserdämmstoffe oder hinterlüftete Holzfassaden (wie Stülp- und Leistenschalungen) sind im mehrgeschossigen Holzbau derzeit noch eher selten, könnten aber je nach Anwendungsfall eine geeignete Alternative darstellen. Im genannten Forschungsprojekt wurden die fünf aufgeführten Fassadensysteme an Holzrahmenwänden tiefergehend untersucht. Abbildung 2 zeigt den Aufbau der „Grundwände“ an denen die jeweiligen Modifikationen durchgeführt wurden. Um die Umbaumaßnahmen zu vereinfachen wurde die innenseitige OSB im Abstand von 50 mm geschraubt. Die außenseitige OSB wurde im selben Abstand geklammert.

Abbildung 2: Grundwand mit beidseitiger 12 mm OSB Beplankung und 200 mm tiefem, vollständig mit 2 x 100 mm Steinwolle-Dämmplatten (33 kg/m³) ausgedämmten Gefach (Ständerbreite 60 mm, Achsabstand e = 62,5 cm), ohne Fassade

Auf die baugleichen Grundwände wurden folgende WDVS-Dämmstoffe aufgebracht (s‘: dynamische Steifigkeit, Eigenmessung):

- 100 mm Standard EPS (s‘ = 47 MN/m³)
- 100 mm elastifiziertes EPS (s‘ = 27 MN/m³)
- 100 mm Steinwolle (s‘ = 16 MN/m³)
- 100 mm Holzweichfaser (s‘ = 28 MN/m³)
- 60 mm Holzweichfaser (s‘ = 88 MN/m³)

Die Putzdicke betrug bei den Faserdämmstoffen (inklusive Ausgleichsschicht) etwa 7 mm (ca. 8 kg/m²) und bei den EPS-Dämmstoffen etwa 5 mm (ca. 6 kg/m²).

Neben den WDVS-Fassaden wurden auch zwei Holzfassaden untersucht (jeweils auf vertikaler Lattung mit 30 mm Dicke):

- 20 mm Stülpschalung (geschlossene Fassade)
- 20 mm Leistenschalung (offene Fassade, Leistenbreite 90 mm, Spaltbreite 20 mm)

5. Messergebnisse

Nachfolgend werden die Auswirkungen der verschiedenen Bauteilmodifikationen auf die Schalldämmung der Außenwände präsentiert und diskutiert.

5.1. Einfluss des WDVS

Abbildung 3 verdeutlicht den Einfluss des WDVS-Dämmstoffes auf die Schalldämmung der Wand. Wie zu erkennen ist, unterscheiden sich die Frequenzverläufe im mittleren und hohen Frequenzbereich sehr deutlich. Je höher die dynamische Steifigkeit des Dämmstoffes, desto höherfrequent liegen die Resonanzeinbrüche durch das WDVS. Gut zu erkennen ist auch die Unterschreitung der Schalldämmung der Grundwand im Bereich der Resonanzeinbrüche. Bei den EPS-Varianten zeigen sich zudem über 2000 Hz deutliche Koinzidenzeinbrüche, welche bei den Varianten mit Faserdämmstoffen nur andeutungsweise zu sehen sind. Im unteren Frequenzbereich sind lediglich im 125 Hz Terzband stärkere Unterschiede zwischen den Schaum- und Faserdämmstoffen zu erkennen. Die Varianten mit Faserdämmstoffen weisen hier eine etwas erhöhte Schalldämmung auf.

Werden jedoch die Einzahlkennwerte (R_w | $R_w + C_{50\text{-}5000}$ | $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$) in der Legende verglichen, so relativieren sich die Unterschiede. Aufgrund des reinen R_w-Werts ist die Wand mit Mineralwolle-WDVS zu bevorzugen. Soll die Wand auch eine gute subjektive Schalldämmung aufweisen, ist der R_w-Wert als Vergleichsgröße ungeeignet. Entsprechend dem $R_w + C_{50\text{-}5000}$-Wert und dem $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Wert ist bei einer Lärmbelastung durch „normalen Verkehrslärm“ oder durch langsam fahrende, schwere Fahrzeuge die Wand mit Holzweichfaser-WDVS den anderen Wänden leicht überlegen.

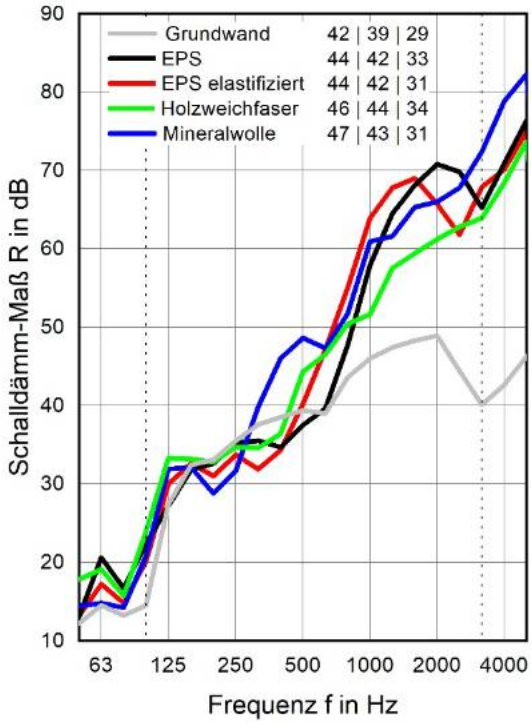


Abbildung 3: Einfluss der WDVS-Dämmstoffe elastifiziertes EPS, Standard EPS, Mineralwolle und Holzweichfaser auf die Schalldämmung der Holzrahmengrundwände, Darstellung der Frequenzverläufe sowie der zugehörigen Kennwerte R_w | $R_w + C_{50\text{-}5000}$ | $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$ in der Legende

5.2. Und die Holzfassade

Wird anstelle der WDVS-Fassade eine hinterlüftete Holzfassade mit Stülpschalung ausgeführt und die Unterkonstruktion (UK) direkt auf den Stehern befestigt, so führt dies zu deutlich schlechteren Schalldämmwerten gegenüber den Putzfassaden und der Grundwand. Durch eine versetzte Montage der UK zwischen die Steher (Achtung, geeignete Lastabtragung sicherstellen) kann die Schalldämmung jedoch wieder gesteigert werden, was Abbildung 4 zeigt. Die versetzte UK erhöht die Schalldämmung der Wand nahezu über den gesamten Frequenzbereich, auch unter 100 Hz. Unter Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte $C_{50\text{-}5000}$ und $C_{tr,50\text{-}5000}$ ist die Wand mit Stülpschalung der Wand mit Mineralwolle-WDVS nahezu gleichwertig bzw. sogar leicht überlegen. Zur EPS-Variante in Abb. 3 gibt es keine Unterschiede mehr. Ein ähnliches Verhalten bzgl. $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Wert war überraschender Weise auch bei der Verwendung einer offenen Leistenschalung zu beobachten.

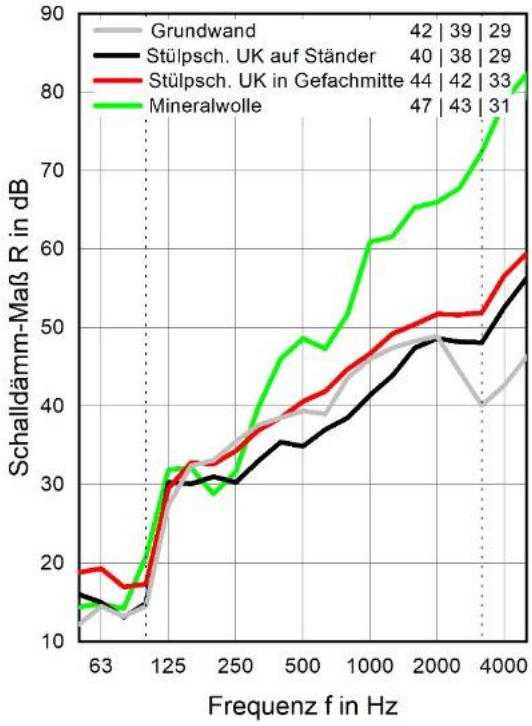


Abbildung 4: Einfluss der Fassadenart (Mineralwolle-WDVS und Stülpschalung) sowie der Montageposition der Unterkonstruktion (UK) der Holzfassade auf die Schalldämmung der Holzrahmenwände, Darstellung der Frequenzverläufe sowie der zugehörigen Kennwerte R_w | $R_w + C_{50\text{-}5000}$ | $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$ in der Legende >>>

Wird, wie in der Praxis üblich, auf der innenseitigen OSB zusätzlich eine Lage 12,5 mm Gipskarton-Feuerschutzplatten (GKF) aufgebracht, so verbessert sich die Schalldämmung der Wand mit Stülpschalung im Gegensatz zur Mineralwolle-Variante stärker, wie Abb. 5 verdeutlicht.

Die Wand mit Stülpschalung auf versetzter UK übersteigt mit einer doppelten GKF-Beplankung die Schalldämmung der WDVS-Variante im Frequenzbereich unter 250 Hz teilweise deutlich. Das wird auch bei Betrachtung der Einzahlkennwerte in der Legende ersichtlich. Mit zusätzlicher GKF auf der Innenseite liegt der $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Wert der Wand mit Stülpschalung um 5 dB bzw. 6 dB höher als bei der Wand mit WDVS. Das darf jedoch nicht über die deutlich schlechtere Schalldämmung im mittleren und hochfrequenten Bereich hinwegtäuschen, was sich in den geringeren R_w-Werten der Stülpschalungsvarianten zeigt.

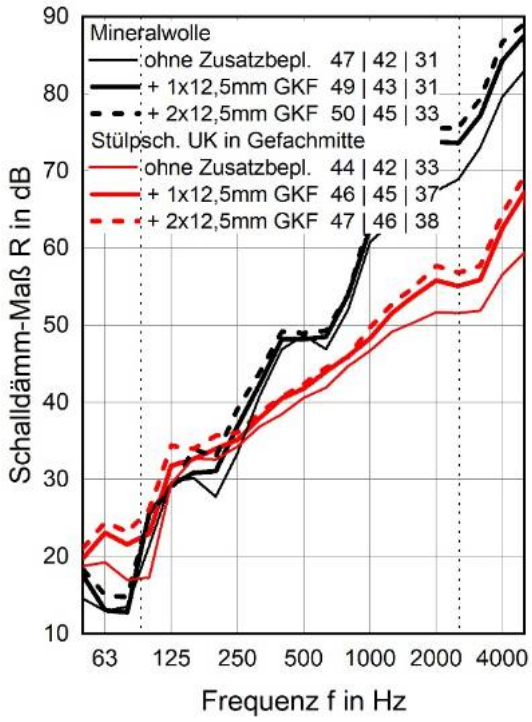


Abbildung 5: Vergleich der Wände mit Mineralwolle-WDVS und Stülpschalung mit jeweils 12,5 mm GKF auf der innenseitigen OSB, Darstellung der Frequenzverläufe sowie der zugehörigen Kennwerte R_w | $R_w + C_{50\text{-}5000}$ | $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$ in der Legende

5.3. Rettet die Installationsebene

Die Schalldämmung von Bauteilen wird durch den Einsatz von Installationsebenen sehr stark beeinflusst. Hierbei spielen die Ankopplung an das Grundbauteil und die zusätzliche Beplankung eine wesentliche Rolle. Folgende Installationsebenen wurden untersucht:

a) direkt angeschraubte, 60 mm dicke, vertikale Lattung

b) 27 mm dicke, auf einer PE-Anschlussdichtung vertikal auf den Stehern angeschraubter Federschiene

c) komplett entkoppelte Vorsatzschale mit CW75-Profilen (Schalenabstand 100 mm)

Anhand von Abbildung 6 wird ersichtlich, welche Einflüsse die Installationsebenen auf eine Wand mit Mineralwolle-WDVS haben (Installationsebenen waren mit Mineralwolle-Klemmfilz voll ausgedämmt).

Variiert wurde zusätzlich die Art der innenseitigen Beplankungen. Wie zu erkennen ist, wird die Schalldämmung der Grundwand durch eine Installationsebene mit direkt aufgebrachter Lattung nur geringfügig verbessert (abgesehen von den hochfrequenten starken, aber nicht maßgeblichen Verbesserungen). Viel deutlicher fällt die Verbesserung hingegen bei der Verwendung einer Federschiene aus. Allerdings spielt das zusätzliche Masse-Feder-Masse-System erst mit einer schweren Beplankung durch 2 x 18 mm GKF sein Potential in vollem Umfang, d. h. sowohl beim $R_w + C_{50\text{-}5000}$- wie auch beim $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Wert, aus. Eine zu leichte Beplankung (d. h. mit 2 x 12,5 mm GKF) führt zu einem Resonanzeinbruch im 63 Hz Terzband und somit zu einer schlechten tieffrequenten Schalldämmung. Es ist auch auf eine korrekte Montage der Federschiene zu achten. In diesem Fall wurde die Federschiene auf einer 3 mm dicken Anschlussdichtung aus PE montiert und etwa alle 50 cm satt angeschraubt, wobei die Schiene auch im Inneren ausgedämmt wurde. Wird eine komplett entkoppelte Vorsatzschale mit 2 x 12,5 mm GKF verwendet, so kann der R_w- und der $R_w + C_{50\text{-}5000}$-Wert weiter gesteigert werden, der $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Wert bleibt hingegen konstant beim Wert der Federschienen-Variante mit 2 x 18 mm GKF.

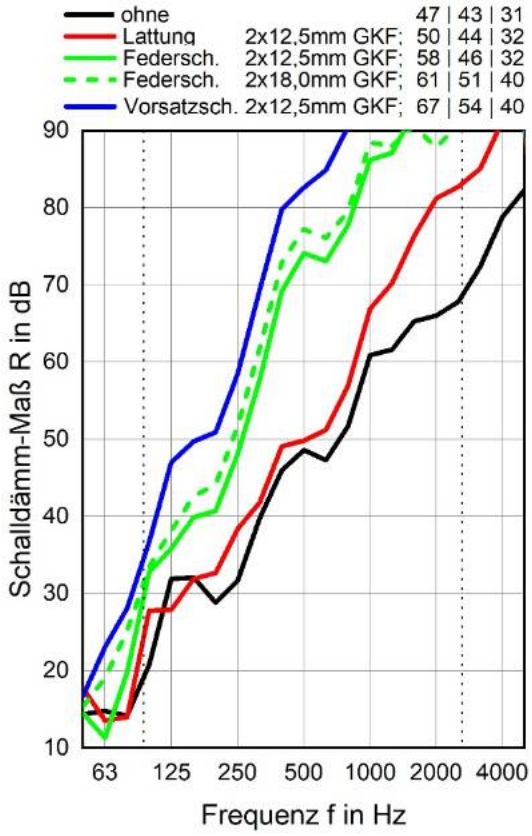


Abbildung 6: Einfluss der gedämmten Installationsebenen (vertikale Lattung auf Steher, vertikale Federschiene auf Steher, Vorsatzschale mit CW75 und 100 mm Schalenabstand) auf die Schalldämmung einer Holzrahmenwand mit Mineralwolle-WDVS, Darstellung der Frequenzverläufe sowie der zugehörigen Kennwerte R_w | $R_w + C_{50\text{-}5000}$ | $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$ in der Legende

6. Messdaten als Planungshilfe

Bei Gesprächen mit Fachplanern hat sich gezeigt, dass es im Arbeitsalltag häufig darum geht, schnell zu beurteilen wie sich geänderte Bauteilschichten (z. B. Lattung statt Federschiene) auf die Schalldämmung des Bauteils auswirkt. In Abbildung 7 wird versucht die bauakustischen Auswirkungen der bereits diskutierten und weiterer zusätzlicher Modifikationen übersichtlich und leicht handhabbar darzustellen. Um mit den Einzahlkennwerten einen Eindruck über die Leistungsfähigkeit der Wände zu bekommen, sollten stets alle drei diskutierten Kennwerte (R_w | $R_w + C_{50\text{-}5000}$ | $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$) betrachtet werden. Bei den gezeigten Daten ist zu bedenken, dass es sich um konkrete Messwerte von einzelnen Wänden handelt, d. h. Sicherheitsabschläge sind darin nicht enthalten.

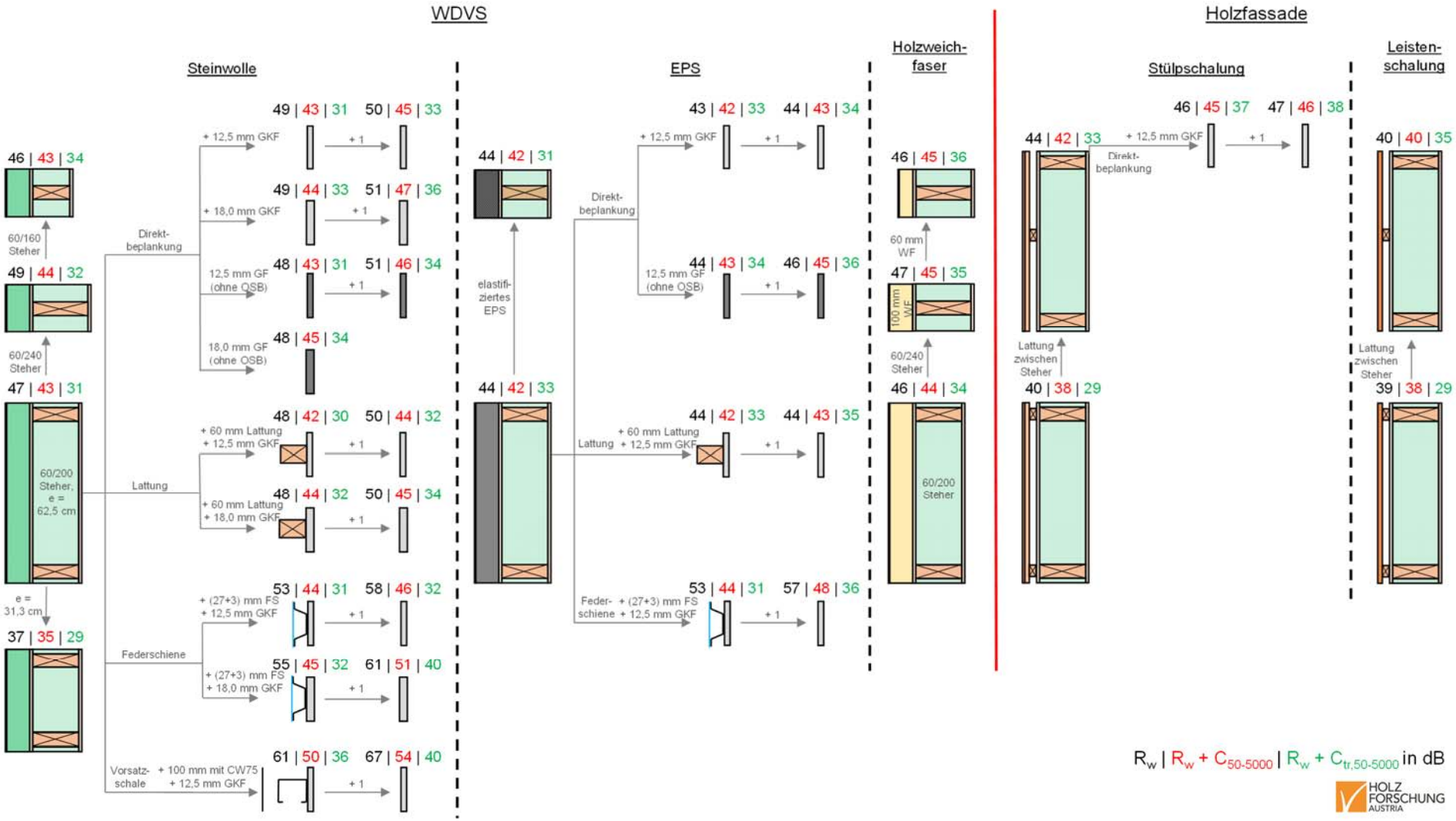


Abbildung 7: Übersicht über den bauakustischen Einfluss verschiedener Bauteilschichten und Konstruktionsdetails von Holzrahmenwänden mit WDVS und Holzfassade, Installationsebenen sind voll ausgedämmt, GKF: Gipskartonfeuerschutzplatte, GF: Gipsfaserplatte, FS: Federschiene, e: Achsabstand, Angabe der Einzahlkennwerte R_w | $R_w + C_{50-5000}$ | $R_w + C_{tr,50-5000}$ in dB ohne Sicherheitsabschläge

7. Zusammenfassung

Wie sich gezeigt hat, kann mit allen untersuchten Holzrahmenwänden mit WDVS die Mindestanforderung gemäß OIB-Richtlinie 5 von $R_w \geq 43$ dB eingehalten werden. Die EPS-Varianten bewegen sich jedoch im Grenzbereich. Soll nicht nur die gesetzliche Mindestanforderung eingehalten, sondern auch die subjektive Schalldämmung der Außenwand betrachtet werden, so kann orientierend der $R_w + C_{50\text{-}5000}$-Wert oder der $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Wert verwendet werden. Die gezeigten Daten verdeutlichen, dass zur Verbesserung dieser Kennwerte eine schwere, zweilagig innenseitige Beplankung (d. h. 2 x 18 mm Dicke) notwendig ist, wenn möglich auf Federschienen oder als beste Lösung auf einer entkoppelten Vorsatzschale.

Soll eine Holzfassade ausgeführt werden, so ist zur Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen die Stülpschalung (mit Unterkonstruktion zwischen den Ständern, Achtung: Lastabtragung planen) der Leistenschalung vorzuziehen. Mit einer zusätzlichen innenseitigen Direktbeplankung können $R_w + C_{50\text{-}5000}$- und $R_w + C_{tr,50\text{-}5000}$-Werte erreicht werden, welche bei den WDVS-Varianten nur mit innenseitiger Federschiene zu erzielen sind. Holzrahmenwände mit Holzfassade haben demnach ein hohes Potential, wenn es um die subjektive und somit nutzerorientierte Schalldämmung von Außenwänden geht.

8. Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG, dem Österreichischen Fachverband der Holzindustrie und den Industriepartnern ELK Fertighaus GmbH, Griffnerhaus GmbH, Haas Fertigbau, KLH Massivholz GmbH, Saint Gobain Rigips/Isover/Weber, Stora Enso, Theurl GmbH, Vario-Bau Fertighaus GesmbH, Vinzenz Harrer GmbH für die Förderung des Forschungsprojektes „Sound.Wood.Austria“.

9. Literaturverzeichnis

Blödt, Adrian; Rabold, Andreas; Halstenberg, Michael (2019): Schallschutz im Holzbau - Grundlagen und Vorbemessung. Hg. v. Holzbau Deutschland-Institut e.V. Berlin (Holzbau Handbuch, 3/3/1). Online verfügbar unter https://informationsdienst-holz.de, zuletzt geprüft am 14.01.2020.

Chmelík, Vojtech; Rychtáriková, Monika; Müllner, Herbert; Jambrošić, Kristian; Zelem, Lukáš; Benklewski, Jakub; Glorieux, Christ (2020): Methodology for development of airborne sound insulation descriptor valid for light-weight and masonry walls. In: *Appl. Acoust.* 160, S. 107144. DOI: 10.1016/j.apacoust.2019.107144.

DEGA (Hg.) (2018): Schallschutz im Wohnungsbau - Schallschutzausweis. Berlin (DEGA-Empfehlung, 103).

Hongisto, Valtteri; Oliva, David; Rekola, Laura (2018): Subjective and objective rating of the sound insulation of residential building façades against road traffic noise. In: *J. Acoust. Soc. Am.* 144 (2), S. 1100. DOI: 10.1121/1.5051647.

Nusser, Bernd; Lux, Christian; Ferk, Heinz (2020): Schalldämmung von Außenwänden im Holzbau. Teil 1: Holzrahmenwände. In: *Holzbau - die neue Quadriga* (4), S. 43–47.

Rabold, Andreas; Hessinger, Joachim (2018): Schallschutz von Außenbauteilen. In: *Holzbau - die neue Quadriga* (3), S. 25–28.

OIB-Richtlinie 5, 2019: Schallschutz. Online verfügbar unter https://www.oib.or.at, zuletzt geprüft am 25.02.2020.

Scrosati, C.; Scamoni, F.; Depalma, M.; Ghellere, M. (2019): Facade Sound Insulation as Protection to Outdoor Noise. In: 23rd International Congress on Acoustics. ICA. Aachen, 09-13 Sept. (Proceedings).

CURRICULUM VITAE

DI
Dominik DOBLER

Forschung & Entwicklung Division Bau

Getzner Werkstoffe GmbH
Herrenau 5
A-6706 Bürs

dominik.dobler@getzner.com
www.getzner.com

Geboren 1986 in Feldkirch, absolvierte seine technische Ausbildung in Vorarlberg (HTL Rankweil, Bautechnik) und Wien (TU Wien, Bauingenieurwesen). Arbeitete zunächst in einem Ziviltechnikerbüro für Tragwerksplanung in Wien und seit 2019 in der Forschung & Entwicklung bei der Getzner Werkstoffe GmbH mit Fokus Bauakustik und Holzbau.

Die Getzner Werkstoffe GmbH sind seit 50 Jahren der Spezialist im Bereich der Schwingungsentkopplung und des Schallschutzes. Mit der Entwicklung von spezifischen Lösungen für Bahn, Bau und Industrie bedient Getzner Märkte auf der ganzen Welt. Im Bereich der Bauakustik liegen die Hauptanwendungen bei der schalltechnischen Entkopplung von Fußböden, Innenausbauten und der technischen Gebäudeausrüstung, der elastischen Lagerung von Treppen, Podesten und Pools sowie von Bauteilflanken, insbesondere im Holzbau.

Flankenschall – schöne Theorie und fehlerhafte Praxis

Kij-Werte im Holzbau in Abhängigkeit der Verbindungsmittel

DI Dominik Dobler, Getzner Werkstoffe GmbH, A-6706 Bürs

1. Einleitung

Der Holzbau erlebt seit einiger Zeit eine Renaissance. Die Gründe liegen zum Teil sicherlich in der guten Ökobilanz, des bei uns in Österreich mehr als ausreichend nachwachsenden Rohstoffs. Der Holzbau bietet aber außerdem eine Reihe von Vorteilen, wie einem hohen Vorfertigungsgrad und dadurch schneller Bauweise, dem geringem Gewicht und nicht zuletzt der hohen Behaglichkeit bzw. des guten Raumklimas bei sichtbaren Oberflächen.

Die Anforderungen an den Schallschutz sind heute allerdings wesentlich höher als früher. Entsprechend wurden Wand- und Deckenaufbauten entwickelt, welche den hohen Ansprüchen gerecht werden. Je höher das Schallschutzniveau der Trennbauteile, umso maßgeblicher wird die Flankenübertragung, weshalb diese auch im Holzbau nicht mehr außer Acht gelassen werden sollte.

Die EN 12354 beinhaltet ein Berechnungsverfahren, bei welchem die Flankenübertragungswege mitberücksichtigt werden. Die maßgebende Kenngröße dabei ist das sogenannte Stoßstellendämm-Maß Kij. Dieses wurde im Rahmen von Labormessungen für die verschiedenen Stoßstellenarten ermittelt. Außerdem wurde die Verwendung unterschiedlicher Verbindungsmittel untersucht. Dabei zeigte sich die Bedeutung einer ordnungsgemäßen und sauberen Entkoppelung der Flanken und auch der verwendeten Verbindungsmittel.

2. Theorie Flankenübertragung

Ein bestimmter Anteil der gesamten Schallübertragung findet über die flankierenden Bauteile in Form von Körperschallübertragung statt. Je höher die Schallisolation des trennenden Bauteils, desto entscheidender ist die elastische Entkopplung der Flanke.

2.1. Körperschallübertragung im Allgemeinen

Von Körperschallübertragung spricht man bei einer Schallübertragung über mechanische Schwingungen im Bauteil. Die auf das Bauteil auftreffende oder eingebrachte Schallleistung wird zu einem bestimmten Teil reflektiert. Der übrige Teil wird von der Wand absorbiert und entweder durch Dissipation aufgenommen oder über Transmission direkt (Hauptwege) oder indirekt (Flankenwege) weitergeleitet.

Die Übertragung von Körperschall kann grundsätzlich verringert werden durch (Möser / Kropp 2010):

- Material- oder Querschnittswechsel
- Ecken und Verzweigungen
- Dämmung durch Sperrmassen
- Elastische Zwischenschichten

Änderungen am Material, dem Querschnitt oder der Geometrie sind in der Regel für den Schallschutzplaner nicht beeinflussbar. Hingegen sind elastische Zwischenschichten eine sehr effektive Möglichkeit. Denn der Schutz vor Körperschall hängt stark vom Unterschied der Impedanzen der beteiligten Materialien ab.

Zwischen einem „schallharten“ Baumaterial und einem „schallweichen“ Elastomer als elastische Isolationsschicht entsteht ein großer Impedanz-Sprung. Folglich eignet sich diese Lösung sehr gut zur effektiven Verhinderung der Flankenschall-Übertragung.

2.2. Übertragungswege Flankenschall

Neben der direkten Schallübertragung durch das Trennbauteil inklusive etwaiger zusätzlicher Ebenen, wie beispielsweise einem fließenden Estrich oder einer abgehängten Decke, werden Nebenwege über die Flankenbauteile definiert.

Die Nomenklatur erfolgt über zwei Indizes, wobei der erste Index groß geschrieben das Eintrittsbauteil und der zweite Index kleingeschrieben das Austrittsbauteil bezeichnet (Direkt oder Flanke).

Am Beispiel einer Übertragung von einem oberen Senderaum in einen unteren Empfangsraum ergeben sich die einzelnen Übertragungswege wie folgt.

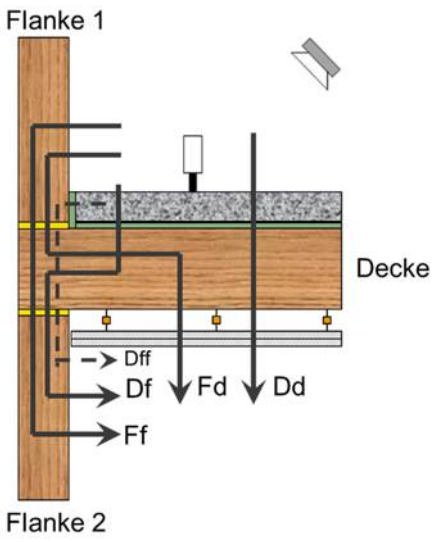


Abbildung 1: Übertragungswege am T-Stoß von oben nach unten

Im Trittschall (5 Übertragungswege):

- Direkt Dd (1x)
- Decke – Flanke Df (4x)

Im Luftschall (13 Übertragungswege):

- Direkt Dd (1x)
- Decke – Flanke Df (4x)
- Flanke – Decke Fd (4x)
- Flanke – Flanke Ff (4x)

Im vorliegenden Beispiel könnte als Nebenweg die Übertragung über den Estrich in die obere Flanke und von dort weiter in die *untere* Flanke identifiziert werden. Bei sorgfältig ausgeführtem Randdämmstreifen kann diese Übertragung aufgrund der vergleichsweise geringen Kontaktfläche in der Regel vernachlässigt werden.

2.3. Schallentkopplung Masse-Feder-System

Entkopplungen der Flanke mittels elastischem Material funktionieren als Masse-Feder-Systeme. Der Wirkungsgrad ist stark frequenzabhängig. Oberhalb der Resonanzfrequenz ergibt sich eine Verbesserung der Schalldämmung. Im Resonanzbereich können die Amplituden durch einen Materialdämpfungsanteil reduziert werden.

Die Resonanzfrequenz bestimmt sich aus der dynamischen Steifigkeit des Material und der aufgebrachten Systemmasse. Elastomere aus PUR weisen einen idealen dynamischen Belastungsbereich auf, weshalb eine optimale Abstimmung auf die vorhandene Lastsituation sinnvoll ist.

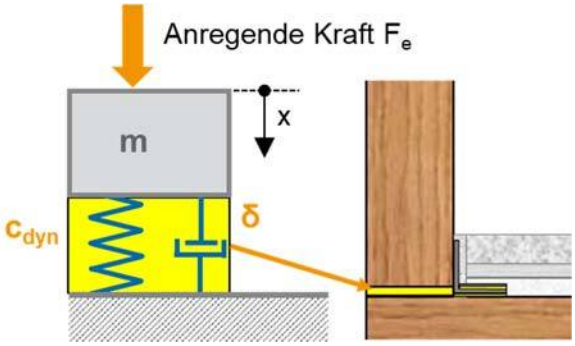


Abbildung 2: Masse-Feder-Modell einer elastischen Flankendämmung

3. Berechnung der Flankenübertragung

In der EN 12354-1 sind Verfahren für die Berechnung der Luftschallübertragung bzw. in der EN 12354-2 für die Berechnung der Trittschallübertragung zwischen zwei Räumen angegeben. Neben einem vereinfachten Verfahren mit dem Einzahlwert des resultierenden Flankendämm-Maßes bzw. des resultierenden Norm-Trittschallpegels als Ergebnis ist auch ein detailliertes, frequenzabhängiges Verfahren beschrieben.

Bei beiden Verfahren wird für jeden Übertragungsweg separat das Luftschalldämm-Maß bzw. der Trittschallpegel bestimmt:

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + \overline{D_{v,ij,situ}} + 10\lg\frac{S_S}{\sqrt{S_i S_j}} \quad \mathrm{dB}$$

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} - \Delta L_{situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - \Delta R_{j,situ} - \overline{D_{v,ij,situ}} - 10\lg\sqrt{\frac{S_i}{S_j}} \quad \mathrm{dB}$$

mit

R_i, R_j bzw. L_n … Luftschalldämm-Maß bzw. Trittschallpegel des Grundbauteils

$\Delta R_i, \Delta R_j$ bzw. ΔL … Verbesserung durch Vorsatzschale oder schwimmenden Estrich

$\overline{D_{v,ij,situ}}$ … Schnellepegeldifferenz als Maß für die Flankenübertragung

Vorgehensweise unter Verwendung herstellerbezogener Kij-Werte:

1. Kij-Werte aus Messergebnissen (Hersteller)
2. Anpassung an Bausituation

$$\overline{D_{v,ij,situ}} = K_{ij} - 10\lg\frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} a_{j,situ}}}$$

mit $a_{i,situ}, a_{j,situ}$ … äquivalente Absorptionslänge des Bauteils unter Baubedingungen

Dabei handelt es sich um die normierten Größen aller durch Dissipation des Bauteils und Transmission der Bauteiloberfläche bzw. der Bauteilflanken vorhandener Verluste (innere Verluste, Verluste aus Abstrahlung, Verluste an den Bauteilrändern).

3. Berechnung aller Übertragungswege für Luft- bzw. Körperschall

Aus der energetischen Aufsummierung der einzelnen Übertragungswege ergibt sich das resultierende Flankendämm-Maß bzw. der resultierende Norm-Trittschallpegel inklusive Flankenübertragung!

Anmerkung:

Im vereinfachten Modell nach EN 12354 wird die folgende Vereinfachung angewendet:

$a_{i,situ} = S_{i,situ}$ bzw. $a_{j,situ} = S_{j,situ}$ (zahlenmäßige Gleichheit)

Damit vereinfacht sich Schallübertragung am Beispiel des Luftschalls zu:

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + K_{ij} + 10\lg\frac{S_S}{l_{ij} l_0} \quad \mathrm{dB}$$

4. Labormessung Stoßstellendämm-Maß

Labormessungen zur Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes wurden unter anderem an der EMPA (Eidgenössische Materialprüfanstalt, Dübendorf / CH) an unterschiedlichen Stoßstellentypen und Verbindungsmitteln durchgeführt. Weiterführende Untersuchungen am TGM (Technologisches Gewerbemuseum, Wien) zeigten den positiven Einfluss elastisch entkoppelter Verbindungsmittel.

4.1. Durchführung der Messung

Der Prüfaufbau umfasst das Trennbauteil sowie die Flankenbauteile der jeweiligen Stoßsituation. Zu unterscheiden sind dabei: T-Stoß, X-Stoß (Kreuzstoß) oder L-Stoß. Nacheinander werden die beiden flankierenden Bauteile jeder Übertragungssituation mittels Shakers breitbandig angeregt und die Schnellepegel an diesen beiden Bauteilen gemessen. Anschließend ergibt sich die Schnellepegeldifferenz je Richtung.

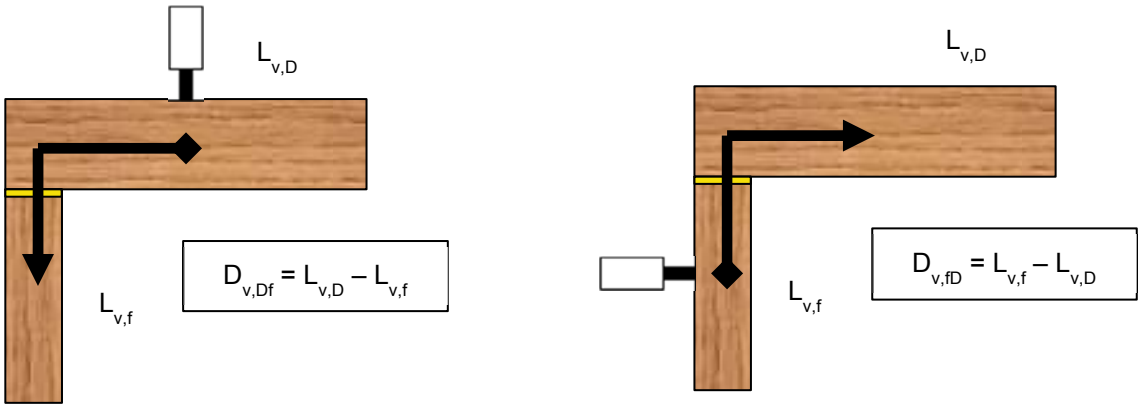


Abbildung 3: Ermittlung der Schnellepegeldifferenz am Beispiel eines L-Stoßes

Die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz ist die situationsbedingte Größe zur Flankenübertragung. Sie definiert die Flankendämmung in einer konkreten Situation und ist abhängig von

- der Bauteilgröße (Verluste durch Abstrahlung und Weiterleitung),
- den Einspannbedingungen und
- der gemeinsamen Kantenlänge.

Richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz (arithmetisches Mittel):

$$\overline{D_{v,ij}} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2}$$

Um die Systemeigenschaften der Flanke beurteilen bzw. vergleichen zu können, wird mit dem Stoßstellendämm-Maß Kij eine invariante (situationsunabhängige) Größe verwendet. Um dies zu erreichen, wird die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz normiert bezüglich der gemeinsamen Kantenlänge l_{ij} sowie der äquivalenten Absorptionslängen a_i und a_j. Letztere sind abhängig von der Elementgröße und dessen Körperschall-Nachhallzeit, also den Verlusten wie in Abschnitt 3 erläutert.

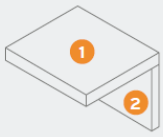
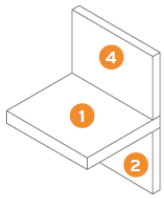
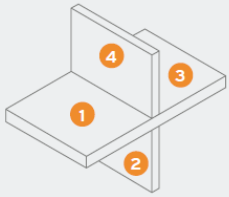
Stoßstellendämm-Maß:

$$K_{ij} = \overline{D_{v,ij}} + 10\lg\frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}}$$

Die Verwendung einer invarianten Größe zum Vergleich von Systemeigenschaften ist übrigens nicht neu, sondern wird auch bei der Luftschallübertragung verwendet: Pegeldifferenz $D = L_1 - L_2$ (situationsabhängig) bzw. Schalldämm-Maß R (invariante Größe).

4.2. Kij-Werte im Holz-Massivbau

In Abbildung 4 sind die zusammengefassten Messergebnisse des Flankendämm-Maßes für die unterschiedlichen Stoßausführungen als Einzahlangabe dargestellt. „Starr“ bezeichnet eine im Holzbau übliche Verschraubung ohne elastischer Entkopplung.

Starr	Sylodyn® 12,5 mm inkl. Elastischer Verbindungsmittel	Sylodyn® 6 mm inkl. Elastischer Verbindungsmittel	Stoßausführung
K_{12} = 10,1 dB Mittelwert aus verschiedenen Prüfständen	K_{12} = 23,1 dB	K_{12} = 17,2 dB	
K_{12} = 12,6 dB Mittelwert aus verschiedenen Prüfständen	K_{12} = 24,5 dB	K_{12} = 20,6 dB	
K_{24} = 20,8 dB Mittelwert aus verschiedenen Prüfständen	K_{24} = 33,3 dB Lager oben oder unten	K_{24} = 29,6 dB Lager oben oder unten	
	K_{24} = 35,1 dB Lager oben und unten	K_{24} = 32,2 dB Lager oben und unten	
K_{12} = 13,6 dB Mittelwert aus verschiedenen Prüfständen	K_{12} = 25,5 dB Lager oben	K_{12} = 20,2 dB Lager oben	
K_{24} = 25,6 dB Mittelwert aus verschiedenen Prüfständen	K_{24} = 35,8 dB Lager oben oder unten	K_{24} = 33,2 dB Lager oben oder unten	
	K_{24} = 39,0 dB Lager oben und unten	K_{24} = 35,7 dB Lager oben und unten	
K_{13} = 6,7 dB Mittelwert aus verschiedenen Prüfständen	K_{13} = 3,8 dB	K_{13} = 4,2 dB	

Quelle: Vibration Reduction Indices of Cross Laminated Timber Structures by Aline Timpte
Frequenzabhängige K_{ij} Werte sowie für andere Lagerdicken und Befestigungslösungen auf Anfrage.

Abbildung 4: Kij-Werte für Stoßstellen aus Sylodyn im Holz-Massivbau (Quelle: Getzner Werkstoffe)

4.3. Einfluss der Befestigung

Bei Messungen am TGM (Technologisches Gewerbemuseum, Wien) durchgeführt von ACOM Research wurde an einem Wand-Deckenknoten (L-Stoß) mit elastischem Lager der Einfluss unterschiedlicher Verbindungsmittel untersucht.

Der Knoten bestand aus einem 140 mm starken BSP-Deckenelement (5-lagig) und einem 100 mm starken BSP-Wandelement (3-lagig). Als Vergleichsbasis wurde der nicht entkoppelte Knoten starr mittels Schrauben im Abstand von 300 mm verbunden.

Für die weiteren Untersuchungen wurde ein 12,5 mm starkes elastisches Lager zur Entkopplung der Schwingungsübertragung zwischen Wand- sowie Deckenelement verbaut und mit unterschiedlichen Verbindungsmitteln bei variierendem Verbindungsmittelabstand das Flankendämm-Maß K_{ij} bestimmt. Zur Aufbringung der Last auf den Bauteilknoten wurden stufenlos einstellbare Hydraulik-Pressen verwendet.

Die folgenden Varianten unterschiedlicher Verschraubungen wurden untersucht:

- Elastisches Lager ohne Befestigung
- Elastisches Lager mit elastischer Verschraubung im Abstand von 500 mm
- Elastisches Lager mit üblicher (nicht entkoppelter) Verschraubung im Abstand von 250 mm

Bei der Variante mit elastischer Verschraubung wurden Unterlegscheiben mit Zentrierhilfe verwendet, welche effektiv den Kontakt mit dem Bohrloch verhindern (siehe Abbildung 6).

Die Ergebnisse zeigen eine kaum reduzierte Wirksamkeit (- 3 %) der Variante mit elastischer Verschraubung im Vergleich zum elastischen Lager ohne Befestigung. Demgegenüber war bei der Variante mit üblicher, nicht entkoppelter Verschraubung ein bedeutender Rückgang der Wirksamkeit zu verzeichnen (- 35 %).

Außerdem untersucht wurde der Effekt einzelner versehentlich nicht oder nicht korrekt entkoppelter Schrauben. Dabei wurden ausgehend von der elastischen Verschraubung im Abstand von 500 mm jeweils 10 % / 20 % / 30 % der Schrauben nicht entkoppelt. Dabei war eine lineare Verschlechterung der Flankendämmung um etwa 0,4 dB je 10 % nicht entkoppelter Schrauben erkennbar.

Tabelle 1: Stoßstellendämm-Maß in Abhängigkeit der Verschraubung

Befestigungsvariante	K_{ij}	Wirksamkeit
Sylodyn® ohne Befestigung	25,4 dB	100 %
Sylodyn® mit elastischer Verschraubung e = 500 mm	25,1 dB	97 %
Sylodyn® Lager mit nicht entkoppelter Verschraubung e = 250 mm	21,8 dB	65 %
Kein Lager, keine entkoppelte Verschraubung e = 300 mm	15,4 dB	0 %

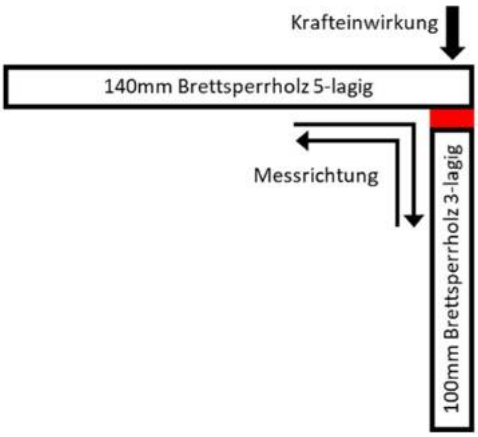


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Prüfaufbaus (Quelle: ACOM Research)

Abbildung 6: Verwendete Unterlegscheiben mit Zentrierhilfe

5. Beispielrechnung Holz-Massivbau

Um den Einfluss der Flankenschalldämmung zu zeigen, wurde eine Beispielrechnung eines Holz-Massivbaus auf Basis des vereinfachten Berechnungsverfahrens nach EN 12354 unter Verwendung der im Labor ermittelten Flankendämm-Maße durchgeführt.

Als Situation wurden zwei übereinanderliegende Räume mit einer Massivholzdecke als trennendes Bauteil angenommen. Die Wände bestehen ebenfalls aus Massivholz.

Trennendes Bauteil (Decke): 80 mm schwimmender Estrich, 160 kg/m²

200 mm Massivholzdecke, 100 kg/m²

Flankierende Bauteile (Wände): 120 mm Massivholzwände, 60 kg/m²

Als ergänzende Schallschutzlösungen werden elastische Flankenentkopplungen zunächst oben und in einem weiteren Schritt unten sowie eine abgehängte Decke eingeführt.

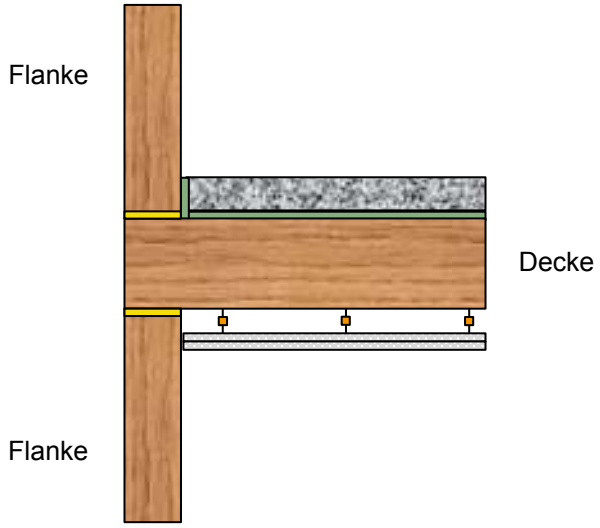


Abbildung 7: Beispielhafte Flankensituation Holz-Massivbau

Gegenübergestellt wurden die Berechnungsergebnisse der allgemein anerkannten Empfehlung 103 der DEGA (Deutsche Gesellschaft für Akustik) mit einer Bewertungsskala für den Luft- und Trittschallschutz bzw. dem Mindest-Schallschutzniveau in Österreich gemäß OIB 5.

Tabelle 2: Bewertungsskala gemäß DEGA-Empfehlung 103

	F	E	D	C	B	A	A*
$L'_{n,w}$	> 60 dB	≤ 60 dB	≤ 50 dB	≤ 45 dB	≤ 40 dB	≤ 35 dB	≤ 30 dB
R'_w	< 50 dB	≥ 50 dB	≥ 54 dB	≥ 57 dB	≥ 62 dB	≥ 67 dB	≥ 72 dB

5.1. Unzureichender Schallschutz

Ergebnis ohne Flankenentkopplung und ohne abgehängter Decke:

R'_w = 49,7 dB → Klasse F

$L'_{n,w}$ = 48,0 dB → Klasse D

Der Mindest-Schallschutz nach OIB 5 wird nicht erreicht!

5.2. Mittlerer Schallschutz

Mit Flankenentkopplung oben, ohne abgehängter Decke:

R'_w = 57,1 dB → Klasse C

$L'_{n,w}$ = 48,2 dB → Klasse D

Der Mindest-Schallschutz nach OIB 5 ist erreicht.

5.3. Erhöhter Schallschutz

Mit Flankenentkopplung oben und mit abgehängter Decke:

R'_w = 63,7 dB → Klasse B

$L'_{n,w}$ = 34,5 dB → Klasse A

Der Schallschutz ist deutlich über dem Mindest-Schallschutz nach OIB 5.

6. Schlussfolgerung

Gesteigerte Anforderungen an den Schallschutz führten im Holzbau zur Entwicklung hochwertiger Wand- und Deckenaufbauten. Umso höher das Niveau der Trennbauteile, desto wichtiger ist eine effiziente schalltechnische Entkopplung der Nebenwege, was in einer Beispielrechnung gezeigt werden konnte.

Das verwendetet Verfahren zur Berechnung der Schalldämmung inklusive der Nebenwege ist in EN 12354 enthalten. Darin definiert das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} die Effektivität der Flankenentkopplung. Aus umfangreichen Messreihen mit Dämmstreifen aus Sylodyn konnten K_{ij}-Werte für alle vorhandenen Übertragungssituationen abgeleitet werden.

Untersuchungen zum Einfluss der Befestigung zeigten kaum Einbußen bei Verwendung von sorgfältig elastisch entkoppelter Schrauben, wohingegen bei Verwendung starrer Schrauben ein Wirksamkeitsverlust von 35 % gemessen wurde. Dabei weisen schon einzelne nicht entkoppelte Schrauben einen deutlichen Effekt auf die gesamte Stoßstelle auf.

7. Literatur

ÖNORM EN ISO 12354-1: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen, 2018-03-01

ÖNORM EN ISO 12354-2: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen, 2017-11-01

Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: DEGA Empfehlung 103, Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutznachweis, 2018

W. Fasold, E. Veres: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, 2003

H.-M. Fischer, M. Schneider: Handbuch zu DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau, 2019

M. Möser, W. Kropp: Körperschall. Physikalische Grundlagen und technische Anwendung, 2010

CURRICULUM VITAE

Dipl. Ing.

Gustav LUCKINGER

Akustik Engineering Luckinger e.U.
Scheibengasse 18
7033 Pöttsching

gustav.luckinger@ae-luckinger.at

1982 - 1988

Studium der Elektrotechnik Studienzweig industrielle Elektronik und Regelungstechnik

Seit 1990

Im Bereich Messtechnik im Bereich Schall- und Schwingungsmesstechnik tätig

1990 -1994

Messtechnik bei Semperit Reifen AG, u.a. Modalanalyse, Schallintensität

1995 - 2011

Brüel & Kjaer Vertrieb und Applikation und Leitung im Bereich Schall- und Schwingungsmesstechnik

2012

Gründung technisches Büro Akustik Engineering Luckinger e.U.

Seit 2017

Sachverständiger

Mitarbeit im Normenausschuss
K138 Akustik und Schwingungen und
K208 Akustische Eigenschaften von Bauprodukten und von Gebäuden

Resonanzen - Beispiele aus der Praxis

DI Gustav Luckinger, Akustik Engineering Luckinger e.U., A-7033 Pöttsching

1. Einleitung

Moderne Bauten sind thermisch sehr gut gedämmt. Diese gute Dämmung bewirkt natürlich niedrigere Energiekosten. Es bewirkt aber auch, dass es im Innenraum immer leiser wird. Trotzdem gibt es fallweise Lärmbeschwerden. Die Frage ist, wie kommt der Lärm, trotz „guter“ Dämmung in das Gebäude. An Hand von Beispielen werden unterschiedliche Konstruktionen von Außenbauteilen und Bodenaufbauten näher analysiert. Dabei wird besonders auf den Einfluss von Resonanzen eingegangen.

Resonanzen spielen bei der aktuell diskutierten ÖNORM B 8115-5 eine wesentliche Rolle. Die Berechnung ist Bestandteil von ÖNORM B 8115-4. An Hand von Beispielen wird aufgezeigt, wie man diese abschätzen bzw. einfach messen kann.

2. Resonanz

Im Baubereich kommen meist 2 und mehrschalige Konstruktionen zum Einsatz. Diese sind z.B.

- Fenster 2 oder 3-fach Verglasung
- 2 biegeweiche Schalen mit Einlage im Leichtbau mit GKP
- Abgehängte Decken
- Schwimmender Estrich auf Decke

Ein Bild aus der aktuellen ÖNORM B 8115-4 zeigt dies:

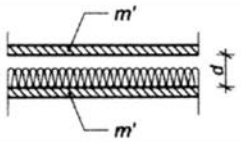
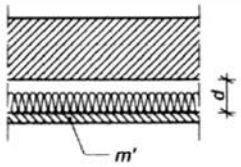
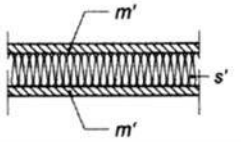
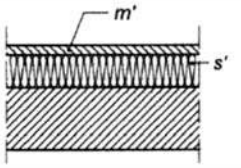
Zeile	Aufbau der zweischaligen Bauteile	
1	Zwei biegeweiche Schalen, mit Luft mit schallabsorbierender Einlage[1]) [2])	
2	Biegeweiche Schale vor schwerer biegesteifer Wand oder als Unterdecke unter Massivdecke, Luftschicht mit schallabsorbierender Einlage[1]) [2])	
3	Zwei biegeweiche Schalen mit einer Dämmschicht der dynamischen Steifigkeit s', die mit beiden Schalen vollflächig verbunden ist	
4	Biegeweiche Schale mit Masse m' vor schwerer biegesteifer Wand mit einer Dämmschicht der dynamischen Steifigkeit s', die mit beiden Schalen vollflächig verbunden ist, auch schwimmender Estrich auf Massivbeton	

Abbildung 1: Aufbauten verschiedener 2 schaliger Konstruktionen

Die Resonanzfrequenz errechnet sich mit der Formel:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s' \cdot \left(\frac{1}{m_1'} + \frac{1}{m_2'} \right)} \qquad \text{in Hz}$$

Dabei ist

s‘	dynamische Steifigkeit der Zwischenschicht in MN /m³
m_1‘, m_2‘	flächenbezogene Masse der Schalen in kg / m³

s‘ = $\frac{0{,}14}{d}$	für Luft
s‘ = $\frac{0{,}11}{d}$	für Luft mit schallabsorbierender Einlage

3. Beispiele

3.1. Ziegelwand mit Wärmedämmverbundsystem

Bei einem Einfamilienhaus kam es zu Beschwerden, dass man LKWs, Traktore und Motorräder besonders laut im Innenraum hört und bei Regen der Lärm von der Attika Verblechung und des Abflusses stört. Das Haus liegt an einer Ortsausfahrt und ist ca. 32 m von der Straße entfernt. Das folgende Bild zeigt die Lage. Interessanter weise gibt es seitens des unmittelbar südlich neben der Straße liegenden Hauses keine Beschwerden.

Die Fenster sind 3 - fach verglast und der Wandaufbau ist:

- Innenputz
- 25 cm Ziegel
- WDVS mit 20 cm Styropor
- Außenputz

Abbildung 2: Luftbild mit Lage des Hauses

Die Daten der Ziegelwand laut Hersteller sind:

Tabelle 1: Schalldämmwerte der Ziegelwand laut Hersteller

GK	Rw
Ziegelwand unverputzt	48
Ziegelwand beidseitig verputzt mit 2 cm Kalkzementmörtel	53

Die wesentliche Frage ist, ob es in einem solchen Haus überhaupt schalltechnische Probleme geben kann. Messungen im Innenraum zeigen einige interessante Details.

Das folgende Bild zeigt den Pegelschrieb einer Lärmmessung im Innenraum eines vorbeifahrenden Traktors.

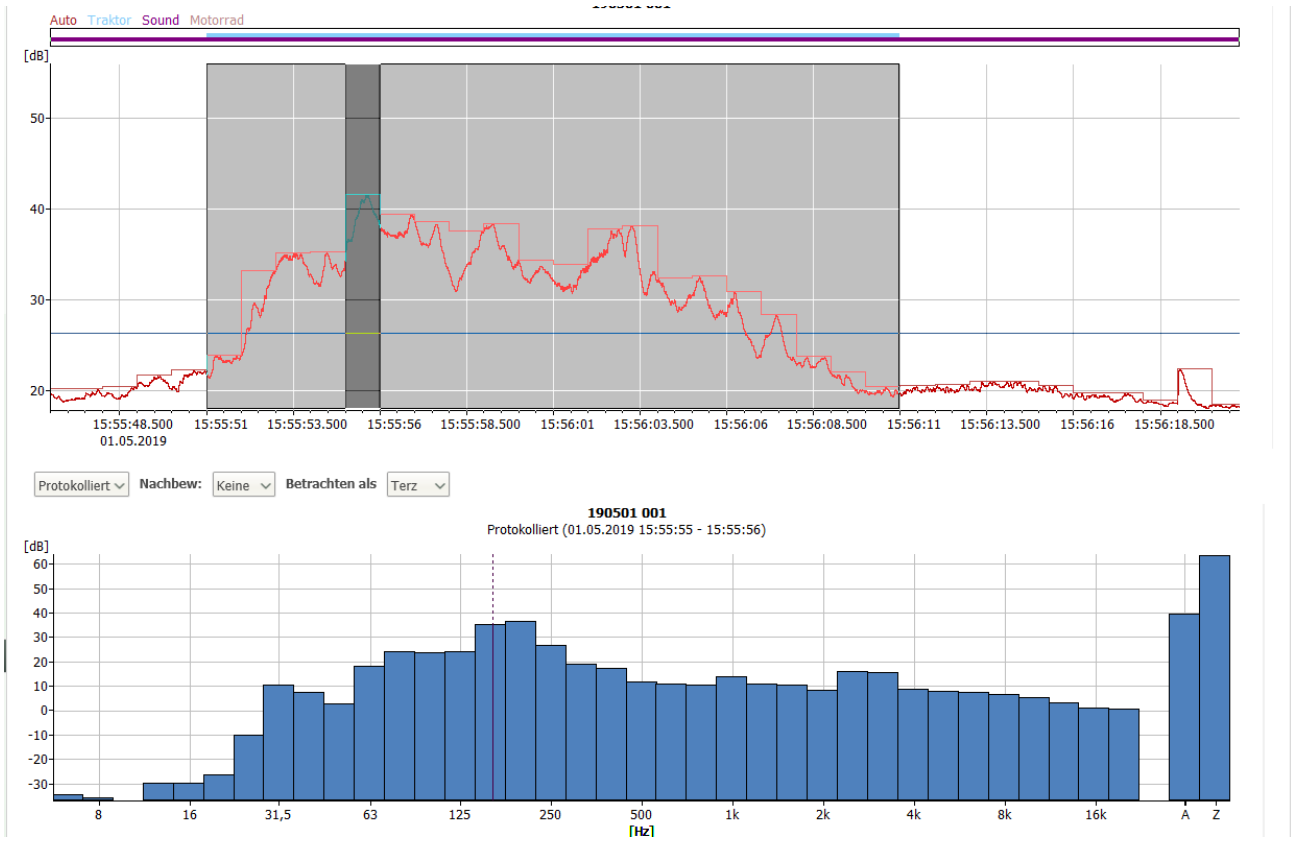


Abbildung 2: Pegelschrieb eines vorbeifahrenden Traktors

Der Pegelschrieb zeigt einen maximalen Pegel $L_{AF,Max}$ = 41,7 dB(A). Im Terzspektrum sind die 160 Hz und die 200 Hz Terz besonders ausgeprägt. Ein vorbeifahrendes Auto zeigt einen $L_{AF,Max}$ = 45,6 dB(A) und ein Motorrad hat den höchsten Wert mit $L_{AF,Max}$ = 55,3 dB(A). Beanstandete Regengeräusche des Gully Abflusses zeigen einen L_{Aeq} = 35,5 dB(A) und ausgeprägte Terzen 200 Hz – 315 Hz.

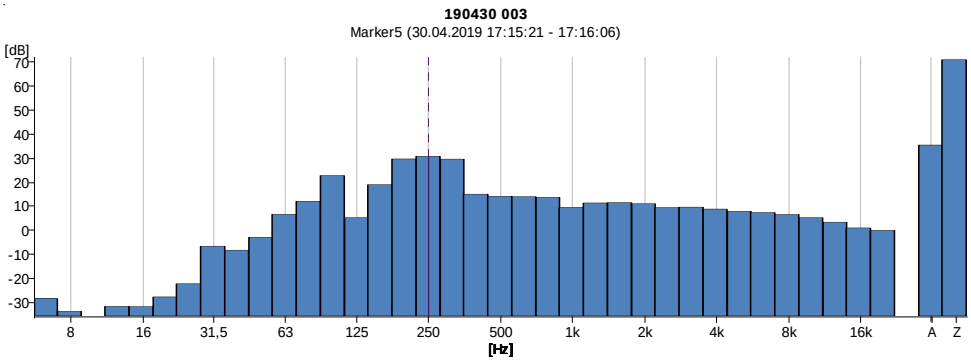
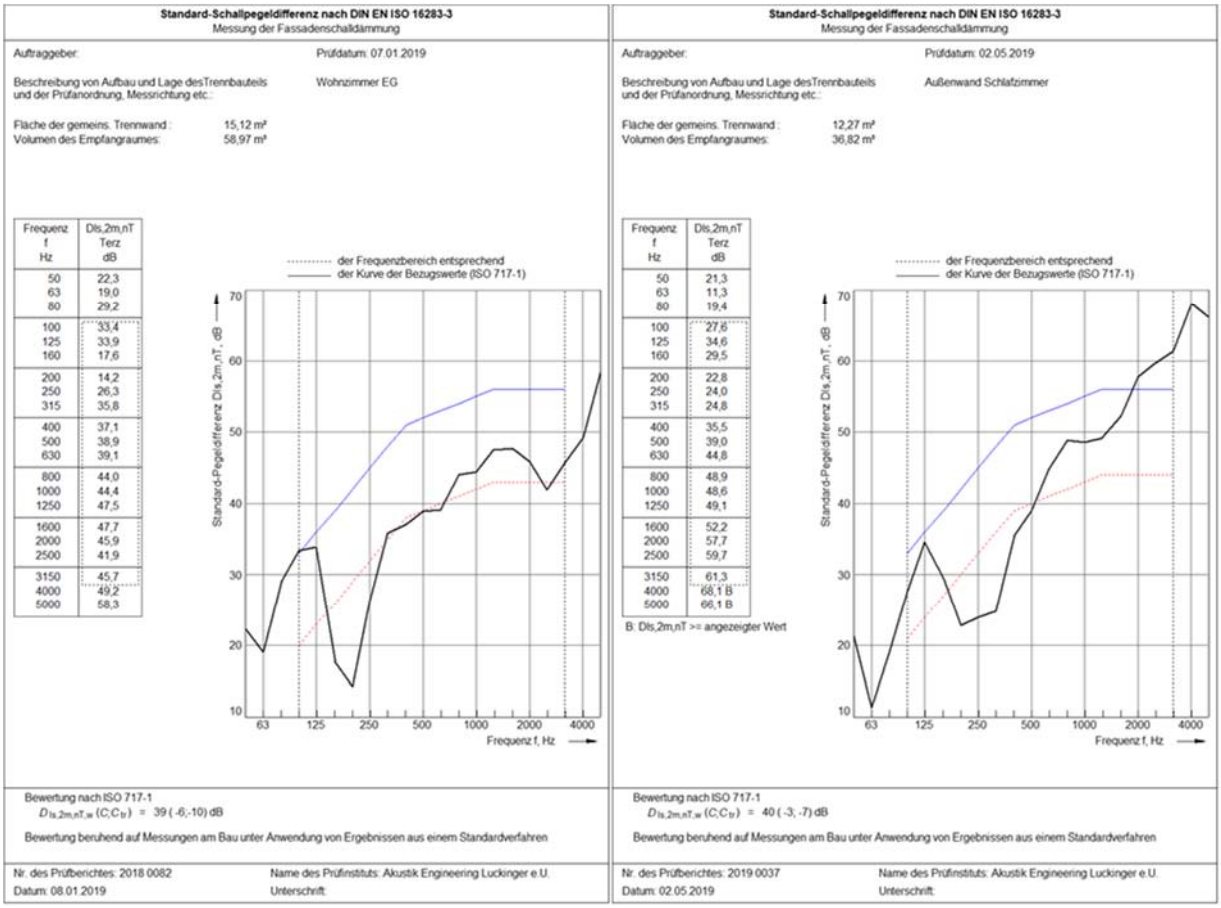


Abbildung 3: links: Terzspektrum Abflussgeräusche eines Gullys bei Regen, rechts: Wand mit Attika und Gully

2 Messungen der Fassadenschalldämmung nach ÖNORM EN ISO 16283-3 zeigen einen deutlichen Einbruch in der Schalldämmung.



Standard-Schallpegeldifferenz nach DIN EN ISO 16283-3
Messung der Fassadenschalldämmung

Auftraggeber:
Prüfdatum: 07.01.2019
Beschreibung von Aufbau und Lage des Trennbauteils und der Prüfanordnung, Messrichtung etc.: Wohnzimmer EG
Fläche der gemeins. Trennwand: 15,12 m²
Volumen des Empfangraumes: 58,97 m²

Frequenz f Hz	Dls,2m,nT Terz dB
50	22,3
63	19,0
80	29,2
100	33,4
125	33,9
160	17,6
200	14,2
250	26,3
315	35,8
400	37,1
500	38,9
630	39,1
800	44,0
1000	44,4
1250	47,5
1600	47,7
2000	45,9
2500	41,9
3150	45,7
4000	49,2
5000	58,3

Bewertung nach ISO 717-1
$D_{ls,2m,nT,w}$ (C;C_{tr}) = 39 (-6;-10) dB
Bewertung beruhend auf Messungen am Bau unter Anwendung von Ergebnissen aus einem Standardverfahren

Nr. des Prüfberichtes: 2018 0082
Datum: 08.01.2019
Name des Prüfinstituts: Akustik Engineering Luckinger e.U.
Unterschrift:

Standard-Schallpegeldifferenz nach DIN EN ISO 16283-3
Messung der Fassadenschalldämmung

Auftraggeber:
Prüfdatum: 02.05.2019
Beschreibung von Aufbau und Lage des Trennbauteils und der Prüfanordnung, Messrichtung etc.: Außenwand Schlafzimmer
Fläche der gemeins. Trennwand: 12,27 m²
Volumen des Empfangraumes: 36,82 m²

Frequenz f Hz	Dls,2m,nT Terz dB
50	21,3
63	11,3
80	19,4
100	27,6
125	34,6
160	29,5
200	22,8
250	24,0
315	24,8
400	35,5
500	39,0
630	44,8
800	48,9
1000	48,6
1250	49,1
1600	52,2
2000	57,7
2500	59,7
3150	61,3
4000	66,1 B
5000	66,1 B

B: Dls,2m,nT >= angezeigter Wert

Bewertung nach ISO 717-1
$D_{ls,2m,nT,w}$ (C;C_{tr}) = 40 (-3;-7) dB
Bewertung beruhend auf Messungen am Bau unter Anwendung von Ergebnissen aus einem Standardverfahren

Nr. des Prüfberichtes: 2019 0037
Datum: 02.05.2019
Name des Prüfinstituts: Akustik Engineering Luckinger e.U.
Unterschrift:

Abbildung 4: Schalldämmung der Fassade im Wohnzimmer links und Schlafzimmer rechts

Deutlich sieht man den Einbruch in der Schalldämmung bei 160 – 200 Hz im Wohnzimmer und 200 Hz – 315 Hz im Schlafzimmer. Die Messungen erfolgten bei unterschiedlichen Temperaturen.

Tabelle 2: Schalldämmung der Fassade

GK	$D_{2m,nT,w}$	$R'_{res,w}$	$R'_{res,w}$ + Ctr	T [°C]
Wohnzimmer EG	39	42,4	32,4	0°C
Schlafzimmer 1.OG	40	44,5	37,5	22°C

Die Einzahlwerte $R'_{res,w}$ liegen im Bereich der Anforderung von 43 dB nach OIB 5 Richtlinie für opake Bauteile.

Durch Abklopfen der Fassade und Messen mit dem Schallpegelmesser bestätigt sich der Verdacht eines Resonanz Problems der Fassade.

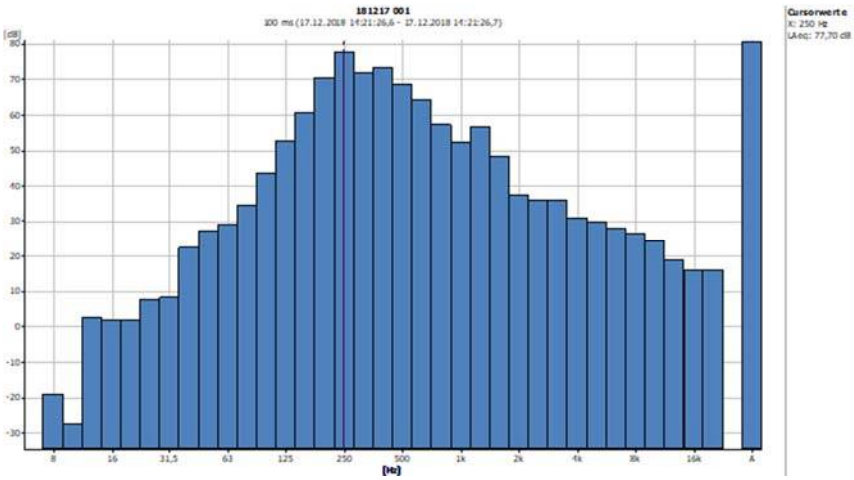


Abbildung 5: Terzspektrum bei Abklopfen der Fassade

In obiger Grafik sieht man deutlich das ausgeprägte Maximum bei 250 Hz.

Der gesetzlich erforderliche Wert $R'_{res,w}$ beschreibt nur ungenügend den Sachverhalt. Die Regengeräusche werden indirekt über die Fassade in den Innenraum übertragen. Der große Unterschied der Lage der Resonanz zwischen beiden Messungen deutet auf einen Einfluss der Temperatur, auf die Werkstoffparameter des Styropors, bzw. auf unterschiedliche Putzstärke hin.

3.2. Messung mit Minishaker am Beispiel einer Fassade und eines Flachdaches

Im folgenden Beispiel wird ein Haus mit Flachdach bestehend aus einer Holzkonstruktion mit Blechdeckung und einer 25 cm Stahlbetonwand mit 14 cm Styropor WDVS näher analysiert. Beanstandet wurde, dass man vor allem Regengeräusche deutlich hört. Bei der Gelegenheit wurde im Innenraum ein Schallpegelmesser aufgestellt und mit einem kleinen Minishaker mit rosa Rauschen die Fassade und das Blechdach angeregt. Die folgenden Bilder zeigen das Haus und die Shaker Anregung der Wand.

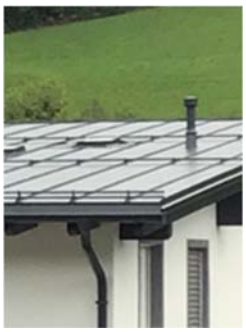
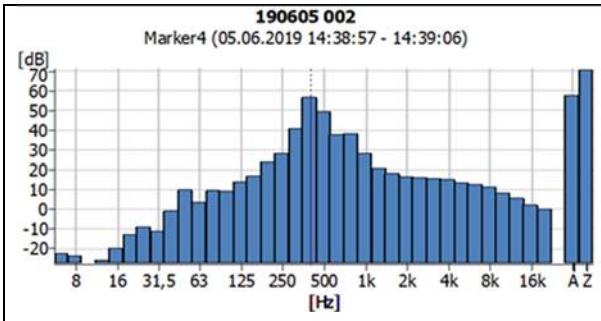
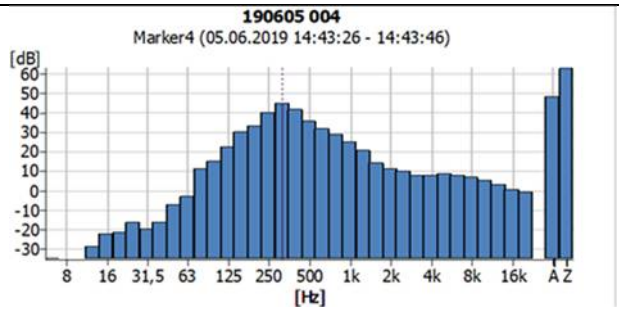


Abbildung 6: links: Haus mit Flachdach und Wand mit WDVS, rechts: Anregung der Wand mit Minishaker

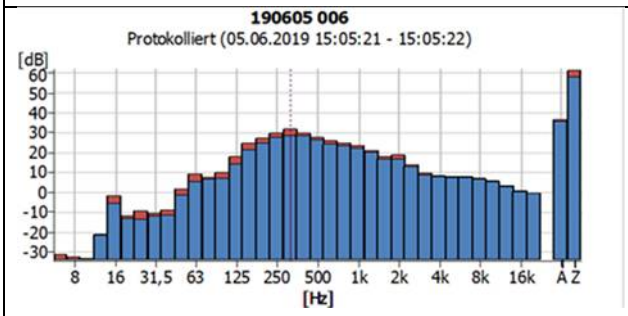
Die folgenden Bilder zeigen die Spektren der Messungen im Innenraum.



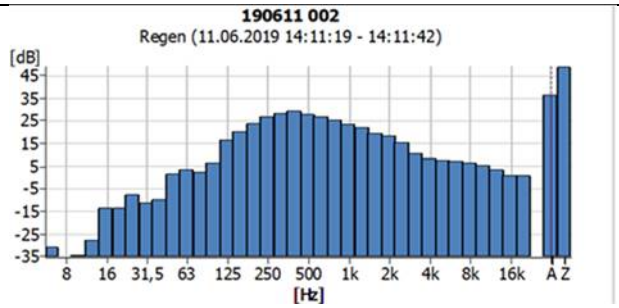
Anregung des WDVS mit Minishaker, Maximum bei 400 Hz



Anregung des Blechdachs mit Minishaker Maximum bei 315 Hz



Messung mit Rasenregner



Messung bei Regen $L_{A,eq}$ = 36,5 dB(A)

Abbildung 7: Messungen bei verschiedenen Bedingungen

Obige Terzspektren zeigen recht deutlich, die ausgeprägte Resonanz der 25 cm Stahlbetonwand mit dem 14 cm WDVSs in der 400 Hz Terz. Das Blechdach ist weit gedämpfter mit einem Maximum bei 315 Hz. Die Charakteristik ist sehr ähnlich der Messung bei Regen. Die Simulation mit einem Rasenregner wird durch die Messung bei Regen bestätigt.

Das einfache Verfahren mit Mini Shaker Anregung eignet sich sehr gut zur einfachen Detektion von Resonanzen.

3.3. Messung der Resonanzfrequenz mit Minishaker im Holzbau

Interessant ist natürlich das vorhin vorgestellte einfache Verfahren auch im Holzbau auszuprobieren. Dies konnte an 2 Konstruktionen durchgeführt werden.

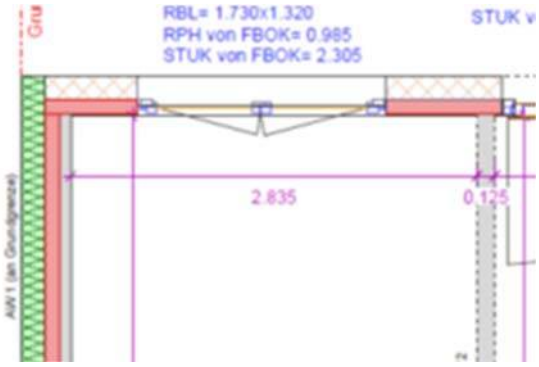


Abbildung 8: Planausschnitt Holzaußenwand

Tabelle 3: Wandaufbau

Außenwand links mit Steinwolle	Außenwand oben mit Holzfaserdämmplatte
0,5 cm Spachtelung und Außenputz	0,5 cm Spachtelung und Außenputz
16 cm Steinwolldämmung	16 cm Holzfaserdämmplatte
10 cm Brettsperrholz	10 cm Brettsperrholz
5 cm Installationsebene inkl. Mineralwolle	1,25 cm GKP
1,5 cm OSB Platte	
1,25 cm GKP	

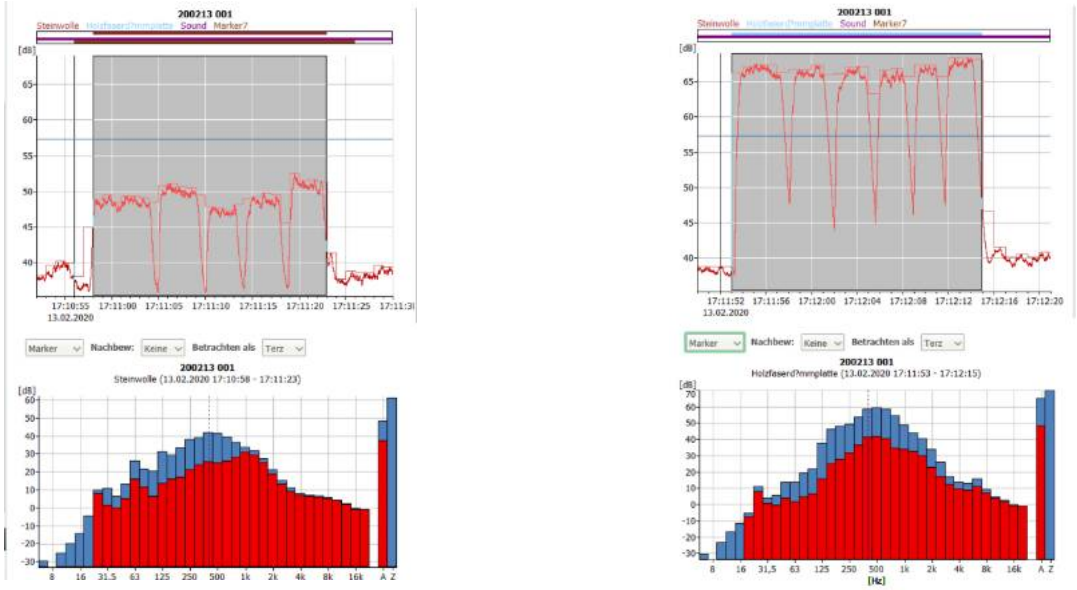


Abbildung 9: Messung links Außenwand mit Steinwolle, rechts Außenwand mit Holzfaserdämmplatte

Die Messungen zeigen ein breitbandiges Maximum bei ~ 400 - 500 Hz. Die Pegel mit der Holzfaserdämmplatte sind deutlich höher. Es sind aber keine ausgeprägten Resonanzen, wie bei WDVS mit Styropor erkennbar.

3.4. Messung der Resonanzfrequenz eines Estrichs

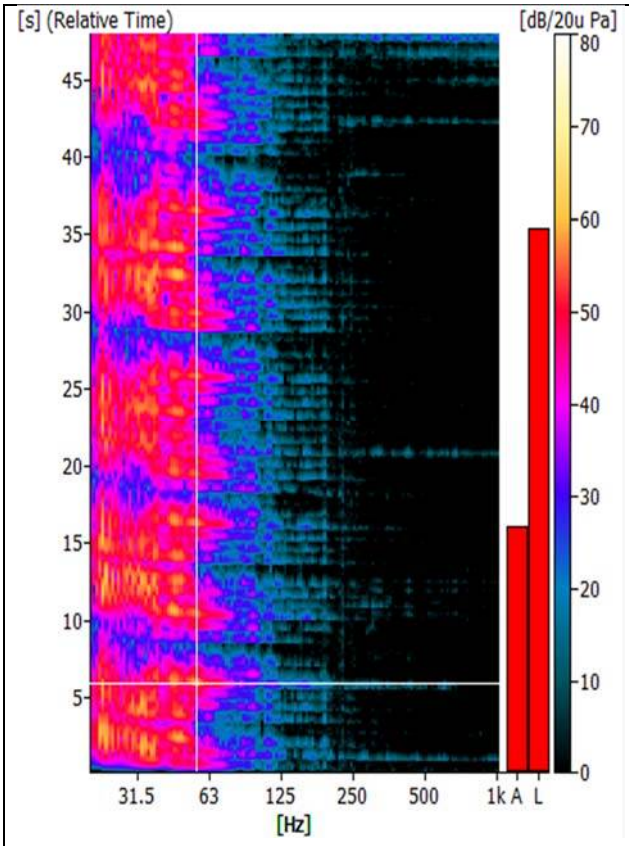
Beim Estrichaufbau spielt die Lage der Resonanz eine wesentliche Rolle. Der Minishaker ist dafür aber nicht geeignet, da er erst ab ca. 200 Hz arbeitet. Praktischer ist es z.B. Fersengang oder einen Gummihammer als Quelle zu verwenden. Die folgenden Bilder zeigen die Anwendung.

Fersengang

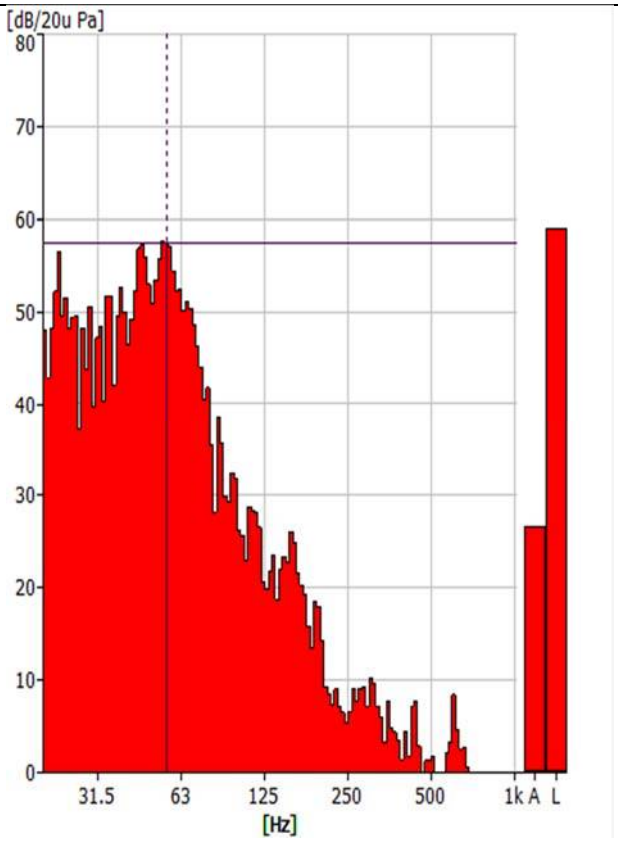
Anregung mit Gummihammer

Abbildung 10: Fußbodenanregung mit Fersengang oder Gummihammer

Im Empfangsraum verwendet man den Schallpegelmesser mit Tonaufzeichnung zur Erfassung des Lärms. Das folgende Wasserfalldiagramm zeigt Gehgeräusche mit Fersengang in einer Wohnung bei einem guten Estrich mit L'_{nTw} = 34 dB.



Wasserfalldiagramm

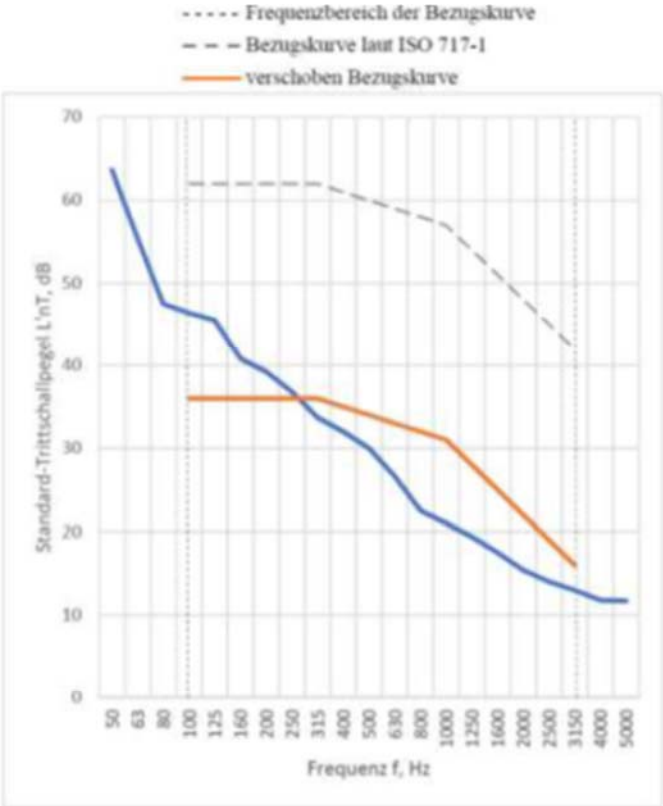


1/24 Oktav Spektrum, Maximum bei 53 Hz

Abbildung 11: Fersengang, Wasserfalldiagramm, 1 / 24 Oktav Spektrum eines Fersenganges

Frequenz f Hz	L'_{nT} Terz dB
50	63,6
63	55,4
80	47,5
100	46,4
125	45,5
160	40,8
200	39,2
250	36,8
315	33,7
400	32,0
500	30,0
630	26,6
800	22,5 B
1000	21 B
1250	19,4 B
1600	17,5 B
2000	15,4 B
2500	14 B
3150	13 B
4000	11,8 B
5000	11,7 B

*B: L'_{nT} =< angezeigter Wert



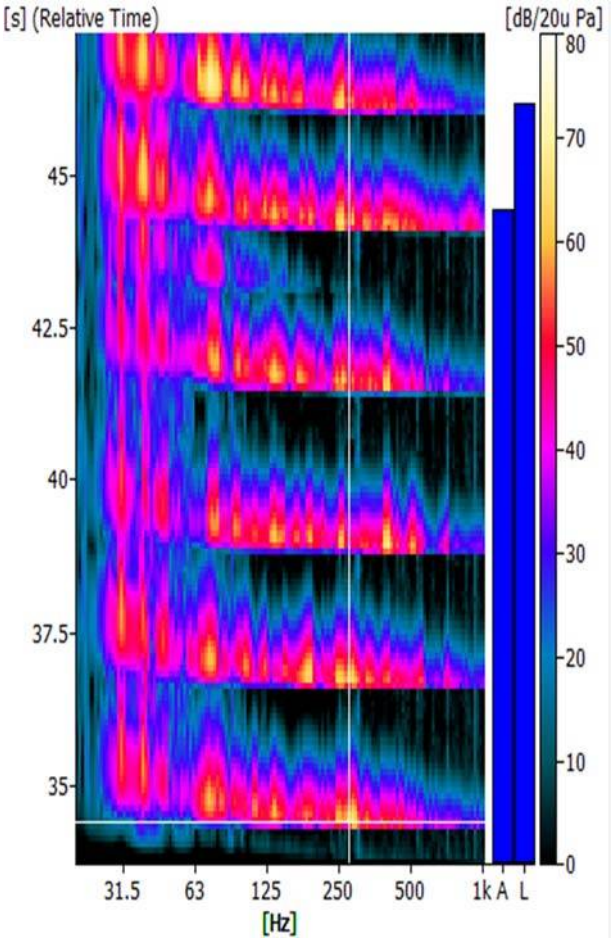
Bewertung nach ISO 717-2

$L'_{nT,W}(C_I) =$ 34 (1)dB $C_{I,50-2500} =$ 15 dB

Die Ermittlung basiert auf Gebäudemessungen, die in Terzbändern gewonnen wurden

Abbildung 12: Messergebnis L'_{nTw} Messung

Die obige Trittschallmessung bestätigt das Maximum bei ~ 53 Hz. Ein Vergleich mit einem schlechten Estrich zeigt deutlich die Unterschiede. Das Wasserfalldiagramm zeigt sehr viele hochfrequente Anteile. Der Pegelschrieb kann zur Lokalisation der Kopplung eingesetzt werden. Das folgende Beispiel zeigt das Ergebnis des Fersenganges an einem schlechten Aufbau mit Schwachstellen.



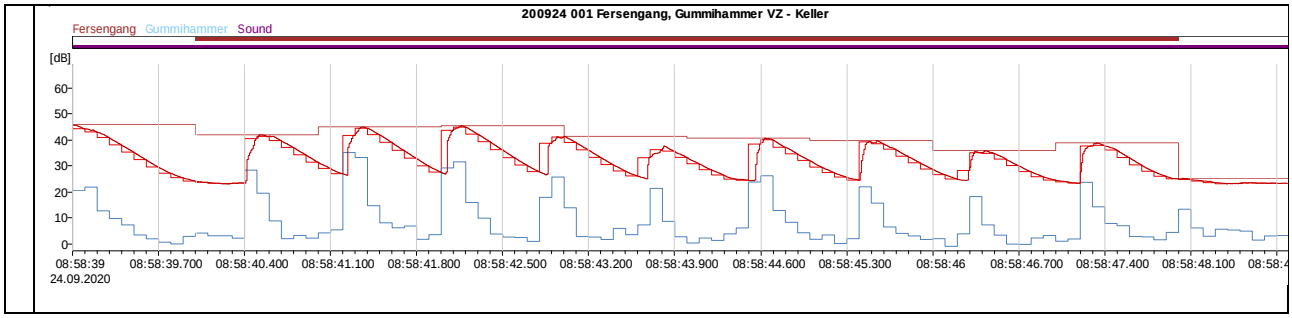


Abbildung 12: Messung Fersengang an schlechtem Aufbau, oben Wasserfalldiagramm, unten Pegelschrieb

Deutlich sieht man die Unterschiede im Verlauf des Summenpegels und in der 250 Hz Terz.

4. Schlussfolgerung

Schwachstellen in Konstruktionen basierend auf Resonanzen bzw. Kopplungen können oft mit bestehender Messausrüstung, einem Schallpegelmesser mit Pegelschrieb und einfacher Zusatzausrüstung, wie einem Minishaker, Gummihammer oder Fersengang lokalisiert und identifiziert werden.

CURRICULUM VITAE

DI Dr.techn.

Maximilian NEUSSER

ACOM Research

www.acom-research.eu
Kienegg 27
A-2813 Thomasberg

maximilian.neusser@acom-research.eu

Geboren, 1984 in Wien, ist seit 2018 im Verein ACOM Research tätig. Seine Tätigkeiten umfassen die wissenschaftliche Leitung und Abarbeitung 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.

Schallschutz WDVS - Modell und Prognose

Mechanismen der Luftschallübertragung durch Außenwände mit Wärmedämmverbundsystem und dessen Prognose

DI Dr.techn. Maximilian Neusser, ACOM Research, Kienegg 27, A-2813 Thomasberg
Mag. Herbert Müllner, Technisches Gewerbe Museum (TGM), Wexstrasse 19-23, A-1200 Wien
Claire Elizabeth Churchill PhD, Technische Universität Wien (TU Wien), Karlsplatz 13, 1040 Wien

1. Einleitung

Eine bedeutende Maßnahme zur Reduzierung des Heizenergieaufwandes und damit auch der Verringerung des Ausstoßes von Treibhausgasen ist die Ausstattung der Außenhaut von Gebäuden mit geeigneten wirksamen Wärmeschutzmaßnahmen. Neben der Planung von neu zu errichtenden Gebäuden gilt das auch für den Bestand, der wärmeschutztechnisch erhebliches Sanierungspotential ausweist. Gängige Maßnahmen zur Erhöhung des Wärmeschutzes von Wänden aus Beton oder Ziegel ist die Montage von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) aus verputzten Polystyrol- und Mineralwolleplatten [1] oder die Anwendung von gedämmten vorgehängten hinterlüfteten Fassadensystemen [2]. Neben der Erhöhung des Wärmeschutzes führt die Montage der genannten Systeme zu erheblichen Veränderungen der frequenzabhängigen Schalldämmeigenschaft des Wandaufbaus, die zu einer maßgeblichen Verringerung, besonders in Zusammenhang mit dem für Verkehrslärm typischen Frequenzspektrum [3] führen können [4, 5]. Nach ÖNORM B 8115-5 [6] ist das Verkehrslärmspektrum bei höheren Schallschutzkategorien im Rahmen der schalldämmtechnischen Dimensionierung von Außenwänden zu berücksichtigen.

Für Außenwandausführungen mit Wärmedämmverbundsystemen oder vorgehängten Fassadensystemen gibt es derzeit für die Bemessung des Schallschutzes methodisch und bedingt durch zu wenig allgemein zugänglichen Daten nur grobe Abschätzungsmöglichkeiten (ÖNORM B 8115-4, ÖNORM EN 12354-3 und Entwurf ÖNORM EN 12354-3) [7, 8, 9], wenn nicht explizit Messergebnisse aus normgemäßen Messungen nach ÖNORM EN ISO 10140-2 [10] der Schalldämmung im Prüfstand gemäß ÖNORM EN ISO 10140-5 [11] des jeweils auszuführenden Wandaufbaus zur Verfügung stehen. Dieser Umstand beeinflusst auch die Dimensionierung anderer Außenwandkomponenten wie Fenster und Türen, die oft unnötigerweise überdimensioniert werden müssen, um den Schallschutz der gesamten Außenwand im Zuge des Planungsvorganges sicherstellen zu können. Dies führt zu höheren Kosten nicht nur bei der Errichtung des Gebäudes, sondern auch in der Erhaltung, da für schalldämmtechnisch höherwertige Elemente auch andere, meist aufwendigere Wartungsmaßnahmen zur Erhaltung der Eigenschaften und Funktionsfähigkeit über eine längere Lebensdauer erforderlich werden.

Eine wichtige Rolle spielen Wärmedämmverbundsysteme auch bei der wärmeschutztechnischen Sanierung von bestehenden Gebäuden, wo nachträglich derartige Systeme auf die Außenwand aufgebracht werden. Wichtig ist dabei, dass die Schalldämmung der Außenwand im Zuge der wärmeschutztechnischen Sanierungen nicht ungünstig beeinträchtigt wird. Es besteht hierbei die Herausforderung, die Optimierung des Wärmeschutzes mit anderen wesentlichen bauphysikalischen Größen sowie mit den Anforderungen an das architektonische Erscheinungsbild zu vereinen [14, 18, 19, 20]. Mit Verbreitung dieser Ausführungsweisen wurde auch über deren Einfluss auf die Schalldämmung der Außenwand berichtet [21, 22].

Die bauakustische Wirkungsweise beider genannten Systeme beruht auf dem physikalischen Funktionsprinzip eines Masse– Feder – Massesystems [4, 26]. Putz und Trägerwand sind die beiden Massen und der Dämmstoff dazwischen, die Feder, determinieren demnach das Masse- Feder- Masse Schwingungsmodell.

Die gängige Praxis zur Bestimmung der Schalldämmung des geplanten Gesamtaufbaus der Außenwand bisher ist einerseits die Messung der Schalldämmung im Prüfstand oder es wird anhand der zu erwartenden Resonanzfrequenz des aufgebrachten Wärmedämmverbundsystems ein Wert für die „Verbesserungswirkung“ gemäß ÖNORM B 8115-4 [7] oder ÖNORM EN 12354-1 [27] abgeschätzt und zur Einzahlangabe der Schalldämmung der Roh- bzw. Trägerwand addiert. In den überwiegenden Fällen sind die zur Bestimmung der Resonanzfrequenz erforderlichen Eigenschaften der verwendeten Dämmstoffe den Planenden allerdings nicht bekannt, da diese Produktdaten nicht zwingend in den Produktdatenblättern angegeben werden müssen. Bei unbekannten Eigenschaften ist nach ÖNORM B 8115-4 [7] eine Resonanzfrequenz von 630 Hz bis 1600 Hz für das WDVS anzunehmen. Der Schalldämmwert der Wand mit Wärmedämmverbundsystem wird aufgrund dieser

anzunehmenden Resonanzfrequenz ermittelt indem der Wert der Schalldämmung der vorgesehenen Rohwand um 6 bis 10 dB verringert wird. In der Akustik bedeutet eine Verringerung um 10 dB eine Halbierung und eine Erhöhung um 10 dB eine Verdoppelung der subjektiven Empfindung [28]. Bei einer Verringerung nach diesem Ansatz wird angenommen, dass die Schalldämmung der Wand mit dem eingesetzten Wärmedämmsystem im Hinblick auf die subjektive Wahrnehmung halbiert wird und sich das im Wohnraum wahrgenommene zu dämmende Schallereignis in Relation zur Ausführung der Wand ohne WDVS verdoppelt.

Untersuchungen zeigen [29, 30], dass Wärmedämmverbundsysteme die Schalldämmung um bis zu 8 dB verringern, aber auch um bis zu 18 dB erhöhen können.

2. Parameterstudie

Das gegenständliche Projekt umfasst eine vielfallt an unterschiedlichen Materialen zur Bildung der Dämmstoffebene im Wärmedämmverbundsystem auf unterschiedlichen Grundwänden. Eine Übersicht über die untersuchten Varianten bietet Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über die gemessenen WDVS Varianten

Grundwand	Dämmstoff	Putzdicke in mm	Dübelanzahl je m²
Beton (150mm, 200mm)	EPS (120-300mmm)	5-10	0-12
	MW (120-300mmm)	5-10	0-12
Ziegel (320mm)	EPS (120-300mmm)	5-10	0-12
	MW (120-300mmm)	5-10	0-12

Die Verläufe des Schalldämmmaßes der Grundwandkonstruktionen in Abbildung 1 zeigen einen klassischen Verlauf monolithischer Bauteile und weisen im Terzband mit einer Mittenfrequenz von 63 Hz ihre erste Eigenmode auf. Die Koinzidenzgrenzfrequenz f_c liegt für alle untersuchten Wandbauteile im Terzband von 160 Hz. Oberhalb von 500 Hz zeigt die Hochlochziegelwand die für sie typischen Einbrüche im Schalldämmmaß, welche durch Steg- und Hohlraumresonanzen hervorgerufen werden.

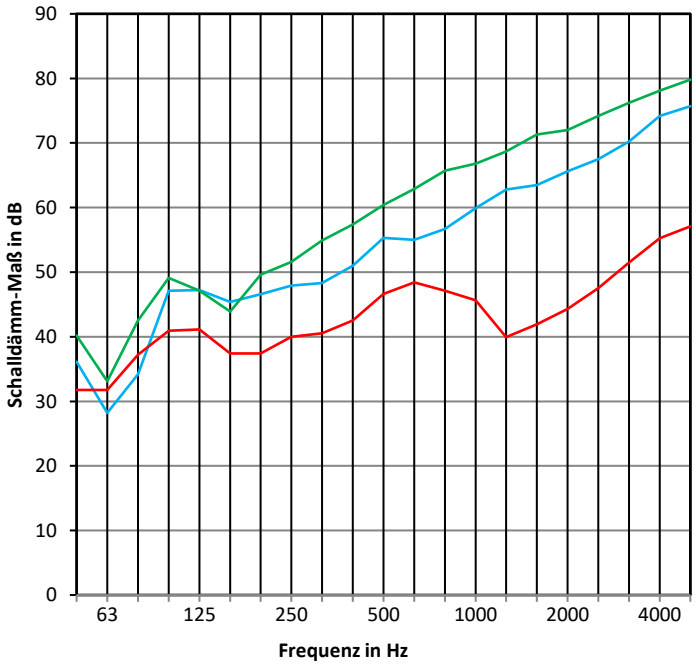


Abbildung 1: Darstellung der frequenzabhängigen Verläufe des Schalldämmmaßes der Grundbauteile (rot – Ziegel, blau – Beton 1, grün – Beton2)

Die Österreichische Norm [2] zur Verarbeitung und Planung von WDVS kennt unterschiedliche Methoden zur Befestigung des Dämmstoffes auf den Wandbildner durch eine Kombination aus Dübel und zementgebunden Kleber. Abbildung 2 zeigt die möglichen Varianten und daraus resultierenden Anzahl an Dübel je m² Bauteil. Aufgrund der einfacheren Umsetzung und des daraus resultierenden geringen Zeitaufwandes wurden nur die Varianten a,c,d untersucht.

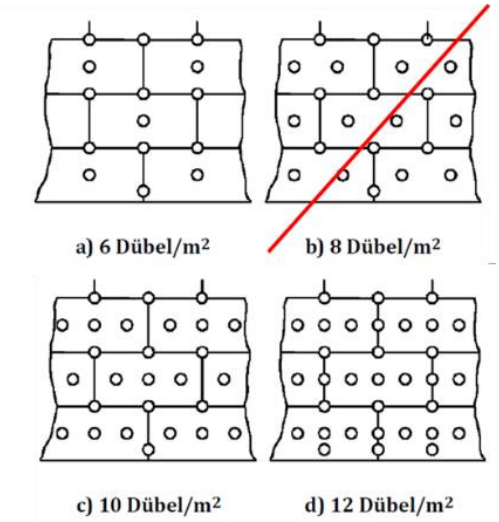


Abbildung 2: Mögliche Varianten der Anordnung von Dübel zur Befestigung von WDVS auf den Wandbildner [2]

Die Messungen des Schalldämmmaßes erfolgten nach ÖNORM EN ISO 10140-2:2016 in einem Prüfraum mit unterdrückter Flankenübertragung. Der Prüfaufbau besteht aus dem jeweiligen Wandbildner mit/ohne dem WDVS aus EPS-F, das mittels den in Abbildung 2 dargestellten Dübel-Anordnungen befestigt wurde. Zusätzlich wurde auf die Platten Kleber aufgebracht. Der Einfluss des Kleberflächenanteils wurde in [1] untersucht und stellt in der aktuellen Fassung der EN ISO 12354-1 einen Parameter in der Prognose des Luftschalldämmverbesserungsmaßes dar. Um diesen Einfluss konstant zu halten und reproduzierbare Ergebnisse zu erzeugen, wurde der Kleber mittels Schablone auf die Dämmstoffplatten aufgebracht. In Abbildung 3 ist die Methode dieser Prozedur zur Kleberaufbringung nach „Wulst-Punkt“ zu erkennen. Der Kleber wurde in einer Stärke von 12 mm aufgebracht.

Abbildung 3: Kleberflächenanteil auf der EPS-F Platte

2.1. Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt die nach ÖNORM EN ISO 10140-2:2016 bestimmten Luftschalldämmverbesserungsmaße des Wärmedämmverbundsystems auf einer Ziegelwand mit unterschiedlicher Putzdicke und Dämmstoffmaterial. Für alle Varianten ist, das über das bauakustisch relevante Frequenzspektrum charakteristische Verhalten von WDVS Systemen zu erkennen. Der Verlauf des Luftschalldämmverbesserungsmaßes lässt sich in drei charakteristische Bereiche in Abhängigkeit der Lage der Masse-Feder-Masse-Resonanz im Frequenzspektrum unterteilen. Im Bereich unterhalb der Masse-Feder-Masse -Resonanz $f<f_0$ ist nur eine geringe Beeinflussung des Schalldämmmaßes des Wandbauteils durch das WDVS erkennbar. Im Frequenzbereich $f \approx f_0$ ist bei allen Varianten ein deutlicher Einbruch der Luftschalldämmverbesserung zu beobachten. Hier schwingen Deckschicht und Grundbauteil mit maximaler Amplitude gegenphasig, wodurch es zu einer Reduktion des Schalldämmmaßes kommt. Im Bereich $f>f_0$ kommt es durch die Entkopplung zwischen Schallabstrahlender Deckschicht und des Grundbauteils zu einer Verbesserung des Luftschalldämmmaßes durch das WDVS. Ebenso ist in diesem Bereich der Abstrahlgrad der Deckschicht deutlich <1 womit weniger Schall abgestrahlt wird. Sobald die Koinzidenzgrenzfrequenz der Deckschicht erreich ist, flacht diese Verbesserung auf ein konstantes Niveau ab.

Der Einfluss auf das frequenzabhängige Luftschalldämmverbesserungsmaß der variierten Parameter Putzdicke, Dämmstoff, Grundwand und Dübelanzahl ist in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt. Die Parameter Dämmstoffmaterial und Putzdicke fliesen in den gängigen Modellen in die Ermittlung der Resonanzfrequenz des entstehenden Masse-Feder-Masse Systems ein. Dabei ist durch eine Putzdickenvergrößerung und damit einer größeren flächenbezogenenen Masse sowie bei einem Dämmstoff mit einer geringeren dynamischen Steifigkeit eine niedrigere Resonanzfrequenz zu beobachten.

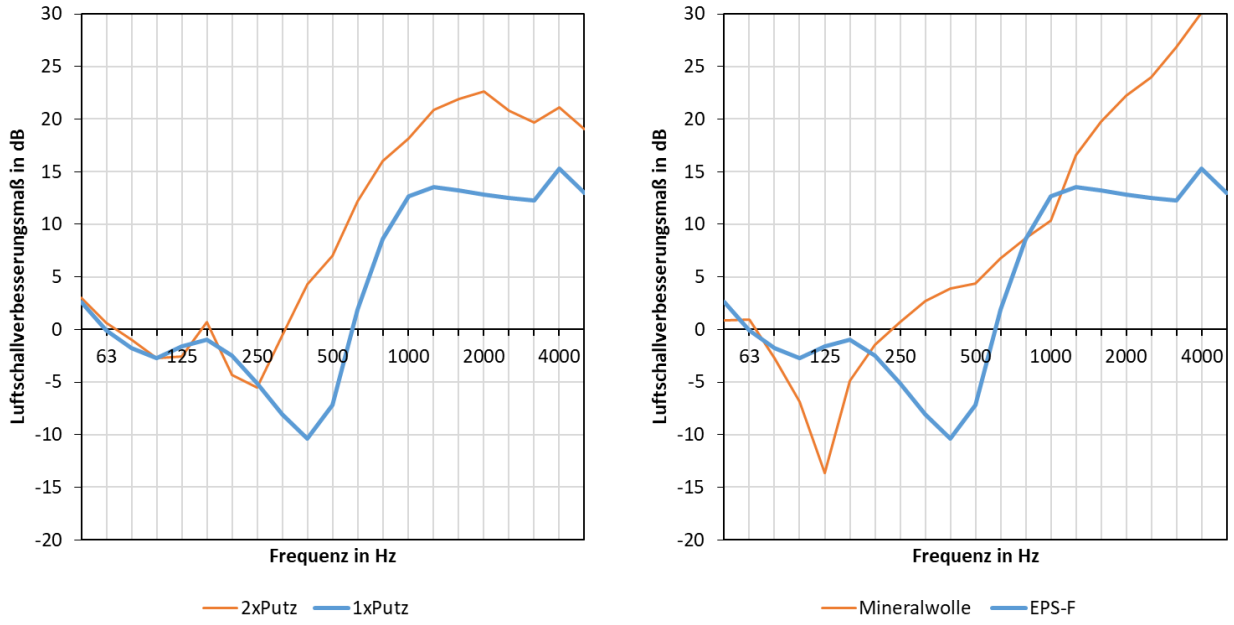


Abbildung 4: Darstellung des Verlaufs des frequenzabhängigen Luftschalldämmverbesserungsmaßes eines WDVS (d=160mm) in unterschiedlichen Dämmstoffmaterialen und Putzdicken auf einer Ziegelwand

Neue Parameter stellen hierbei die Dübelanzahl und die Konstruktion der Grundwand dar. In den Vergleichen in Abbildung 5 (links) ist zu erkennen, dass die Ausbildung der Grundwand einen wesentlichen Parameter darstellt. Der Einfluss im frequenzabhängigen Schalldämmmaß im Frequenzbereich $f>f_0$ nimmt in den gezeigten Beispielen ähnliche Ausmaße wie der der Putzdicke, ca. 10dB in einzelnen Frequenzbändern, an. Ebenso ist ein Einfluss des Luftschalldämmverbesserungsmaßes durch die Anzahl der Dübel in Abbildung 5 (rechts) erkennbar. Im Frequenzbereich $f \approx f_0$ ist ein deutlicher Einfluss der unterschiedlichen Anordnungen der Dübel zu erkennen. In dem untersuchten Variantenspektrum konnten Unterschiede im Schalldämmmaß von bis zu 3 dB gemessen werden. In diesem Bereich ist aufgrund der Verbindungssteifigkeit der Dübel und der gegenphasigen Schwingung von Putz und Grundbauteil, die durch den Dübel in seinem Einflussbereich verhindert wird, mit einer Verbesserung des Schalldämmmaßes zu rechnen. Oberhalb von f_0 kann ein Einfluss der Anzahl der Dübel nicht erkannt werden.

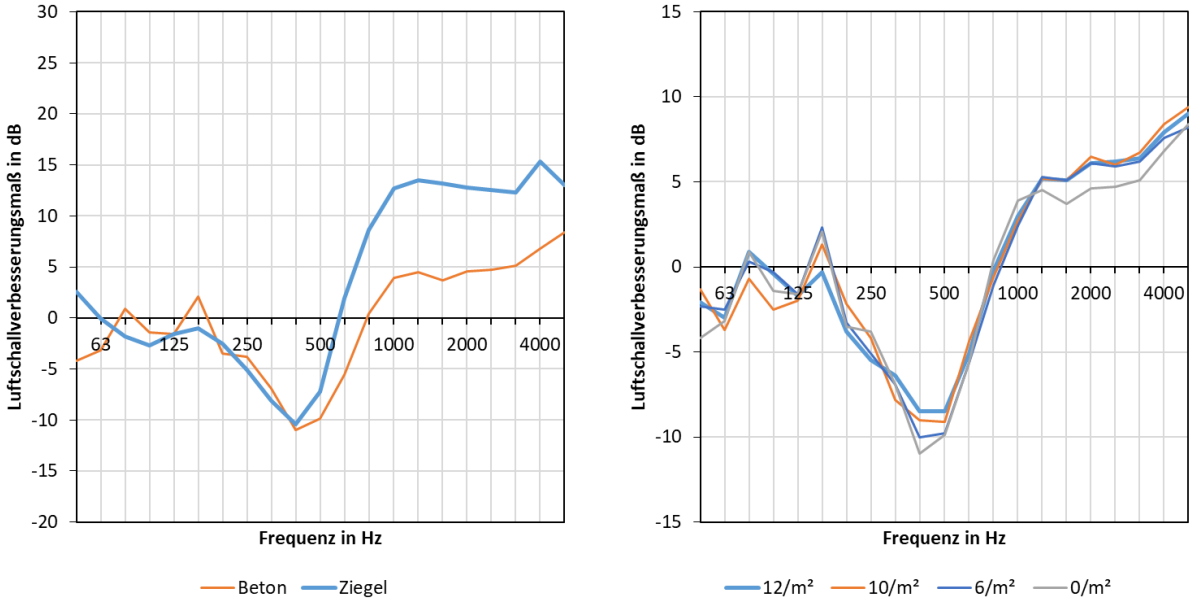


Abbildung 5: Darstellung des Verlaufs des frequenzabhängigen Luftschalldämmverbesserungsmaßes eines WDVS bestehend aus 160mm EPS und einer 5mm dicken Putzschicht auf unterschiedlichen Trägerwänden (Beton d=200mm, Ziegel d=320mm) und unterschiedlichen Dübelanzahlen

Der Grundbauteil auf den das WDVS angebracht ist hat einen wesentlichen Einfluss auf die Verbesserung des Schalldämmmaßes. Erkennbar ist das in Abbildung 6 an der Sammlung der Ergebnisse zu Grundwand abhängigen Gruppen. Der Einfluss des Schalldämmaßes des Grundbauteils zeigt sich je niedriger das Schalldämmmaß des Grundbauteils ist, desto größer ist die Luftschalldämmverbesserung des aufbrachten WDVS.

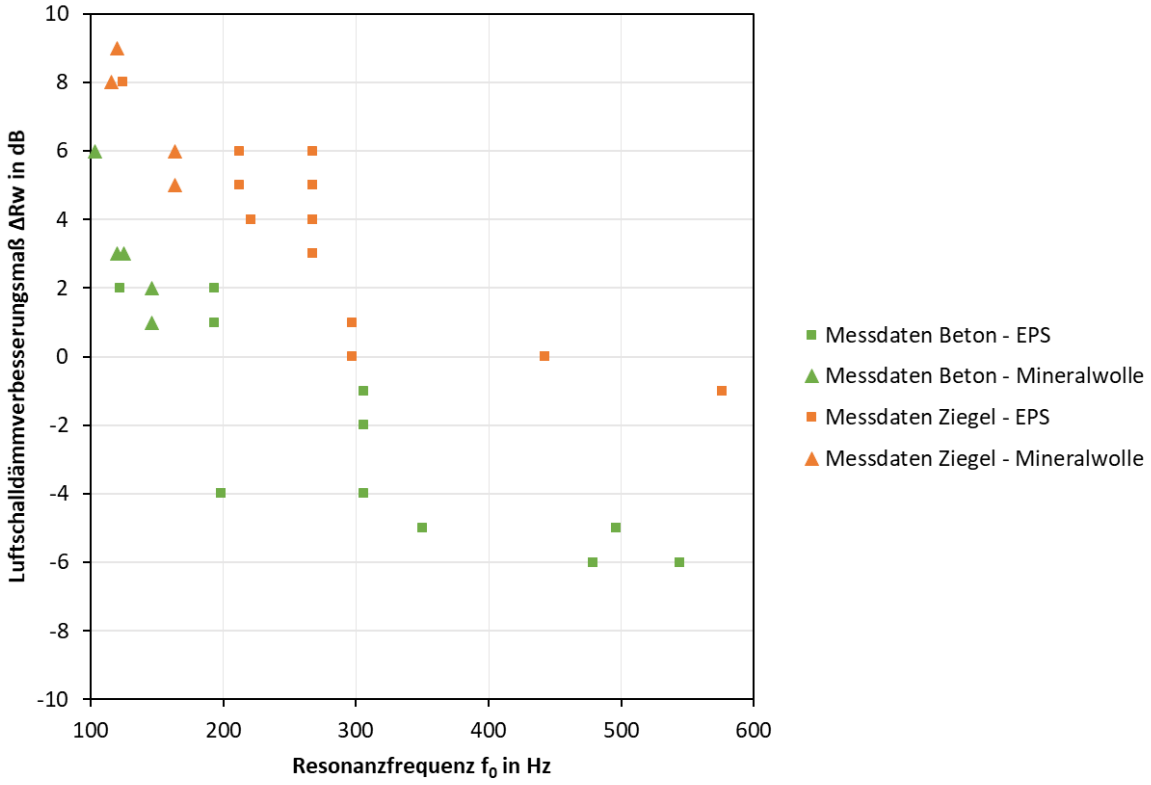


Abbildung 6: Darstellung der einzahlbewerteten Luftschalldämmverbesserungsmaße von WDVS in Abhängigkeit der Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse Systems

3. Modellierung

3.1. Stand der Technik

Für Außenwandausführungen mit Wärmedämmverbundsystemen oder vorgehängten Fassadensystemen gibt es derzeit für die Bemessung des Schallschutzes methodisch und bedingt durch zu wenig allgemein zugänglichen Daten nur grobe Abschätzungsmöglichkeiten (ÖNORM B 8115-4, ÖNORM EN 12354-2) [7, 9]. Diese Modelle basieren auf empirisch gewonnen Daten und stellen daher eine Regression von gemessenen Datenpunkten dar. Die in den Normen [7,9] zur Verfügung stehenden Modelle zur Prognose einzahlbewerteten Luftschalldämmverbesserung von WDVS bieten als einzigen Parameter die Resonanzfrequenz f_0 des simplifizierten Ein- bzw. Zweimassenschwinger Modells. Tabelle 2 zeigt die derzeit in der ÖNORM B 8115-4:2003 definierte Abhängigkeit der Luftschalldämmverbesserung von dieser Resonanzfrequenz.

Tabelle 2: Bewertetes Luftschallverbesserungsmaß ΔR_w durch eine Vorsatzschale [7]

Resonanzfrequenz f_0 der Vorsatzschale in Hz	ΔR_w in dB
30 bis 160	$74{,}4 - 20 \log (f_0) - R_w/2$
200	-1
250	-3
315	-5
400	-7
500	-9
630 bis 1600	-10
1600 bis 5000	-5

Neben der Resonanzfrequenz bietet das Modell nach [9] die Möglichkeit unterschiedliche Dämmstoffmateriaien zu berücksichtigen. In Abweichung zu [7] bietet das Modell auch die Möglichkeit die Veränderung der Spektrumanpassungswerts des Schalldämmmaßes in Form von ΔR_A und ΔR_{Atr} zu prognostizieren. Besonders die Möglichkeit der Prognose des Spektrumanpassungswertes ΔR_{Atr} stellt hierbei für Außenwände in Österreich wesentliche Eigenschaft des Modells dar, da dieser Parameter in der Planung benötigt wird.

Mineralwolle:

$$\Delta R_w = -36 \log f_0 + 82{,}5 \ \geq -4 \quad (1)$$

$$\Delta R_A = -42 \log f_0 + 92{,}0 \ \geq -4 \quad (2)$$

$$\Delta R_{Atr} = -39 \log f_0 + 87{,}7 \ \geq -4 \quad (3)$$

Schäume:

$$\Delta R_w = -33 \log f_0 + 76{,}0 \ \geq -3 \quad (4)$$

$$\Delta R_A = -33 \log f_0 + 74{,}0 \ \geq -3 \quad (5)$$

$$\Delta R_{Atr} = -36 \log f_0 + 77{,}0 \ \geq -3 \quad (6)$$

Die Erkenntnisse in dem Projekt haben gezeigt, dass die Luftschalldämmverbesserung durch WDVS nicht nur von der Resonanz Frequenz abhängig ist. Ein Modell, das die in Abschnitt 2.1 beschriebenen wesentlichen Einflussparameter nicht abbildbar macht, kann daher keine zuverlässigen Prognosen liefern. Dargestellt ist dieser Vergleich zwischen den normierten Prognosemodellen aus [7,9] in Abbildung 7. Es ist deutlich zu erkennen, dass alle Prognosemodelle die Luftschalldämmverbesserung bei Grundbauteilen mit niedrigeren Schalldämmmaßen deutlich unterschätzt. Weiters kommt es durch die Deckelung nach unten bei dem in [9] beschriebenen Modell bei Resonanzfrequenzen >300Hz zu einer Überschätzung der Performance. Dies stellt besonders im Planungsprozess eine Gefahr dar, da dadurch Bauteile mit zu geringen Schalldämmmaßen eingesetzt werden.

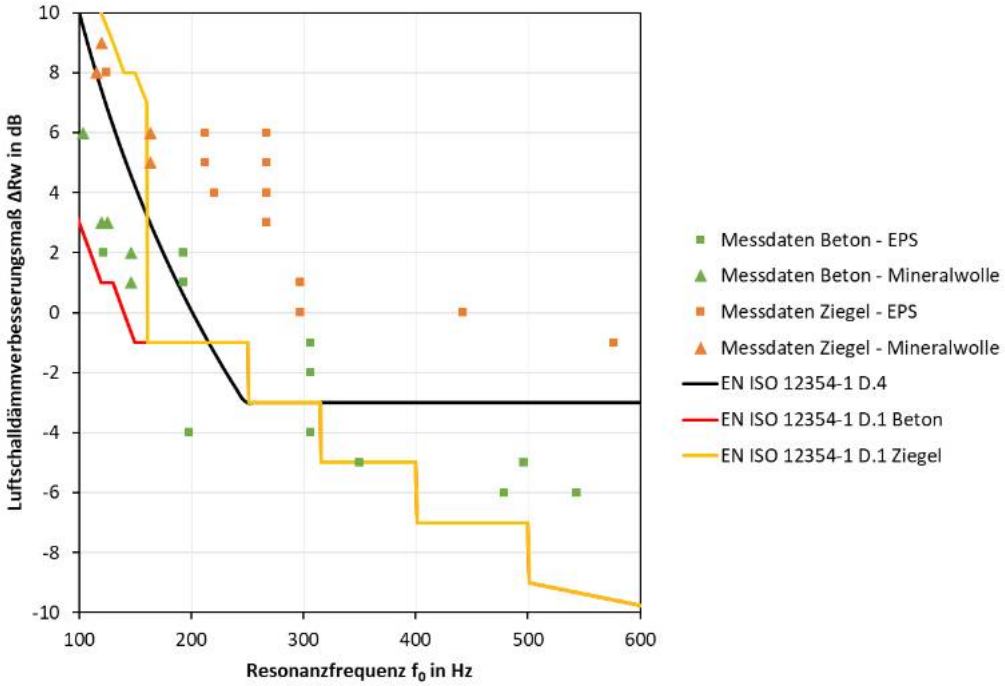


Abbildung 7: Vergleich gemessenen und prognostizierten einzahlbewerteten Luftschalldämmverbesserungsmaße von WDVS in Abhängigkeit der Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse Systems

Abbildung 8 zeigt die Korrellation zwischen Messung und Prognose der beiden Modelle in [7,9]. In beiden Fällen ist nur eine schlechte Übereinstimmung zwischen Mess- und Berechnungsergebnis erzielt worden. Das zeigt sich auch in den Bestimmtheitsmaßen der Ausgleichsgeraden. Besitzt eine Regression ein R^2 nahe 1, bedeutet dies, dass die unabhängigen Variablen gut geeignet sind, die abhängige Variable vorherzusagen. Das Modell besitzt eine gute Anpassungsgüte ("good model fit"). Das R^2 gibt den Anteil der Varianz der abhängigen Variablen an, der durch die unabhängigen Variablen erklärt werden kann. Beide Modelle sind somit nicht in der Lage mit einer ausreichenden Genauigkeit und Zuverlässigkeit das Luftschalldämmverbesserungsmaß von WDVS auf mineralisch Massiven Grundbauteilen zu prognostizieren.

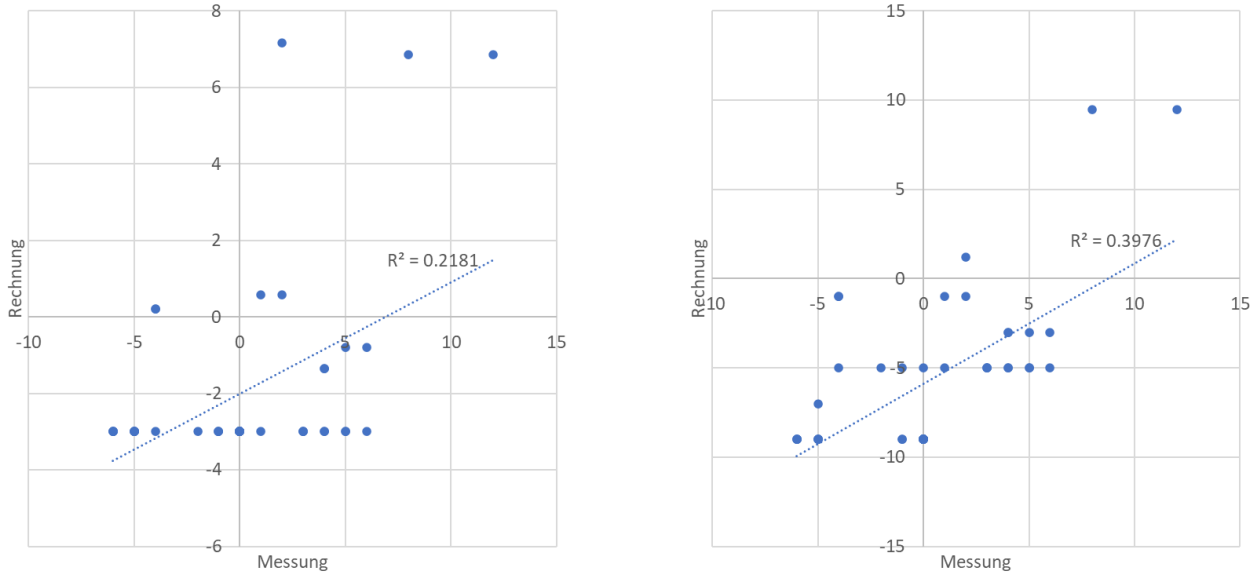


Abbildung 8: Korrelation zwischen Messung und Berechnung des Luftschalldämmverbesserungsmaßes von WDVS auf Ziegel und Betonwänden nach ÖNORM B 8115-4:2003 (link) und nach ÖNORM EN ISO 12354-1:2016 (rechts)

3.2. Methodik

In dem zu grundliegendem Forschungsprojekt wurden Modelle in unterschiedlichsten Detailierungsgraden entwicklet. Es wurden Finite Elemente Modelle entwickelt, die eine detailierte Abbildung der Geometrie des Bauteils inklusive dessen Befestigungsmittel erlaubt bis hin zu simplen statistischen Modellen deren parameter Emprisch ermittelt wurden. In Folge wird nur auf die Entwicklung der statistischen Modelle eingegangen. Die Entwicklung und Validierung der detaillierten Modelle sind in [31] dargstellt. Statistische Modelle bieten eine schnelle Rechenzeit und sind in der Regel im Planungsprozess für den Anwender einfach zu handhaben. Diese eignen sich daher insbesondere zur Integration in neue Normenwerke.

Abbildung 6 lässt bereits vermuten, dass ein linearer Zusammenhang zwischen dem dekadischen Logarithmus der Resonanzfrequenz und der Luftschalldämmverbesserungsmaß besteht. Die Steigung dieses linearen Zusammenhangs scheint unabhängig vom Grundbauteil zu sein und lässt sich somit durch Regression bestimmen. Es fehlt daher zu diesem proportionalen Zusammenhang die Berücksichtigung des Einflusses des Grundbauteils. Zur Identifikation des Einflusses des Grundbauteils auf die Höhe des Luftschallverbessungsmaßes wurde ein iterativer Prozess durchgeführt. Es wurde in Gleichung 8 die Funktion x in Abhängigkeit des Schalldämmmaßes des Grundbauteils $R_{w,GB}$ gesucht bei der die Differenz zwischen der Messung $\Delta R_{w,Messung,ohne\ GB}$ und der Prognose $\Delta R_{w,Prognose,ohne\ GB}$ des Luftschallverbesserungsmaß ein Minimum annimmt.

$$\Delta R_{w,Messung,\,ohne\,GB} = \Delta R_{w,Messung} + x(R_{w,GB}) \tag{7}$$

$$\Delta R_{w,Prognose,ohne\,GB} = max\begin{pmatrix} \frac{-R_{w,GB}}{10} \\ -33 \cdot log_{10}(f_0) + 67 \end{pmatrix} \tag{8}$$

$$x(R_{w,GB}) = \frac{R_{w,GB}}{3} - 30 \tag{9}$$

Abbildung 9 zeigt die nach erfolgreicher Bestimmung der Funktion $x(R_{w,GB})$ den Zusammenhang zwischen Messung und Berechnung nach Bereinigung des Einflusses des Grundbauteils. Zu erkennen ist, dass aufgrund der Form der zur Einzahlkurve herangezogenen Referenzkurve entsprechend ÖNORM EN ISO 717-1:2013, der Einfluss des Einbruches des Schalldämmaßes bei der Resonanzfrequenz des Masse-Feder-Masse Systems oberhalb von 300 Hz einen konstanten Einfluss besitzt. Unterhalb von 300 Hz kommt es je nach Lage der Resonanzfrequenz im Spektrum zu einer Verbesserung oder Verschlechterung des Schalldämmmaßes der Wandkonstruktion.

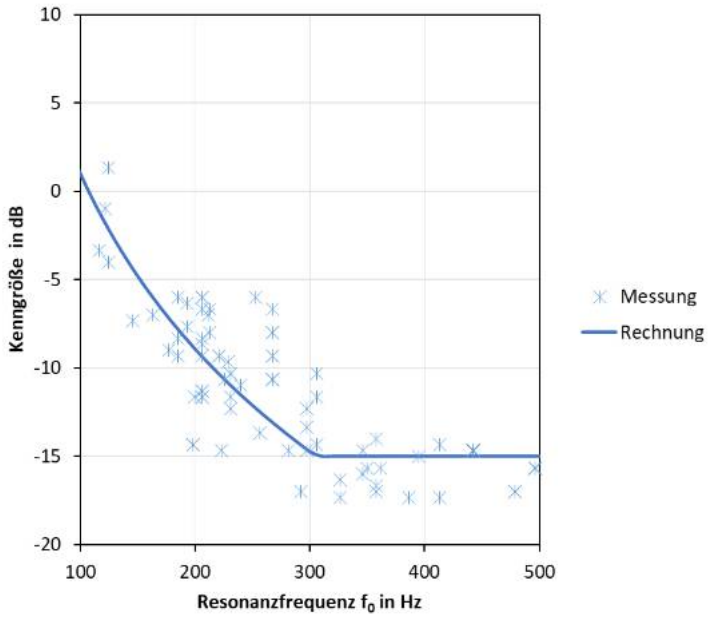


Abbildung 9: Vergleich zwischen dem frequenzabhängigen Verlauf des um den Einfluss des Schalldämmmaßes des Grundbauteils bereinigte Luftschalldämmverbesserungsmaß nach Formel 8 und den gemessenen Werten nach Formel 7

In Abbildung 10 ist die lineare Abhängigkeit der Veränderung der Spektrumanpassungswerte des Schalldämmmaßes einer Wandkonstruktion mit Wärmedämmverbundssystem von der Resonanzfrequenz f_0 zu erkennen. Durch die frequenzabhängigkeit der Luftschalldämmverbesserung und des Verfahrens zur Ermittlung der Spektrum Anpassungswerte ist eine Modellierung auf Basis der einzahlbewerteten Größen schwierig. Betrachtet man nur die lineare Abhängigkeit als einzigen Parameter ergibt sich nach ähnlichem Vorgehen mittels linearer Regression ein Prognosemodell für diese Veränderungen ΔC und ΔC_{tr} nach Formel 11 und 12.

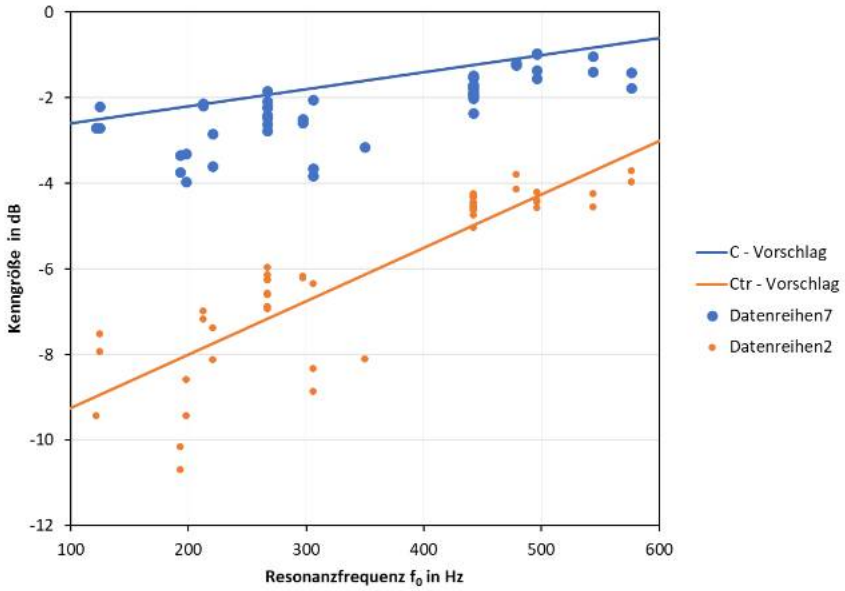


Abbildung 10: Vergleich zwischen den gemessenen und nach Formel 11 und 12 berechneten Veränderungen der Spektrumanpassungswerte ΔC und ΔC_{tr} der einzahlbewerteten Luftschalldämmverbesserungsmaß der WDVS auf unterschiedlichen Grundwänden

3.3. Modell

Entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 3.2 beschrieben Methodik ergibt sich das Modell zu dem in Formel 10,11 und 12 dargestellten Formelapparat. Das Modell ermöglicht dadurch eine Prognose des Luftschalldämmverbesserungsmaßes ΔR_w in Abhängigkeit des Schalldämmmaßes des Grundbauteils $R_{w,GB}$ und der Masse-Feder-Mase Resonanzfreqeunz f_0. Ebenso ist die Veränderung der Spektrumanpassungswerte ΔC und ΔC_{tr} in Abhängigkeit dieser Frequenz des Schalldämmmaßes der Wandkonstruktion prognostizierbar.

$$\Delta R_w = max\begin{pmatrix} \frac{-R_{w,GB}}{10} \\ -33 \cdot log_{10}(f_0) - \frac{R_{w,GB}}{3} + 97 \end{pmatrix} \tag{10}$$

$$\Delta C = \frac{f_0}{70} - 6 \tag{11}$$

$$\Delta Ctr = \frac{f_0}{50} - 10 \tag{12}$$

Die Resonanzfrequenz f_0 wird dabei entsprechend der in [7,9] angegeben Formulierung berechnet. Für Systeme bei denen die Dämmschicht unmittelbar am Grundbauteil ohne ein Ständerwerk oder Lattung befestig wird kann Formel 13 angewendet werden. Dabei ist m'_1 und m'_2 die flächenbezogene Masse des Grundbauteils und der Deckschicht des Wärmedämmverbundsystems in kg/m². Mit s' ist die dynamische Steifigkeit der Dämmschicht in MN/m³ in die Formel einzusetzen.

$$f_0 = \frac{1}{2}\sqrt{s'\left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2}\right)} \tag{13}$$

3.4. Ergebnisse

Abbildung 11 zeigt den Vergleich der Messungen aus dem Projekt „Schall.Hoch.Bau“ und der Prognose der Kenngrößen des Luftschalldämmverbesserungsmaßes ΔR_w und der Veränderung der Spektrumanspassungswerte ΔC und ΔC_{tr} des Schalldämmmaßes der Wandkonstruktion getrennt für die beiden untersuchten Wandbauteile aus Beton (links) und Ziegel (rechts). Der Vergleich zeigt über den Frequenzbereich üblicher Resonanzfrequenzen von WDVS von 100-500 Hz eine gute Übereinstimmung zwischen den Mess- und Prognosekenngrößen. Die größten Abweichungen treten bei dem Grundbauteil Ziegel mit steiferen WDVS mit Resonanzfrequenzen >400 Hz auf. Hier kommt es zu einer Überlagerung mehrerer frequenzabhängigerer Phänomene, die insbesondere im Ziegelbau eine Rolle spielen (z.B. Steg- und Hohlraumresonanzen) und der der Resonanz im WDVS. Daher ist eine Prognose auf Basis von Einzahlgrößen schwieriger als bei homogenen Bauteilen wie z.B. einer Stahlbetonwand. Hier zeigt sich über den gesamten betrachteten Resonanzfrequenzbereich eine zufriedenstellende Übereinstimmung.

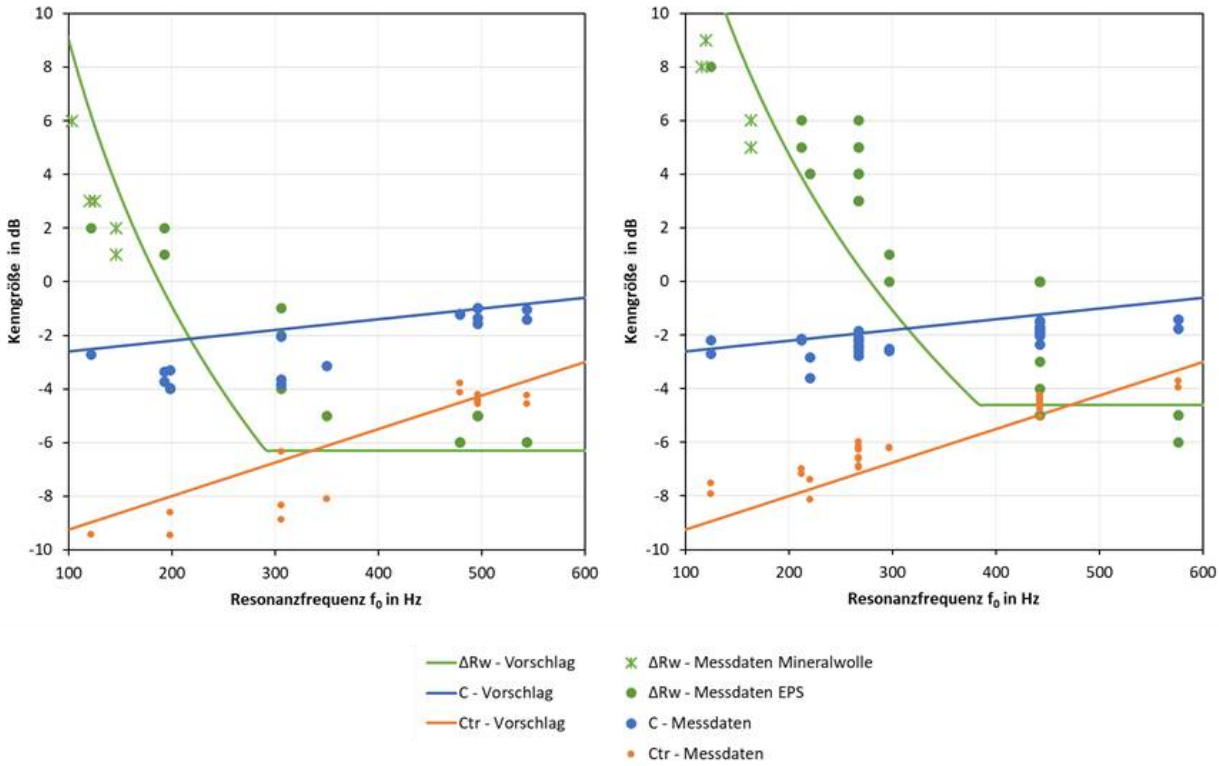


Abbildung 11: Vergleich zwischen den gemessenen und nach Formel 10,11 und 12 berechneten Kenngrößen der Spektrumanpassungswerte ΔC und ΔC_{tr} der einzahlbewerteten Luftschalldämmverbesserungsmaß der WDVS auf unterschiedlichen Grundwänden (Beton links, Ziegel rechts) ΔRw ΔC und ΔC_{tr}

Abbildung 12 zeigt den Vergleich der prognostizierten Kenngrößen und aller im Projekt und außerhalb des Projektes zur Verfügung stehenden Messdaten mit unterschiedlichen Modellansätzen. Um die Güte der Prognose visuell beurteilen zu können ist die Regressionsgerade und dessen Bestimmtheitsmaß R^2 dargestellt. Abbildung 12 (oben) zeigt die Ergebnisse des in Abschnitt 3.3 beschriebenen Modells. Abbildung 12 (unten) verwendet den in Formel 4-6 beschriebenen Formelapparat zu Prognose der Kenngrößen. Der visuelle Vergleich der Gruppierung der Datenpunkte um die Regressionsgerade zeigt für den präsentierten Modellansatz mit Berücksichtigung des Grundbauteils wesentlich bessere Ergebnisse. Auch die Größe des Bestimmtheitsmaßes zeigt, das insbesondere im Falle der Prognose von ΔR_w eine deutlich höhere Korrelation zwischen Mess- und Berechnungsergebnis erzielt worden ist. Die Gruppierung der Punkte in Abbildung 12 (unten) zeigt nur eine schwache Korrelation, was auf eine geringe Güte der Prognosequalität schließen lässt.

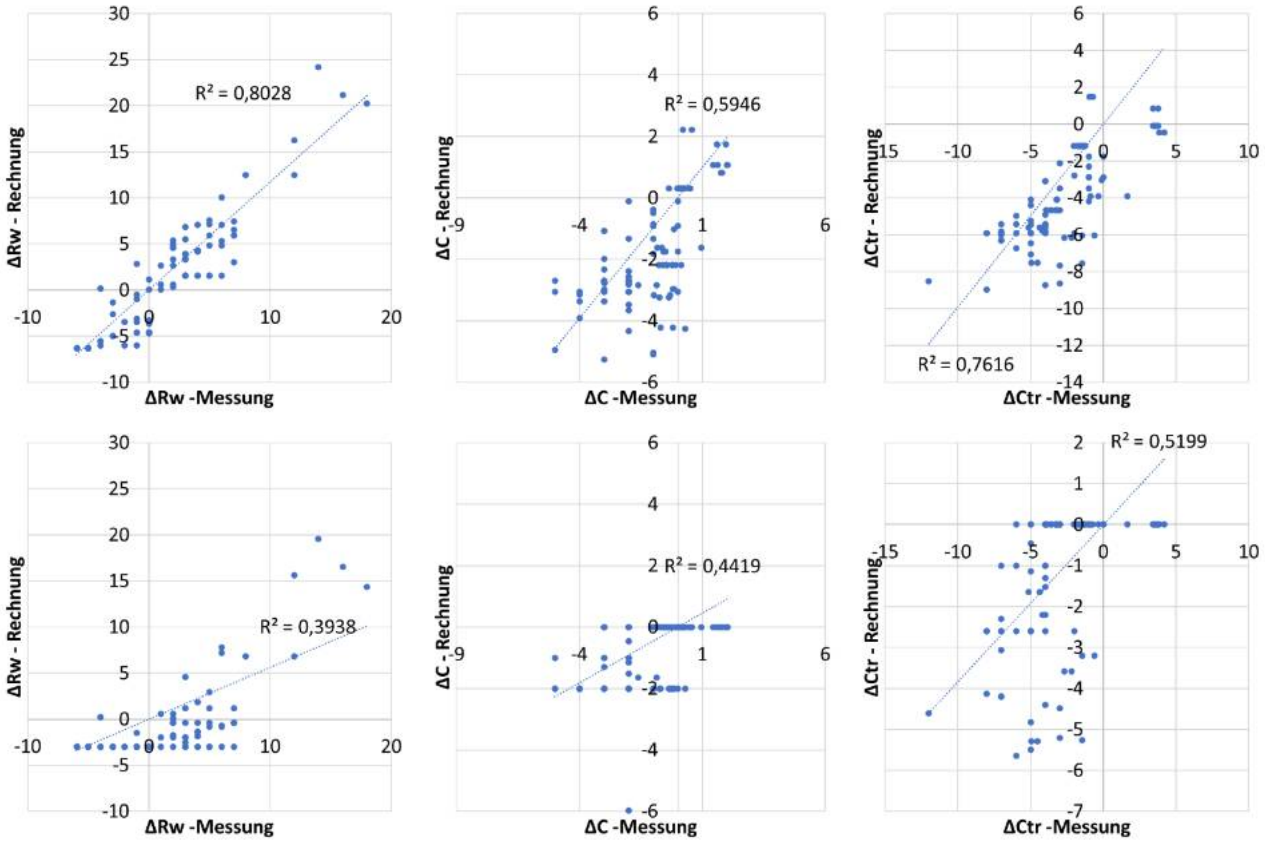


Abbildung 12: Vergleich zwischen den gemessenen und nach Formel 10,11 und 12 (oben) und Formel 4,5 und 6 (unten) berechneten Kenngrößen der Spektrumanpassungswerte ΔC und ΔC_{tr} der einzahlbewerteten Luftschalldämmverbesserungsmaß der WDVS auf unterschiedlichen Grundwänden ΔRw ΔC und ΔC_{tr}

Neben den visuellen Vergleichen in Abbildung 12 zeigen auch die Fehlerindikatoren in Tabelle 2 das der beschriebene Modellansatz in der Lage ist Standardfehler zwischen Prognose und Messungen < 2 dB zu liefern. Damit ist eine in der Praxis übliche und akzeptierte Höhe des Prognosefehlers unterschritten. Die verglichenen Modelle aus [7,9] zeigen höhere Standard und Mittlere Fehler in den Prognosen des Luftschallverbesserungsmaßes der untersuchten Wärnedämmverbundsysteme und liegen mit bis zu 6 dB deutlich höher die in der Praxis akzeptierenden 2dB.

Tabelle 3: Berechnete Fehlerindikatoren der betrachteten Prognosemodelle des Luftschalldämmverbesserungsmaßes von WDVS

Abweichung in dB		Vorschlag Neu	ÖNORM B 8115:4 (Tabelle 2)	ÖNORM EN ISO 12354-1 (Formel 4)
ΔR_w	Standardfehler $\sigma_{\bar{x}}$	1,8	2,8	3,1
	Mittlerer Fehler $\bar{x}$	2,0	5,9	3,4
ΔC	Standardfehler $\sigma_{\bar{x}}$	1,2	n.m.*	1,4
	Mittlerer Fehler $\bar{x}$	1,2	n.m.*	1,6
ΔC_{tr}	Standardfehler $\sigma_{\bar{x}}$	1,6	n.m.*	2,6
	Mittlerer Fehler $\bar{x}$	1,8	n.m.*	1,9

n.m.* = Prognose nicht möglich, da das Modell diesen Output nicht liefert

4. Fazit

Neben den bekannten Einflussgrößen der dynamischen Steifigkeit des Dämmstoffes und des Flächengewichts der Deckschicht konnte gezeigt werden, dass das Schalldämmmaß des massiven Grundbauteils mit WDVS und die Anzahl der verwendeten Dübel zur Befestigung einen signifikanten Einfluss auf den frequenzabhängigen Verlauf des Luftschalldämmverbesserungsmaßes hat. In dem untersuchten Variantenspektrum konnten Unterschiede im Schalldämmmaß von bis zu 10 dB bei gleicher Resonanzfrequenz gemessen werden. Grundsätzlich konnte ein höheres Luftschalldämmverbesserungsmaß mit einem Bauteil mit geringerem Schalldämmmaß und höheren Dübelanzahlen erzielt werden.

Der dargestellte Modellansatz beinhaltet den gegenüber den bestehenden normierten Modellen den wesentlichen Einflussparameter des Schalldämmmaßes des Grundbauteils. Es konnte gezeigt werden, dass dieser zur Prognose des Luftschallverbesserungsmaßes von Wärmedämmverbundsystemen und dessen Spektrumanpassungswerte eine präzisere und verlässlichere Qualität aufweist. Die etablierten Modelle in [7,9] bieten entweder nicht die notwendigen Outputparameter oder/und eine deutlich höhere mittleren Fehler, die im Planungsprozess zu einer Unter- oder Überschätzung der Bauakustischen Qualität der zu betrachteten Wand führen.

5. Danksagung

Das Projekt wurde im Rahmen des Forschungsförderprogramms „Collective Research“ Projektnummer 864983 der FFG (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) durchgeführt. Wir danken allen wissenschaftlichen und industriellen Projektpartnern für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

6. Literatur

[1] ÖNORM B 6400. (2011). Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) – Planung.

[2] ÖNORM EN 13830. (2015). Vorhangfassaden – Produktnorm.

[3] ÖNORM EN 1793-3. (1998). Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfeigenschaften zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum.

[4] Scholl, W. (1999). Schalldämmung mit Wärmedämmverbundsystemen Teil 1: Systeme mit elastifizierten Polystyrol-Dämmplatten. Bauphysik 21 (1), 20-28.

[5] Feldmann, J. & Jakob, A. (2006). Tieffrequenter Wohnlärm – Ursachen, Auswirkungen und Minderungsmöglichkeiten. Proceedings DAGA 2006, Braunschweig.

[6] ÖNORM B 8115-5. (2012). Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 5: Klassifizierung

[7] ÖNORM B 8115-4. (2003). Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen.

[8] ÖNORM EN 12354-3. (2000). Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 3: Luftschalldämmung von Außenbauteilen gegen Außenlärm

[9] ÖNORM EN ISO 12354-1 (2018). Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen

[10] ÖNORM EN ISO 10140-2. (2010). Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 2: Messung der Luftschalldämmung.

[11] ÖNORM EN ISO 10140-5. (2010). Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen.

[12] Gerretsen, E. & Dunbavin, P. (2013). Proposal of Harmonized Sound Insulation Descriptors. In B. Rassmussen & M. Machimbarrena (Eds.), COST Action TU 0901 – Towards a common framework in building acoustics throughout Europe (pp. 49-58).

[13] Rasmusen, B. & Gerretsen, E. (2013). Proposal for an Acoustic Classification Scheme for Housing. In B. Rassmussen & M. Machimbarrena (Eds.), COST Action TU 0901 – Towards a common framework in building acoustics throughout Europe (pp. 75-95).

[14] Pietruschka, D., Varga, E., Drechsler, A., Marin, R., Eicker, U. & Fischer, H. (2012). Energetische und akustische Sanierung von Wohngebäuden - vom Altbau zum akustisch optimierten Passivhaus. Forschungsbericht, Hochschule für Technik, Stuttgart.

[15] Weber, L. & Müller, S. (2014). Schallschutz bei Wärmedämm-Verbundsystemen. IBP-Bericht B-BA 1/2014.

[16] DIN 4109-2. (2016). Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen.

[17] ÖNORM EN ISO 12354-1- Entwurf. (2016). Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen.

[18] Nurzynski, J. (2008). The effect of additional thermal lining on the acoustic performance of a wall. Proceedings forum acousticum 2008, Paris.

[19] Guigou-Carter, C., Foret, R., Villot, M. & Chene, J. B. (2009). Effect of thermal renovation on acoustic performance of buildings. Proceedings Euronoise 2009, Edinburgh.

[20] Magarini, A, Scamoni, F & Scrosati, C. (2014). Integrated acoustic and thermo-hygrometric performances of building walls, for more efficient refurbishment strategies: First evaluations. Proceedings The 21st International Congress on Sound and Vibration 2014, Beijing.

[21] Rückward, W. (1982). Einfluß von Wärmedämmverbundsystemen auf die Luftschalldämmung. Bauphysik 2, 54-56.

[22] Rückward, W. (1982). Luftschalldämmung von Wärmedämmverbundsystemen – leichte und schwere Putzschichten im Vergleich. Bauphysik 5, 161-165.

[23] Schumacher, R. & Mechel, F. P. (1981). Schallschutz von hinterlüfteten Fassaden. IBP Mitteilung 67, Frauenhofer Institut für Bauphysik.

[24] Sälzer, E. (1994). Schallschutz mit Fassaden Teil 1: Der Einfluß hinterlüftbarer Fassaden auf die Schalldämmung von Massiv-Außenwänden zum Nachweis nach DIN 4109. Bauphysik 16 (2), 48-52.

[25] Sälzer, E. & Eßer, G. (1995). Schallschutz mit Fassaden Teil 2: Der Einfluß konstruktiver Parameter auf die Schalldämmung, Hinweise zur schalltechnisch zweckmäßigen Ausführung. Bauphysik 17 (6), 179-184.

[26] Paulmann, K. (1994). Neue Untersuchung zur Luftschalldämmung von Wänden mit Wärmedämmverbundsystemen. Bauphysik 16 (4), 115-121.

[27] ÖNORM EN 12354-1. (2000). Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen.

[28] Zwicker, E. (1982). Psychoakustik. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

[29] Weber, L. & Leistner, P. (2004). Aktuelle Ergebnisse zum Schallschutz von Fassaden und Außenbauteilen. Bauphysik, 26 (6), 300-304.

[30] Weber, L. (2005). Akustisches Berechnungsmodell für Wärmedämm-Verbundsysteme. Proceedings DAGA 2005, München.

[31] C. Churchill, T. Bednar, H. Müllner, S. Hinterseer, M. Neusser (2020). A parametric study of the acoustic properties of thermal cladding systems. Applied Acoustics, 2020

CURRICULUM VITAE

Prof.(HTL) Bmst. Dipl.-Ing.

Johann SPIESSBERGER

Institut für **B**auphysik und **t**echnischen **S**challschutz (IBTS GmbH)

Gerichtlich beeideter Sachverständiger für Bauphysik und technischen Schallschutz (www.spiessberger.eu)

Nichtamtlicher Sachverständiger im Gewerbeverfahren

Professor an der HTL1 für Bau&Design in Linz

www.ibts.at

Kollmannsberg 109

A-4814 Neukirchen

office@ibts.at

Geboren 1974 in Gmunden, absolvierte er die HTL Vöcklabruck Fachrichtung Maschinenbau BT und studierte danach in Graz und Padua Bauingenieurwesen (Dipl.-Ing).

Nach Tätigkeiten in verschiedenen Unternehmen (Bauunternehmen, Bauphysik-Software-Unternehmen, Bauphysik-Planungsbüro) begann er 2006 eine Lehrtätigkeit an der HTL1 für Bau&Design in Linz.

Neben der Lehr- und Vortragstätigkeit wurde 2007 ein Büro für Bauphysik gegründet (DI Johann Spiessberger e.U) welches mit der Aufnahme von Mitarbeitern 2015 in ein Institut mit den Schwerpunkten Bauphysik und technischer Schallschutz (IBTS GmbH) übergeleitet wurde.

Hauptaufgabengebiet ist die bauphysikalische Planung und Bauüberwachung inklusive der erforderlichen Schall-, Luftdichtheits- und Feuchtemessungen. Parallel dazu werden baupraktische Produktprüfungen und Forschungsarbeiten durchgeführt.

Für Bezirks- und Landesgerichte erstellt DI Spiessberger als gerichtlich beeideter Sachverständiger Beweissicherungen und Gutachten.

In seiner Funktion als Nichtamtlicher Sachverständiger unterstützt DI Spiessberger Behörden bei Genehmigungsverfahren im Gewerbe- und Industriebereich hinsichtlich der Beurteilung von komplexen Schallemissionen.

Belüftetes (Holz-) Flachdach – Kann das in der Praxis funktionieren?

Prof.(HTL) Bmst. Dipl.-Ing. Johann SPIESSBERGER, Neukirchen (Altm.)

1. Warum eigentlich belüftet?

„Dicht-dicht-Konstruktionen“ bei Flachdächern

Flachgeneigte Dächer erfreuten sich auch in der Holzbauweise mit Ende des letzten Jahrtausends zunehmender Popularität. Wohl hauptsächlich aus Kostengründen setzte sich bei zahlreichen Neubauten und Aufstockungen die sogenannte „dicht-dicht“ Bauweise (innenliegende Dampfbremse, außenliegende Abdichtungsfolie, dazwischen mineralische Dämmung und Tragholz) durch. Geringe Bauhöhe und die Möglichkeit der Vorfertigung im Werk waren weitere entscheidende Vorteile.

Mangelnde Kenntnis über das Risiko dieser Konstruktion sowie Ausführungsfehler bei Anschlüssen und natürlich Undichtheiten in der Abdichtungsfolie führten Jahre später zu einer Häufung von Schadensfällen an diesen Gebäuden. Die vorgefundenen Schäden reichten von teilweiser Vermorschung der obersten Tragschicht bis hin zur völligen Zerstörung der Dachkonstruktion. Eine Verbesserung der Situation wurde mit variablen Dampfbremsen erreicht, die je nach Luftfeuchtigkeit ihre Diffusionseigenschaften veränderten und so auch eine sogenannte „Rücktrocknung“ durchfeuchteter Bauteile möglich wurde.

Im Regelfall führten jedoch nicht - wie häufig angenommen - Probleme mit der Diffusion, sondern undichte Anschlüsse, Wassereintritte zur Bauzeit usw.… zu einer meist nur örtlich begrenzten Schädigung. Großflächige Schädigungen wurden bei bau-ablaufbedingten Feuchteeinträgen beobachtet, wie z.B. Estrich betonieren und tagelanges Ausheizen mit hoher Luftfeuchtigkeit bei 30°C, wenn gleichzeitig eine feuchteadaptive Dampfbremse eingesetzt wurde, die bei derartigen Bedingungen Wasserdampf durchlässt.

Aufgrund zahlreicher Forschungsarbeiten sind die Mechanismen bei flachgeneigten Holzelementdächern mittlerweile weitgehend bekannt und auch die Einsatzgrenzen wurden etwas enger gezogen.

Mit Häufung der Schadensfälle gingen jedoch die Überlegungen sowohl der Planer als auch der Ausführenden in Richtung „sicheres Flachdach“ und damit weg von „dicht-dicht“ wieder hin zu hinterlüfteten Konstruktionen.

2. Problemstellungen bei belüfteten Dächern

Da die Architektur sich mit flachgeneigten Pultdächern mit allseitigem Überstand (die jedenfalls unter fast allen Umständen funktionieren) oft nicht zufriedengab und häufig nach attika-umrandeten Gebäudekonturen verlangte waren die nächsten Problemstellungen zu meistern.

Entwässerung der Hinterlüftungsebene?

Unterdächer müssen entwässert werden was aber auch bei allseitiger Attikakonstruktion bewältigbar ist. Unterdächer bei Holz-Flachdächern müssen deshalb zumindest eine Neigung wie die darüberliegende Dachabdichtung aufweisen. Andernfalls kann sich im ungünstigsten Fall ein See in der Belüftungsebene bilden und für eine dauerhafte hohe Luftfeuchtigkeit sorgen. Damit wäre aber ein Schadensfall vorprogrammiert. Die Entwässerung selbst ist handwerkliche Arbeit und kann durch entsprechende Gully bzw. Speier erfolgen wie beim herkömmlichen Flachdach auch.

Thermischer Auftrieb oder Wind?

Belüftung durch thermischen Auftrieb funktioniert bei Führung des Luftstromes über die Attika nicht, weil Thermik denklogisch eine Neigung der Dachfläche bzw. eine Höhendifferenz von Zu- und Abluft benötigt. Damit bleibt nur mehr die Außenluftbewegung (Wind) zur Anregung einer ausreichenden Durchströmung über.

Ob und wann diese Durchströmung ausreicht, um Schadensfreiheit zu gewährleisten wurde in Fachkreisen vielfach diskutiert. Wohl aufgrund der negativen Erfahrungen mit den dicht-dicht Konstruktionen (kaum ein Holzbau-Ausführender, Holzbau-Planer bzw. deren Bauphysiker wurde vor der Konfrontation eines zuvor

freigegebenen und dann doch schadhaft gewordenen Daches verschont) ging man diesmal auf Nummer sicher und verständigte sich (insgeheim) auf die Faustregel „Sich-sehende-Öffnungen“.

Damit waren aber plötzlich Umleitungen des Luftstromes über z.B. eine Attika oder einen First unerwünschte Konstruktionen, wenn nicht sogar überhaupt moralisch verboten. Jedenfalls führte es zu einer großen Unsicherheit unter Planern.

Sekundärkondensation?

Zusätzlich hängt immer das Damoklesschwert der Sekundärkondensation über jeder belüfteten Konstruktion. Darunter versteht man Feuchtigkeit, die aufgrund des Luftstromes von außen in die Belüftungsebene eingebracht wird, wodurch die Schalung bzw. Platten durchfeuchtet werden. Kondensierende Außenluft ist jedoch ein normaler Vorgang und aus meiner Sicht bei gut gedämmten Aufbauten nicht vermeidbar.

Wesentlich ist, dass diese Feuchtigkeit durch ausreichende Luftströmung wieder austrocknet, bevor sie Schäden wie Schimmelbildung an den Oberflächen hervorruft.

Sekundärkondensat wurden bei unseren Untersuchungen nicht miteinbezogen, da sowohl Komplexität als auch Zeitaufwand der Untersuchungen soweit ansteigt, dass es den Rahmen sprengen würde (auch frühere Projekte zur Untersuchung von Hinterlüftungen scheiterten an diesem Anspruch).

3. Regelung von Belüftungen in Normen

Immer größere Bedeutung erlangte in diesem Verlauf die Önorm für Unterdächer (zuerst als ONR 22219-2:2004, aktuell als ÖN B 4119:2018) mit Ausführungsregeln hinsichtlich Zu- und Abluftöffnungen sowie einer Tabelle mit Mindest-Konterlattenhöhe abhängig von Neigung, Dachlänge und Schneelast.

	Dachneigung							
Sparrenlänge	5° bis 15°		15° bis 20°		20° bis 25°		> 25°	
Schneelast sk	< 3,25	≥ 3,25	3,25	≥ 3,25	< 3,25	≥ 3,25	< 3,25	≥ 3,25
bis 5 m	45	60	45	60	45	45	45	45
über 5 m bis 10 m	60	60	45	60	45	60	45	60
über 10 m bis 15 m	60	75	60	75	60	75	45	60
über 15 m bis 20 m	75	95	75	95	75	75	60	75

Abb.: Tabelle 2 ÖN B 4119:2018

Anlässlich eines Gerichtsfalles in Oberösterreich wurde die (nicht exakt den Mindesthöhen gemäß ÖN B 4119) entsprechende Belüftungshöhe eines Daches thematisiert und durch einen Sachverständigen als „schadensverursachend“ qualifiziert.

Im Laufe des Gerichtsprozesses stellte sich heraus, dass Ausführende aus praktischen Erfahrungen heraus jedenfalls davon ausgehen, dass auch eine Belüftungsebene mit geringerer Höhe als in der Norm angegeben funktionstüchtig ist, da Schäden bei belüfteten Dächern selten vorkommen und wenn doch dann einen meist gutmütigen Verlauf nehmen.

Für Dachneigungen unter 5° bietet die Norm keine Hilfestellung und lässt sowohl Dachdecker als auch Bauphysiker mit „Bei Dächern mit Dachneigungen unter 5° sind Konterlattenhöhe, die Anordnung der Konterlatten und die Zu- und Abluftdetails objektbezogen festzulegen“ etwas ratlos zurück.

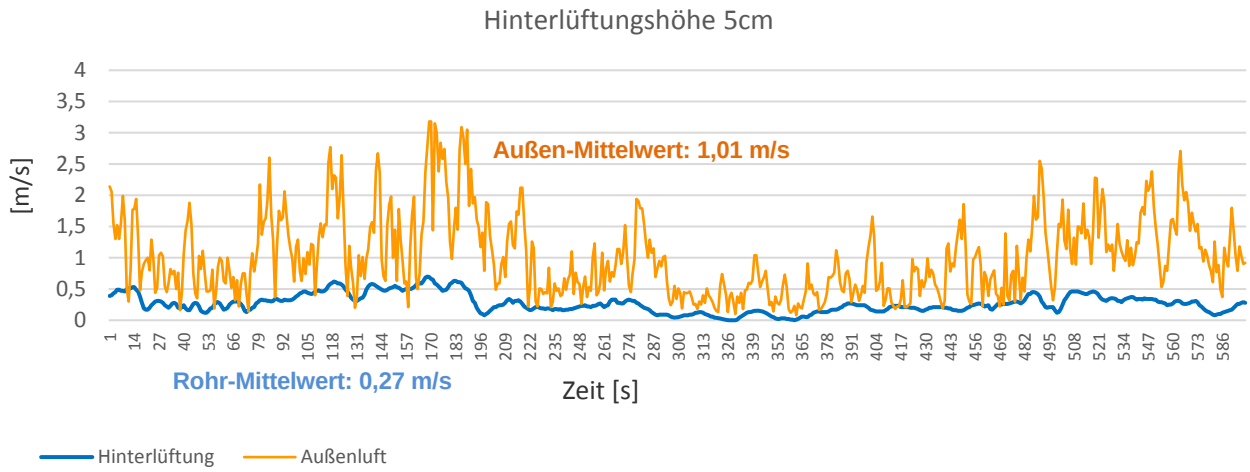
Um für Planungsaufgaben etwas mehr Klarheit über Wirkungsweise und Strömungsverhältnisse zu gewinnen wurden durch den Autor im Rahmen von Neubau- und Sanierungsprojekten mit belüfteten Dächern Messungen an Unterdächern hinsichtlich Durchströmung durchgeführt.

Aufgrund der positiven Erfahrungen bei den Messungen und einigen Rätseln, die nach genauerer Untersuchung verlangten, wurden die Forschungsarbeit an der HTL1 in Linz im Rahmen von betreuten Diplomarbeiten weitergeführt.

4. Bau eines Freifeld-Hinterlüftungsprüfstandes an der HTL1 in Linz

Der im Rahmen einer Diplomarbeit an der HTL1-Linz errichtete Hinterlüftungs-Prüfstand ermöglichte ab 2014 beliebige Variationen von Belüftungsquerschnitt, Neigung und Randausbildung.

Typische Versuchsanordnung:

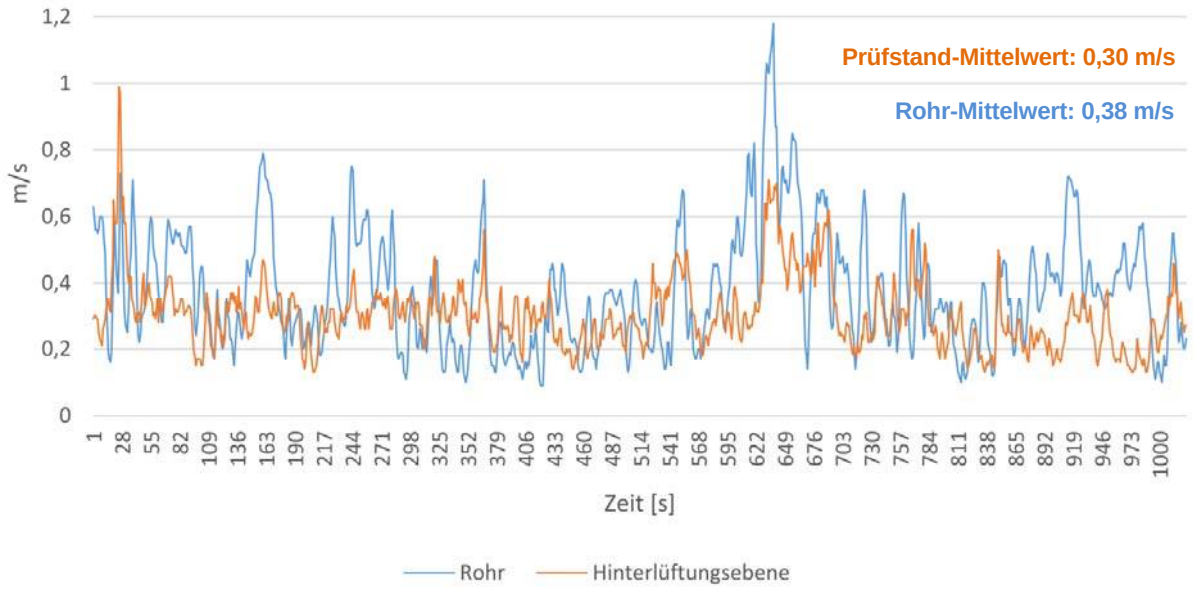


Insgesamt zeigte sich eine sehr gute Durchströmung der Belüftungsebene schon bei geringer Außenluftbewegung. Aufgrund ständig drehender Windrichtungen (Innenhoflage) wurde auf die detaillierte Dokumentation verzichtet. Der Aufwand dafür wäre hoch gewesen und der Erkenntnisgewinn aus baupraktischer Sicht nicht relevant.

Aufgrund der Zeitdauer bei Umbauarbeiten am Prüfstand (diese wurden sorgfältig geplant und zeitlich abgestimmt auf die Ausbildung der HTL-Schüler in der Zimmerei durchgeführt) wurden parallel Vergleichsmessungen mit 50mm-Abflussrohren durchgeführt.

Diese Methode erwies sich insgesamt als sehr praktikabel, da damit auch eine Prognose von Belüftungen im Vorhinein möglich war.

Vergleichsmessung Prüfstand und „Rohrmethode“



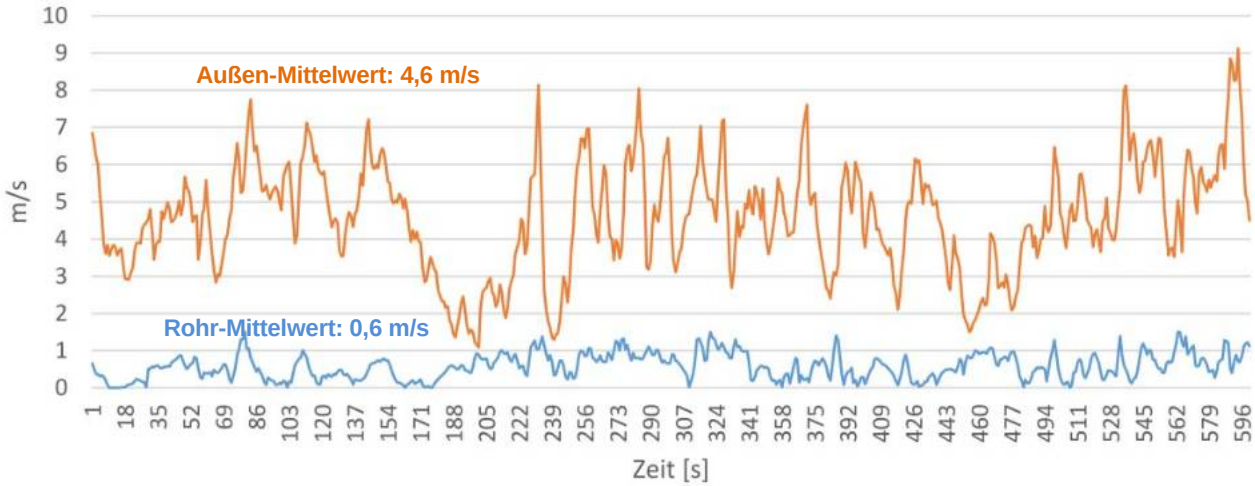
Die Strömungsgeschwindigkeiten im Rohr waren dabei bei weitgehend gleicher Ausführung ~25% höher als jene in der „realen“ Hinterlüftung des Prüfstandes (beide ohne Insektenschutzgitter gemessen).

5. Messungen an Bauwerken (Großversuch)

Aufgrund der Erfahrungen mit dem Prüfstand und der nunmehr zur Verfügung stehenden Rohrmethode wurden im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit an der HTL und in Zusammenarbeit mit der HTKW Leipzig unterschiedlichste Dachformen an realen Gebäuden gemessen.

Flachdach des Schulbauhofes der HTL1 in Linz Wegscheid

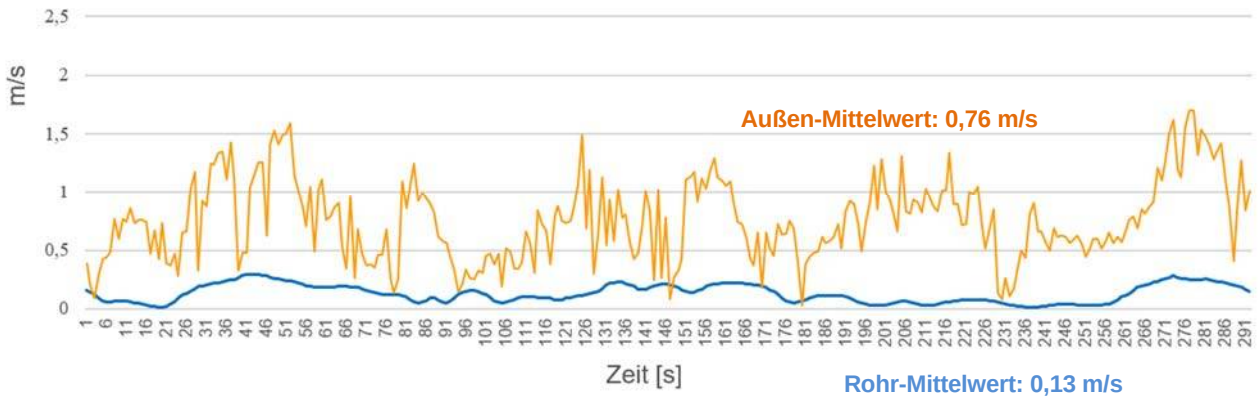
Theoretische Belüftungslänge: 36m (2x über Attika geführt)



In diesem Fall war das Ergebnis überraschend, da aufgrund der Dachlänge von 36m und der insgesamt 6 Umlenkungsbögen im Bereich der Attika die Erwartungshaltung hinsichtlich Durchströmung im Vorfeld nur sehr gering war. Mit einem Mittelwert von ~12% der Außenluftbewegung am Dach zeigte sich jedoch eine gute und dauerhafte Durchströmung.

Flachdach eines sehr windgeschützten Flachdaches (Innenstadtlage)

Theoretische Belüftungslänge: 15m (2x über Attika geführt)

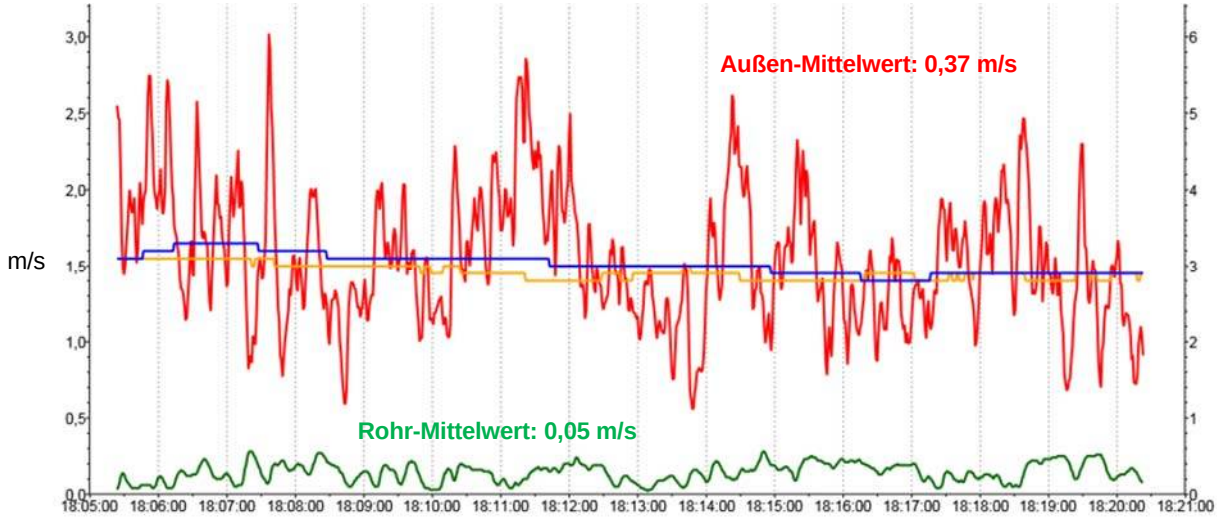


Hier wurde untersucht, ob ein bisher als „konventionelles“ Holz-Flachdach, bei dem eine Sanierung anstand, in Zukunft als belüftetes Flachdach ausgeführt werden könnte. Spannend war die Lage, da das rund 6m hohe Gebäude allseitig von 4-5-geschoßigen Wohnbauten eingeschlossen in einem Innenhof situiert war.

Die durchgeführten Messungen zeigten auch an einem relativ „windstille“ Tag eine akzeptable Luftbewegung im Bereich des Gebäudedaches. Mit zweimaliger Führung über die Attika wurde im Rohr eine Geschwindigkeit von rund 15% der Außenluft erreicht.

Industriedach

Belüftung nach innen gedreht und mehrfach umgelenkt

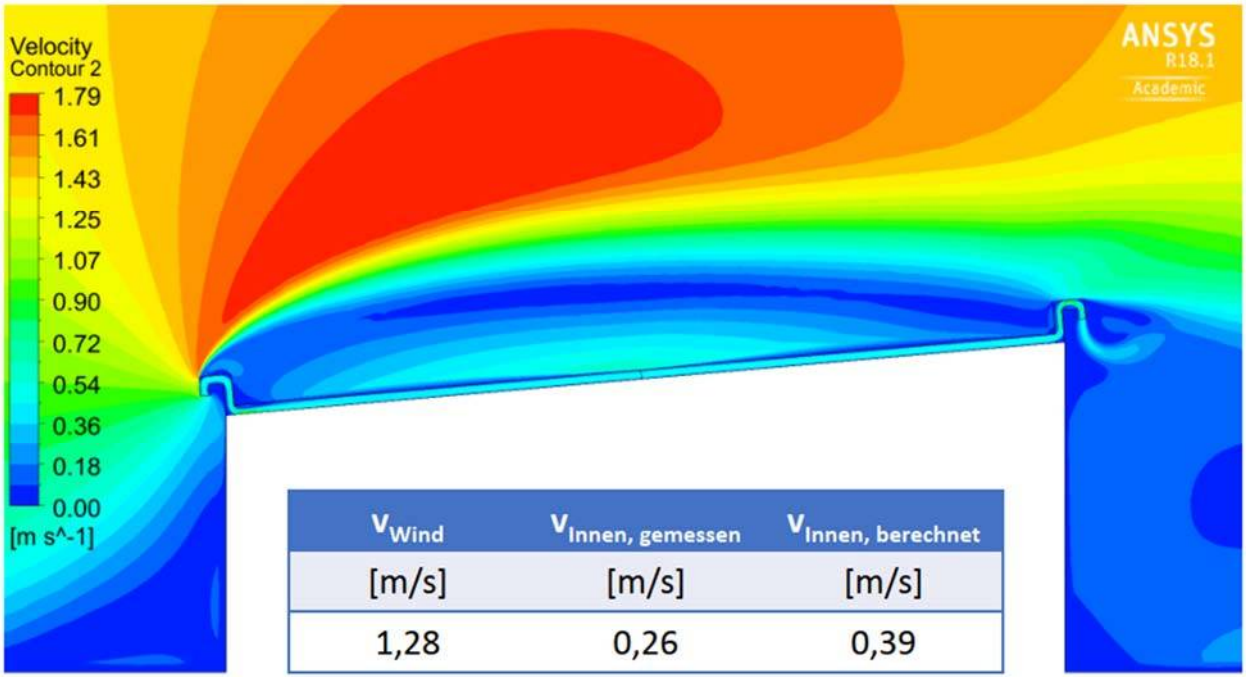


Bei dieser Dachform zeigten sich tatsächliche Schwächen in der Durchströmung, da durch die Form nur wenig Wind angreifen kann bzw. dieser Kanalförmig in Dachlängsrichtung streicht und damit quer zur Rohrmündung bzw. Zuluft).

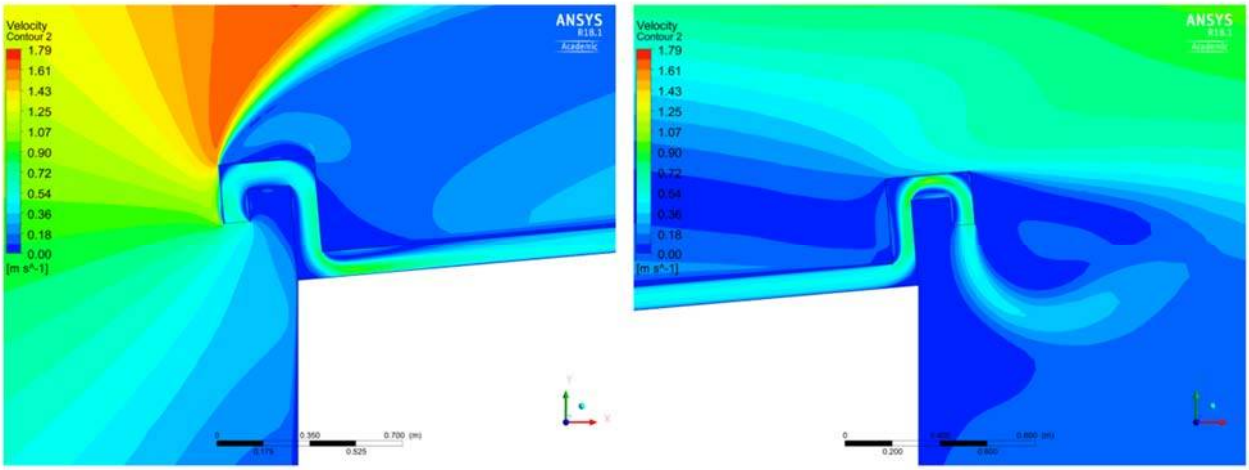
6. 2D-Simulationsberechnungen (Strömungsgeschwindigkeit)

Im Rahmen eines an die Untersuchungen anschließenden Diplomarbeitsprojektes initiiert von der WKO OÖ Landesinnung Dachdecker, Glaser und Spengler sowie Landesinnung Holzbau und dem Fachverband der Holzindustrie Österreichs an der FH Wels (Diplomand Ing. Bernhard Fürpaß; Betreuung: DI Dr. Georg Aichinger; Projektleitung: DI Stefan Leitner WKO OÖ; Beratung: IBTS GmbH, Johann Spiessberger) wurden die bereits gemessenen Hinterlüftungen als 2D- und 3D-Computermodell nachgebaut und mittels numerischer Strömungsmechanik CFD (Computational Fluid Dynamics, Programm ANSYS R 18.1) berechnet. Anhand der vorhandenen Prüfstandsmessungen wurden Ergebnisse der auf die tatsächlich gemessenen Verhältnisse kalibriert.

Mit diesem Werkzeug war es nun möglich theoretisch unendlich viele Kombinationen aus Dachneigung, Dachlänge, Attikahöhe und Belüftungsquerschnitt zu berechnen und als Ergebnis mögliche Strömungsgeschwindigkeiten als Tabellenwerte anzugeben.



v_{Wind}	$v_{Innen, gemessen}$	$v_{Innen, berechnet}$
[m/s]	[m/s]	[m/s]
1,28	0,26	0,39



Geschwindigkeitsverteilung Detail Einlass

Geschwindigkeitsverteilung Detail Auslass

Abb.: 2D-Modell der Dachbelüftung

Ergebnistabellen (Beispiel) der 2D-Berechnungen mit paralleler Anströmung

5° Dachneigung

h	*L*	*H*	*w*	*v*	*v**
[mm]	[m]	[m]	[°]	[m/s]	[m/s]
20	10	1,3	5	0,13	0,08
45	10	1,3	5	0,27	0,18
75	10	1,3	5	0,33	0,22
20	20	1,3	5	0,06	0,04
45	20	1,3	5	0,15	0,10
75	20	1,3	5	0,21	0,14
20	40	1,3	5	0,03	0,02
45	40	1,3	5	0,12	0,08
75	40	1,3	5	0,19	0,13
20	10	0,4	5	0,14	0,10
45	10	0,4	5	0,28	0,19
75	10	0,4	5	0,32	0,22
20	20	0,4	5	0,04	0,03
45	20	0,4	5	0,15	0,10
75	20	0,4	5	0,20	0,14
20	40	0,4	5	0,03	0,02
45	40	0,4	5	0,12	0,08
75	40	0,4	5	0,19	0,12

Dachneigung w = 5°

Hinterlüftungshöhe h = 20 / 45 / 75 mm

Dachlänge 10 / 20 / 40 m

Attikahöhe 1,3 / 0,4 m

v…berechnete Geschwindigkeit im Hohlraum

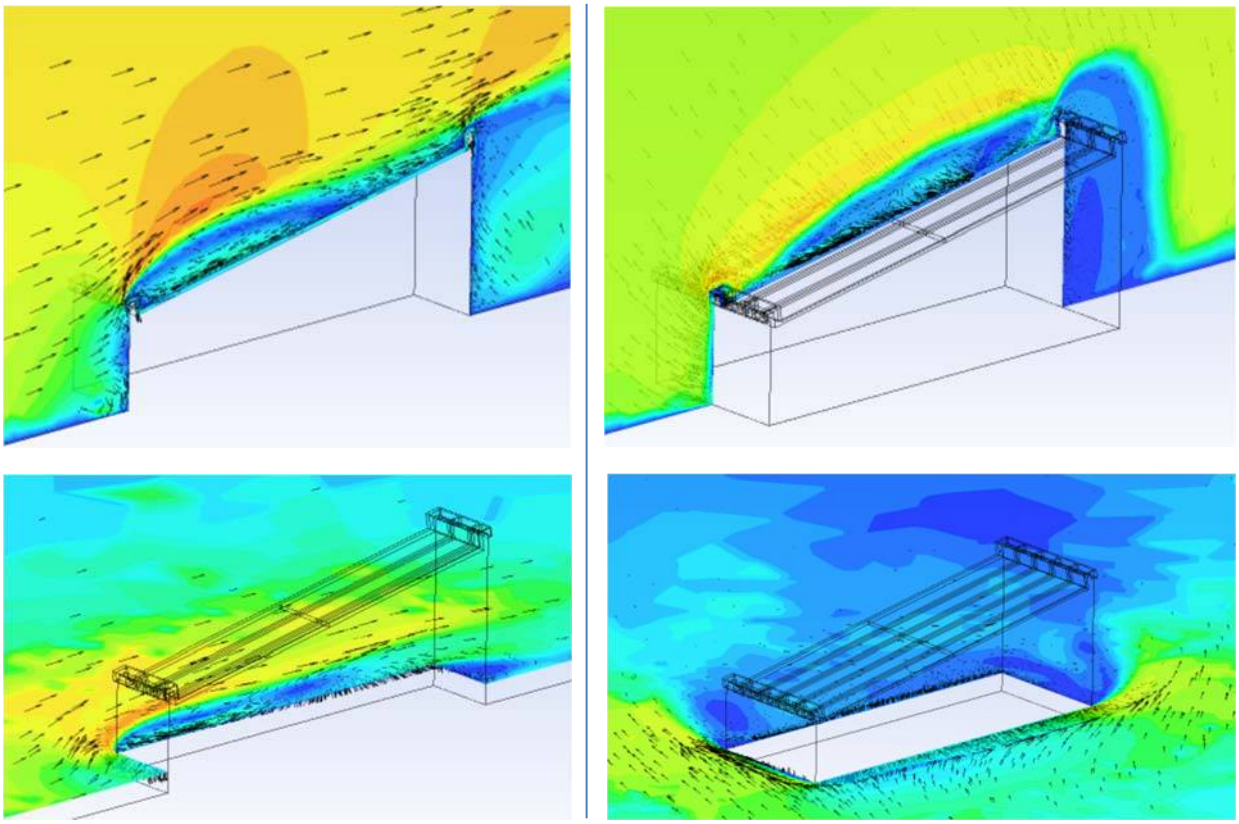
v*…korrigierte Geschwindigkeit (Abgleich mit Messungen)

Rote Markierung: „Riskant“ niedrige Luftgeschwindigkeiten $\leq$ 0,05 m/s (Grenze willkürlich festgelegt!)

7. 3D-Berechnungen (Strömung abhängig von der Windrichtung)

Die oben angeführten 2D-Berechnungen lieferten Ergebnisse bei paralleler Anströmung (in Belüftungsrichtung) was natürlich einen unrealistisch guten Wert liefert. Bei den Messungen wurde ständig wechselnde Windrichtung beobachtet. Dies deckt sich auch gut mit Beobachtungen von Messwerten der ZAMG wonach der Wind im Regelfall ständig dreht.

Um den Einfluss der Windrichtung auf die Durchströmung zu ermitteln wurde ein 3D-Modell der Belüftungen erstellt und unter verschiedenen Anströmungsrichtungen berechnet.



Anströmung 0° (parallel) Anströmung 60°

Anströmung parallel

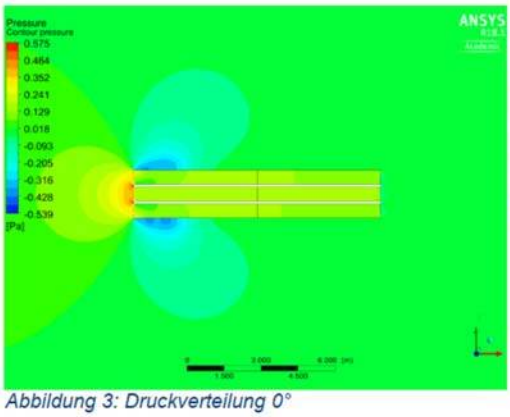


Abbildung 3: Druckverteilung 0°

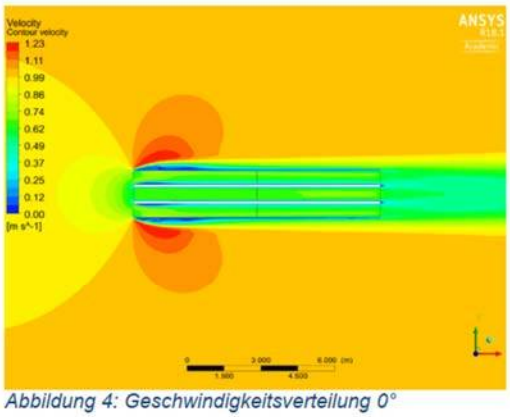


Abbildung 4: Geschwindigkeitsverteilung 0°

Anströmung 45°

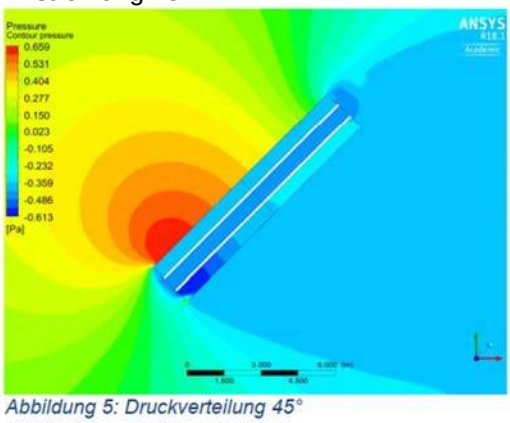


Abbildung 5: Druckverteilung 45°

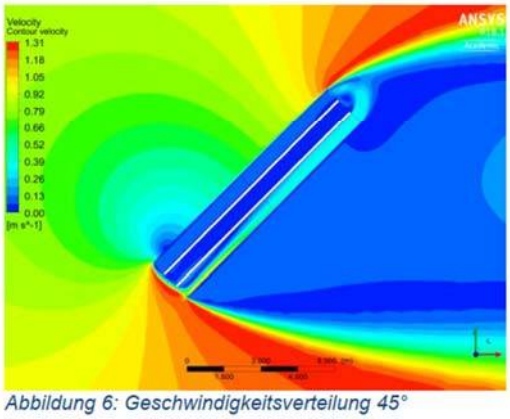


Abbildung 6: Geschwindigkeitsverteilung 45°

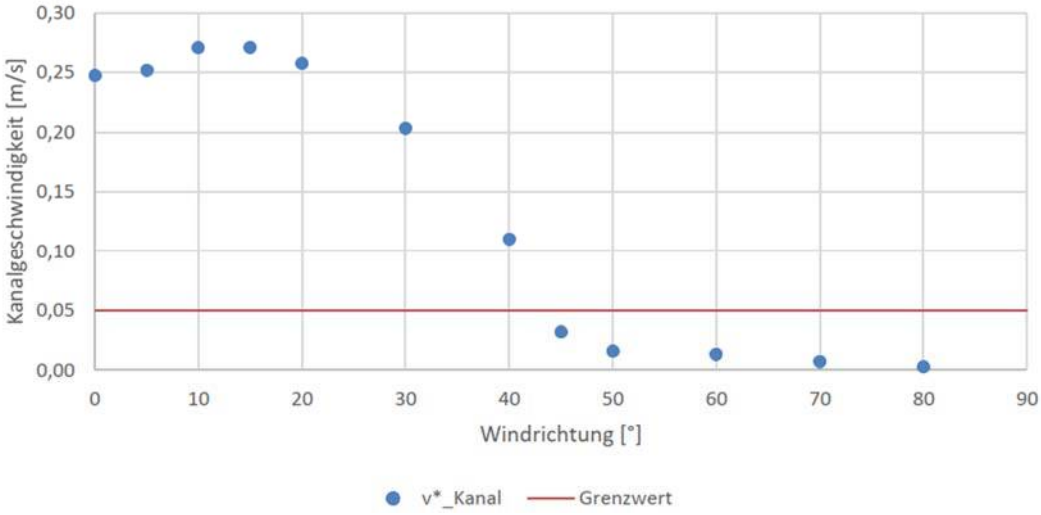


Abb.: Diagramm der Kanalgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Anströmrichtung (0 = parallel; 90 = quer)

Die Ergebnisse der Anströmrichtungsanalyse zeigt einen erheblichen Einfluss auf die Kanalgeschwindigkeit. Diese fällt (laut Berechnung) ab 20° stark ab und geht ab 45° im Wesentlichen bis gegen 0.

Bei den Messungen zeigt sich ein derartiger Abfall der Kanalgeschwindigkeit nicht. Die Ursachen für den Unterschied wurden bisher noch nicht näher untersucht dürften aber in der Trägheit der Luftströmung insgesamt liegen was bei ständig wechselnder Anströmungsrichtung nicht zu völligen Abriss der Strömungen führt, sondern ausgleichend wirkt.

8. Fazit aus Messung und Berechnung von Hinterlüftungen

1. Durchströmung von Dachbelüftungen funktioniert denklogisch bei flachgeneigten Dächern nahezu ausschließlich windgetrieben da mangels Neigung kein thermischer Auftrieb möglich ist.

2. Auch Lüftungsquerschnitte, deren Höhe geringer ist als von der Norm vorgegeben, können eine ausreichende Durchströmung aufweisen.

3. Ein „sich sehen müssen der Öffnungen“ wäre natürlich günstig ist aber aufgrund der durchgeführten Untersuchungen nicht zwingend notwendig.

4. Die festgestellten Geschwindigkeiten in den Belüftungsquerschnitten reichen in den allermeisten Fällen aus, um Konstruktionen schadensfrei zu halten. Wesentlich dabei ist, dass die verwendeten Materialen in der Belüftungsebene über einen gewissen Zeitraum, in dem Sekundärkondensation passieren kann, keine erhöhte Schimmelneigung zeigen.

5. Durch eine Recherche über die üblichen Windverhältnisse am Standort des (zukünftigen) Gebäudes kann die Wirksamkeit einer Belüftung besser eingeschätzt werden. Besonders inneralpine Beckenlagen und große Talböden des Vorlandes weisen windschwache Windverhältnisse auf. Hier ist bei aller Freude über die vielversprechenden Ergebnisse der Untersuchungen Vorsicht geboten.

6. Empfehlung: Mindestanforderungen der Önorm B4119 einzuhalten und wenn möglich keine Umleitungen in der Hinterlüftung zu planen. Ist dies nicht möglich kann eine Detailbeurteilung unter Zuhilfenahme dieser Untersuchungen erfolgen, um eine möglichst risikoarme Konstruktion herzustellen.

7. Auf Entwässerung und Neigung der Belüftungsebene nicht vergessen!

Hinweis:

Die Untersuchungen beziehen sich auf Hinterlüftungen mit unten und oben ebenen Schichten (Schalung bzw. Platten). Bei zusätzlicher Lattung im Querschnitt könnte es zu Wirbelbildungen kommen und die Durchströmung dadurch behindert werden. Dies war nicht Gegenstand der Untersuchungen.

9. Literatur

Diplomarbeit HTL1: „Die Entwicklung eines Prüfstandes für Hinterlüftungsebenen bei flachgeneigten Dächern“, Fessl/Olah; Betreuung: Johann Spiessberger; Linz 2014

Diplomarbeit HTL1: „Hinterlüftung von flachgeneigten Dächern“, Gahbauer; Betreuung: Johann Spiessberger; Linz 2015

Diplomarbeit HTWK Leipzig: „Belüftung von flachen bzw. flachgeneigten Dächern – Vergleich von In-Situ-Messungen und Normvorgaben“; Betreuung: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Möller; Co-Betreuung: Johann Spiessberger; Leipzig 2018

„Das hinterlüftete Flachdach – Strömungsverhalten: Versuch, Messung und Simulation“; G. Aichinger, B. Fürpaß, S. Leitner, J. Spiessberger; WKO Landesinnung der Dachdecker; Linz 2018

Bericht Nr. 1: Ing. Bernhard Fürpaß, BSc; „Forschungsprojekt Hinterlüftung – CFD Berechnung von Hinterlüftungen bei Flachdächern“, Betreuung: G. Aichinger; FH-Wels 2018

Bericht Nr. 2: Ing. Bernhard Fürpaß, BSc; „Forschungsprojekt Hinterlüftung – CFD Flachdächer Sonderfälle“, Betreuung: G. Aichinger; FH-Wels 2018

Bericht Nr. 4: Ing. Bernhard Fürpaß, BSc; „Forschungsprojekt Hinterlüftung – CFD Flachdächer Windrichtung“, Betreuung: G. Aichinger; FH-Wels 2018

Önorm B 4119 „Planung und Ausführung von Unterdächern und Unterspannungen“; 2018

CURRICULUM VITAE

MSc
David STUCKEY

Ingenieurbüro P. Jung

Jung-Ingenieure.at
Wipplingerstraße 23/3
1010 Wien

stuckey@jung-ingenieure.at

David Stuckey's Schwerpunkte liegen in der erneuerbaren Energiebereitstellung und Entwicklung von Leitbildern für Statdquartiere. Von der FH Technikum Wien erhielt er seinen MSc in Urbane Erneuerbare Energiesysteme im Jahr 2019. Für den Alpenverein errichtete er mehrerer PV-Anlagen im Hochgebirge des Glocknermassivs und stellte einen Solar-Luft-Kollektor her. Seinen Zivilersatzdienst leistete er nach Abschluss des Bachelor-Studiums bei einem Abfallentsorgungsprojekt in Dharamshala, Nord-Indien.

Von 2016–2020 war er am Institute of Building Research & Innovation an mehreren Forschungsprojekten in leitender Funktion tätig. Seit 2017 ist er beim Institutspartner Ingenieurbüro P. Jung beschäftigt, wo er als Projektleiter zuletzt für das Projekt „Viertel Zwei" in Krieau und deren Betriebsoptimierung des Anergienetzes verantwortlich war.

Das Ingenieurbüro P. Jung steht für Innovative Gebäudekonzepte.
Für inspirierende Gebäude mit exzellentem Komfort.
Für Gebäude mit angemessener und wirtschaftlicher Technik.
Für Gebäude, die mehr können und weniger brauchen.
Für Gebäude, die zum Klima- und Umweltschutz beitragen,
die ihren Beitrag zum Ausstieg aus fossilen Energieträgern leisten.

Raus aus Gas

Erneuerbare Wärme im Gebäudebestand

MSc David Stuckey, Ingenieurbüro P. Jung, A-1010 Wien
DI Matthias Kendlbacher, Ingenieurbüro P. Jung, A-1010 Wien
BSc Felix Wimmer, Institute of Building Research & Innovation, A-1010 Wien

1. Hintergrund

Die „Not-wendigkeit“ einer Dekarbonisierung unseres Lebens scheint in der Politik mittlerweile ernst genommen zu werden. In der Wiener Stadtpolitik etwa finden sich schon länger klare Zielsetzungen zu einer lebenswerten Zukunft: Beispielsweise betreffend einer Senkung der Co2-Emissionen aus dem Gebäudebetrieb (Heizen, Kühlen, Warmwasser) um 2 % pro Kopf und Jahr, ab 2005 (so die *Smart City Wien Rahmenstrategie*[1]).

Mit dem aktuellen Regierungsprogramm mit dem Titel *Aus Verantwortung für Österreich* folgen ambitionierte Ziele auf Bundesebene. Ein klimaneutrales Österreich bis 2040 wird darin als klares Ziel definiert. Die dafür notwendigen Schritte, Maßnahmen und Gesetze werden derzeit ausgearbeitet. Dazu gehören die folgenden Themenfelder: [2]

- Klimaschutzorientierte Energieraumplanung
- Einführung eines sozial verträglichen Sanierungsgebots
- Phase-out für Öl und Kohle in der Raumwärme
- Schaffung gesetzlicher Grundlagen zum Ersatz von Gasheizsystemen

2. Gebäudesektor

Grundsätzlich hört sich das nach altbekannten Themen an. Was diese jedoch konkret für den Gebäudesektor und insbesondere den Gebäudebestand bedeuten, sei im Folgenden erläutert.

Der Gebäudebestand wird derzeit mit einer Mischung aus fossilen und erneuerbaren Energien versorgt. 40 % aller Haushalte in Österreich – das sind 1,5 Millionen Haushalte – werden derzeit mit fossilen Energieträgern (Kohle, Öl oder Gas) versorgt. Insofern müssen zumindest diese 40% aller Haushalte in den nächsten 20 Jahren auf eine Versorgung mit erneuerbaren Energien umgestellt werden, um die gesetzten Ziele zu erreichen sowie um eine lebenswerte Umwelt zu erhalten.

[1] Siehe: Magistrat der Stadt Wien, 2019, Smart City Wien Rahmenstrategie – 2019–2050.
[2] Bundeskanzleramt Österreich, 2020, Aus Verantwortung für Österreich – Regierungsprogramm 2020 – 2024.

Die folgende Abbildung zeigt die Anzahl der Haushalte in Österreich nach dem primären Energieträger für Heizen und Warmwasser über die Heizperiode 2017/2018. Die Mehrheit der fossil versorgten Haushalte nutzt Erdgas als Energieträger, konkret sind das 0,9 Millionen Haushalte und 60% aller fossil versorgten Haushalte. Die restlichen 40 % der fossil versorgten Haushalte (0,6 Millionen) werden mit Heizöl versorgt. Gerundet, werden 0 % der Haushalte mit Kohle beheizte. Die Herausforderung sind also, wie zu erwarten, die mit Gas und Öl versorgten Objekte. Das betrifft auch die, die erst kürzlich mitfilfe von Fördermitteln auf einen neuen Brennwertkessel umgestiegen sind.

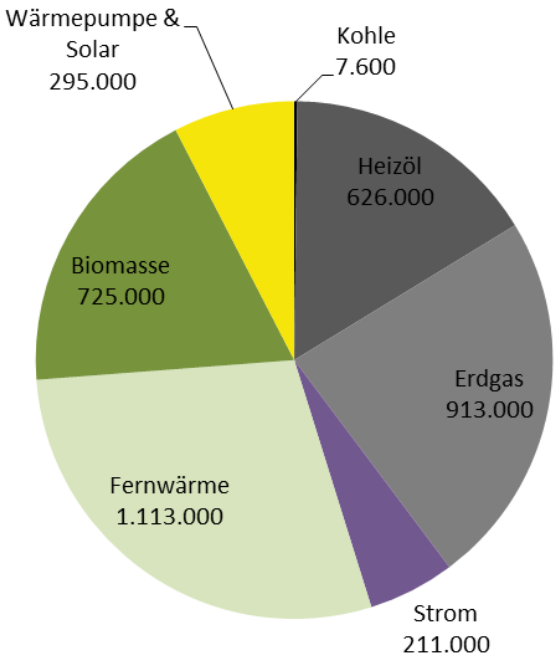


Abbildung 1 Anzahl der Haushalte in Österreich nach dem primären Energieträger für Heizen und Warmwasser 2017/2018 (Eigene Darstellung auf Basis von Daten der Statistik Austria) [3]

3. Exkurs Grünes Gas

Es stellt sich die Frage, ob eine Dekarbonisierung tatsächlich in jedem einzelnen Gebäude und jedem Haushalt stattfinden muss. Ist eine zentrale Dekarbonisierung, eine erneuerbare Produktion von Gas, nicht die technisch und wirtschaftlich günstigere, und politisch viel einfacher durchzusetzende Lösung?

2018 wurden in Österreich 77 TWh an Erdgas sowie 18 TWh an Erdöl für Gebäude, Industrie und Strom-& Fernwärmeerzeugung verbraucht (also noch ohne den Verkehr einzuberechnen). Es braucht somit 95 TWh/a an Grünem Gas um beide Energieträger zu ersetzen. Ein Teil dieses Bedarfs könnte jedenfalls mit Biogas gedeckt werden. Die Biogas Produktion wird laut einer Studie der JKU bis 2040 13 TWh/a und 25 TWh/a ab 2050 betragen.[4]

Es besteht also ein zusätzlicher Bedarf an Grünem Gas von zumindest 70 TWh/a; dieses müsste synthetisch, also über Power-to-Gas, hergestellt werden. Zur Veranschaulichung der Energiemenge:

- **1 m² PV-Fläche** produziert 150 kWh Strom pro Jahr
- 150 kWh Strom können in einer Elektrolyse **100 kWh Wasserstoff** erzeugen oder
- 150 kWh Strom können mit nachgeschalteter Methanisierung **80 kWh Methan** bereitstellen

[3] Statistik Austria, 2020, Energieeinsatz der Haushalte – Einsatz aller Energieträger in allen Haushalten nach Verwendungszwecken 2003 bis 2018.
[4] Lindorfer, J., Fazeni, K., Tichler, R., Steinmüller, H., 2017, Erhöhung des Einsatzes von erneuerbarem Methan im Wärmebereich. JKU – Johannes Kepler Universität Linz.

Um die benötigten 70 TWh/a, in Form von Methan, mit PV-Strom erneuerbar zu produzieren, wird eine PV-Modulfläche mit 869 km² benötigt. Das entspricht dem gesamten versiegelten Bauland von ganz Österreich oder einer 100 m² PV-Fläche pro Person.

Grünes Gas kann einen Beitrag leisten. Jedoch ist es für eine Verwendung in Gebäuden um lauwarmes Wasser bereitzustellen, jedenfalls zu wertvoll und begrenzt vorhanden.

4. Alternative Energieträger

Ohne Grünes Gas als Alternative bleiben noch die folgenden Energieträger als mögliche Lösungen: (1) Fernwärme, (2) Strom-Direkt, (3) Biomasse und (4) Wärmepumpen & Solar. Im Folgenden wird im Detail auf diese vier Optionen eingegangen.

4.1. Fernwärme

Umstellungen von Gas- und Öl-versorgten Haushalten auf Fernwärme werden seit Jahrzehnten erfolgreich durchgeführt. Das bereitgestellte Temperaturniveau der Fernwärme mit üblicherweise > 60 °C ist dabei ident mit dem davor durch Öl- und Gaskesseln bereitgestelltem. So können Wärmeverteilung und Wärmeabgabe prinzipiell weiter genutzt werden.

Je nach derzeitiger Wärmebereitstellung ist Fernwärme als erneuerbare Energie einzustufen. Viele österreichische Fernwärmeanlagen bedürfen bis 2040 beträchtlicher Veränderungen. Eine erfolgreiche Dekarbonisierung der Fernwärmebereitstellung vorausgesetzt, kann Fernwärme eine stabile Wärmequelle mit niedrigen Initial-Investitionen darstellen.

4.2. Strom-Direkt

Die Nachspeicher-Öfen aus den 1970er Jahren werden weniger. Strom-Direkt Heizungen allgemein, speziell in Form von Infrarot-Paneelen, gewinnen jedoch wieder an Popularität.

Mit dem derzeitigen Strommix ist eine Strom-Direkt Heizung jedenfalls nicht erneuerbar. Dennoch erscheint die Stromwende mit 100 % erneuerbarem Netzstrom bis 2040 ein realistisches Szenario zu sein.

Der Netzstrom sollte im Jahr 2040 zwar erneuerbar produziert werden, in der Menge ist dieser aber stark beschränkt. Wie schon im Exkurs zum Grünen Gas beschrieben, ist gerade Fläche ein nicht-erneuerbares Gut und damit ist auch mit erneuerbarem Strom sensibel umzugehen.

Strom-Direkt Heizungen können für gewisse Anwendungsbereiche sinnvoll sein, sind aber mit Sicherheit keine Lösung für eine flächendeckende Anwendung.

4.3. Biomasse

In Österreich gibt es derzeit 0,7 Millionen mit Biomasse versorgte Haushalte, das ist mit 19 % aller Haushalte ein relevanter Anteil.

Biomasse ist ein regional in Österreich verfügbarer erneuerbarer Energieträger – aber auch wieder eine stark begrenzte Ressource. Bereits die derzeitige Nutzung ist an der Kapazitätsgrenze, wenn nicht sogar schon darüber. Eine Erhebung der Holzströme in Österreich des BMLFUW ergab für 2013 eine Holz-Nutzung von

21,9 Mio. Efm.[5] In der gleichen Periode wurden gemäß dem Umweltbundesamt nur 18 Mio. Efm[6] eingeschlagen. Darüber hinaus zeigen steigende Importmengen, dass der derzeitige Holzbedarf das regional verfügbare Holzangebot bereits überschritten hat.
Das Potential der Biomasse als erneuerbarer Energieträger zur Versorgung von Haushalten ist ausgeschöpft, sodass von einem forcieren und weiteren Ausbau von Biomasseheizungen abzusehen ist.

4.4. Wärmepumpen & Solar

Wärmepumpen benötigen wie Strom-Direkt Nutzungen Netzstrom. Im Unterschied dazu erreichen aktuelle Wärmepumpen, auch in Bestandsgebäuden, im Realbetrieb Jahresarbeitszahlen von 3 mit Luft als Wärmequelle und Jahresarbeitszahlen von 4, mit Erdwärme als Wärmequelle.[7] Damit wird also nur ein Drittel bzw. ein Viertel des Stroms einer Direkt-Heizung benötigt.

Die Stromwende muss gelingen, damit Wärmepumpen eine vollständig erneuerbare Versorgung darstellen. Im Gegensatz zu Strom-Direkt Nutzungen, wird aber eben nur ein Drittel bzw. Viertel des Netzstrombedarfs benötigt – eine Energiemenge die erneuerbar bereitgestellt werden könnte. Für einen Ersatz der derzeit fossil bereitgestellten Energie in Haushalten mit Wärmepumpen, braucht es eine PV-Fläche von 66 km² bzw. 0,08 % der Fläche Österreichs, das sind weniger als 8 % des versiegelten Baulands oder 7 m² PV-Fläche pro Person. Eine ambitionierte, aber durchaus erreichbare Größe.

5. Beispiele aus der Praxis

Die vorliegende Zusammenfassung und Bewertung der Umstellung von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern ist das Ergebnis einer zumindest fünfjährigen intensiven Auseinandersetzung mit der Planung, der Ausführungsbegleitung sowie dem Monitoring und der Betriebsoptimierung nicht fossiler, balancierter Raumheiz- und -kühlsysteme auf Basis sehr unterschiedlicher Umweltenergieformen und der Wärmepumpentechnologie.

Aktuell haben wir auch im Auftrag der Wiener MA20 eine umfangreiche Machbarkeitsstudie, der Umstellung von Gasheizungen an 8 realen Wiener Wohnbauten sowie an 6 archetypisch konstruierten Wohnbauten durchgeführt, inklusive technischer Konzeptionen und Kostenschätzungen.

Wir halten fest, dass wir in keinem einzigen dieser Fälle eine technisch begründete Unmöglichkeit der Umstellung von Gasheizungen vorgefunden haben. Gestützt auf diese tatsächlich sehr breite Erfahrung ist es unsere feste Überzeugung, dass die Umstellung von Gasheizungen in wirklich jedem Bestandsgebäude mit heute verfügbaren Technologien möglich ist.

Sehr wohl ergibt sich aus den spezifischen Konstellationen von Bestandsgebäuden eine erhebliche Bandbreite des technischen und damit auch finanziellen Aufwands für eine Umstellung der Gasheizungen.

Methodisch definieren wir als Ausgangspunkt eine exemplarische Konstellation eines Bestandsgebäudes, in der eine Umstellung einer nicht-erneuerbaren Wärmebereitstellung mit sehr geringem technischem Aufwand möglich ist. Davon ausgehend, beschreiben wir Erschwernisse und geben dafür auch Kostenschätzungen der Maßnahmen an, die zur Überwindung dieser Erschwernisse angesetzt werden müssen.

Unsere Kostenschätzungen sind Erfahrungswerte aus eigenen Planungen sowie auch aus Planungen anderer Büros. Sie verstehen sich als Netto-Herstellungskosten, für 2020, im Großraum Wien. Wir beziehen unsere Kostenschätzungen stets auf einen Quadratmeter Wohnnutzfläche, vor dem Hintergrund einer mittleren Wohnungsgröße von ca. 70 m² und vor dem Hintergrund eines Bestandsgebäudes mit ca. 20 Wohnungen und somit 1.400 m² Wohnnutzfläche. Wir weisen darauf hin, dass es sich bei den von uns angegebenen Kostenkennwerten um Richtwerte handelt. Im realen Bauvorhaben können die tatsächlichen Kosten erheblich, in beide Richtungen, von diesen Richtwerten abweichen.

[5] BMLFUW, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014, Holzströme in Österreich.
[6] UBA, Umweltbundesamt, Böhmer, Siegmund, Gössl, Michael, Krutzler, Thomas, Pölz, Werner, 2014, Effiziente Nutzung von Holz: Kaskade versus Verbrennung.
[7] Günther, D., Wapler, J., Langner, R., Helmling, S., Miara, M., Fischer, D., Zimmermann, D., Wolf, T., Wille-Hausmann, B., 2020, Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WP_{SMART} im Bestand“. Fraunhofer ISE

Im Folgenden sind typische Gebäudesituationen beschrieben und wie diese erneuerbar versorgt werden könnten. Dabei wird insbesondere auf Lösungen mit Wärmepumpen eingegangen, also auf Gebäude außerhalb von Fernwärmegebieten.

5.1. Basiskonstellation Gebäude mit Zentralheizung

Ein Gebäude mit einer bestehenden zentralen Heizungs- und Warmwasserbereitung und den folgenden Charakteristika stellt eine denkbar günstige Konstellation an Gegebenheiten dar:

- Wärmeerzeugung zentral mit Energieträger Gas oder Heizöl
- Warmwasserbereitung ebenfalls zentral mit Energieträger Gas oder Heizöl
- Wärmeverteilung ebenfalls zentral
- Wärmeabgabe mit Radiatoren bei einer max. Vorlauftemperatur von 50°C

Außerhalb eines Fernwärmegebiets bietet sich eine Versorgung mit Wärmepumpen an. Eine zentrale Luft-Wärmepumpe stellt dabei die Investitionskosten günstigste Wärmepumpenlösung dar. Folgende Abbildungen zeigen schematisch die Versorgung des Gebäudes vor (links) und nach (rechts) der Umstellung. In rot sind die neu zu errichtenden Anlagenkomponenten dargestellt.

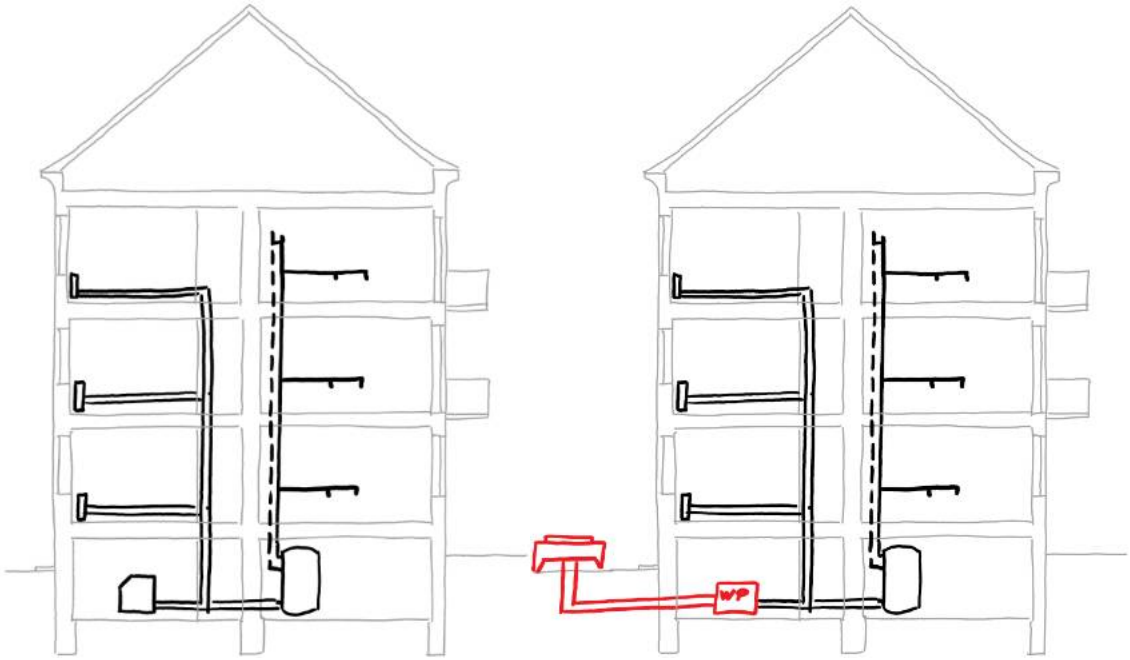


Abbildung 2 Umstellung eines zentral versorgten Gebäudes

Für eine Umstellung in dieser Art, mit Weiterverwendung der gesamten Energieverteilung und –abgabe, ist mit Kosten in der Höhe von 45 EUR/m²$_{NF}$ oder 3.150 EUR/Whg zu rechen.

5.2. Gebäude mit Gas- Etagenheizung

Ein Gebäude mit bestehenden Gas-Etagenheizungen, wie etwa 0,7 Mio. Haushalte in Österreich,[8] stellt einen aufwändigeren Fall dar.

Außerhalb eines Fernwärmegebiets bietet sich eine Versorgung mit Wärmepumpen an. Neben der Notwendigkeit des Heizungstauschs, besteht der Wunsch nach einer Verbesserung der sommerlichen Überwärmung. Eine Lösung stellt die Errichtung der folgenden Anlagenkomponenten dar:

- zentrale Wärmepumpe
- Erdsonden und Luft-Wärmetauscher als bivalent alternative Wärmequelle
- 4 Steigleitungen, 1 Leitungspaar fürs Warmwasser und 1 Leitungspaar für Heizen und Kühlen
- Frischwasserstationen für die Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip
- Tausch einzelner Heizkörper auf Niedertemperatur-Konvektoren für die Kälteabgabe

Folgende Abbildungen zeigen schematisch die Versorgung des Gebäudes vor (links) und nach (rechts) der Umstellung. In rot sind die für eine Umstellung des Heizsystems neu zu errichtenden Anlagenkomponenten dargestellt, in blau die Anlagenkomponenten, die darüber hinaus für eine sommerliche Temperierung notwendig sind.

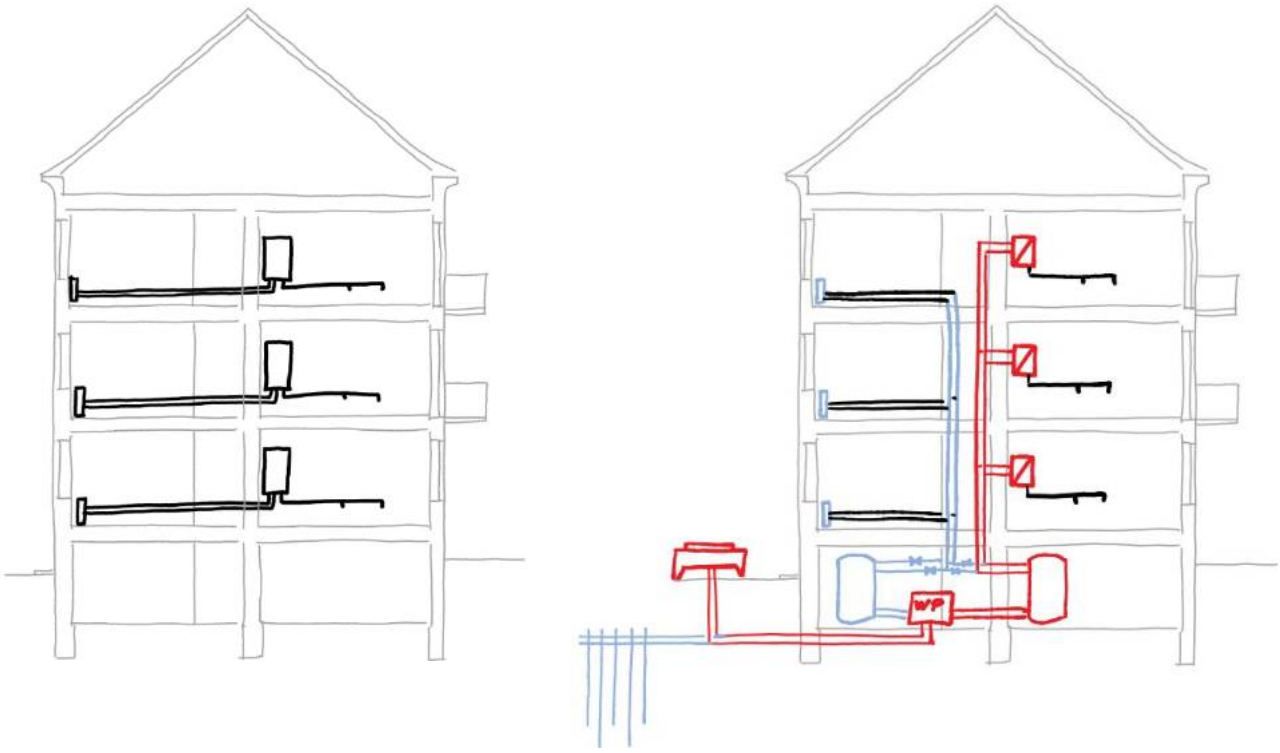


Abbildung 3 Umstellung eines Gebäudes mit Gas-Etagenheizungen

Für eine Umstellung in dieser Art, mit einer Möglichkeit der sommerlichen Raumtemperierung, ohne die Produktion von thermischen Abfall, ist mit Kosten in der Höhe von 200 EUR/m²$_{NF}$ oder 14.000 EUR/Whg zu rechen.

[8] Benke, G., 2017, Gasetagenheizungen im Licht der Dekarbonisierung des Energiesystems – Kurzstudie. MA 20 – Energieplanung, e7 Energie Markt Analyse GmbH.

6. Schlussfolgerungen

Wir empfehlen, ordnungspolitisch einen Zeitpunkt festzulegen,

- ab dem Raumheizung, Raumkühlung, Warmwasserbereitung und Kochen nicht mehr mit Gas erfolgen dürfen
- ab dem Gebäude mit Wohnnutzung oder wohnungsähnlicher Nutzung auch nicht mehr mit Gas versorgt werden dürfen
- bis zu dem daher naturgemäß eine Umstellung vorzunehmen ist.

Wir empfehlen, diesen Zeitpunkt mit jenem Zeitpunkt gleichzusetzen, zu dem die Bundesregierung das Ziel der nationalen Klimaneutralität beschlossen hat zu erreichen, also mit dem Jahr 2040.

Die verbleibenden 20 Jahre geben einen ausreichenden Spielraum, um erforderliche, auch flankierende, Maßnahmen zur Umstellung von Gasheizungen technisch und wirtschaftlich sinnvoll aufeinander abzustimmen, um Restnutzungsdauern von Komponenten wirtschaftlich zu nutzen.

Nur die ordnungspolitische Festsetzung eines rigorosen Ausstiegs aus der Gasversorgung für Raumheizung und Warmwasser schafft die Sicherheit und Planbarkeit von Investitionen in nicht fossile Infrastrukturen.

7. Literatur

Benke, G., 2017, Gasetagenheizungen im Licht der Dekarbonisierung des Energiesystems – Kurzstudie. MA 20 – Energieplanung, e7 Energie Markt Analyse GmbH.

BMLFUW, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014, Holzströme in Österreich.

Bundeskanzleramt Österreich, 2020, Aus Verantwortung für Österreich – Regierungsprogramm 2020 – 2024.

Günther, D., Wapler, J., Langner, R., Helmling, S., Miara, M., Fischer, D., Zimmermann, D., Wolf, T., Wille-Hausmann, B., 2020, Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „WP_{SMART} im Bestand“. Fraunhofer ISE.

Holzer, P., 2020, Zusammenfassung und Bewertung technischer Erschwernisse bei der Umstellung von Gasheizungen auf nicht fossile Energieträger. Institute of Building Research & Innovation

Lindorfer, J., Fazeni, K., Tichler, R., Steinmüller, H., 2017, Erhöhung des Einsatzes von erneuerbarem Methan im Wärmebereich. JKU – Johannes Kepler Universität Linz.

Magistrat der Stadt Wien, 2019, Smart City Wien Rahmenstrategie – 2019–2050.

Statistik Austria, 2020, Energieeinsatz der Haushalte – Einsatz aller Energieträger in allen Haushalten nach Verwendungszwecken 2003 bis 2018.

UBA, Umweltbundesamt, Böhmer, Siegmund, Gössl, Michael, Krutzler, Thomas, Pölz, Werner, 2014, Effiziente Nutzung von Holz: Kaskade versus Verbrennung.

CURRICULUM VITAE

Dipl.-Ing. Dr.
Peter HOLZER

IBR&I Institute of Building Research & Innovation

Wipplingerstraße 23/3
A-1010 Wien

peter.holzer@building-research.at

Inhaber des Ingenieurbüro P. Jung in Wien, einem Technischen Büro mit Spezialisierung in Thermischer Gebäudesimulation, Bauphysik und Gebäude-Energiekonzepten, sowie Gesellschafter des Institute of Building Research & Innovation, ebenfalls in Wien.

Zuvor Maschinenbaustudium und Dissertation an der Technischen Universität Wien sowie langjährige leitende Tätigkeit am Department für Bauen und Umwelt der Donau-Universität Krems.

Unterricht an der FH Campus Wien, Vorsitzender der Jury des Staatspreises Consulting Ingenieurconsulting des bmwfw, Mitglied einschlägiger Normungsausschüsse.

Aktuelle Arbeitsschwerpunkte sind in der Forschung die Mitwirkung im Konsortium zum Prortamm klimaaktiv erneuerbare Wärme und die Leitung des internationalen IEA Forschungsprogramms Annex 80 Resilient Cooling. Und im Ingenieurbüro die Konzeption balancierter Wärme- und Kälteversorgungen von Gebäuden mit Umweltenergiequellen und –senken, Wärmepumpen und Flächenheiz- und Kühlsystemen.

Flächenheizung und –kühlung

Heizen mit der Decke, Kühlen mit dem Fußboden?
Potenziale, Grenzen und Betriebserfahrungen

Dipl.-Ing. Dr. Peter Holzer,
IBR&I Institute of Building Research & Innovation, 1010 Wien

1. Einleitung

Mit dem Klimawandel steht auch der Wohnbau vor der Notwendigkeit der Kühlung. Sollen individuelle Nachrüstungen von Klimageräten verhindert werden, braucht es systematische Lösungen auf Gebäudeebene. Die saisonal balancierte Wärme- und Kälteversorgung aus Umweltenergiequellen und –senken bietet Chancen, die Abwärme aus dem Kühlen als Ressource für effizientes Heizen und somit klimaneutral bereitzustellen.

In allen diesbezüglichen Systemen spielt die Wärmeabgabe und –aufnahme bei niedriger Temperaturdifferenz zur Raumtemperatur, und damit bevorzugt über Flächensysteme, eine zentrale Rolle. Aus Kostengründen drängt sich der Kompromiss auf, mit Fußbodenheizungen auch zu kühlen oder mit Deckenkühlungen auch zu heizen.

Bauphysikalisch wirft das Fragen nach den Potenzialen und Leistungsgrenzen dieser Anwendungen auf:

- Wo liegen die Behaglichkeitsgrenzen von Fußbodenkühlung und Deckenheizung?
- Verbergen sich Gefahren schädlicher Kondensatbildung? Wenn ja, wie ist ihnen zu begegnen?
- Welche der zugeschriebenen Stärken und Schwächen können bestätigt oder widerlegt werden?
- Welche Konstellationen und nicht zuletzt Betriebsweisen haben sich in der Praxis bewährt, oder haben sich eben nicht bewährt?
- Daher: In welchen Konstellationen sind, wenn überhaupt, Deckenheizungen und Fußbodenkühlungen zu empfehlen?

2. Normativ verankerte Wärmestromdichten von Flächenheizungen und -kühlungen

Die Wärmestromdichte an erwärmten oder gekühlten Raumoberflächen ergibt sich aus dem Produkt aus der Differenz derer Oberflächentemperatur gegen die Raumlufttemperatur mit dem Wärmeübergangskoeffizienten. Letztere können in zulässiger Näherung als konstant über den relevanten Temperaturbereich angesetzt werden, sind aber erheblich abhängig von der Orientierung der Flächen und der Richtung des Wärmestroms.

Normativ werden die Wärmeübergangskoeffizenten für nicht explizit geheizte oder gekühlte Oberflächen in ÖNORM EN ISO 6946:2018 wie in der nachfolgenden Tabelle dargestellt angegeben. Dieselbe Norm gibt außerdem den Strahlungsanteil des Wärmeübergangskoeffizienten für eine Oberflächentemperatur von 20°C mit 5,7 W/(m².K) an.

Für explizit beheizte oder gekühlte Oberflächen werden in der ÖNORM EN 1264-5:2009 demgegenüber geringfügig höhere Wärmeübergangskoeffizienten angegeben.

In der seit 2015 zurückgezogenen ÖNORM EN 15377-1:2008 finden sich, ebenfalls für explizit beheizte oder gekühlte Oberflächen, wiederum geringfügig abweichende Werte.

	Wärmeübergangskoeffizient in W/(m².K)		
	ISO 6946	EN 1264-5	EN 15377-1
Decke mit Wärmestrom nach unten	5,88	6,5	6
Fußboden mit Wärmestrom nach unten	5,88	6,5	7

3. Normativ verankerte Behaglichkeitsgrenzen von Deckenheizungen

Bei Deckenheizungen besteht eine physiologische Empfindlichkeit gegenüber der Asymmetrie der Strahlungstemperatur. Diese ist gegenüber warmen Decken deutlich stärker ausgeprägt als gegenüber kühlen Decken, was in unserer evolutionären Anpassung an das kalte „Himmelsgewölbe“ begründet ist.

Aus den Arbeiten von Prof. Ole P. Fanger stehen Algorithmen über die (lokalen) Behaglichkeitsgrenzen von Flächenheizungen und –kühlungen zur Verfügung. Sie sind empirisch abgesichert aus umfangreichen Versuchsreihen in Klimakammern, mit dänischen und nordamerikanischen Versuchspersonen. Und sie sind normativ verankert in der ÖNORM EN ISO 7730:2006.

Über die ISO 7730 hinaus liefert außerdem die, nicht in das österreichische Normenwerk aufgenommene, ISO/TS 13732-2:2001 Angaben über die Behaglichkeitsgrenzen der Fußbodentemperaturen für Personen, die sich barfuß in Räumen aufhalten.

Die Wechselwirkungen von Deckenheizungen auf die lokale thermische Unbehaglichkeit sind im folgenden Diagramm dargestellt, auf Basis des Formelapparats aus ÖNORM EN ISO 7730:2006, Kap. 6, als der voraussichtliche Anteil Unzufriedener (PD, Percentage of Dissatisfied) über der Asymmetrie der Strahlungstemperatur, In blau dargestellt ist die Kurve für beheizte Decken.

Hinsichtlich eines Planungs-Zielwerts des voraussichtlichen Anteils Unzufriedener macht ISO 7730 selbst keine Angaben, nimmt aber ohne weitere Empfehlung eine dreistufige Kategorisierung von A bis C vor. Im Analogieschluss zur Kategorisierung I bis IV laut EN 15251 und EN 16798-1 und EN 16798-2 kann aber abgleitet werden, dass für neue Gebäude eine Einhaltung der Kategorie B anzustreben ist, und demnach ein maximaler voraussichtlicher Anteil Unzufriedener (PD, Percentage of Dissatisfied) aufgrund von Asymmetrie der Strahlungstemperatur von 5%. Ein solcher PD von 5% ergibt sich bei einer Asymmetrie der Strahlungstemperatur von 4 K.

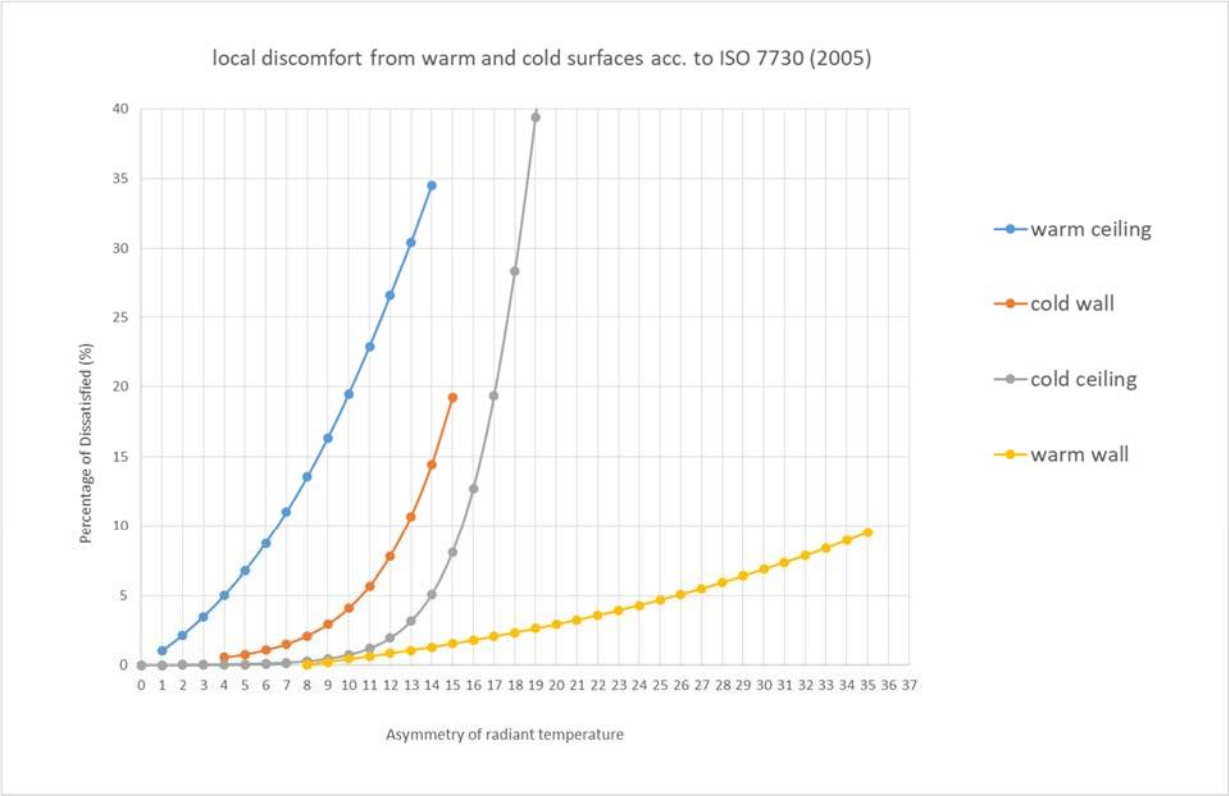


Abbildung 1: PD als Funktion der Asymmetrie der Strahlungstemperatur, lt. ISO 7730:2005

4. Normativ verankerte Behaglichkeitsgrenzen von Fußbodenkühlungen

Bei Fußbodenkühlungen besteht eine physiologische Empfindlichkeit gegenüber der absoluten Temperatur des Fußbodens im direkten Kontakt zu den Füßen.

Auch zu diesem Phänomen liefert ÖNORM EN ISO 7730:2006 empirisch abgesicherte Zusammenhänge. Sie gelten für Personen mit leichtem Schuhwerk. Und sie differenzieren nicht nach unterschiedlichen Bodenbelägen.

Im folgenden Diagramm die Wechselwirkungen von Fußbodenkühlungen auf die lokale thermische Unbehaglichkeit dargestellt, wieder auf Basis des Formelapparats aus ÖNORM EN ISO 7730:2006, Kap. 6, wieder als der voraussichtliche Anteil Unzufriedener (PD, Percentage of Dissatisfied), hier über der Oberflächentemperatur des Fußbodens.

Auch ein Planungs-Zielwert für die zulässige Obergrenze voraussichtlichen Anteils Unzufriedener aufgrund warmen oder kalten Fußbodens kann nur im Analogieschluss zu den Kategorien laut EN 15251 und EN 16798-1 und EN 16798-2 abgleitet werden. Wird also wieder die Einhaltung der Kategorie B laut ISO 7730 angestrebt, so ist ein maximaler voraussichtlicher Anteil Unzufriedener (PD, Percentage of Dissatisfied) aufgrund von warmen oder kalten Fußböden von 10% einzuhalten. Ein solcher PD von 10% ergibt sich bei einer Temperatur des kühlen Bodens von 19°C.

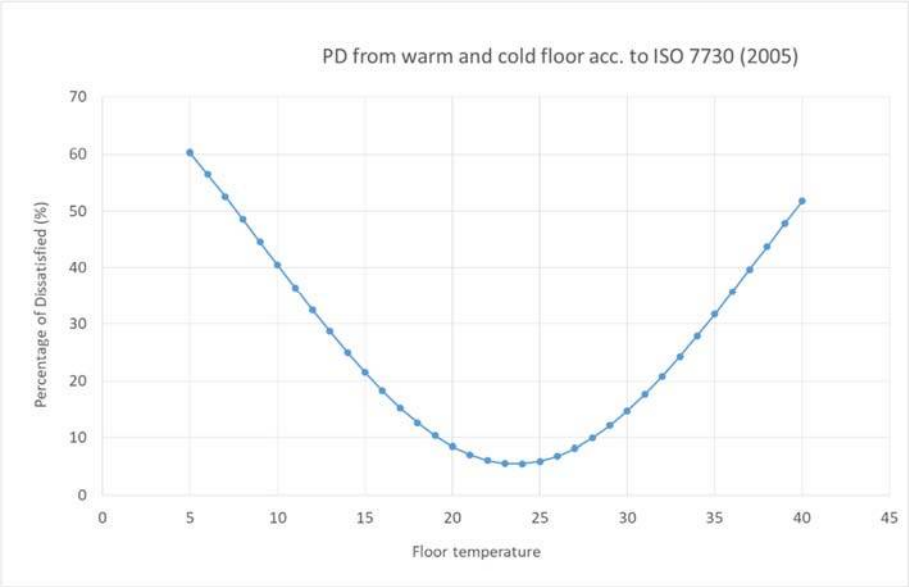


Abbildung 2: PD als Funktion der Fußbodentemperatur, für leichte Schuhe, lt. ISO 7730:2005

Über die ISO 7730 hinaus gibt die ISO/TS 13732-2:2001 Behaglichkeitsgrenzen der Fußbodentemperaturen für Personen, die sich barfuß in Räumen aufhalten, differenziert für verschiedene Materialien des Fußbodens. Für Holzböden wird eine Untergrenze der Fußbodentemperatur von 22°C empfohlen. Für alle anderen harten Oberflächen werden deutlich höhere Untergrenzen der Fußbodentemperatur empfohlen, für einen Fliesenboden beispielsweise 26°C. Nur für Teppichböden werden Untergrenzen der Fußbodentemperatur zwischen 10°C und 20°C empfohlen.

5. Schlussfolgerung einer Obergrenze behaglicher Temperaturen von Deckenheizungen

Aus der Anforderung, die Asymmetrie der Strahlungstemperatur auf max. 4 K zu begrenzen, lassen sich Bandbreiten der zulässigen Oberflächentemperatur ableiten:

Die Asymmetrie der Strahlungstemperatur setzt sich zusammen aus der Differenz zwischen der mittleren Strahlungstemperatur im oberen bzw. im unteren Halbraum eines Raumes. Als Bezug wird in der Fachliteratur üblicherweise die Position der Körpermitte einer in Raummitte sitzenden Person herangezogen.

Die Strahlungstemperatur im oberen Halbraum bestimmt sich aus der Oberflächentemperatur der Decke und aus ihrem Geometriefaktor für den Strahlungsaustausch, der wiederum abhängig ist von der Raumhöhe und der Raumgröße. Es gilt: $T_{rad_P} = T_{rad_DE} * F_{P\text{-}DE} + (1 - F_{P\text{-}DE}) * T_{rad_sonst}$

Die Strahlungstemperatur des unteren Halbraums, ebenso wie jene der Wände auch im oberen Halbraum, kann in erster Näherung als identisch mit der Raumlufttemperatur angenommen werden.

Abhängig von der Raumgröße und –höhe ergeben sich Geometriefaktoren der warmen Decke im oberen Halbraum von 0,15 bis 0,42.

Demnach lassen sich aus dem Formalapparat der ISO 7730, bei 20°C Raumtemperatur, Oberflächentemperaturen warmer Decken von 29°C und – in kleinen Räumen – sogar darüber begründen.

Zu demselben Schluss kommt auch die – seit 2015 zurückgezogene – ÖNORM EN 15377-1:2008.

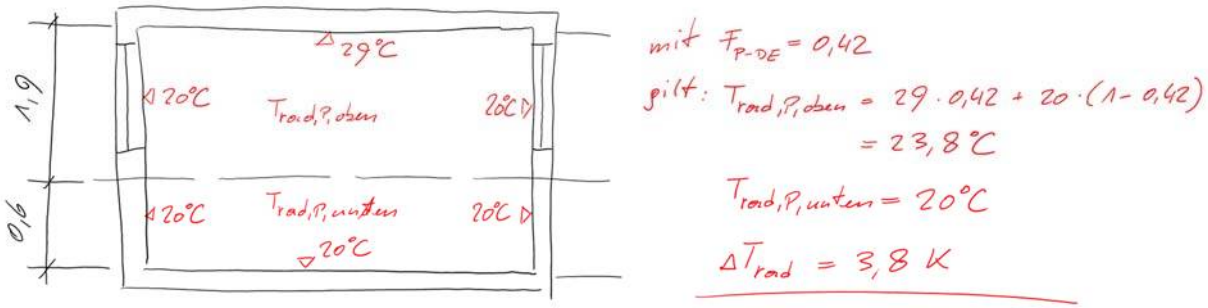


Abbildung 3: Grundlagen der Asymmetrie der Strahlungstemperatur bei Deckenheizung

6. Fragestellungen zur Kondensatgefahr an Fußbodenkühlungen

Zur Erzielung kühlwirksamer Oberflächentemperatur des Fußbodens muss die Temperatur des Wasserkreislaufs um einige Grad unter dieser liegen. In Abhängigkeit von der angestrebten Oberflächentemperatur, vom Fußbodenaufbau und nicht zuletzt von den innenklimatischen Bedingungen drängen sich Fragestellungen der Kondensatgefahr in der Trittschalldämmung und an der Grenzschicht zwischen Bodenbelag und Estrich auf.

Beispiel mit 1cm Holzbelag auf 6cm Heizetsrich mit 15cm Rohrabstand auf Trittschalldämmung:

Um in einer Raumtemperatur von 27°C eine Oberflächentemperatur von 22°C zu erzielen, muss eine mittlere Wassertemperatur von 18°C eingehalten werden. Dieselbe Temperatur stellt sich an der Grenzschichte zwischen Estrich und Trittschalldämmung ein. An der Grenzschicht zwischen Holzboden und Estrich stellt sich eine Temperatur von 19,8°C ein. In diesem Betriebszustand Dieser Betriebszustand ist im Sommer bereits kritisch hinsichtlich der Bildung schädlichen Kondensats einzustufen.

Es wird daher hinsichtlich der Vermeidung schädlichen Kondensats jedenfalls geraten, die Vorlauftemperatur des Wasserkreislaufs entweder auf einen Minimalwert von konstant 20°C einzustellen, oder diesen Minimalwert mit einer Messung des Taupunkts der Außenluft gleitend zu begrenzen.

Mit 20°C Vorlauftemperatur und somit ca. 21°C mittlerer Wassertemperatur ergibt sich im 27-grädigen Raum bereits eine Oberflächentemperatur von 23,7°C.

In diesem Betriebspunkt ist Kondensatgefahr mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen. Es ist auch, in Verbindung mit dem Holzboden, lokale Unbehaglichkeit bei direktem Kontakt mit dem Boden auszuschließen. Es ist reduziert sich aber die flächenbezogene Kühlleistung des Fußbodens auf 21,5 W/m².

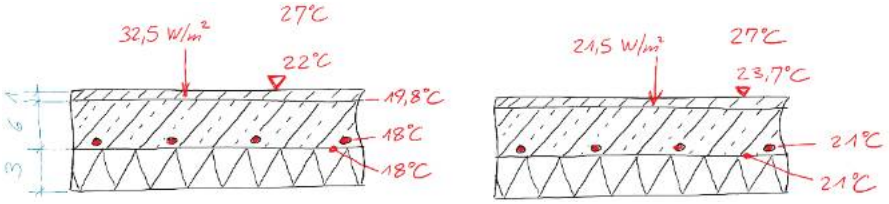


Abbildung 4: Temperaturen an gekühlten Fußböden

Anmerkung: Die Fragestellung des Auftretens schädlichen Kondensats tritt beim gekühlten Fußboden deutlich stärker auf als bei der gekühlten Decke, weil bei letzterer die Temperaturdifferenz zwischen Deckenoberfläche und Wasserkreislauf aufgrund des höheren Wärmeübergangskoeffizienten und des Fehlens eines dämmenden Belags geringer ausfällt als bei der Fußbodenkühlung. Und weil für dieselbe Kühlleistung bereits eine nennenswert höhere Oberflächentemperatur ausreicht.

7. Betriebserfahrungen

Die folgend dokumentierten Betriebserfahrungen sind das Ergebnis zahlreicher persönlicher Gespräche mit einerseits Kolleg*innen aus Wissenschaft und Fachplanung, weiters zahlreicher Gespräche mit Betreiber*innen und Nutzer*innen von Deckenheizungen und Fußbodenkühlungen, sowie mehrerer selbst begleiteter Projekte.

Anmerkung: Insgesamt liegt den folgenden Aussagen eine Zahl von ca. 25 unabhängigen Anlässen innerhalb der vergangenen drei Jahre zugrunde. Dennoch, bzw. deshalb müssen sie als bruchstückhaft und subjektiv angesehen werden, sind möglicherweise ein brauchbarer Beitrag zur eigenen Meinungsbildung, sind aber sicherlich nicht statistisch belastbar.

Erfahrungsberichte von Fußbodenkühlungen

Nutzer*innen von Fußbodenkühlungen beschreiben mehrfach deutliche Grenzen des Systems hinsichtlich lokaler Unbehaglichkeit: Wiederholt wird beschrieben, dass gekühlter Fließen- oder Steingutboden in der Wohnnutzung schnell als thermisch unbehaglich empfunden wird. Speziell dann, wenn eine direkte Verbindung zu einem Außenraum besteht, der zum bloßfüßig Gehen einlädt.

Aus büro-ähnlichen Nutzungen werden derartige Beobachtungen naturgemäß nicht geteilt, nachdem dort Schuhe getragen werden.

Berichte von Unbehaglichkeitsursachen jenseits der Kontakttemperatur, etwa wegen der Entstehung von „Kaltluftseen“, sind uns keine bekannt.

Erfahrungsberichte von Deckenheizungen

Weder aus zahlreichen individuellen Nutzer*innen-Interviews, noch aus zwei systematischen Monitorings liegen uns Berichte über thermische Unbehaglichkeit aufgrund einer Asymmetrie der Strahlungstemperatur vor.

Die Ergebnisse der Behaglichkeitsnormung, wonach auch Oberflächentemperaturen von 29°C unproblematisch seien, spiegeln sich durchaus in der Praxis wieder. Somit scheinen auch Spitzen flächenbezogener Heizleistungen von bis zu 45 W/(m².K) durchaus zulässig zu sein.

In einem Einzelfall einer Erdgeschoßnutzung über Tiefgaragen oder Durchfahrten, in Verbindung mit großzügigen Verglasungen, wurden störende Leistungsgrenzen von Deckenheizungen, bis hin zu Kondensatproblemen in den Anschlusspunkten von Fassade und Fußboden berichtet.

Durchaus widersprüchlich stehen einender in Deckenheizungen und –kühlungen die Stärken und Schwächen von einerseits oberflächennahen und andererseits in Deckenmitte angeordneten Rohrlagen gegenüber. Sie sind nicht explizit Gegenstand des vorliegenden Beitrags und werden nur im Vortrag erwähnt.

8. Schlussfolgerungen

Deckenheizungen scheinen sich unter den Bedingungen guter thermischer Hüllqualitäten und damit moderater maximaler flächenbezogener Heizleistungen zu bewähren. Nach den uns zur Verfügung stehenden Informationen sind Dimensionierungen auf eine kurzfristige flächenbezogene Wärmeleistung von 45 W/(m².K) gut vertretbar und sind auch normativ abgesichert. Diese Beobachtung gilt sowohl für Wohnnutzung als auch für Büronutzung. Auf neuralgische Punkte wie die Anschlüsse großzügig verglaster Fassaden an Fußböden über kalten Pufferräumen muss speziell reagiert werden.

Fußbodenkühlungen sind als Zusatznutzungen bestehender Fußbodenheizungen wirtschaftlich verlockend. Sie erweisen sich auch funktional als günstig, solange ihre Grenzen eingehalten werden: Die Vorlauftemperatur des Wasserkreislaufs ist entweder dauerhaft auf 20°C zu begrenzen oder ist durch einen Außentemperatur geführten

Kondensatwächter zu regeln. Aus Komfortgründen soll eine Oberflächentemperatur von 22°C nicht unterschritten werden.

9. Dank

Mein Dank gilt jenen Menschen, die – weit über diesen Beitrag zum Bauphysiker*innen Tag hinaus – geduldig und großzügig ihr Wissen und ihre Erfahrungen mit mir geteilt haben und teilen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit, ohne Titel, in alphabetischer Reihenfolge:

Rainer Anzböck, Nadja Bartlmae, Thomas Bednar, Michael Humphreys, Barbara Beigelböck, Josef Bichler, Michael Cerveny, Claudia Dankl, Richard de Dear, Christof Drexel, Katharina Eder, Stefan Eisinger, Andi Greml, Renate Hammer, Simon Handler, Robert Hastings, Herbert Hetzel, Christian Hofer, Clemens Häusler, Ali Kainer, Winfried Kallinger, Matthias Kendlbacher, Wolfgang Kessling, Klaus Kreć, Thomas Kreitmayer, Harald Kuster, Walter Laschober, Fergus Nicol, Bjarne Olesen, Christian Pöhn, Franz Pranckl, Reinhard Schild, Helmut Schöberl, Petra Schöffmann, Sebastian Spaun, Christian Steininger, Andreas Riedmann, Sue Roaf, Stefan Spitzer, David Stuckey, Franz Vogel, Margit Wagerer, Alexander Wallisch, Michael Weiss, Felix Wimmer u.v.a.m.

10. Literatur

(1) Kreć, K.: Energiespeicher Beton, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 2/2016, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), 2015

(2) Friembichler, F. et al.: Energiespeicher Beton, Planungsleitfaden Thermische Bauteilaktivierung, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 9/2016, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), 2016

(3) ÖNORM EN ISO 6946:2018 Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

(4) ÖNORM EN ISO 7726:1998 Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen

(5) ÖNORM EN ISO 7730:2005. Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.

(6) ÖNORM EN 1264-3:2009 Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung Teil 3: Auslegung

(7) ÖNORM EN 15251:2007 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden — Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik

(8) ÖNORM EN 16798-1:2019 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics

(9) ÖNORM EN 15377-1:2008 Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von eingebetteten Flächenheiz- und Kühlsystemen, Teil 1 Bestimmung der Auslegungs- Heiz- und Kühlleistung

(10) ISO/TS 13732-2:2001 Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces — Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature

(11) ÖNORM EN 15377-1:2008 Heizungsanlagen von Gebäuden – Planung von eingebetteten Flächenheiz- und Kühlsystemen mit Wasser als Arbeitsmedium – Teil 1: Bestimmung der Auslegungs- Heiz bzw. Kühlleistung

(12) ENTW EN 16798-2:2019 Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden Teil 2: Interpretation der Anforderungen der EN 16798-1 - Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik

CURRICULUM VITAE

Univ. Lektor DI

Peter TAPPLER

IBO Innenraumanalytik OG

Stutterheimstraße 16-18/2
1150 Wien

p.tappler@innenraumanalytik.at

Univ. Lektor DI Peter Tappler ist allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger für Innenraumschadstoffen und Schimmel. Er beschäftigt sich seit etwa 30 Jahren mit Schadstoffen in Innenräumen, ist Lehrbeauftragter an der Donau-Uni Krems sowie am Campus Wien und leitet seit 1999 den Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) – Bereich Analytik. Er ist Mitglied der Innenraumluft-Hygienekommission im deutschen Umweltbundesamt und Präsident des Bundesverbandes für Schimmelsanierung und technische Bauteiltrocknung.

Corona-Viren, Klimaanlagen und Lüftung

was ist (nicht) notwendig?

Univ. Lektor DI Peter Tappler

1. Einleitung

Die derzeitigen Maßnahmen aufgrund der COVID-19-Epidemie, die mit einem längeren Aufenthalt in Räumen verbunden sind, werfen einige innenraum-lufthygienische Fragen auf: Inwieweit wirkt sich der Betrieb Raumluft-technischer Anlagen und Lüften auf die Ausbreitung des Virus aus? Reduzieren Maßnahmen wie das Vernebeln mit Wirkstoffen oder Flächen-desinfektion im Wohn- und Bürobereich das Infektionsrisiko?

Das Infektionsrisiko mit Viren und Bakterien hängt deutlich mit der Lüftungssituation von Innenräumen zusammen. Ausreichende Lüftung von Innenräumen reduziert signifikant das Risiko von Infektionen. Dies ist zwar vor allem in Bereichen mit hoher Personendichte (z.B. Schul-, Unterrichtsräume, Theater) von größter Bedeutung, gilt aber auch in Wohnungen und Büros.

2. Was bedeutet gute Lüftung von Räumen?

Für Wohnungen und Büros ist es – so keine Lüftungsanlage existiert – aus innen-raumhygienischen Gründen ratsam, die Fenster bei Daueraufenthalt etwa alle 2-3 Stunden zu öffnen und „durchzulüften“. In Schulen sollte alle halben Stunden gut gelüftet werden, wenn möglich und je nach Situation sind die Fenster in gekippter Stellung zu halten. Abhängig von der Außentemperatur sind Lüftungszeiten von wenigen Minuten bis zur Dauerlüftung in der wärmeren Jahreszeit sinnvoll. Fortschrittliche Technologien, wie bedarfsgeregelte Komfortlüftungsanlagen, sind jedoch die wesentlich bessere Lösung. Sie ermöglichen es bei ausgezeichneter Raumluft in der kalten Jahreszeit trotzdem die Energie „im Haus zu behalten“.

In dichter belegten Innenräumen wie bspw. in Vortrags-, Schul- und Unterrichts-räumen kann eine ausreichende Lüftung in der Regel nur durch Raumluft-technische (RLT) Anlagen, wenn möglich mit Unterstützung durch Fensterlüftung, erfolgen. Dies wurde im Bau- und Planungsalltag bisher sträflich vernachlässigt und nur als lästiger und scheinbar entbehrlicher Kostenfaktor begriffen, ohne die gesundheits- und auch leistungsfördernden Wirkungen zu bedenken.

3. Lüftungs- und Klimaanlagen

Manchmal hört und liest man, dass Lüftungs- und Klimaanlagen „Dreck- und Keim-schleudern“ seien. Diese Einschätzung entspricht schon seit langem nicht mehr der Realität. Nur manche alte, schlecht gewartete Klimaanlagen sind tatsächlich mit Vorsicht zu genießen. Gute Anlagen mit hochwertigen Filtern bewirken eine deutlich verbesserte Luftqualität – hier ist die Verringerung von Feinstaub und Allergenen aus dem Außenbereich und die verstärkte Abfuhr von CO2 und flüchtigen Substanzen wie Formaldehyd und Lösungsmitteln aus Innenraumquellen zu nennen.

Nun stellt sich auch die Frage, ob sich Corona-Viren, Grippe- oder auch Erkältungs-viren über die Lüftung in großen Gebäuden etwa von einem in einen anderen Raum transportiert werden kann. Das fragen sich erfahrungsgemäß häufig Nutzer von bzw. Bewohner in ausschließlich mechanisch belüfteten Räumen. Eine Lüftungs- oder Klimaanlage wird in Hinblick auf eine Vertragung von Keimen, darunter auch Viren, als unproblematisch angesehen, da man immer von stark verdünnter Luft ausgehen muss – eine gut gewartete Anlage stellt sogar quasi eine Gesundheitsvorsorge dar. Es ist wissenschaftlich belegt, dass ein höherer Luftwechsel generell zu einer geringeren Innenraumluftkonzentration von Krankheitserregern wie bspw. Viren führt und so ein etwaiges Infektionsrisiko bei Anwesenheit von infizierten Personen vermindert wird.

Moderne Lüftungs- und Klimaanlagen in Gebäuden sind heute so konzipiert, dass auf Grund der definierten Luftströme eine maßgebliche Verbreitung von Viren nahezu gänzlich ausgeschlossen werden kann. Bei einer Frischluftanlage stammt die den Räumen zugeführte Luft ausschließlich aus dem Außenbereich und wird nicht mit Raumluft vermischt. Bei derartigen Anlagen sind daher keinerlei Bedenken angebracht. Schad- und

Geruchsstoffe sowie Mikroorganismen können in Frischluft-Anlagen theoretisch nur im Bereich eines vorhandenen Rotations-wärmetauschers in meist vernachlässigbar geringem Ausmaß von der Abluft in die Zuluft gelangen. Es konnte in Untersuchungen festgestellt werden, dass Rotationswärmeaustauscher, die ordnungsgemäß konstruiert, installiert und gewartet werden, allerdings nahezu keine Übertragung von partikelgebundenen Schadstoffen (einschließlich luftübertragener Bakterien, Viren und Pilze) aufweisen, die Übertragung ist vor allem auf gasförmige Schadstoffe, wie sie bspw. im Tabakrauch vorkommen, und Geruchsstoffe beschränkt.

Es ist auch davon auszugehen, dass auf Grund der langen zurückzulegenden Strecken im Luftleitungssystem und dem vorherrschenden Milieu etwa SARS Cov2-Viren nach dem derzeitigen Stand des Wissens nicht überlebensfähig sind. Sie weisen nur eine geringe Umweltpersistenz auf und sind gegen Eintrocknung sehr empfindlich. Eine Übertragung dieser Viren durch Lüftungssysteme wird daher generell als sehr unwahrscheinlich bezeichnet.

Bedenklich können unter Umständen Umluftanlagen oder raumbezogene Klimageräte (bspw. Split-Kühlungen) sein, bei denen die Luft mit Ventilatoren in einem Gebäude bzw. innerhalb des Raumes im Kreis transportiert wird. Bei diesen Systemen ist eine Vertragung von Viren im Raum oder von Raum zu Raum grundsätzlich nicht auszuschließen, wenn auch eher unwahrscheinlich.

4. Vernebeln von Wirkstoffen

Die Mensch-zu-Mensch-Übertragung über Tröpfchen stellt den wichtigsten Infektionsweg für Corona-Viren dar. Das Vernebeln von Wirkstoffen wie z.B. Wasserstoffperoxid in Innenräumen wie Büros, Wohnungen oder anderen Räumen, in denen sich infizierte Personen aufhalten oder aufgehalten haben, ist meist ineffektiv, nicht erforderlich und bringt generell (außer eventuell in speziellen Situationen wie Krankenanstalten) keine merkbare Verbesserung der Situation.

Vom permanenten Vernebeln von Wirkstoffen in Räumen, in denen sich Menschen aufhalten (wie dies derzeit von einer oberösterreichischen Firma angeboten wird), ist dringend abzuraten, da solche Produkte für die Atemwege schädlich sein können und keinen zusätzlichen Nutzen bringen; dazu kommt darüber hinaus, dass der Nachweis einer Wirkung bis dato nicht erbracht werden konnte. Generell ist die Anwendung von Desinfektionsmitteln weder im Verkauf, noch im Haushalt oder Büros erforderlich.

Die derzeit einfachen, seit Jahrzehnten von Medizinern und Hygienefachkräften empfohlenen Hygienemaßnahmen wie Händewaschen und übliche Maßnahmen der Alltagshygiene (Reinigung der Oberflächen mit sanften Reinigungsmitteln) sind am effizientesten zur Minimierung von Risiken gegenüber sogenannten „Schmier-infektionen“. Auch bei Anwesenheit von Personen im Haushalt, die positiv auf Corona getestet wurden, sind die oben abgeführten Maßnahmen sowie ggf. eine einfache Desinfektion von Oberflächen mittels geeigneter Präparate sinnvoll.

5. Was ist zu tun und mögliche Lehren für die Zukunft

Es empfiehlt sich, die seit langem bekannten einfachen hygienischen Maßnahmen ernst zu nehmen und in den Lebensalltag konsequent zu integrieren. Lüftungstechnische Maßnahmen zur Reduktion schlechter Raumluft gehen nicht nur mit einem verringerten Infektionsrisiko einher, sondern fördern geistige Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden.

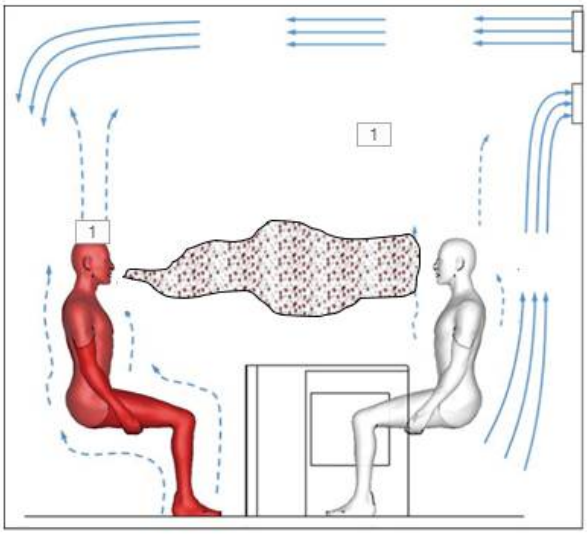
Vor allem Räume, in denen sich viele Menschen auf nahem Raum oder Risikogruppen aufhalten, sollten in Zukunft effizienter und in qualitativ hochwertiger Weise be- und entlüftet werden. Dies bedeutet im Detail, eine mechanische Lüftungsunterstützung dort, wo es erforderlich ist, einzuplanen und umzusetzen. Jeder in dieser Weise investierte Euro bringt das Vielfache an Gesundheit und Leistungsfähigkeit für die Nutzerinnen und Nutzer – vor allem aber erhöhte Sicherheit vor einer unkontrollierten Ausbreitung von Keimen im Raum selbst!

Umluftklimaanlagen sind seltener in Verwendung als früher, in diesen Fällen sollte der Umluftanteil in Pandemiezeiten aus Sicherheitsgründen möglichst reduziert oder auf Null heruntergesetzt werden. Raumbezogene Klimageräte sollten in diesen Zeiten mit wirksamen speziellen Luftfiltern (HEPA-Filter) ausgestattet sein, welche die Luft vor dem Wiedereintritt filtern. Billige transportable Geräte ohne derartige Filter, die in der Regel bei sehr heißen Tagen betrieben werden, sollten in öffentlichen Bereichen wie Büros bei Andauern der Pandemie ebenfalls nicht eingesetzt werden.

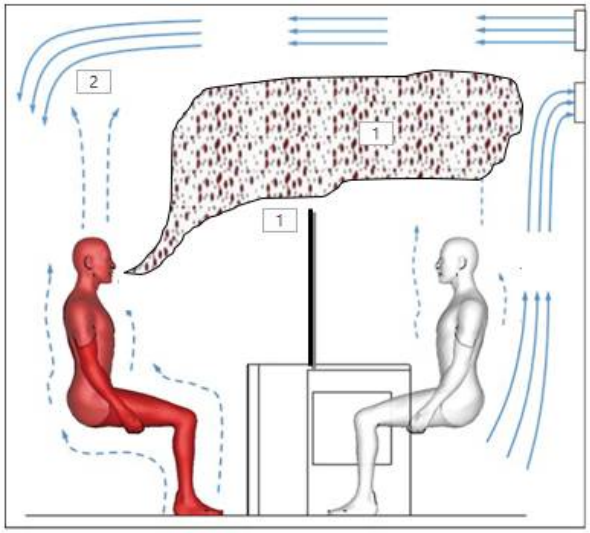
Bei bestimmten, meist alten Befeuchtersystemen ist bauartbedingt eine geringe Zugabe von Bioziden zum Befeuchterwasser erforderlich. Von einer gesonderten Zugabe von Desinfektionsmitteln zum Befeuchterwasser oder ähnlichen „Hygienisierungsversuchen“ der Zuluft wird dringend abgeraten. Eine Desinfektion von Klima- oder Lüftungsanlagen ist auf Grund der kurzen Lebensdauer des Virus ebenfalls nicht erforderlich, auch dann nicht, wenn sich infizierte Personen im Raum befinden oder befunden haben.

Von der Gesetzgebung her wäre es mehr als sinnvoll, zumindest für neue Gebäude von der Bauordnung her ein nachvollziehbares Lüftungskonzept einzufordern und gesetzliche Vorgaben zu effizienter Lüftung von Räumen verstärkt in die bautechnischen Regelungen der Länder und damit ins Bewusstsein der Planer einfließen zu lassen.

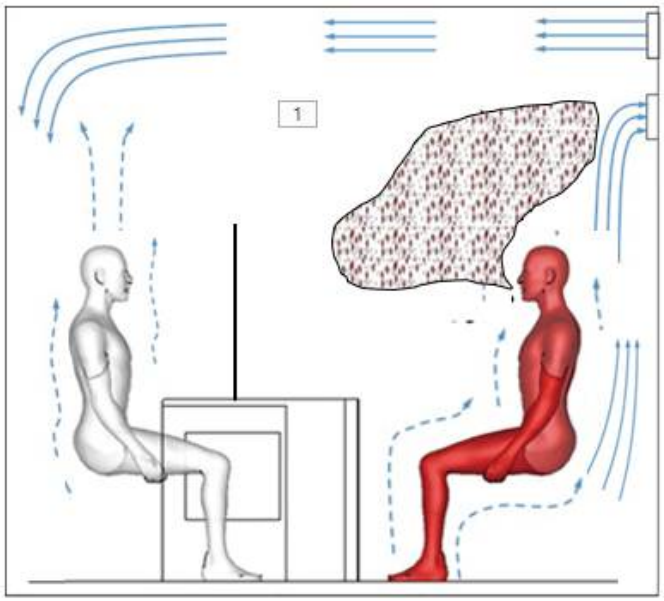
In Beratungssituationen kann bei problematischer Luftführung durch eine Abtrennung zwischen Berater und Kunden das Infektionsrisiko signifikant gesenkt werden.



Beratungssituation ohne Abtrennung



Beratungssituation mit Abtrennung



Gerichtete Strömungen verringern das Risiko einer Infektion signifikant, da durch den Klienten erzeugte virusbelastete Aerosole effizient in die Ablauf und damit ins Freie abgeführt werden.

Vor allem in Veranstaltungs- und Hörsälen kann bei Neuplanung auf deine geeignete Strömungssituation geachtet werden, auch um Infektionen durch Grippe- oder Erkältungsviren zu vermeiden.

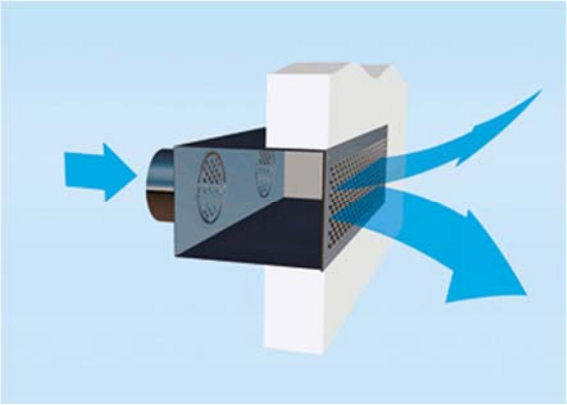


Bild einer Strömungssituation von unten nach oben (turbulenzarme Quellluftströmung) in einem Hörsaal (© LTG Air Tech Systems).

6. Risikobeurteilung von Innenräumen mittels VIR-SIM 1.1

Das frei zugängliche Programm VIR-SIM 1.1 dient zur Simulation und groben Abschätzung des zu erwartenden Risikos für die Aufnahme von virenbelasteten Aerosolen bei Anwesenheit von infizierten Personen in einem Innenraum im Vergleich zu einer akzeptablen Referenzsituation über den Parameter der kumulierten Aufnahme – bspw. für Bewertungs-, Planungs- und Auslegungsfragen (http://raumluft.linux47.webhome.at/innenraum-und-sars-cov-2/vir-sim-simulation-risiko/).

Es wird angenommen, dass die kumulierte Aufnahme von Aerosolen (und darauf haftenden potenziell infektiösen Viren) für eine Infektion als entscheidend angenommen wird und daher das Risiko mit zunehmender Aufenthaltszeit in einem Raum mit infizierten Personen ansteigt. Eine typische Anwendung von VIR-SIM ist die Frage eines Lüftungskonzeptes, bspw. welches Lüftungssystem zu einer akzeptablen Risikovermeidung in einem Veranstaltungs- oder Unterrichtsraum führt. Ziel ist daher vor allem die Darstellung des Risikos bei unterschiedlichen Randbedingungen des Raumes (wie Luftwechsel, Lüftungsphasen), immer auch abhängig von der jeweiligen Aufenthaltsdauer. Daten, die nicht vollständig bekannt sind (z.B. Dichtheit der Fenster – Luftwechsel, Aktivität der Raumnutzer) können abgeschätzt werden. Auch der Einsatz eines Luftreinigers kann simuliert werden (außenluftäquivalentes Zuluftvolumen).

Bitte in türkis unterlegte Felder eingeben! Orange Felder sind berechnete Werte.
Die Werte können in "Detaillierte Eingabe" in Minutenintervallen verändert werden

Raum- und Lüftungsparameter	Einheit	Wert
Fläche des Raumes	m²	**66,7**
Höhe des Raumes	m	**3**
Geschätzte Einbauten (Möbel etc.)	m³	**0**
Berechnetes Raumvolumen	m³	200
Außenluftäquiv. Luftzufuhr zB. Luftreiniger	m³/h	0
Luftwechsel [h^{-1}]	Grundluftwechsel 4,38	**Standardsituation**
Belegung, Aktivität	Einheit	Wert
Betrachtungsseinheit Anfang	hh:min	00:00
Raumbelegung mit Personen	-	**25**
Aktivität der Personen im Raum	Aktivität (Beginn) 1,2	**Sitzende Aktivität**
Angenommene Anzahl Virenemittenten	Anzahl (≥1)	1,0
Aktivitätsfaktor Virenemittent	Aktivität (Beginn) 1	**Kein oder leises Sprechen**
Detaillierter Lüftungszustand	Gehe zu:	"Detaillierte Eingabe"
Personenbez. Außenluftvol. Grundlüftung	$m^3*P^{-1}*h^{-1}$	35,0

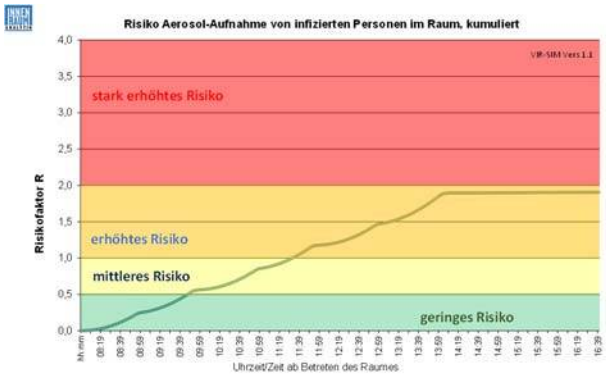
Eingabemaske VIS-SIM 1.1

Das Programm berechnet die gesamte, kumulierte Aufnahme der von infizierten Personen abgegebenen Aerosole zu einem bestimmten Zeitpunkt, verglichen mit der Gesamtaufnahme nach 8 Stunden unter Referenzbedingungen. Auf einem weiteren Blatt kann die Aerosolkonzentration abgelesen werden. Errechnet sich nach der Eingabe in der entstehenden Kurve bspw. nach 2 Stunden Aufenthalt der Risikofaktor R von 0,7,

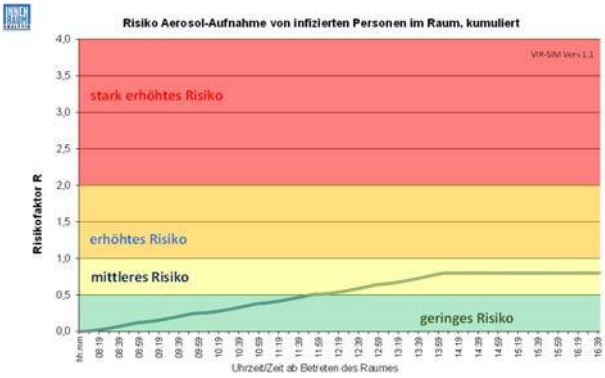
dann bedeutet dies, dass ein Nutzer eines Raumes zu diesem Zeitpunkt theoretisch 70% der Menge an (potenziell infektiösen) Aerosolen aufgenommen hat wie ein Nutzer nach 8 Stunden Aufenthalt unter Referenzbedingungen. Wenn der Wert für R nach der interessierenden Aufenthaltszeit bei < 0,5 liegt, hat er 50% aufgenommen, es wird ein geringes Risiko angenommen, zwischen 0,5 und 1 ein mittleres Risiko. Im Bereich R = 1 - 2 ist ein erhöhtes Risiko zu erwarten, bei R > 2 ein stark erhöhtes Risiko. Da die aufgenommene Gesamtmenge an Aerosolen immer mehr (kumuliert) wird, ist der Risikofaktor R von der Aufenthaltszeit abhängig.

Die Referenzsituation beschreibt einen Innenraum mit einer Belegung von 25 Personen, 200 m³ Raumvolumen (66,7 m³ Grundfläche, 3 m Raumhöhe), einem Zuluftvolumenstrom von 35 m³/h je Person sowie eine Aufenthaltsdauer von 8 Stunden. Die zu diesem Zeitpunkt aufgenommene kumulierte Gesamtmenge an von den/der infizierten Person(en) im Raum erzeugten (anthropogenen) Aerosole unter diesen Bedingungen wird als akzeptabel betrachtet. Bei sitzender Tätigkeit im Raum würde sich dann eine CO2-Konzentration von 1000 ppm als Ausgleichskonzentration einstellen. Eine solche „akzeptable" Lüftungssituation entspricht sowohl den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung an Arbeitsplätze bei mechanisch belüfteten Räumen, den Vorgaben der Klasse 2 der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des BMK (für Räume, in denen geistige Tätigkeiten verrichtet werden) als auch den Vorgaben des österreichischen Leitfadens für den Kulturbetrieb in Pandemiezeiten des Zentrums für Public Health der Medizinischen Universität Wien.

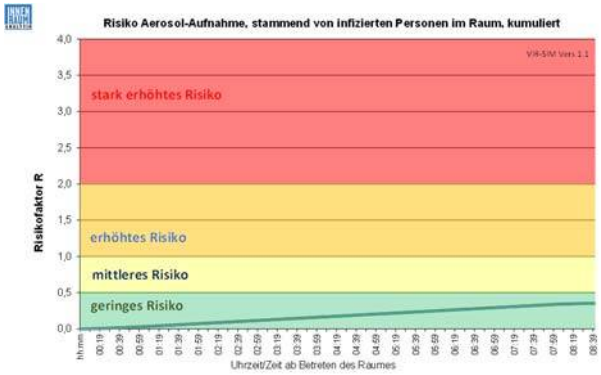
Als Beispiele werden unterschiedliche Risikoberechnungen angegeben. Sichtbar ist der starke Einfluss lüftungstechnischer Anlagen, aber vor allem die absolute Größe der Räume (Raumvolumen) auf das individuelle Risiko. Bei großen Räumen (bspw. Messehallen oder großen Theaterräumen) ist das Risiko generell sehr niedrig.



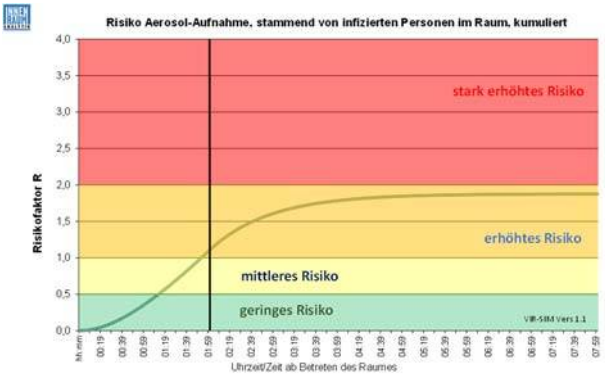
Schulraum 25 Schüler/1 Lehrer; 200 m³, LW=0,1 h^{-1}, intensive Pausenlüftung über Fenster, Annahme 1 Infizierte(r), leises Sprechen



Schulraum 25 Schüler/1 Lehrer; 200 m³, LW=3 h^{-1}, Hybridlüftung (RLT-Anlage + intensive Pausenlüftung über Fenster), leises Sprechen



Messehalle 5.900 Besucher, 110.000m³, LW=2,7 h^{-1}, Klimaanlage, Annahme 59 Infizierte, lautes Sprechen



Beratungssituation 3 Personen, 56 m³, LW=1,1 h^{-1}, mit Abtrennung, Lüftungsanlage, leises Sprechen, ab Stunde 2 kein(e) Infizierte(r)