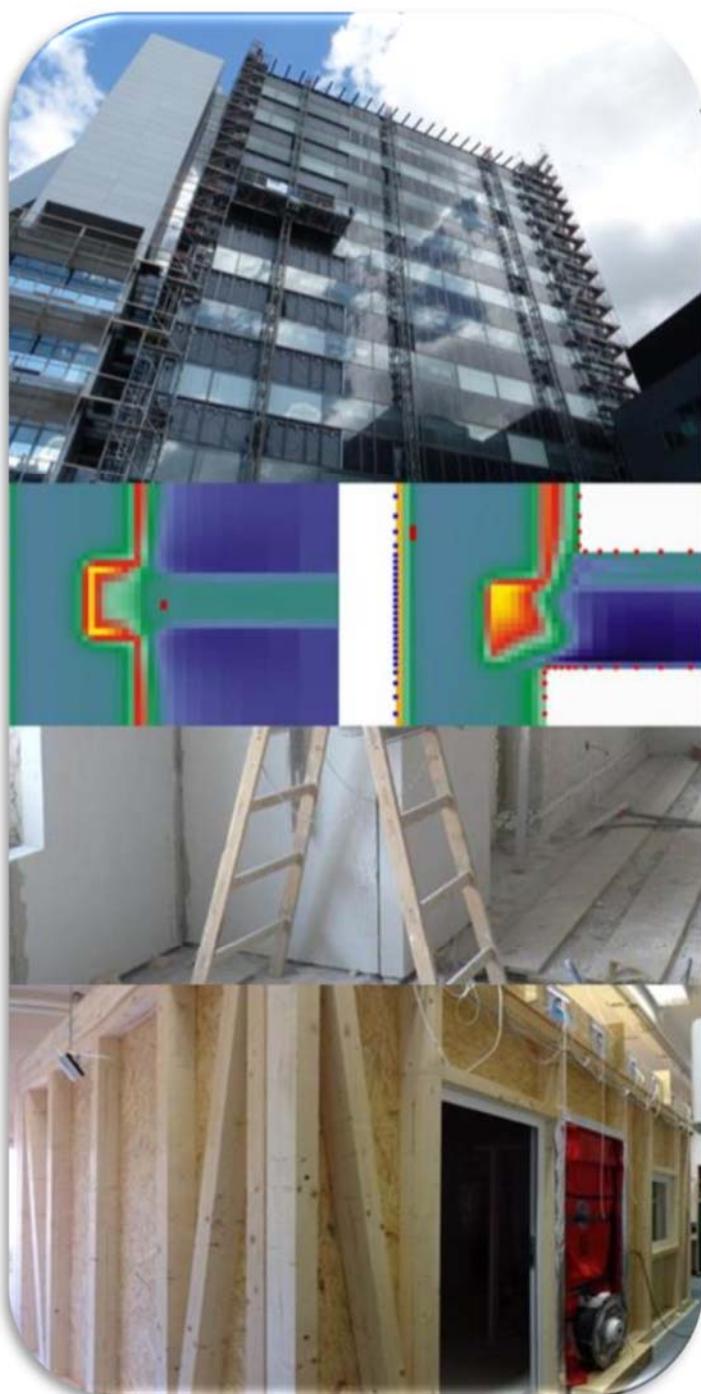


BauphysikerInnen-Treffen 2021



7. Oktober 2021

TU Wien

TUtheSky
Konferenzraum
Getreidemarkt 9
11. Stock
1060 Wien

Programm

09:00 Eintreffen

Begrüßungsrede: „Bauphysik 2030“

Univ. Prof Dr. Thomas Bednar, TU Wien, A-1040 Wien

Erdwärme bringt's - vom Kleinprojekt bis zum Anergienetz

DI Matthias Kendlbacher, IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH, A-1010 Wien

Blower-Door XXL - wo sind die Grenzen

Ing Emanuel Mairinger, Dr. Ronald Mischek ZT GmbH, A-1190 Wien

11:00 Pause

ÖNORM B 8110-2: 2020

Univ. Prof Dr. Thomas Bednar, TU Wien, A-1040 Wien

DI Thomas Lewis, TU Wien, A-1040 Wien

ÖNORM B 8115-2: 2021

Clemens Häusler, MSc, bauphysik.at, A-2511 Pfaffstätten

Dr. Christoph Lechner, Amt der Tiroler Landesregierung, 6020 Innsbruck

13:00 Mittagspause

Trittschall Holzbalkendecken - Sanierung & Optimierung

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

DI Dr. Maximilian Neusser, TU Wien, A-1040 Wien

Trittschall Treppen

Ing Sebastian Wiederin, Getzner Werkstoffe GmbH, A-6706 Bürs

15:30 Pause

Tageslicht versus Überwärmung

Heinz Hackl, Velux Österreich GmbH, A-2120 Wolkersdorf

Gebäudebegrünung - Erkenntnisse aus Projekten

Isabel Mühlbauer, Bsc, GRÜNSTATTGRAU Forschungs- und Innovations- GmbH, Wien

17:30 Ende Vorträge

18:30 Hocketse

Moderation:

Univ. Prof. Dr. Thomas Bednar (TU-Wien) & Clemens Häusler MSc (bauphysik.at)



CURRICULUM VITAE

DI
Matthias Kendlbacher

Ingenieurbüro für Bauphysik, Klima-Engineering, Klima-Design und Zertifizierung

IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH
Wipplingerstraße 23/3
A-1010 Wien

kendlbacher@jung-ingenieure.at

Geboren 1984 in Saalfelden in Salzburg, absolvierte seine Matura in der HTL für Säge- und Holzwirtschaft in Kuchl. Danach studierte er am FH Campus in Wien. Bachelor in Bauingenieurswesen und Baumanagement und nachfolgend den Masterlehrgang in Nachhaltigkeit in der Bauwirtschaft. Das Masterstudium wurde am Jahr 2012 abgeschlossen.

Bereits während dem Studium begann die Arbeit bei Herrn Peter Holzer in der neu gegründeten Niederlassung von der IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH Österreich. Seit Jänner 2021 hat er gemeinsam mit Peter Holzer die Geschäftsführung inne.

Das Büro war spezialisiert auf Simulationen von Gebäuden und Innenräumen. Im Laufe der Jahre hat sich die Spezialisierung erweitert hin zur Bauphysik und zur Planung von Energieversorgungssystemen.

Bestmöglicher Komfort bei geringsten Energieaufwand und Nutzung von erneuerbaren Energieträgern war und ist dabei stets das Leitbild.

Erdwärme bringt's

vom Kleinprojekt bis zum Anergienetz

DI Matthias Kendlbacher, IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH, A-1010 Wien

1. Einleitung

Spätestens seit bestehen des Dualen-Wegs in der Energieausweiserstellung wurde der Bauphysik die Eingabe der Haustechnik abverlangt. Die letzte Anpassung der OIB Richtlinie 6 per 01.01.2021, mit der 10er-Linie beim HWB-Nachweis bzw. der 16-Linie und einem $f_{GEE} \leq 0,75$, hat die Haustechnikeingabe nochmals mehr in den Fokus gebracht. Hinzu kommen noch die Nachweise des „Einsatzes hocheffizienter alternativer Energiesysteme“ sowie die „Anforderung an den erneuerbaren Anteil“.

Spätestens seit diesen Anpassungen ist die Bauphysikplanung auch für die Haustechnikplanung ein Stück weit verantwortlich bzw. umgekehrt beschrieben hat die Bauphysik nun ein Mitspracherecht.

Seitens der Bundesregierung wurde ein Fahrplan mit dem Ausstieg aus fossilen Brennstoffen vorgegeben. Ein Verbot im Neubau von fossilen festen und flüssigen Brennstoffen ab 2021 und fossilen gasförmigen Brennstoffen ab 2025 wurde auf den Weg gebracht. Des Weiteren müsse alle fossilen festen und flüssigen Heizsysteme bis 2035 und alle gasförmige bis 2040 zur Gänze ersetzt werden. Durch diesen Plan sollte auch klar werden, dass man bereits heute damit beginnen soll Projekte (Neubau und Bestand) frei von fossilen festen, flüssigen und gasförmigen Heizsystemen zu planen.

Mit guten Argumenten bepackt hat es daher auch die Bauphysik in der Hand nicht nur effiziente Gebäude zu planen, sondern auch Gebäude die klimafit und zukunftsähig sind. Dabei stellt die Verwendung von oberflächennahen Geothermieranlagen eine gute und bereits sehr erprobte Variante dar.

2. Allgemeines

2.1. Was ist eine oberflächennahe Geothermie

Oberflächennahe Geothermie sind alle Anlagen welche die Erdwärme ohne zusätzliche Thermalquellen nutzen.

Dabei unterscheidet man wiederum zwischen Flächenabsorbern und Tiefensonden.

Die Tiefensonden sind Bohrungen die in der Regel ihr Kostenoptimum bei einer Tiefe zwischen 150 bis 175m haben, dabei ist die Tiefe sehr von der Geologie des Standorts abhängig. Die Flächenabsorber werden entweder am „freien Feld“ oder unter einer Bodenplatte verlegt. Der Flächenverbrauch bei Tiefenbohrungen ist geringer bzw. ist ab einer Geschoßflächenzahl (GFZ) von ca. 0,5 ein Einsatz von Flächenabsorbern nur mehr schwer möglich.

2.2. Vorteile einer Geothermie

Eine Geothermieranlage ist im Bereich der Anschaffungskosten verhältnismäßig teuer, ist aber auf lange Zeit betrachtet eine treue Partnerin. Treu im Sinne von Langlebigkeit und im Sinnen von Planbarkeit. Die Geothermie stellt ein saisonaler Speicher dar, der bei guter Be- und Entladen dauerhaft funktioniert.

Neben der sehr effizienten Wärmequelle für Heizung und Warmwasser, können die Gebäude sehr effizient gekühlt bzw. temperiert werden. Dabei ist einerseits die direkte Verwendung der Erdreichtemperatur (0-17°C) mittels Freecooling und andererseits die Kühlung mittels Kälteanlage möglich. Beide Systeme führen die Abwärme dem Erdspeicher zu und regenerieren diesen um ihn für den Heizbetrieb wieder fit zu machen.

Dadurch wird keine Abwärme an die Außenluft in die bereits überhitzte Stadt abgeführt, es fällt sozusagen kein „Thermal Waste“ an.

2.3. Herausforderung Geothermie

Um einen dauerhaften Betrieb als Wärmequelle und -senke zu garantieren muss gewährleistet werden, dass sich das Erdreich wieder erholt. Diese Regenerierung erfolgt in kleinen Einheiten über die Erdwärme selbst. In Erdsondenfeldern (= ab zwei Reihen) muss die Bilanz zwischen Energieentnahme und -eintrag in einer Jahresbilanz ausgewogen sein. Eine Abweichung von $\pm 20\%$ ist in der Regel gut und dauerhaft machbar.

Die Möglichkeiten der Regenerierung der Erdsonden ist so vielfältig wie es die Projekte selbst sind. Ein Nutzungsmix aus Wohnen und Nicht-Wohnen ist aufgrund der unterschiedlichen Energiebedürfnisse stets ein Vorteil. Hier können am besten die Synergien zwischen hohen Kühlbedarf beim Nicht-Wohnen und hohen Heiz- und Warmwasserbedarf beim Wohnen genutzt werden.

2.4. Systemgrenzen

Geothermieanlagen sind sowohl im Einfamilienhaussektor als auch im großvolumigen Bereich, bei Niedertemperatur- und Hochtemperaturheizsystemen ohne technische Einschränkungen möglich und beliebig erweiterbar. Die limitierenden Faktoren können die Wirtschaftlichkeit sowie der Platzbedarf sein.

Die einzigen technischen Limits stellen die Temperaturen dar. Das Erdreich darf keinesfalls einfrieren und mit max. 30°C beladen werden.

3. Was ist ein Anergiennetz

Ein Anergiennetz kommt im Bereich von Quartieren (Neubau, Bestand bzw. Sanierung) zum Einsatz. Anergie ist die Bezeichnung von einer nicht direkt nutzbaren Energie. Im Gegensatz dazu wird die Exergie direkt genutzt. Das Wesen eines Anergiennetzes ist es Umgebungstemperatur (Erde, Luft, Wasser, Sonne, Abwasser, Abwärme...) ins Netz einzubinden und mittels Wärmepumpenanlagen dezentral für die Gebäude nutzbar zu machen. Das Netz kann aufgrund der angewendeten Systemtemperaturen für die Wärmebereitstellung (Heizung und Warmwasser) und die Kältebereitstellung gleichzeitig herangezogen werden. Aufgrund der geringen Temperaturen (=in der Regel Erdreichtemperatur) wird auf die Wärmedämmung des Netzes zur Gänze verzichtet und es gibt trotzdem nur marginale Verluste. Eine Einbindung von gleichzeitig mehreren Quellen ist möglich und das System ist technisch gesehen nahezu unendlich erweiterbar.

Das Quartier „Viertel Zwei Plus“ in der Krieau kann hier als ein erstes Wiener Fallbeispiel genannt werden. 40.000m^2 Nutzflächen mit gemischter Nutzung wird über ein Anergiennetz versorgt. Die Hauptquelle stellt eine Geothermieanlage in mehreren Feldern dar. Zusätzlich wurden eine Brunnenanlage sowie eine Abwasserwärmerrückgewinnung installierte und eingebunden.

Die Warmwasserbereitung und die Nachheizung erfolgt über eine Gaskesselanlage. Ca. 75% der Energie für die gesamte Wärme- und Kältebereitstellung werden über die Wärmepumpen/Kältemaschinen aus dem Anergiennetz gedeckt.

Das Quartier wird laufende erweitert (Tribünen, Korso, Hochhäuser etc) und das Anergiennetz wächst mit der Erweiterung stets mit.

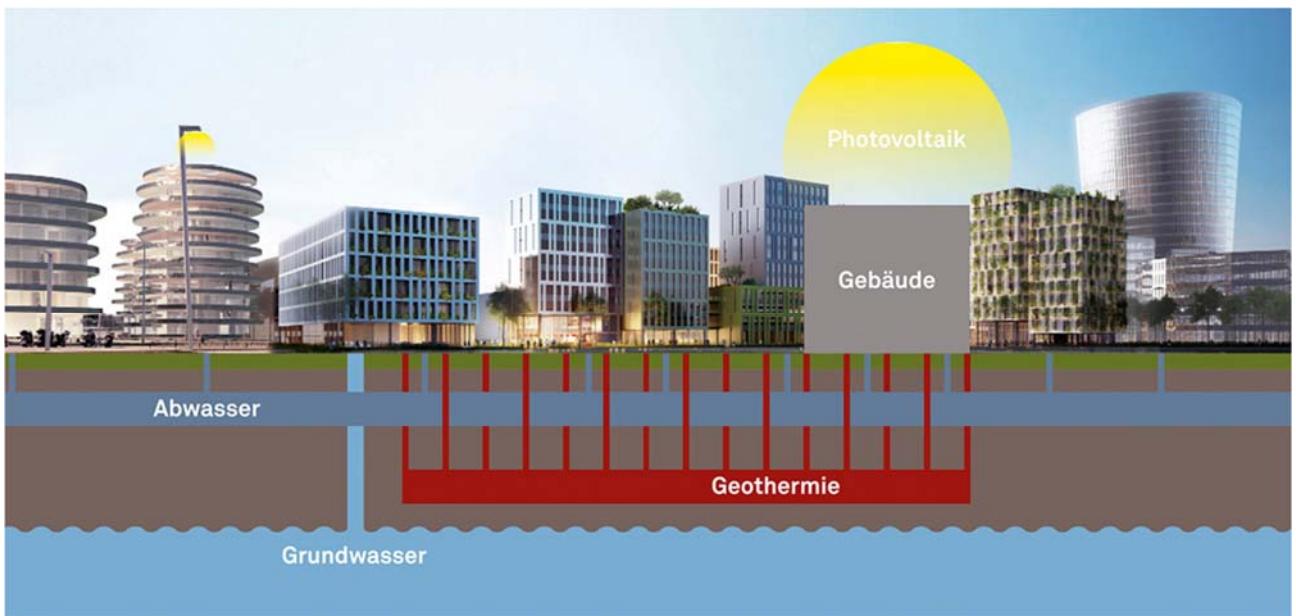


Abbildung 1: Systemskizze Anergienetz – Viertel Zwei Plus (Quelle: <https://energie-krieau.at/> (04.10.2021))

Viertel Zwei Plus gab den Start für weitere Projekt und Weiterentwicklungen. Im Baufeld H6 in der Seestadt wird ein Anergienetz, bestehen aus einer 100% Versorgung über dezentrale Wärmepumpen/Kältemaschinen Anlagen für 18.000 m²NF, errichtet. Als Quelle für das Anergienetz werden 90 Erdsonden sowie die Außenluft herangezogen. Das Netz erstreckt sich über vier Baufelder und jedes Baufeld hat im jeweiligen Haustechnikraum die dazugehörige Wärmepumpenanlage.

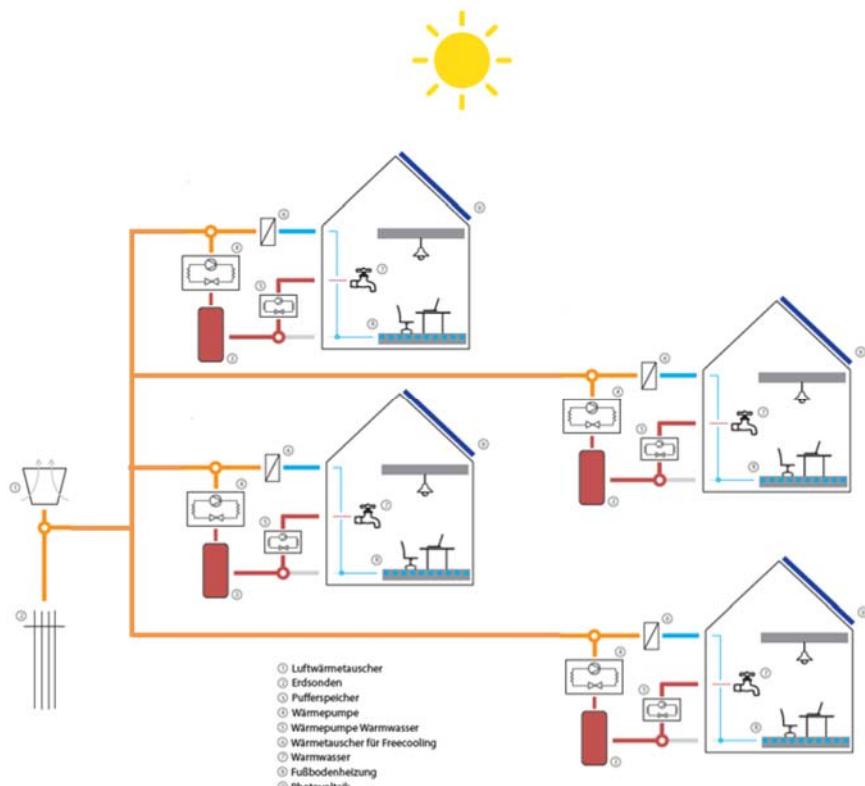


Abbildung 2: Systemskizze Anergienetz Sommer – H6 Seestadt (eigene Abbildung)

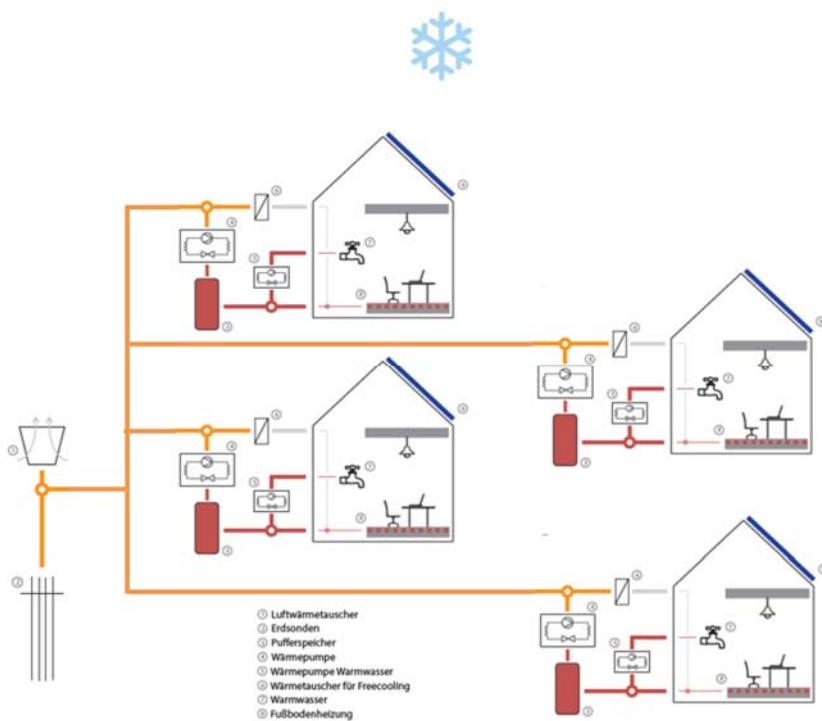


Abbildung 3: Systemskizze Anergienetz Winter – H6 Seestadt (eigene Abbildung)

4. Schlussfolgerung

Bei der Eingabe des Energieausweises ist es immer westlicher welche Haustechnikkomponenten einzugeben sind. Daher kommt der Bauphysikplanung ein Mitspracherecht zu das die Möglichkeit der Verwendung von erneuerbaren Energien massiv erhöht.

Eine solide Möglichkeit für die Verwendung von erneuerbaren Energien stellt oberflächennahe Geothermie dar. Geringe Verluste und zusätzlich die Möglichkeit der Abdeckung des Kühlenergiebedarfs erhöhen die Attraktivität dieses Systems.

Egal ob bei einem Einfamilienhaus oder einem Anergienetz in einem Quartier die Erdwärme bringst.

5. Literatur

OIB Richtlinie 6: 2019

<https://energie-kriau.at/>



PROFESSIONAL BACKGROUND

Dipl.(HTL)Ing.

Emanuel MAIRINGER

Dr. Ronald MISCHEK ZT GmbH.

ZT für Bauingenieurwesen

Tech Gate, Donau-City-Straße 1, 3. Stock,
A-1220 Wien

e.mairinger@mischek.at

Konsulent und Gutachter für Hochbauten, mit Focus auf Bautechnik, Qualitätssicherung, Lösungsberatung im Bereich von Bauphysik und Messtechnik.

Forschung, Normung, Produktentwicklung & Prüfung, Schulungen.

seit 2002 - Konsulent für die Dr. Ronald Mischek ZT GmbH.

seit 2007 - ständiges Mitglied des Normungskomitees 175 & 235

2010 - Gründung Schimmelsuchhunde-Staffel

2011 - Ausbildungstrainer zur Personenzertifizierung nach ISO/IEC 17024

Fachkraft für die Luftdichtheitsmessung

Fachkraft für die Sanierung von Schimmelpilzschäden in
Gebäuden

2011 - Gründung des Bundesverbandes für Schimmelsanierung &
technischer Bauteiltrocknung

seit 2017 - Mitveranstalter der Grazer Pilztagung, Österreich

2018 - Gründung European Mould Detection Dog Organisation

2019 - Projektleitung der österreichischen Ausgabe des Schimmel- und
des Bauteiltrocknungs-Leitfadens

2019 - Ausbildungstrainer zur Personenzertifizierung nach ISO/IEC 17024
Fachkraft für die Bauforensik

Luftdurchlässigkeitsmessung eines 125 m hohen Hochhauses (Projekterfahrung)

Emanuel Mairinger¹, Stefanie Rolfsmeier², Johannes Neubig³, Thomas Gayer⁴

¹ Dr. Ronald Mischek, ZT GmbH, Donau-City-Straße 1, A-1220 Wien e.mairinger@mischek.at

² BlowerDoor GmbH, Zum Energie- und Umweltzentrum 1, 31832 Springe, rolfsmeier@blowerdoor.de

³ Stadt Wien, Magistratsabteilung 39, Rinnböckstraße 15/2, A-1110 Wien,
johannes.neubig@wien.gv.at

⁴ Stadt Wien, Magistratsabteilung 39, Rinnböckstraße 15/2, A-1110 Wien, thomas.gayer@wien.gv.at

Einleitung

Weltweit wird vermehrt die Überprüfung der Gebäudeluftdichtheit von Hochhäusern mit Höhen von 100m und mehr nachgefragt; auch von Gebäuden in Passivhausbauweise. Luftdurchlässigkeitsmessungen bei diesen enormen Gebäudehöhen stecken noch in den Anfängen, daher deckt auch die Prüfnorm ISO 9972 diesen Bereich noch nicht ausreichend ab.

Im Februar 2021 wurde eine Luftdurchlässigkeitsmessung in einem 125 m hohen Gebäude durchgeführt. Europaweit war das die erste Messung in einem Gebäude dieser Höhe. Nachfolgend wird über die Besonderheiten dieser Messung, wie die Druckverteilung im Gebäude und der Umgang mit Thermik und Wind berichtet. Die Messung orientierte sich an dem Leitfaden zur Luftdichtheits-Messung von Hochhäusern des Passivhaus-Institutes [1]. Zusätzlich wurden Differenzdruck-Messstellen an der gesamten Gebäudehülle verteilt. Diese sollen ein möglichst genaues Bild der Druckverteilung während der Messung geben und zu Empfehlungen für zukünftige Messungen von hohen Gebäuden beitragen.

Messobjekt und Messaufgabe

Das Messobjekt ist 125 m hoch und hat ein Netto-Volumen von ca. 77.000 m³. Es besteht aus 36 Geschossen mit 670 Wohnungen sowie zwei Untergeschossen. Mittig im Gebäude befinden sich ein Treppenhaus sowie vier Aufzüge.

Das Gebäude soll eine Luftwechselrate bei 50 Pa Gebäudedruckdifferenz $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ unterschreiten. Die Gebäudepräparation erfolgte nach Verfahren 1 der ÖNORM EN ISO 9972:2016.

Besonderheiten der Messung

Grundlage für die erfolgreiche Messung waren die sorgfältige Vorbereitung und Planung mit Kollegen aus drei Ländern, die ihr Wissen und ihre jahrelangen Erfahrungen offen teilten.

Die besonderen Herausforderungen dieser Messung waren u. a. eine gleichmäßige Druckverteilung im Gebäude herzustellen (max. Druckabfall $\leq 10\%$ der erzeugten Gebäudedruckdifferenz zwischen innen und außen über die gesamte Höhe) und der Umgang mit den hohen und schwankenden natürlichen Druckdifferenzen an der Gebäudehülle durch Thermik und Wind.

Baustellenbesichtigungen und Voruntersuchungen

Schon einige Wochen vor dem Messtermin wurden ausgewählte Musterzimmer gemessen, um u. a. die Leckageströme über 670 raumluftheuchtegesteuerte Zuluftelelemente in den Außenwänden abzuschätzen und in die Kalkulation der notwendigen Anzahl der Messgebläse mit einfließen zu lassen. Bei weiteren Baustellenterminen wurden Windgeschwindigkeiten, Innen- und Außentemperaturen protokolliert sowie Differenzdruckmessungen an der Gebäudehülle durchgeführt, um möglichst früh

einen Überblick über den Einfluss von Wind und Thermik zu erhalten. Dies war notwendig, da der Messtermin in der kalten Jahreszeit lag und zu hohe Gebäudedruckdifferenzen durch Thermik befürchtet wurden, die eine Messung unmöglich gemacht hätten.

Außerdem sind vor Ort mögliche Nachströmöffnungen, wie Treppenhaus, Fahrstuhlschächte, Brandschutzschächte etc. in Augenschein genommen worden, über die die Leckageströme von der Gebäudehülle bis hin zur Messeinrichtung nachströmen konnten. Weiters wurden Einbauorte für die Messgeräte geprüft.

Messkonzept

Auf Grundlage der eingeholten Informationen und mit Hilfe der Pläne wurde ein Messkonzept erstellt, welches folgende Inhalte umfasste:

- Bestimmung der Gebäudeteile und Räume, die gemessen werden sollten
- Kalkulation des erforderlichen Volumenstromes
- Prüfung und Festlegung der Nachströmwege, um einen Luftverbund über die Gebäudehöhe zu erhalten
- Anzahl und Verteilung der Messgebläse im Gebäude
- Planung zusätzlicher Differenzdruckmessstellen im gesamten Gebäude zur Kontrolle des Gebäudedruckes während der Messung
- Planung der „Messzentrale“ im Erdgeschoss
- Planung der Strom -Versorgung-/Anschlüsse/-Absicherung

Messumfang

Zunächst wurde in Schnitten und Grundrissen vom 2. Untergeschoss bis zum Dachgeschoss die Luftdichtheitsebene gesichtet und eingezeichnet. Dieser Schritt war notwendig, um Klarheit für die Gebäudepräparation zu erhalten und festlegen zu können, welche Türen zu angrenzenden Gebäudebereichen außerhalb des Prüfobjektes geschlossen werden müssen.

Erforderlicher Volumenstrom

Basierend auf der angestrebten maximalen Luftwechselrate betrug der erforderliche Volumenstrom bei 50 Pa Gebäudedruckdifferenz [2] ca. 105.000 m³/h (plus Sicherheit von 19.000 m³/h für die 670 Zuluftelelemente).

Luftverbund und Nachströmwege

Eine besondere Herausforderung war es, einen ausreichend großen Luftverbund im Gebäude herzustellen, damit in jedem Geschoss während der Messung der gleiche Druck erzeugt werden konnte. Die gleichmäßige Druckverteilung hängt dabei von der Dichtheit der Gebäudehülle und der Größe der Öffnungen ab, die alle Geschosse miteinander verbinden. Je undichter die Hülle ist, desto größer sind die Luftströmungen und desto größere Nachströmöffnungen bis hin zu den Messeinrichtungen sind erforderlich. Der Druckabfall sollte kleiner oder gleich 10 % der erzeugten Gebäudedruckdifferenz im Erdgeschoss zwischen innen und außen sein.

Der erwartete Volumenstrom lag bei ca. 105.000 m³/h und es schien zu riskant, den Luftverbund über das enge Treppenhaus ohne Treppenloch und mit nur jeweils drei Türen zu den Geschossen herzustellen. Daher wurde ein 130 m hoher Fahrstuhlschacht als verbindende Öffnung über die Gebäudehöhe hinzugenommen. Aus Sicherheitsgründen war nur ein Teil der Fahrstuhltüren während der Messung geöffnet: 1. UG bis 1. OG, 11. bis 13. OG, 21. bis 23. OG sowie 33. bis 35. OG.

Anzahl und Verteilung der Messgebläse im Gebäude

Die insgesamte 18 Messgebläse sollten auf vier Etagen verteilt werden (Abb. 1): Neun im Erdgeschoss, das auch als Messzentrale diente, sowie jeweils drei Gebläse im 12., 22. und 34. OG. Der Einbau in den höheren Geschossen erfolgte, um sie bei einem möglichen Druckabfall dazuschalten zu können.

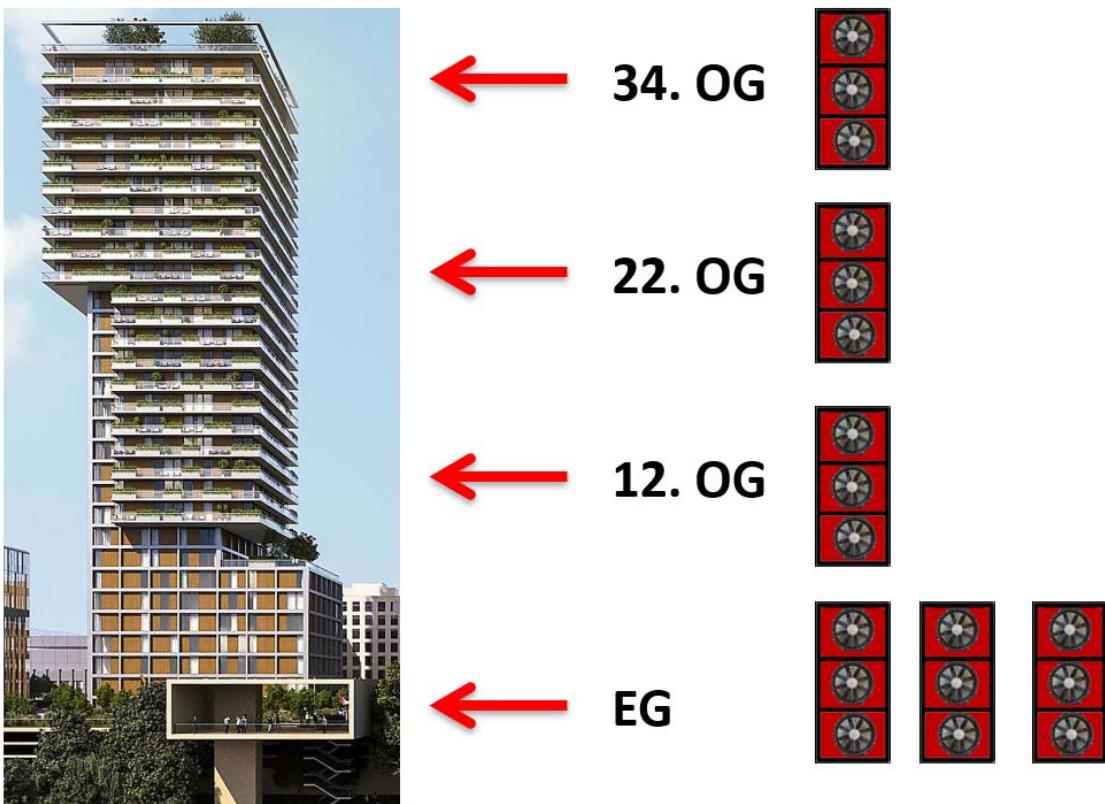


Abb. 1: 125 m hohes Gebäude und Planung des Messgeräteeinbaus

Zusätzliche Messstellen für Gebäudedruckdifferenzen

Um ein möglichst genaues Bild der Gebäudedruckdifferenzen aller Gebäudeseiten und über die Gebäudehöhe zu bekommen, wurden während der Messung zusätzliche Messstellen – verteilt auf alle Gebäudeseiten – geplant: drei im Erdgeschoss sowie je vier Messstellen im 12., 22. und 34. Obergeschoss (Abb. 2).

Diese Messwerte dienten zur Prüfung, ob sich der Druck bei der Messung gleichmäßig im Gebäude verteilt. Außerdem konnte damit sichergestellt werden, dass sich bei der Unterdruckmessung im ganzen Gebäude ein negativer und bei der Überdruckmessung ein positiver Druck einstellt.

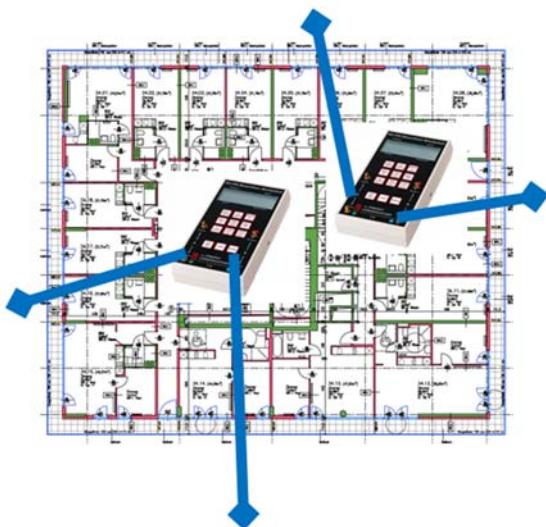


Abb. 2: Aufnahme von 4 Gebäudedruckdifferenzen im obersten Geschoss

„Messzentrale“ im Erdgeschoss

Der Rechner (Notebook) mit dem Messprogramm TECLOG4 zur zentralen Steuerung aller Messeinrichtungen und Überwachung der Gebäudedruckdifferenzen befand sich in der „Messzentrale“ im Erdgeschoss. Das Messprogramm zeigt in Echtzeit mit Messwerten im Sekundentakt, die Messkurven für die Gebäudedruckdifferenzen, die Einzelvolumenströme der Gebläse sowie den Gesamtvolumenstrom an. Das macht es möglich, sofort z. B. auf einen zu hohen Druckabfall zu reagieren und Gebläse hinzuzuschalten oder die Mittlungsduer für die Messpunkte auf 60 Sekunden oder mehr zu erhöhen, wenn die windverursachten Druckschwankungen es verlangen.

Messung

Nach dem Messstart mit zunächst neun Gebläsen im Erdgeschoss (Fördervolumen ca. 65.000 m³/h) konnten zwar die gewünschten Messpunkte angesteuert werden, doch der Druckabfall im oberen Gebäudeteil war deutlich höher als 10% vom erzeugten Druck im Erdgeschoss. Mit Hilfe der Messgebläse im 22. OG konnte flexibel auf diese Situation reagiert und der Druckabfall ausgeglichen werden. Nacheinander wurden die drei Messgebläse im 22. OG dazugeschaltet und unabhängig von der zentralen Regelung hochgeregt. So weit, dass der Druckabfall größtenteils ausgeglichen werden konnte.

Der Mittelwert des Leckagestroms aus der Unter- und Überdruckmessreihe bei 50 Pa betrug letztendlich knapp 60.000 m³/h.

Aufgrund der großen Gebäudehöhe und einer Temperaturdifferenz von 17 K zwischen Gebäudeinnerem und außen zeigte das Gebäude sehr hohe Gebäudedruckdifferenzen aufgrund von Thermik. Die Messtellen im obersten Geschoss wiesen eine natürliche Druckdifferenz an der Gebäudehülle von ca. +70 Pa und im Erdgeschoss von ca. -10 Pa aus (Abb. 3). In diesem Gebäude lag die druckneutrale Zone nicht in der Mitte des Gebäudes, wie oftmals erwartet wird, sondern in etwa auf der Höhe des vierten bis fünften Geschosses. Das bedeutete, dass sich ein Großteil der Leckagen im unteren Gebäudeteil befand.

Basierend auf diesen Messwerten konnten die Messpunkte der Unterdruckmessreihe so gewählt werden, dass im ganzen Gebäude immer ein negativer Druck herrschte und bei der Überdruckmessreihe immer ein positiver Druck.

Für zukünftige Messungen wird empfohlen, eine Temperaturdifferenz von 8°K bei 125 m Gebäudehöhe nicht zu überschreiten. Bei einer gleichmäßigen Verteilung der Leckagen über die Gebäudehöhe würde das zu ca. -20 Pa im Erdgeschoss und +20 Pa im obersten Geschoss führen. Werden diese Werte

angestrebt, führt das zu einem ausreichend großen Messbereich zwischen dem kleinsten und größten Messwert für eine Messreihe.

Am Messtag herrschte Wind um 3 Beaufort. Die Schwankungen der Gebäudedruckdifferenzen waren im Erdgeschoss am geringsten und die Streuung der Messwerte nahmen mit der Gebäudehöhe deutlich zu (Abb. 3).

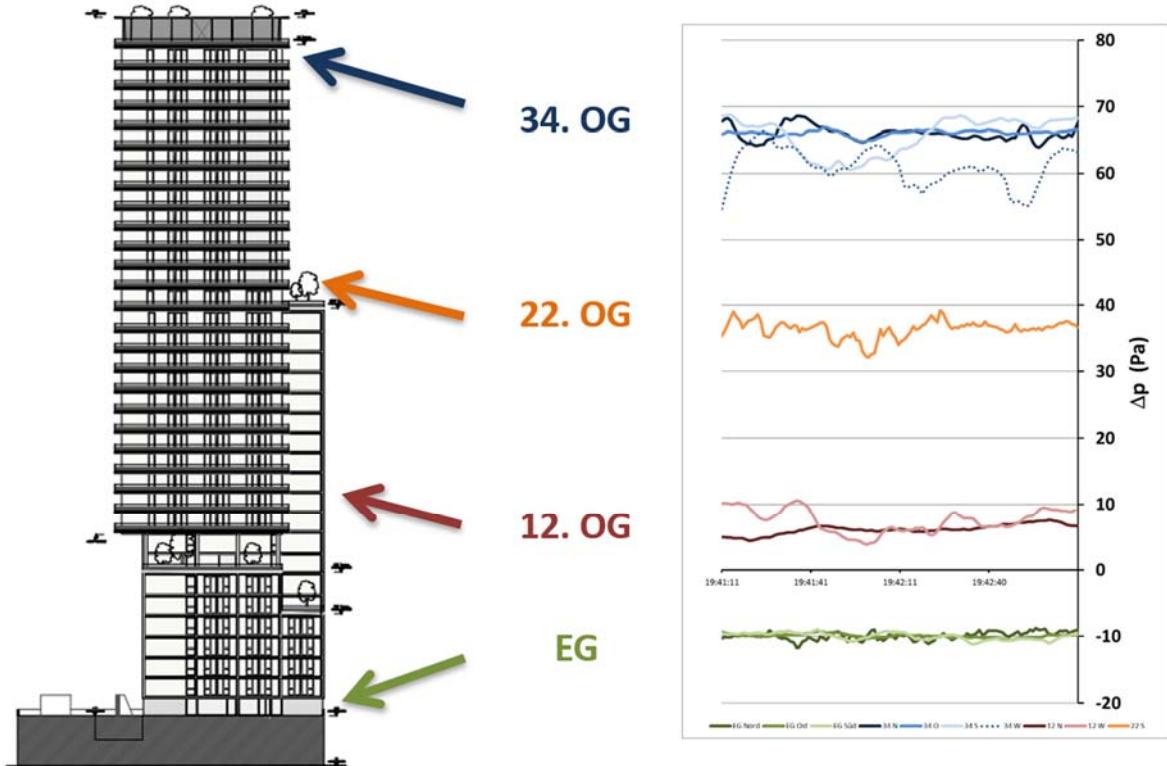


Abb. 3: Natürliche Gebäudedifferenzdruckschwankungen aufgrund von Wind über die Gebäudehöhe

Auch am Beispiel der Überdruckmessung sind die höheren Schwankungen in den höheren Geschossen grafisch sehr gut erkennbar (Abb. 4).

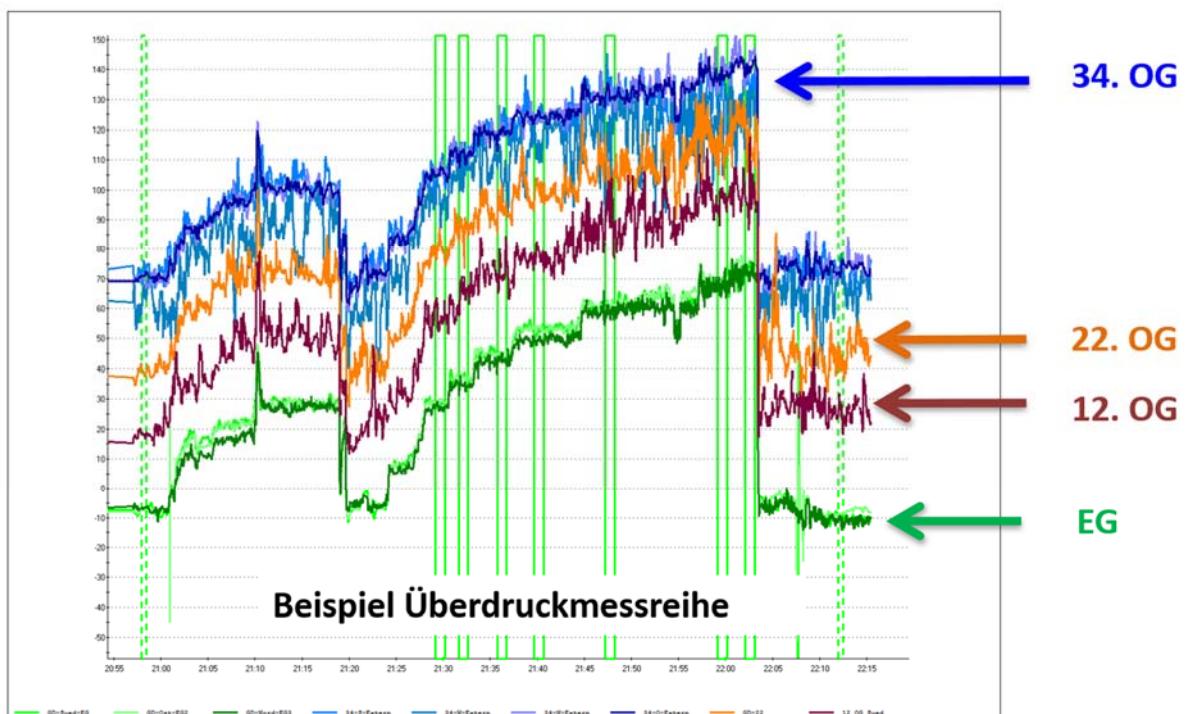


Abb. 4: Druckschwankungen über die Gebäudehöhe während der Überdruckmessreihe

Das Erdgeschoss eignete sich daher gut als Messzentrale und für den Einbau der neun Messgebläse, da der Einfluss von Windschwankungen auf die einzelnen Gebläse und damit auf die Volumenstrommessung hier am kleinsten ist. Vorteilhaft war außerdem, dass die Ansteuerung der Messpunkte im Vergleich zu den höhergelegenen Etagen weniger durch die Druckschwankungen beeinflusst wurde.

Zusammenfassung

Der Leitfaden vom Passivhaus-Institut zur Luftdichtheits-Messung von Hochhäusern ist eine gute Basis für die Messung von hohen Gebäuden.

Eine sorgfältige Vorbereitung der Messung ist notwendig, um eine gleichmäßige Druckverteilung über die Gebäudehöhe während der Messung zu erhalten. Je undichter die Gebäudehülle ist, desto größer müssen die Öffnungen über das Treppenhaus und / oder Schächte sein, um eine gleichmäßige Nachströmung in alle Gebäudeteile anzustreben.

Die Messzentrale mit der zentralen Steuerung der Messeinrichtungen und einem Großteil der Messgebläse kann im Erdgeschoss eingerichtet werden. Die Messungen von Gebäudedruckdifferenzen haben gezeigt, dass die Druckschwankungen durch Wind im Erdgeschoss am geringsten sind und mit zunehmender Gebäudehöhe ansteigen. Um eine stabile Grundlage zur Regelung der Messgebläse auch bei Wind zu haben, empfiehlt sich daher der Einbau im Erdgeschoss.

Wenn die Gefahr besteht, dass die Nachströmöffnungen innerhalb des Gebäudes nicht ausreichend dicht sein könnten, müssen zusätzliche Gebläse in höher gelegenen Etagen eingebaut werden. Diese Gebläse können bei Bedarf nacheinander zugeschaltet werden.

Die Windgeschwindigkeit während der Messung sollte kleiner oder gleich 3 Beaufort sein. Es wird empfohlen, dass die Temperaturdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und außen bei einem 125 m hohen Gebäude 8 K nicht überschreitet.

Werden Wind und Thermik beim Messtermin erwartet, unterstützen zusätzliche Messstellen für die Gebäudedruckdifferenz die Aufnahme der Messreihen.

Vier Messstellen, eine an jeder Gebäudeseite, im Erdgeschoss und im obersten Geschoss geben ein aussagekräftiges Bild der Druckverteilung über die Höhe.

Die Steuerung der Messeinrichtung kann auf den Mittelwert der Druckdifferenzen im Erdgeschoss eingestellt werden. Dieser fließt außerdem in die Ermittlung der Leckagekurve mit ein. Die Aufnahmezeit für die einzelnen Messpunkte sollte bei böigen Windverhältnissen auf 60 bis 120 Sekunden verlängert werden, um die Streuung der Messpunkte zu verringern.

Die Messstellen für die den Gebäudedruck in der obersten Etage dienen der Kontrolle. Sie zeigen während der Einstellung der einzelnen Messpunkte, ob sich bei der Unterdruckmessreihe über die gesamte Gebäudehöhe ein negativer Druck und bei Überdruck ein positiver Druck einstellt.

Ein besonderer Dank gilt den Co-Autoren Stefanie Rolfsmeier, Johannes Neubig und Thomas Gayer, die diese Messung durch ihren Einsatz und die vertrauensvolle Zusammenarbeit erst möglich gemacht haben. Sowie an Gary Nelson und Collin Olson, die uns vor, während und nach der Messung mit wertvollen Informationen zur Seite gestanden haben. Sowie an all die Kollegen, die im Hintergrund eine Stütze waren und sind.

Literatur

- [1] Peper, S; Schnieders, J. (2019): Luftdichtheits-Messung von Hochhäusern. Passivhaus Institut, September 2019
- [2] Rolfsmeier, S (2015).: Luftdurchlässigmessung großer Gebäude In: Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V. (Hrsg.): Gebäude-Luftdichtheit, Band 2, Berlin 2015



CURRICULUM VITAE

Univ. Prof. DI Dr.
Thomas BEDNAR

Universitätsprofessor für Bauphysik
Leiter des Forschungsbereichs für Bauphysik und Schallschutz

TU-Wien, Institut für Hochbau und Technologie
Karlsplatz 13
A-1040 Wien

thomas.bednar@tuwien.ac.at

Nach dem Studium der Technischen Physik im Jahr 2000 Promotion an der TU Wien über die Weiterentwicklung von Mess- und Rechenverfahren zur Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden. 2005 Habilitation an der TU Wien mit dem Fachgebiet „Bauphysik“.

Seit 2008 Leiter des Forschungsbereiches Bauphysik und Schallschutz.

Arbeitsschwerpunkt ist die Entwicklung und der Einsatz von Simulationsmodellen in der Bauphysik. Österreichisches Mitglied im IEA-ECBCS-Programm Annex 41 „Whole building heat, air and moisture response“, Annex 53 „Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods“, Annex 55 „Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting - Probability Assessment of Performance & Cost“,

Leitung des ÖNORM-Arbeitskreises für die Erstellung von bauphysikalischen Nachweisen, Mitarbeit bei Regelwerken für den Energieausweis, Bauakustik und Denkmalpflege auf nationaler und internationaler Ebene (WTA, CEN, ISO)

Seit 2009 ständiges Mitglied im Bundesdenkmalbeirat des Bundesministeriums für Unterricht, Kunst und Kultur.

Seit 2016 Mitglied in der Evaluationsgruppe für Förderanträge der schwedischen Grundlagenforschung und anwendungsnahen Forschung im Bereich „Gebaute Umwelt“.

Autor von über 267 Publikationen davon 75 mit anonymer externer Begutachtung.

ÖNORM B 8110-2:2020

Univ. Prof. DI Dr. Thomas BEDNAR

Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, Forschungsbereich Bauphysik

Was die Norm fordert, und warum es Sinn macht:

Konzept zur Vermeidung von Feuchteschäden

Absprache mit Auftraggeber

Baustelle

Nutzung

Verständliche Hinweise an zukünftig Nutzungsberechtigte

Nutzung (Risiko von Beschädigungen, Möblierung)

Klimarandbedingungen (Druckdifferenz, Luftfeuchte, Lufttemperatur, Strahlungstemperatur)

Konstruktive Maßnahmen

Nachweismethoden

Katalog von Konstruktionen mit geringem Schadensrisiko bei Nutzung XY und Außenklima XY

Simulationsmethoden unter Berücksichtigung aller relevanten Transport- und Speichervorgänge

Der Vortrag ist als Video unter

<https://www.bph.tuwien.ac.at/bauphysikmeetspublic/bauphysiker-innen-tag-2021>

nach der Veranstaltung verfügbar.

Zur Vorbereitung bitte die ÖNORM B 8110-2:2020 lesen.

Fragen sind immer willkommen: thomas.bednar@tuwien.ac.at



CURRICULUM VITAE

MSc DI(FH)
Clemens HÄUSLER

Ingenieurbüro für Bauphysik

bauphysik.at
Josef Stadlmann-Gasse 1
A-2511 Pfaffstätten

info@bauphysik.at

Geboren 1966 in Wien, absolvierte seine Schulausbildung in Österreich (HTL Mödling, Ing. für Hochbau) und studierte danach in Deutschland (FHT Stuttgart, DI(FH) für Bauphysik) und England (University of Southampton, MSc of Sound and Vibrations). Nach einem halbjährigen Forschungsauftrag am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Stuttgart (mikroperforierte Absorber), arbeitete er von 1995 bis 2000 in der Deutschen Industrie.

Ende 2000 startete er als selbstständiger Berater in Deutschland und Österreich für Hersteller von Akustikdecken. Seit 2003 ist er freiberuflicher Bauphysiker und als Experte im Österreichischen Normungsinstitut (ON-K 208 »Schall«, ON-K 175 »Wärme«) tätig. Seit Anfang 2009 ist er (stolzer) Inhaber des Einzelunternehmens »bauphysik.at«

»bauphysik.at« ist ein klassisches Bauphysikbüro (gegründet von Architekt DI Franz Kalwoda 1980), dass sich auf die Kernbereiche Akustik-Schall-Wärme-Feuchte konzentriert. Im Fokus steht die Sanierung von Bestandsobjekten sowie die Planung komplexer (Nichtwohn-) Gebäude, insbesondere Bildungseinrichtungen.



CURRICULUM VITAE

Dr.
Christoph LECHNER

Amt der Tiroler Landesregierung

Abteilung Emissionen Sicherheitstechnik Anlagen
Herrengasse 1
6020 Innsbruck

christoph.lechner@tirol.gv.at

Geboren 1967 in Hall in Tirol absolvierte er 1987 die HTL für Elektrotechnik in Innsbruck. 1988 begann die berufliche Laufbahn beim Amt der Tiroler Landesregierung, Sachverständigendienst, überwiegend im Einsatz bei gewerblichen Betriebsanlagen. 1998 erfolgte der Wechsel in die Privatwirtschaft – Technisches Büro für technische Physik mit der Bearbeitung eines weitgefächertes Spektrums in der Akustik. Hier entwickelte er bereits großes Interesse und Expertise im Bereich Unsicherheiten schalltechnischer Messungen und Berechnungen, die auch Thema der Diplomarbeit zum Dipl.-HTL-Ing. waren. 2002 Rückkehr zum Land Tirol, hier als Lärmexperte für alle Bereiche von Betriebsanlagen, Linieninfrastruktur bis Bauakustik eingesetzt. Parallel dazu Lehrtätigkeit an der FH Technik Innsbruck im Bereich Lärmschutz im Diplom- und Masterstudiengang.

Engagement in verschiedensten akustischen Vereinigungen wie 17 Jahre Vorsitzender des Forum Schall, 10 Jahre stellvertretender Vorsitzender des ON-K 2008 „Bauakustik“, mehrfacher Arbeitsgruppenleiter und Schulungsreferent beim Österreichischen Arbeitsring für Lärmbekämpfung, derzeit Präsident.

Schallschutz im Hochbau - Methodik zur Erstellung von Anforderungen

ÖNORM B 8115-2: 2021-04

DI(FH) Clemens Häusler, MSc, *info@bauphysik.at*

bauphysik.at
A-2511 Pfaffstätten bei Wien

Dr. Christoph Lechner, *christoph.lechner@tirol.gv.at*

Amt der Tiroler Landesregierung
A-6020 Innsbruck

Vorbemerkung

Im Jahr 2018 wurde die ISO FDIS 19488 (»final Draft« sprich »Schlussentwurf«) „Akustisches Klassifizierungssystem für Wohngebäude“, eine Klassifizierung mit konkreten Zahlenwerten, von den Mitgliedsstaaten abgelehnt. Aus Sicht der Autoren zu Recht, denn nicht wertmäßig einheitliche Anforderungen, sondern eine einheitliche Methodik sollte das Ziel internationaler Harmonisierung sein (2021 erschien inhaltlich unverändert die ISO TS 19488, also abgewertet als »Technical Specification« sprich »Technische Regel«).

Weltweit den gleichen Schallschutz zu fordern/empfehlen ist genauso unrealistisch wie technisch fragwürdig. Nicht gleiche Anforderungen, sondern gleiche Verfahren sind gefragt. Die neue ÖNORM B 8115-2 präsentiert eine solche einheitliche Methodik, die absolute Höhe des Anforderungsniveaus kann entsprechend den jeweiligen Vorstellungen (»Schutzziel«) festgelegt werden.

1. Einleitung

In Österreich sind die Anforderungen an den baulichen Schallschutz traditionell in ÖNORM B 8115-2 geregelt. Mit der Bestrebung zur Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften wurde im Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) die Richtlinie 5 „Schallschutz“ [OIB 5] erstellt und in den Ländern, die primär für Gesetzgebung und Vollzug des Baurechts zuständig sind, verbindlich erklärt. Während die OIB-Richtlinie 5 aus 2007 noch auf die Anforderungen der ÖNORM B 8115 Teil 2 verwies, wurden in der Ausgabe 2011 die Anforderungen fast identisch übernommen und verbal beschrieben. In der OIB Richtlinie 5 Ausgabe 2015 wurden dann diese textlichen Teile in Tabellen formuliert, um angeblich die Lesbarkeit zu erhöhen. Damit wurden die Regelungen der Anforderungen von der Normungs- zur Harmonisierungsebene verschoben.

Entsprechend dieser Bestrebungen ist es nun weder notwendig noch im Sinne einer Rechtssicherheit in verwaltungs- und zivilrechtlichen Verfahren erwünscht, dass die ÖNORM B 8115-2 weiterhin Anforderungen enthält. Trotzdem sollte eine Verfahrensanleitung zur Verfügung gestellt werden, mit dem die Anforderungen situativ ermittelt werden können. Es handelt sich dabei nicht um die Berechnung der Schallübertragung in Gebäuden, sondern die Ableitung von in sich kohärenten Anforderungswerten für Luft- und Trittschall sowie für Technische Anlagen.

2. Die Herausforderung

In den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten zeigt sich bei den Belästigungsreaktionen Betroffener eine Verschiebung in Bezug auf die Verursacher [Mikrozensus 2019]. Während bis zu Beginn dieses Jahrhunderts die Schallquelle Verkehrslärm die bei weitem dominante war, stieg die Belästigung aus Nachbarschaftwohnungen (als Erstgenannte der störenden Quellen) stark an. Mögliche Begründungen dafür sind die Veränderung des

Nutzungsverhaltens in Bezug auf Aktivitäten, die auch tieffrequenten Schall verursachen wie mittlerweile kostengünstige Home Consumer Electronic, der zunehmende Leichtbau bzw. mehrschalige Konstruktionen in Kombination mit tieffrequenten Geräuschen aber auch das durch die sehr hochwertigen Außenbauteile niedrige Geräuschniveau in den Aufenthaltsräumen.

Gerade über die aktuellen thermischen Anforderungen und über Aktivitäten zur thermischen Sanierung werden Fenster und Außentüren nicht nur mit einem hohen Schalldämm-Maß sondern auch mit einer außerordentlich guten Dicke eingebaut. Diese Dicke zeigt akustisch betrachtet auch keine großen Veränderungen im Laufe der Jahre, sodass diese Fenster und Außentüren auch nachhaltig geeignet sind, den Lärm von außen in die Empfangsräume stark zu dämmen. Diesem Umstand folgend entsteht in den Empfangsräumen ein sehr niedriges Geräuschniveau, die Hörsamkeit der Geräusche im Inneren ist damit besser gegeben. Dies könnte eine logische (nicht evidente) Begründung sein, warum die Beschwerdefälle aufgrund von Geräuschen aus Nachbarwohnungen in den letzten Jahren stark gestiegen sind.

Die Herausforderung bei der Formulierung einer Methodik für einen abgestimmten Schallschutz im Hochbau liegt nun darin, die Zusammenhänge zwischen der Lärmbelastung im Freien und den sich daraus ergebenden Geräuschniveaus in den Aufenthaltsräumen in Beziehung zu bringen mit der Hörsamkeit von Geräuschen aus Luft- und Trittschall sowie von Technischen Anlagen.

3. Der traditionelle Beurteilungszugang in Österreich

Die Normung zum Schutz gegen Schall im Hochbau hat in Österreich eine lange Tradition, so wurden mit ÖNORM B 2115 vom 15. Dezember 1936 bereits die erforderlichen Schalldämmwerte für Übertragungssituationen in Wohnhäusern einerseits und Gasthöfen und Krankenhäusern u.dgl. andererseits definiert. Diese Anforderungswerte galten für Fenster, Türen, Trennwände innerhalb derselben Nutzungseinheit, Trennwände zwischen Wohnungen bzw. Gebäuden, Außenwände mit und ohne Fenster als Gesamtdämmmaß sowie für Decken, dies auch in Bezug auf den durchgelassenen Trittschall. Interessant sind die Zahlenwerte dieser Anforderungen. So wurden die Trennwände zwischen zwei Wohnungen mit 55 dB und zwischen zwei Gebäuden mit 60 dB als erforderliche Schalldämmwerte normiert. Beim durchgelassenen Trittschall in Wohnhäusern wurden Werte von 40 dB, für Gasthöfe, Krankenhäuser u.dgl. von 30 dB als Anforderungen definiert.

Im Laufe der Zeit wurden die Anforderungen detaillierter beschrieben und für den Luftschallschutz wurde in Bezug auf den zulässigen Wert sowohl für Geräusche von außen nach innen als auch für die Übertragung innerhalb der Gebäude ein allgemeiner Grundsatz (vgl. Ausgabe 1981) definiert. Der erforderliche Schallschutz ergibt sich aus

- dem vorhandenen oder zu erwartenden Lärm und
- dem Grundgeräuschpegel des zu schützenden Raumes.

Übersteigen Geräusche den im Raum herrschenden Grundgeräuschpegel, so stören sie, so die Aussage in der Ausgabe 1981. Dieser Grundgeräuschpegel wurde für Planungszwecke direkt aus den Baulandkategorien ermittelt und lag zwischen 20/15 dB (Tag/Nacht) in Ruhegebieten und reichte bis 35/25 dB (Tag/Nacht) in Gebieten mit geringer Lärmemission (Verteilung, Erzeugung, Dienstleistung, Verwaltung). Der Ausgabe von ÖNORM B 8115-2 aus dem Jahre 1987 ist zu entnehmen, dass die generelle Anforderung grundsätzlich gilt und für den Fall, dass kein höherer Schallschutz nach diesem Vorgang erforderlich ist, die in Tabellen festgelegten Mindestschallschutzwerte trotzdem einzuhalten sind. Im Hinblick auf die Beurteilungsgrundsätze wanderte der Hinweis, dass Geräusche über dem Grundgeräuschpegel störend sind, in die Fußnote ebenso wie in den Folgeausgaben 1992 und 1994. Mit Ausgabe 2002 wurde die allgemeine Anforderung wieder in den Haupttext wie folgt eingefügt:

- Dabei ist davon auszugehen, dass der Beurteilungspegel der Schallimmission den Grundgeräuschpegel im zu schützenden Raum nicht überschreiten soll und der Spitzenpegel den Grundgeräuschpegel nicht um mehr als 10 dB überschreiten soll.

Für den Trittschallschutz wird keine Unterscheidung der Anforderung nach dem Grundgeräuschpegel getroffen, dies gilt gleichfalls für Technische Anlagen. In der Ausgabe 2002 wird auch klargemacht, dass nur für den Fall,

dass diese generelle Anforderung keinen höheren Schallschutz bedingt, die tabellarischen Anforderungen des Mindestschallschutzes erfüllt werden müssen. Die normativen Formulierungen lassen es offen, ob diese generellen Anforderungen auch für den Luftschallschutz im Gebäudeinneren gelten oder nur dem Luftschallschutz vor Lärm von außen. Letzteres lässt ein Hinweis auf die Ermittlung des Dauerschallpegels, welcher nur für Geräusche im Freien gilt, vermuten. Für die erstere These spricht die Bestimmung, dass auch der Mindestschallschutz in Gebäuden der generellen Anforderung unterworfen ist.

In der Ausgabe 2006, diese Ausgabe war jene, die die Anforderungen für die später ausgegebene OIB-Richtlinie 5 (2007) beinhaltete, wurden Bestimmungen, die lediglich Empfehlungscharakter hatten, eliminiert. Diese Norm musste den legistischen Anforderungen für einen direkten Verweis in einer Verwaltungsvorschrift Genüge tun. Für die normüblichen Übertragungssituationen in Gebäuden ohne Betriebsstätten wurden daher die mindest erforderlichen bewerteten Standard-Schallpegeldifferenzen festgeschrieben. Der generelle Grundsatz aus den Vorgängernormen wurde aber für die Anforderungen an den Luftschallschutz in Gebäuden ohne Betriebsstätten mit feststehenden Tabellenwerten formuliert. Dabei wurde davon ausgegangen, dass ein übliches Nutzerverhalten einerseits einem üblichen Nutzerempfinden andererseits gegenübersteht und dies generalisierbar sei. Für Gebäude mit Betriebsstätten wurde der tradierte generelle Grundsatz – der Grundgeräuschpegel im Empfangsraum darf nicht überschritten werden – übernommen, in seiner Ausformulierung aber adaptiert.

Der Begriff des Grundgeräuschpegels machte in der Praxis große Probleme in der Planfeststellung und späteren Bewertung. Der Grundgeräuschpegel ist eine Messgröße, welche zur Beschreibung des niedrigsten Geräuschniveaus dient. Definitionsgemäß konnte er nur erfasst werden, in dem der niedrigste Wert des Zeigers des Schallpegelmessers in Anzeigedynamik »fast« wiederholt beobachtet werden konnte und vom Messenden gleichzeitig dabei Ruhe empfunden wurde. Dies führte dazu, dass bei Messungen im Gebäudeinneren eine künstliche ruhige Atmosphäre geschaffen wurde, dies durch Abschaltung von Geräten in der Empfangswohnung. So wurden teilweise Kühlschränke, tickende Uhren und sogar surrende Lampen abgeschaltet.

Das echte Problem bestand aber beim Grundgeräuschpegel im Umstand, dass es eine Messgröße war. Diese kann naturgemäß erst dann erhoben werden, wenn das Messobjekt errichtet ist. Da dieser später gewonnene Messwert für die Definition der Anforderung an den baulichen Schallschutz in unmittelbarem Zusammenhang steht, konnte diese Anforderung bei genauem Betrachten erst erschlossen werden, wenn das Gebäude bereits errichtet war.

Für eine Planfeststellung im Sinne der Zulässigkeit der vorgesehenen Konstruktion war daher eine Planungsgröße einzuführen, die sowohl vor als auch nach Errichtung des Gebäudes stabil und immer gleichbleibt. Dies wurde in Form des Planungsbasispegels realisiert, welcher von den Zahlenwerten dieselben Größen aufweist wie der Grundgeräuschpegel, dessen Zuordnung aber auf Grund des maßgeblichen Außenlärmpegels erfolgt.

Die Ermittlung darf aber nicht durch Zuordnung allein aufgrund einer Baulandkategorie erfolgen, sondern verlangt stets eine Plausibilitätskontrolle. Auch sind bauteillagebezogene Abminderungen in Rechnung zu stellen. Je nach Ergebnis der Plausibilitätskontrolle bedarf es der Berücksichtigung strategischer Lärmkarten, einer standortspezifischen Berechnung oder einer repräsentativen Messung. Durch die bereits seit langem übliche Zuordnung zu Baulandkategorien und späteren messtechnischen Erfahrungen bestätigte sich in der Praxis zunehmend, dass der Zusammenhang zwischen Außenlärmpegel und Planungsbasispegel auch jenem Geräuschniveau entspricht, welches üblicherweise in den beschriebenen Konstellationen gemessen wurde.

Dabei darf man nicht außer Acht lassen, dass bei ruhigeren Gegenden (unter 30 dB in der Nacht im Freien), wie sie am Land aber durchaus auch im urbanen Bereich auf der den Lärmquellen abgewandten Seite üblich sind, der Grundgeräuschpegel sich der Erfassung einer Standardmessausstattung entzieht. Werte unter 20 dB sind durchaus üblich, Low-Noise-Ausstattungen zur Erfassung derselben werden benötigt. Aber auch mit diesen wurden von der Anzeige her die Eichgrenzen noch teils deutlich unterschritten. Diese Schwierigkeiten waren ein zusätzliches Argument, den Planungsbasispegel in Abhängigkeit von der Außenlärmbelastung zu formulieren.

Tabelle 1: Planungsbasispegel in Abhängigkeit vom maßgeblichen Außenlärmpegel

Außenlärmpegel Kategorie ^a			-	1	2	3	4	5	6
Tag 06:00–22:00	Maßgeblicher Außenlärmpegel	dB	≤ 40	41 bis 45	46 bis 50	51 bis 55	56 bis 60	61 bis 65	> 65
	Planungsbasispegel L_{PB}	dB	15	20	25	30	30	30	30
Nacht 22:00–06:00	Maßgeblicher Außenlärmpegel	dB	≤ 30	31 bis 35	36 bis 40	41 bis 45	46 bis 50	51 bis 55	> 55
	Planungsbasispegel L_{PB}	dB	10	15	15	20	20	20	20

^a Die Ermittlung des Planungsbasispegels durch Zuordnung allein aufgrund einer Baulandkategorie ist nicht ausreichend. Hier müssen jedenfalls auch bauteillagebezogene Abminderungen in Rechnung gestellt werden.

4. Beurteilungskonzept

Entsprechend der überlieferten Formulierung der Anforderungen geht die neue ÖNORM B 8115-2 konsequent von folgendem Grundsatz aus:

- der Grundgeräuschpegel im Raum darf vom Beurteilungspegel nicht überschritten werden
- einzelne Spitzen dürfen den Grundgeräuschpegel um nicht mehr als 10 dB überschreiten

Dies gilt im ersten Schritt für den Luftschall, hier aber sowohl für den von Außen nach Innen dringenden Lärm als auch für die Luftschallübertragung im Gebäude. Der Beurteilungszugang geht in konsequenter Weise nicht vom energieäquivalenten Dauerschallpegel, sondern vom Beurteilungspegel aus.

Der Beurteilungspegel ist ein fachliches Konstrukt, welcher das Wirkungsäquivalent im Hinblick auf Belästigungen zu dem Referenzgeräusch Straßenverkehr abbildet. In Österreich sind zur Bildung des Beurteilungspegels Anpassungswerte bestimmt, nach der früheren Diktion gekennzeichnet durch Ton-, Impuls- und Informationshaltigkeit. Ein kumulierender Zuschlag war in Österreich nicht zu vergeben.

Aufgrund eines Ringversuches [Lechner 2003] und dessen Unsicherheitsbetrachtungen wurden diese Geräuscheigenschaften zusammengefasst und mit einem + 5 dB betragenden generellen Anpassungswert versehen (siehe Tabelle 2). Für Schallübertragungen in Gebäuden kommt primär die Eigenschaft der Informationshaltigkeit zum Tragen (bei Betriebsstätten im Rahmen des Gastgewerbes ist dies schon jahrelang in ÖNORM S 5012 [ÖN S 5012] gleichlautend definiert).

Tabelle 2: In der Regel sind Anpassungswerte für folgende Schallquellen heranzuziehen

Anpassungswert für die Geräuschcharakteristik	L_z in dB
Schienenverkehr auf Durchzugsstrecken	-5
Schienenverkehr in Verschiebebahnhöfen	+5
Straßenverkehr mit fließendem Verkehr	0
Flugverkehr mit Flächenflugzeugen	0
Flugverkehr mit Hubschraubern	+5
Betriebsanlagen und akustisch vergleichbare Anlagen ^a	+5

^a hierzu zählen auch Personen aufgrund der Informationshaltigkeit

In einem weiteren Schritt wurde folgende zusätzliche Grundannahme getroffen:

- Was für den Luftschall richtig und bewährt ist, kann für den Trittschall und für technische Geräusche nicht grundsätzlich falsch sein

Diese triviale Feststellung trifft die Erfahrungen im Feld sehr gut, wonach in ruhigen Gebieten gerade Trittschall und Technische Anlagen wie im Besonderen auch Einzelgeräusche durch WC-Spülungen und Sanitärgeräusche besonders auffällig und lästig wurden.

5. Beschreibung des Verfahrens

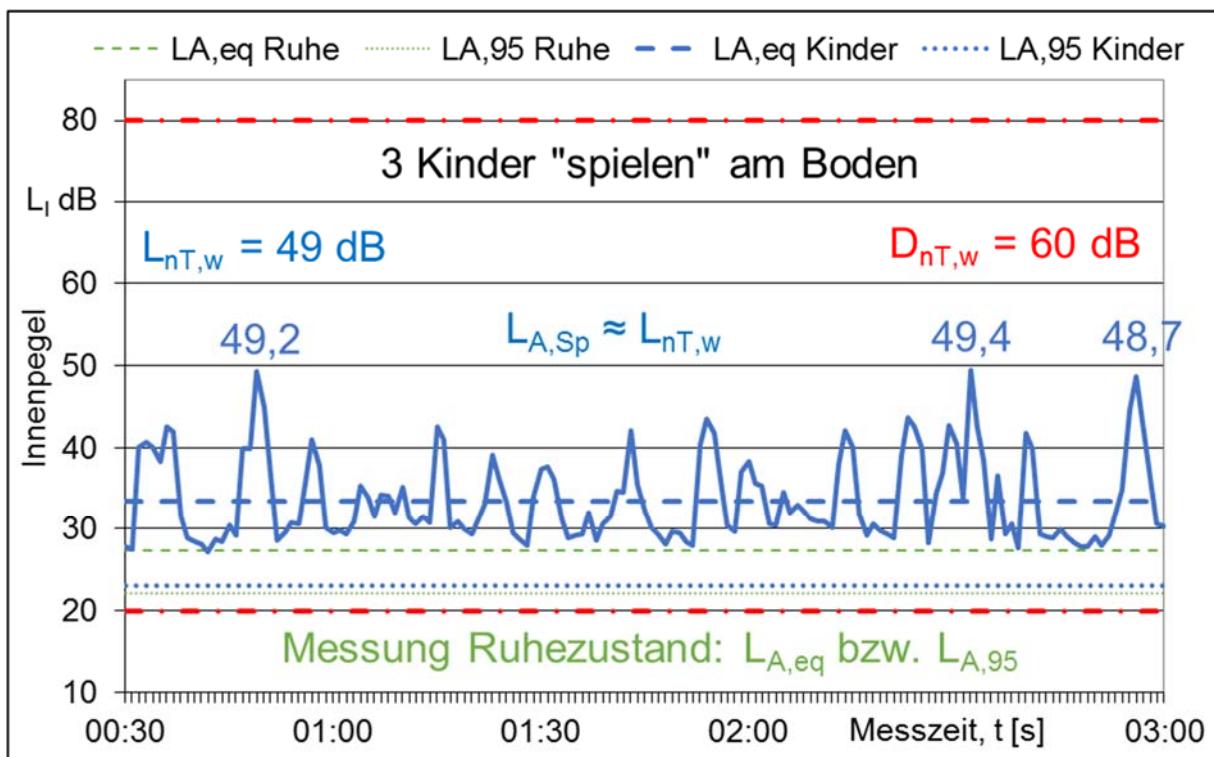
Ein ausgewogenes Schutzniveau bedeutet, dass aufgrund der einwirkenden Lärmbelastung durch

- Luftschall von außen
- Luftschall von innen
- Trittschall von innen
- Technische Anlagen

im zu schützenden Raum ein einheitlicher Lärmpegel hervorrufen wird. Damit die Bauteile planerisch entsprechend dimensioniert werden können, muss hierfür die Lärmbelastung bekannt sein. Während dies beim Luftschall gegeben ist, musste beim Trittschall erst eine entsprechende Größe eingeführt werden, der sogenannte »relative Trittleistungspegel«.

Das Gehen auf Fersen erzeugt im darunterliegenden Raum Pegelspitzen in Größenordnung vom bewerteten Standard-Trittschallpegel $L_{nT,w}$ (siehe Abbildung 1), damit kann ein Referenzwert angesetzt werden. Für andere Arten der Bewegung (z.B. leises Gehen, Ballengang, Tanzen, Turnen) kann ein entsprechender »relative Trittleistungspegel« für Planungszwecke festgelegt werden.

Abbildung 1: kennzeichnender Spitzenpegel entspricht in etwa Fersengang



An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass auch für Technische Anlagen eine entsprechende Eingangsgröße für die Planung fehlt. Derzeit gibt es aber keine Laborprüfung, weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene, aus der sich die Schalleistung von Technischen Anlagen ergibt. Dies bedeutet, dass der Pegel im zu schützenden Raum vor Ort gemessen werden kann, dieser aber nicht in der Planung rechnerisch ermittelt werden kann.

5.1 Gleichungen für die Bemessung

Beim Luftschallschutz bildet sich in der Regel die maßgebliche Emission im Freien wie in Senderäumen über den energieäquivalenten Dauerschallpegel und dem daraus gebildeten Beurteilungspegel ab. Beim Trittschall sind die einwirkenden Pegelspitzen für die Bemessung des Schallschutzes maßgebend.

Die Bemessung des Schallschutzes der Außenbauteile erfolgt in der Regel nach Gleichung (1a) oder in Sonderfällen nach (1b):

$$D_{2m,nT,w} + C_j = L_{A,eq} + L_z - L_{PB} + K_{sens} + K_{Cj} + 5 \text{ dB} \quad (1a)$$

$$D_{2m,nT,w} + C_j = L_{A,sp} - 10 \text{ dB} - L_{PB} + K_{sens} + K_{Cj} + 5 \text{ dB} \quad (1b)$$

Die Anpassung von 5 dB berücksichtigt die unterschiedliche Schallanregung (im Labor Diffusfeld aber am Bau Punkt- bzw. Linienschallquelle) sowie die unterschiedliche spektrale Eigenschaft der Bauteile (z.B. ist ein Resonanzseinbruch im Diffusfeld weniger kritisch).

Die Bemessung des Luftschallschutzes innerhalb von Gebäuden erfolgt in der Regel nach Gleichung (2a) oder in Sonderfällen nach (2b):

$$D_{nT,w} + C_j = L_{A,eq} + L_z - L_{PB} + K_{sens} + K_{Cj} \quad (2a)$$

$$D_{nT,w} + C_j = L_{A,sp} - 10 \text{ dB} - L_{PB} + K_{sens} + K_{Cj} \quad (2b)$$

Die Bemessung des Trittschallschutzes innerhalb von Gebäuden erfolgt nach Gleichung (3):

$$L_{nT,w} + C_i = -L_{going} + 10 \text{ dB} + L_{PB} - K_{sens} + K_{Ci} + \Delta L_{exist} \quad (3)$$

Die rechnerische Berücksichtigung technischer Anlagen erfolgt nach Gleichung (4a) und (4b):

$$L_{Aeq,nT} = L_{PB} - K_{sens} + \Delta L_{exist} \quad (4a)$$

$$L_{AFmax,nT} = L_{PB} + 10 \text{ dB} - K_{sens} + \Delta L_{exist} \quad (4b)$$

Für den Trittschall wurde eine Erleichterung von 3 dB im Vergleich zur grundsätzlichen Festlegung gewählt (ΔL_{exist}), dies ist ein Zugeständnis an die gebaute Praxis. Für technischen Anlagen ist ΔL_{exist} mit 5 dB festgelegt. Beide Werte sind bei Überarbeitung der Norm zu evaluieren.

Durch Berücksichtigung des Planungsbasispegels ergibt sich eine Abhängigkeit vom maßgeblichen Außenlärmpegel. Bei der Gebäudehülle war dies auch in der Vergangenheit üblich (früheren Ausgaben ÖNORM B 8115-2), bei Innenbauteilen ist diese Abhängigkeit vom Außenlärmpegel neu. Aber der Außenlärmpegel ist eine veränderliche Größe, weshalb bei auf Dauer errichteten Gebäuden von keiner zu hohen Außenlärmbelastung ausgegangen werden sollte. Der Planungsbasispegel entspricht auch nur im theoretischen Idealfall dem individuell vorhandenen Grundgeräuschpegel, weshalb pauschal von keinem zu hohen Hintergrundgeräusch ausgegangen werden sollte.

Bei der Schallübertragung im Gebäude wird deshalb, wenn nicht explizit anders belegbar empfohlen, mit einem Planungsbasispegel L_{PB} von höchstens 25/15 dB (Tag/Nacht) zu rechnen. Bei Wohngebäuden in der Außenlärmpegel-Kategorie 1 (20/15 Tag/Nacht, Ruhegebiet, Kurgebiet) kann von 25/15 dB (Tag/Nacht) ausgegangen werden, da aufgrund der eigenen Nutzungsgeräusche in der Regel ein Planungsbasispegel am Tag von 25 dB zu erwarten ist.

Der Schallschutz der Innenbauteile ist demnach nur sehr theoretisch vom Außenlärmpegel abhängig. Lediglich in extrem ruhigen Lagen (leiser als die leiseste Baulandkategorie) oder in sehr lauten Gebieten (in denen auch auf der lärmabgewandten Seite der Außenlärmpegel mindestens 55/45 dB Tag/Nacht beträgt).

5.2 Planungswerte für die Bemessung

Um das Verfahren mit Leben zu füllen, braucht es Zahlenwerte für die Gleichungen 1 bis 4. Zur Ermittlung der Schallschutzniveaus können beispielhaft folgende Tabellen verwendet werden (die tatsächliche Schallleistung bzw. Trittleistung ist individuell sehr unterschiedlich, daher handelt es sich hier um sehr stark verallgemeinerte Planungsansätze):

Tabelle 3: Planungswerte für den Innenlärmpegel

Schallleistung pro Person	$L_{w,A}^a$	Schallleistung pro Instrument	$L_{w,A}^a$
Flüstern	50	–	50
leises Sprechen	55	–	55
ruhige Unterhaltung	60	–	60
normale Unterhaltung	65	–	65
angeregte Unterhaltung	70	–	70
laute Unterhaltung	75	Tastenglockenspiel	75
sehr laute Unterhaltung	80	Zither	80
maximale Unterhaltung	85	Akustische Gitarre	85
maximale Sprachleistung	90	Geige	90
Rufen	95	Saxophon	95
Schreien	100	Klavier	100
lautes Schreien, ausgebildeter Sänger	105	Trompete	105
maximale Schreileistung	110	Schlagzeug	110

^a der energieäquivalente Dauergeräuschpegel ergibt sich aus: $L_{A,eq} = L_{w,A} + 10 \log T/V + 14 \text{ dB}$

Tabelle 4: Planungswerte für den relativen Trittleistungspegel

Art der Bewegung	L_{going}	Anmerkung
Abrollen mit Hausschuhen (Turnschuhen)	-30	
Leises Gehen im Ballengang	-20	unter Rücksichtnahme auf Mitbewohner
Gehen im Ballengang, Stuhl Rücken	-10	Stühle mit Filzgleitern (Bodengleitern)
Gehen im Fersengang, Stuhl Rücken	0	
Tanzen, Turnen, Einkaufswagen/Rollkoffer	+10	auch Rutschauto (Bobby Car)
Ball prellen, defekter Einkaufswagen/Rollkoffer	+20	bzw. Einkaufswagen/Rollkoffer bei Fugen
Hammer, Bohrmaschine	+30	

Tabelle 5: Empfindlichkeitsniveaus im Empfangsraum

Empfindlichkeitsniveaus	K_{sens}	Anmerkung
Schutzziel »Schlaf« im Wohngebäude	0	Ruhe und Erholung
Schutzziel »Arbeit« im Nichtwohngebäude	-5	nicht über Wohnnutzung hinausgehendem Lärm
Schutzziel »Schlaf« im Nichtwohngebäude	-5	zeitlich begrenzte Aufenthaltsdauer, z.B. Hotel
Nebenraum	-5	zeitlich begrenzte Aufenthaltsdauer, z. B. Bad
kleiner Nebenraum ^a	-10	Volumen < 10 m ³ , z.B. WC, Bad, Abstellraum

Nebenraum bei Technischer Anlage	-10	weil Privatsphäre nicht gestört wird
kleiner Nebenraum bei Techn. Anlage ^a	-15	weil Privatsphäre nicht gestört wird
mit Verbindungstür zu Aufenthaltsraum	-5	wenn Räume Funktionseinheit bilden ^d
mit Verbindungstür in Nutzungseinheit	-10	wenn Räume Funktionseinheit bilden ^d
mit Verbindungstür zu Nebenraum	-15	wenn Räume Funktionseinheit bilden ^d
Techn. Anlage zu anderer Nutzungseinheit	0	
Techn. Anlage in eigener Nutzungseinheit	0	dauerhafter Betrieb erforderlich
Techn. Anlage in eigener Nutzungseinheit	-10	kein dauerhafter Betrieb erforderlich
eigener Wohnbereich (weniger empfindlich)	-10	nur Wohngebäude (nicht Hotel, Pension, ...)
Organisatorischer Schallschutz in NE ^b	-10	wenn »Org. Schallschutz« umsetzbar
eigener Wohnbereich & Org. SS in NE ^b	0	im Privatbereich üblich und weit verbreitet

^a aufgrund seiner geringen Raumtiefe sollte ein kleinervolumiger Nebenraum nicht maßgeblich sein
^b die Nutzungseinheit ist in Absprache mit den anderen Objektbeteiligten zu definieren
^c z. B. Büros, Kanzleien, Arztpraxen
^d »Funktionseinheit« setzt eine aus Sicht des Empfangsraums erwünschte Funktion voraus

Höhere Ansprüche an den Schallschutz, z.B. Erwartungshaltung, Komfort, Vertraulichkeit, Privatsphäre werden nicht durch das Empfindlichkeitsniveau K_{sens} berücksichtigt. Sie können z.B. durch Schallschutzklassen abgebildet werden (siehe ÖNORM B 8115-5).

Damit bei der situationsabhängigen Verwendung der Spektrum-Anpassungswerte ein ähnliches Schallschutzniveau erhalten bleibt, wird, abhängig vom jeweiligen Spektrum-Anpassungswert, ein entsprechender Korrekturwert verwendet (Tabelle 6).

Tabelle 6: Korrekturwerte für Spektrum-Anpassungswerte

Bereich	K_{cj} für Luftschall		K_{ci} für Trittschall
ab 100 Hz	C bzw. $C_{100-5000} = -2$	C_{tr} bzw. $C_{tr,100-5000} = -5$	$C_i = 0$
ab 50 Hz	$C_{50-3150}$ bzw. $C_{50-5000} = -5$	$C_{tr, 50-3150}$ bzw. $C_{tr, 50-5000} = -10$	$C_{i, 50-2500} = 10$

Beim Schallschutz im Gebäude, insbesondere beim Trittschall, sollte der erweiterte Frequenzbereich berücksichtigt werden ($C_{50-3150}$ bzw. $C_{i, 50-2500}$). Dies kann ansatzweise durch eine tiefe Resonanzfrequenz erfolgen (insbesondere im Massivbau), oder wenn Prüfwerte vorliegen, können die gemessenen Spektrum-Anpassungswerte herangezogen werden (dies ist insbesondere bei Leichtkonstruktionen relevant). Bei Außenbauteilen sollte der Spektrum-Anpassungswert für Verkehrslärm (C_{tr}) berücksichtigt werden.

5.3 Beispiel Schallschutzniveau

In einem ländlichen Wohngebiet mit einer Außenlärmbelastung von 50/40 dB Tag/Nacht (Planungsbasispegel $L_{PB}=25/15$) und einem Innenraumpegel von $L_{A,eq} = 75/65$ Tag/Nacht (6,0 x 5,0 x 2,5 m; 6 Personen laute/normale Unterhaltung Tag/Nacht), und Gehen im Ballengang bzw. leises Gehen im Ballengang ($L_{going} = -10/-20$ Tag/Nacht) ergibt sich in einem Aufenthaltsraum mit Schutzziel »Schlaf« ($K_{sens} = 0$):

$$D_{2m,nT,w} = L_{A,eq} + L_z - L_{PB} + 5 \text{ dB} = 30 \text{ dB} \quad (1a)$$

$$D_{nT,w} = L_{A,eq} + L_z - L_{PB} = 55 \text{ dB} \quad (2a)$$

$$L_{nT,w} = -L_{going} + 10 \text{ dB} + L_{PB} = 45 \text{ dB} \quad (3)$$

$$L_{Aeq,nT} = L_{PB} + \Delta L_{exist} = 30/20 \text{ dB} \quad (4a)$$

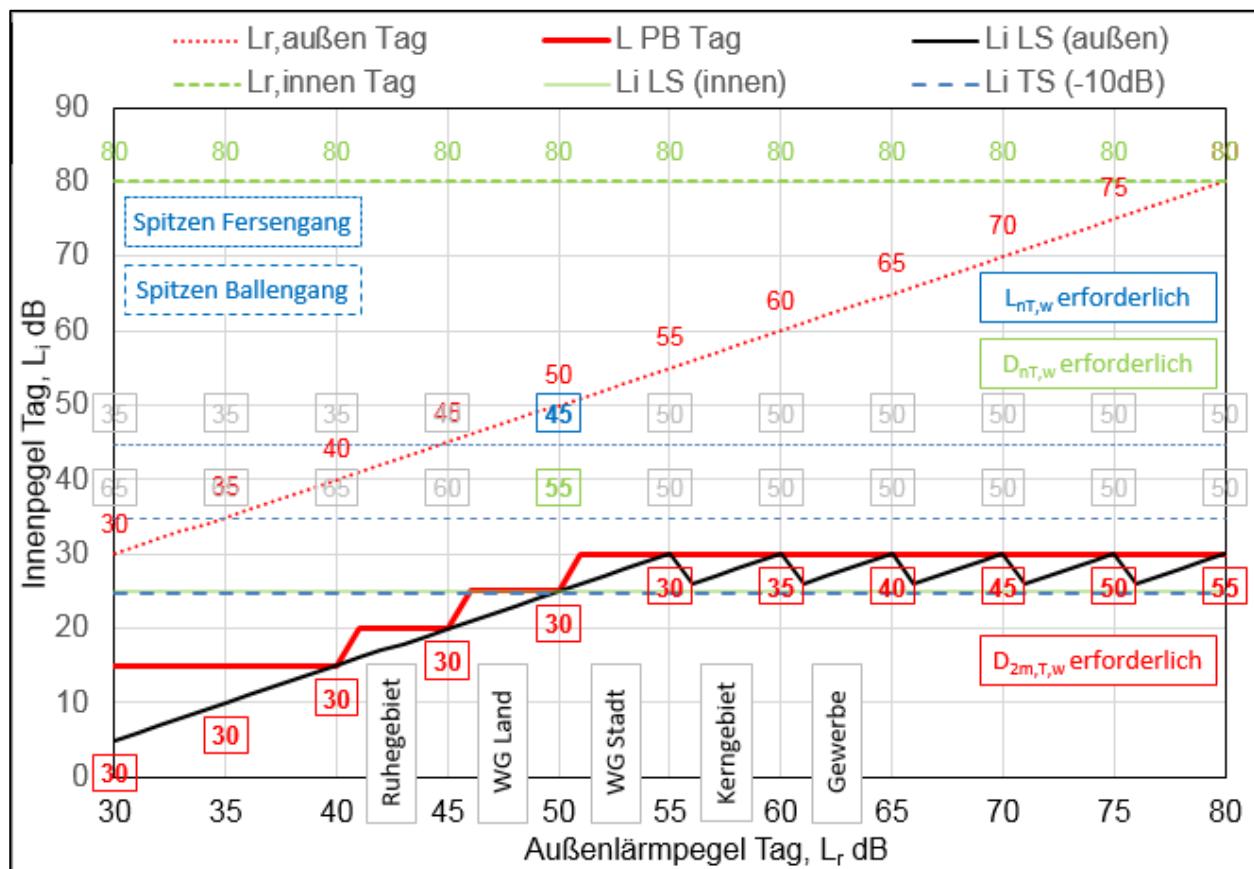
$$L_{AFmax,nT} = L_{PB} + 10 \text{ dB} + \Delta L_{exist} = 40/30 \text{ dB} \quad (4b)$$

Damit wird der Planungsbasispegel im Raum nicht überschritten bzw. durch einzelne Spitzen um nicht mehr als 10 dB überschritten (siehe Abbildung 2).

Durch Anwendung der verschiedenen Empfindlichkeitsniveaus (K_{sens}) können auch Arbeitsräume, Räume mit Verbindungstüren, Nebenräume als auch eigene Nutzungseinheiten berücksichtigt werden.

In lautigen Gegenden (WG Stadt, Kerngebiet, siehe Abbildung 2) dürfte der Schallschutz im Gebäude theoretisch um 5 dB geringer sein. Allerdings muss sichergestellt sein, dass der Planungsbasispegel in allen Aufenthaltsräumen dauerhaft entsprechend höher ist (auch auf der schallquellenabgewandten Seite). In sehr leisen Gegenden (leiser als die leiseste Baulandkategorie) sollte deshalb überlegt werden, den Schallschutz im Gebäude um 5 dB zu erhöhen.

Abbildung 2: Schallschutzniveau, Planungsbasispegel wird gleichmäßig unterschritten



Die Spitzen vom Fersengang überschreiten den Planungsbasispegel um 20/30 dB (Tag/Nacht), was erklärt warum es regelmäßig zu Beschwerden kommt obwohl der baurechtliche Schallschutz (deutlich) eingehalten wird. Dies ist vergleichbar mit einem Klavierspiel, $L_{A,\text{eq}} = 95 \text{ dB}$ ($L_{WA} = 100 \text{ dB}$; Raum $4,0 \times 4,0 \times 2,5 \text{ m}$), bei dem der Planungsbasispegel ebenfalls um 20/30 dB (Tag/Nacht) überschritten wird. Weder Fersengang noch Klavierspiel sind in Wohngebäuden verboten, in beiden Fällen ist aber eine entsprechende Rücksichtnahme auf andere Bewohner erforderlich.

Zu den Technischen Anlagen erscheint noch eine Anmerkung wesentlich. Aktuell beschränkt sich der Grenzwert einer Technischen Anlage mit $L_{AF\max,nT} \leq 30 \text{ dB}$. Aufgrund der neuen Methode ergibt sich eine Differenzierung, wann der Lärm verursacht wird (Tag/Nacht, z.B. Sonnenschutzvorrichtungen nur am Tag) und ob es sich um ein Dauergeräusch (z.B. Lüftungsanlage) oder Pegelspitzen handelt. Die Erleichterung von 5 dB (ΔL_{exist}) ist ein Zugeständnis an die derzeit gebaute Praxis, die Notwendigkeit dieser Erleichterung muss in Zukunft evaluiert werden.

Von der Methodik zur Erstellung von Anforderungen sind weder Fragen des Nachweises [ÖNORM B 8115-6] noch Unsicherheitsbetrachtungen [Lechner 2019] berührt.

6. Fazit

Mit dieser Methodik, beschrieben in ÖNORM B 8115-2: 2021, ist es möglich ausgewogene Schallschutzniveaus zu erstellen. Dies nicht nur für Schlafräume, sondern ebenso für Arbeitsräume, Räume mit Verbindungstüren, Nebenräume als auch innerhalb einer Nutzungseinheit.

Dabei liegt die Betonung auf »ausgewogenen« und nicht auf der absoluten Höhe des Schallschutzniveaus. Durch diese Methodik werden keine konkreten Anforderungen gestellt, denn diese werden legislativ festgelegt (Bauordnungen) oder sind privatrechtlich zu vereinbaren. Eine Hilfestellung dazu bringt die gleichzeitig erschienen ÖNORM B 8115-5: 2021.

Literatur

- [Lechner 2003] Ringversuch Messung der Schallimmission 2003, Berichte BE-276, Christoph Lechner, Umweltbundesamt Wien 2005
- [Lechner 2019] Ringversuch für bauakustische Messungen 2018, ÖAL Monografie Nr. 1, Christoph Lechner, Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, Wien 2019
- [Mikrozensus 2019] Umweltbedingungen, Umweltverhalten 2019, Ergebnisse des Mikrozensus, Statistik Austria, Wien 2020
- [ISO FDIS 19488] Akustik - Akustisches Klassifizierungssystem für Wohngebäude, 2018-08E
- [ISO TS 19488] Akustik - Akustisches Klassifizierungssystem für Wohngebäude, 2021-04
- [OIB 5] OIB Richtlinie 5: Schallschutz, 2007-04, 2011-10, 2015-03, 2019-04
- [ÖN B 2115] Hochbau; Schutz gegen Schall und Erschütterungen, 1936-12
- [ÖN B 8115-2] Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Methodik zur Ermittlung von Schallschutzniveaus, 2021-04
- [ÖN B 8115-2] Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Anforderungen an den Schallschutz 2006-12, 2002-12, 1994-11, 1992-11, 1987-05, 1981-07
- [ÖN B 8115-4] Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Maßnahmen zu Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen, 2003-09
- [ÖN B 8115-5] Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Klassifizierung, 2021-04
- [ÖN B 8115-6] Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Messverfahren zum Nachweis der Erfüllung der schallschutztechnischen Anforderungen in Gebäuden, 2011-07
- [ÖN S 5012] Schalltechnische Grundlagen für die Errichtung von Gastgewerbetrieben, vergleichbaren Einrichtungen sowie den damit verbundenen Anlagen, 2012-04

Formelzeichen:

$D_{2m,nT,w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz ermittelt in 2 m vor der Fassade
$D_{nT,w}$	bewertete Standard-Schallpegeldifferenz
$L_{nT,w}$	bewerteter Standard-Trittschallpegel (in europäischen Normen $L'_{nT,w}$)
C_j, C_i	der jeweils anzuwendende Spektrum-Anpassungswert für Luft- bzw. Trittschall
$L_{A,eq}$	Außenlärmpegel
$L_{A,sp}$	kennzeichnender Spitzenpegel
L_{going}	relativer Trittleistungspegel
L_z	Anpassungswert für die Geräuschcharakteristik bzw. die Geräuschequelle
L_{PB}	Planungsbasispegel
K_{sens}	Korrekturwert für die Empfindlichkeit im Empfangsraum (Ruheerwartung)
K_{Cj}, K_{Ci}	Korrekturwert Spektrum-Anpassungswert für Luft- bzw. Trittschall
$L_{Aeq,nT}$	äquivalenter Anlagengeräuschpegel
$L_{AFmax,nT}$	Anlagengeräuschpegel
ΔL_{exist}	Zugeständnis an die gebaute Praxis (Wert ist in Zukunft zu evaluieren)
T, V	Nachhallzeit, Raumvolumen

CURRICULUM VITAE



Dipl.-Ing.

Paul WEGERER

Gassner & Partner Baumanagement GmbH

Forschung und Entwicklung, Bauphysikalische Qualitätssicherung

Obere Amtshausgasse 20-24
1050 Wien

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

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

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

Neben der Anmeldung eines Patents zur Temperierung von Holzbalkenköpfen bei Gebäuden mit Innendämmung entstanden in den letzten Jahren mehrere Publikationen, die sich mit der Dauerhaftigkeit von sanierten Konstruktionen und der Risikoabschätzung von Bauschäden beschäftigen.



CURRICULUM VITAE

DI Dr.techn.

Maximilian NEUSSER

Technische Universität Wien

Forschungsbereich Bauphysik

Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie

Fakultät für Bauingenieurwesen

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

maximilian.neusser@tuwien.ac.at

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

Trittschall Holzbalkendecken – Sanierung & Optimierung

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

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

1. Einleitung

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

Typische hausinterne Schallquellen sind Tritt- und Luftschall, Installationsgeräusche oder auch nutzungsbedingte Körperschallübertragungen wie beispielsweise Sesselrücken, Öffnen und Schließen von Schubladen, Kinderspielsachen am Fußboden oder Küchen- und Badgeräusche. In diesem Beitrag wird ausschließlich auf die Optimierung des Trittschalls bei einer typischen Gründerzeithaussanierung eingegangen. Sämtliche Messungen wurden von der Gassner & Partner Baumanagement GmbH durchgeführt und finanziert.

2. Problemstellung und Lösungsansatz

In der Regel werden die Sanierungsobjekte entkernt und sämtliche Installationen, Zwischenwände und Fußbodenaufbauten werden entfernt. Die bestehenden Holztramdecken bleiben erhalten, wobei die Deckschalung oftmals infolge Feuchteschäden ausgetauscht werden muss (siehe Abbildung 1 links). Die Sturzschalung inklusive Schilfputz bleibt erhalten und wird als luftdichte Ebene und als Brandschutzebene adaptiert. Während sämtliche Höhen im Gebäude, wie beispielsweise Deckenuntersichten und Fensterparapete variiert werden können, bleiben die Rohdecken sowie die Stiegenaustritte im Erschließungsbereich unverändert. Die Geschoßhöhen bzw. das Gangniveau sind somit vorgegeben, wodurch sich in den Wohnungen – unter der Voraussetzung einer stufenlosen Erschließung – eine maximal mögliche Höhe des Fußbodenaufbaus ergibt. Die folgende Abbildung 1 (rechts) zeigt den Fußbodenaufbau im Gangbereich während der Abbrucharbeiten. Daraus wird ersichtlich, dass in diesem Fall wenig Platz für einen schwimmenden Estrich vorhanden ist.



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

Die grundsätzlich geringe Höhe des Fußbodenaufbaus ist jedoch nicht das einzige Problem. Auf den Rohdecken werden die neuen Raumauflösungen mit Leichtbauwänden aufgebaut. In weiterer Folge werden die Elektro- und die Wasserinstallationen auf der Rohdecke verlegt. In manchen Fällen, wenn die Wohnung mit Radiatoren ausgestattet wird, müssen noch zusätzlich Heizungsrohre im Fußbodenaufbau Platz finden. In jedem Fall entstehen Leitungskreuzungen und in seltenen Fällen sogar Doppelkreuzungen, wenn enge Gangbereiche nahe dem Elektroverteiler mit anderen Installationsleitungen gekreuzt werden müssen. In Badezimmern und WCs besteht das Problem, dass Abflussrohre aufgrund ihrer Dimension in der Schüttung des Fußbodenaufbaus nicht ausreichend Platz finden oder keine ausreichende Überdeckung mit Schüttung möglich ist.



Abbildung 2: Leitungskreuzungen im Fußbodenaufbau vor dem Einbringen der Schüttung; die Höhe im Bereich der Kreuzung beträgt ca. 11 cm (links); aufgrund der zu geringen Schüttungshöhe durchdringen die Abflussrohre die Trittschalldämmung, daher werden sie mit einer dünnen Schaumstofffolie abgedeckt (rechts);

Die Motivation für diese Forschungsarbeit war, den Trittschallschutz unter Berücksichtigung der beschriebenen Rahmenbedingungen zu optimieren. Obwohl es sich bei den Gebäuden um Sanierungsobjekte ohne konkrete Anforderungen an den Trittschallschutz handelt, wurde das Ziel verfolgt, die Neubauanforderungen gemäß ÖNORM B 8115-2 deutlich zu unterschreiten.

Folgende Parameter wurden variiert: Im Fußbodenaufbau wurden das Material der Schüttung, das Material und die Dicke der Trittschalldämmung sowie die Dicke des Estrichs untersucht. An der abgehängten Decke wurden die Abhängertypen und die Beplankung variiert. Alle anderen Parameter wurden nicht verändert und als konstant über alle Versuchsdecken hinweg angenommen. Dies wurde einerseits aufgrund der Stichprobengröße und andererseits aufgrund der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse an unterschiedlichen Objekten als zulässig überprüft.

3. Messmethodik

Bei den bislang durchgeföhrten Trittschallmessungen wurden insgesamt 82 Einzelräume in drei verschiedenen Gebäuden in den unterschiedlichsten Ausbaustufen von Rohdecke bis fertigem Zustand untersucht. Das Ziel der Trittschallmessungen war, eine ideale Kombination aus Fußbodenaufbau und abgehängter Decke zu generieren, um den Trittschallschutz der Holzbalkendecken unter Berücksichtigung der maximal möglichen Aufbauhöhe zu optimieren.

3.1. Norm-Trittschallpegel

Die normierten Trittschallpegel L_n' der einzelnen Deckenkonstruktionen wurden gemäß ÖNORM EN ISO 16283-2 mit einem Präzisionsschallanalysator vom Typ „Norsonic 140“ gemessen. Die Decken wurden mit einem Normhammerwerk angeregt. Die Schalldruckpegel L_i' wurden in den Empfangsräumen mit einem $\frac{1}{2}$ Zoll Kondensatormikrofon gemessen. Vor der Messung wurde die Kombination aus Schallanalysator und Mikrofon mit einem Schallkalibrator vom Typ „Norsonic 1251“ kalibriert. Die räumliche Mittelung des Schalldruckpegels erfolgte durch eine sequentielle Messung von vier Empfangspositionen pro Anregungsposition mit jeweils 20 Sekunden Mittelungszeit. Außerdem wurden vier verschiedene Hammerwerkspositionen eingesetzt.

Zur Messung der Nachhallzeit T und der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A wurde das Luftvolumen im Empfangsraum durch einen Schallimpuls mittels Holzklatsche angeregt. Der Mittelwert der Nachhallzeit wurde über drei Abklingzeiten an drei verschiedenen Messpositionen ermittelt. Alle Messungen wurden mit Terzfiltern im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz durchgeführt.

$$L'_n = L'_i - 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (1)$$

Die Ermittlung der frequenzabhängigen Trittschallpegelminderungen $\Delta L'_n$ durch die Unterdecken erfolgte durch Berechnung der Differenz zwischen dem gemessenen Trittschallpegel der Rohdecke $L'_{n,0}$ und dem gemessenen Trittschallpegel der gleichen Rohdecke mit montierter abgehängter Decke L'_n .

$$\Delta L'_n = L'_{n,0} - L'_n \quad (2)$$

3.2. Schnellepegel zur Bestimmung der Masse-Feder-Resonanzfrequenz

Zur Bestimmung der Masse-Feder-Resonanzfrequenzen der abgehängten Unterdecken wurde die Oberflächenschnelle an der Deckenunterseite mit einer geeichten Messausrüstung des Typs „Sinus Messtechnik Soundbook_octav mit Software SAMURAI 1.7.14, geeicht als Schallpegelmesser der Klasse 0,7“ gemessen. Die abgehängte Decke wurde dabei mit einem Resonanzlautsprecher als Körperschallquelle in Schwingung versetzt. Als Signal wurde breitbandiges „Weißes Rauschen“ (10 Hz-10 kHz) eingesetzt. Dabei wurden jeweils drei unterschiedliche Quellenpositionen gemessen.



Abbildung 3: Messung des Schnellepegels an der Unterdecke mittels Beschleunigungsaufnehmer und Resonanzlautsprecher als Körperschallquelle

3.3. Unterdrückung der Luftschallübertragung

Vor allem in der Rohbauphase war es wichtig, während der Trittschallmessung mögliche Luftschallübertragungen zu vermeiden. Dazu wurden alle Öffnungen der Empfangsräume mit Gipskartonplatten verplankt und zusätzlich alle Hohlräume und Bauteilfugen entweder mit PU-Schaum ausgespritzt oder mit Mineralwolle ausgestopft. Außerdem wurde im Senderaum das Hammerwerk während der Messung mit einer Schallhaube abgedeckt (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Die Luftschallausbreitung am Hammerwerk wurde mit einer Schallhaube begrenzt.

3.4. Untersuchte Deckenaufbauten

Die Deckenkonstruktionen in Regelgeschoßen von Gründerzeithäusern bestehen fast ausschließlich aus Tramdecken. Im Originalzustand ist der Fußboden in den Zimmern außerhalb der Nassräume aus einer schweren Beschüttung, einem Blindboden und einem Holzparkett aufgebaut. Im Zuge der Sanierung wird der Fußbodenaufbau entfernt und durch einen Aufbau mit schwimmendem Estrich ersetzt.

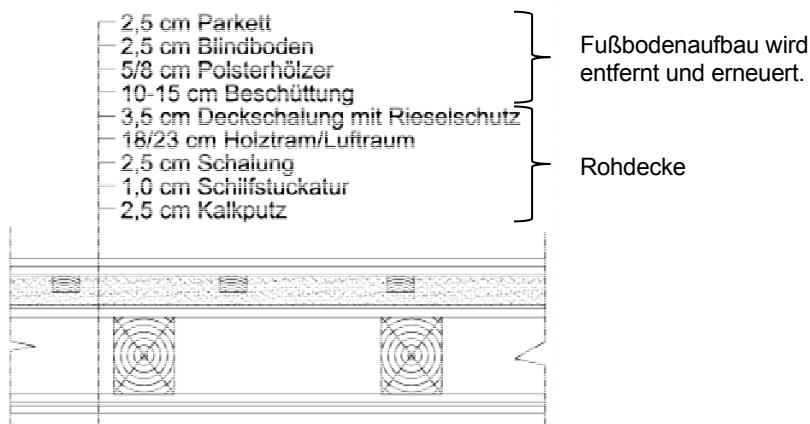


Abbildung 5: Deckenaufbau im Bestand; der Fußbodenaufbau wird entfernt und durch einen schwimmenden Estrich ersetzt; die Deckentragkonstruktion bleibt erhalten;

Bei den Testmessungen wurden zwei verschiedene Trittschalldämmungen untersucht. Um die Fußbodenaufbauhöhe zu minimieren, wurde eine 12 mm dicke polyurethanegebundene Matte mit einer konventionellen Mineralwolleplatte verglichen. Die folgende Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Eigenschaften der untersuchten Fußbodenaufbauten mit den unterschiedlichen Materialien und Schichtdicken.

Tabelle 1: Zusammenfassung der wichtigsten Parameter der Fußbodenaufbauten

	Estrichdicke in m	Estrich- material	Trittschalldämmung	Dicke der Trittschall- dämmung in m	Ausgleichsschüttung
RC12_elgeb	0,05	Zement	PUR gebundene Elastomere	0,012	Basaltsplit PUR gebunden
RC12_zemgeb	0,05	Zement	PUR gebundene Elastomere	0,012	Basaltsplit zementgebunden
Sta5	0,05	Zement	Mineralwolle	0,03	Basaltsplit lose
Sta7	0,07	Zement	Mineralwolle	0,03	Basaltsplit lose

Weiters wurde eine polyurethanegebundene Schüttung (Abbildung 6 links) mit einer zementgebundenen Schüttung verglichen. Beide Schüttungen bestehen aus Basaltsplit, der Unterschied liegt ausschließlich im Bindemittel.



Abbildung 6: Einbringen der PUR-gebundenen Schüttung (links); Trittschallmessung nach Fertigstellung des Estrichs (rechts);

Die Trittschallmessungen auf dem Estrich fanden vier Wochen nach dem Betonieren statt. Der Estrich ist mit einem Randdämmstreifen von den Wänden getrennt, um eine Körperschallübertragung zu verhindern. Im Zuge der laufenden Qualitätssicherung wurde in den Testräumen eine genaue Abnahme der Trittschalldämmung und der Randdämmstreifen durchgeführt. Es wurden Nachbesserungsarbeiten vorgenommen, um sicherzugehen, dass keine Schallbrücken die Messergebnisse verfälschen. Abbildung 6 (rechts) zeigt die Trittschallmessung auf dem Estrich mit einer Schallhaube über dem Hammerwerk.

Nach Fertigstellung der Fußbodenaufbauten (bis auf den Parkett) wurden die Trittschalluntersuchungen an den abgehängten Decken fortgesetzt. Es wurden drei verschiedene Typen von Abhängen und zwei unterschiedlich schwere Gipskartonplatten verglichen. Als Referenz für die Messungen wurde der „Standardaufbau“ herangezogen, der bislang in allen Sanierungsobjekten von Gassner & Partner umgesetzt wurde. Dieser Aufbau besteht aus Direktabhängen in Kombination mit einer einfachen Gipskartonbeplankung und einer Hohlraumfüllung aus 5 cm Mineral- oder Steinwolle.

Die Tabelle 2 zeigt die wesentlichen Eigenschaften der untersuchten Unterdecken. Die Gipskartonbeplankung wurde auf einer Unterkonstruktion, bestehend aus UD- und CD-Profilen in einem Haupt- und Nebenraster, gemäß ÖNORM B 3415 montiert. Die Profile wurden mit verschiedenen Abhängen von der Holztramdecke abgehängt. Die Unterkonstruktion der abgehängten Decke wurde mit einer elastischen Schicht zwischen UD-Profil und flankierender Wand befestigt. Die Fugen zwischen den Gipskartonplatten wurden standardmäßig mit Gipspachtelmasse ausgefüllt und der Anschluss zur Wand wurde mit Acryl-Dichtstoff gefüllt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der wichtigsten Parameter der abgehängten Decken

	Abhängehöhe gesamt in m	Abhangertyp	Hohlraumbedämpfung	Beplankungsdicke in m	Spez. Gewicht der Beplankung in kg/m³
DiA_GKP	0,12-0,15	Direktabhänger	Mineralwolle	0,0125	650
Syl_GKP	0,12-0,15	Direktabhänger mit Sylomer	Mineralwolle	0,0125	650
Syl_Duotech	0,12-0,15	Direktabhänger mit Sylomer	Mineralwolle	0,025	650
ÖsA_GKP	0,17-0,20	Ösenabhänger	Mineralwolle	0,0125	650

Die folgende Abbildung 8 zeigt die unterschiedlichen verwendeten Abhänger. Diese verbinden die Unterkonstruktion mit der bestehenden Holztramdecke. Standardmäßig wird der Direktabhänger (in der Abbildung links) mit einer Unterkonstruktion aus Haupt- und Querträgern eingesetzt. Die Abhängenhöhe variiert je nach Plattendicke und Abhängertyp und beträgt in der Regel ca. 8 bis 10 cm. Der Abstand der einzelnen Abhänger voneinander beträgt zwischen 0,75 und 0,90 m. Die Anzahl der Abhänger pro Quadratmeter sowie die zulässigen Abstände der Hauptträger der Unterkonstruktion sind in der ÖNORM B 3415 angeführt.

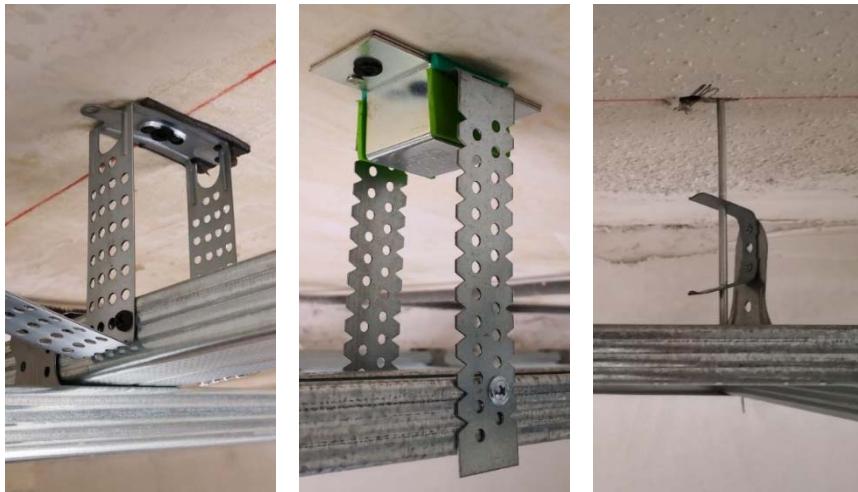


Abbildung 7: Untersuchte Typen von Abhängern; Direktabhänger (links), Direktabhänger mit Sylomerlager (Mitte), Ösendrahtabhänger (rechts)

4. Ergebnisse

4.1. Bestandsanalyse

Die Festlegung des Zielgrößenniveaus des Norm-Trittschallpegels erfolgte einerseits anhand der baugesetzlichen Vorgabe der OIB-Richtlinie 5:2019, andererseits anhand des Bestandsniveaus.

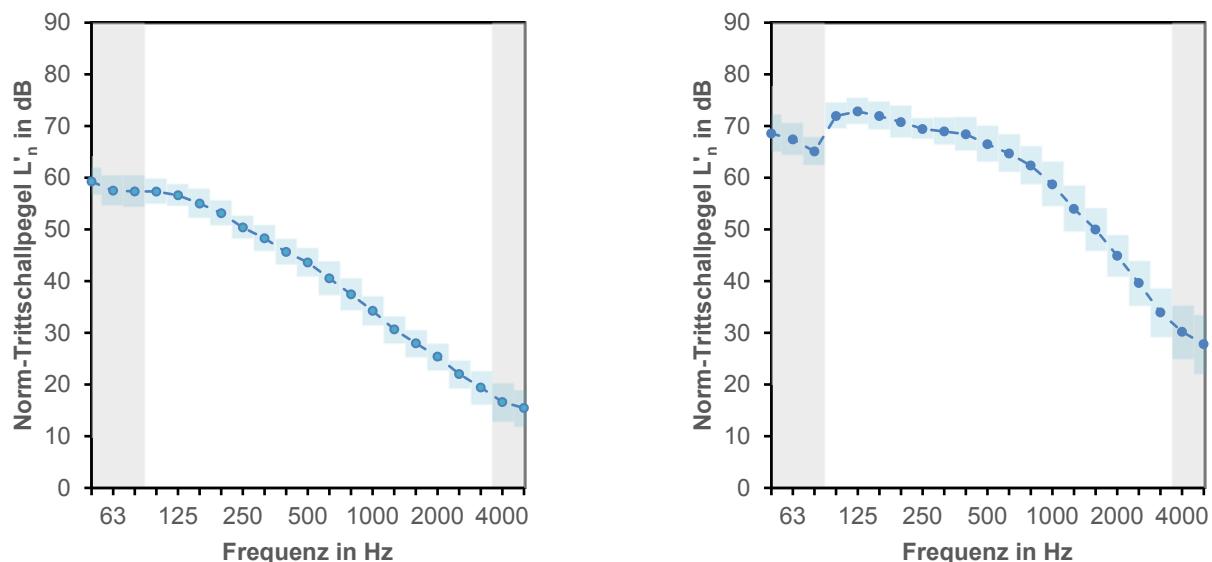


Abbildung 8: Mittelwert und Standardabweichung des Norm-Trittschallpegels $L'n$ aller gemessenen Bestandsdecken $L'n,w$ (CI, CI,50-2500) = 47 (0,4) dB (links); Mittelwert und Standardabweichung des Norm-Trittschallpegels $L'n$ aller gemessenen Holzbalken-Rohdecken in zwei Gründerzeithäusern, $L'n,w$ (CI, CI,50-2500) = 65 (0,0) dB (rechts)

Als Grundlage für die Sanierungsplanung wurde der Norm-Trittschallpegel von originalen Holztramdecken und von Rohdecken (Tramdecke ohne Fußbodenaufbau, jedoch mit originaler Stuckatur- bzw. Putzuntersicht) gemessen. Die Ergebnisse sind anhand von Mittelwerten des Norm-Trittschallpegels in Abbildung 8 dargestellt.

4.2. Einfluss der Estrichdicke

Zur Quantifizierung des Einflusses von Estrichdicke und dynamischer Steifigkeit der Trittschalldämmplatte auf den Norm-Trittschallpegel wurden unterschiedliche Kombinationen von schwimmenden Estrichsystemen (siehe Tabelle 1) in den Projekten ausgeführt und der Norm-Trittschallpegel der sanierten Deckensysteme gemessen.

Abbildung 9 zeigt den gemessenen Norm-Trittschallpegel bei unterschiedlichen Estrichdicken von 50 mm und 70 mm. Dabei ist im frequenzabhängigen Verlauf des Norm-Trittschallpegels zu erkennen, dass im mittleren Spektrum der Pegel durch die dickere Estrichschicht und die damit verbundene größere Masse um bis zu 6 dB reduziert wird. Im tiefen Frequenzbereich ist zu erkennen, dass sich die ausbildende Masse-Feder-Masse Resonanz des Zwei-Massen-Systems bestehend aus Estrich und Deckensystem durch die schwerere Estrichschicht um zwei Terzbänder von ca. 100 Hz auf ca. 63 Hz verschiebt. Im tiefen Frequenzbereich zeigt der Norm-Trittschallpegel der Decke einen um 2 dB schlechteren Spektrumanpassungswert $C_{I,50-2500}$. Eine geringfügig vergrößerte Estrichschicht bei gleichzeitig reduzierter Schüttungshöhe erhöht die Trittschalldämmung der Decke allerdings nur im klassisch bewerteten Frequenzbereich zwischen 100-3150 Hz. Damit ist in der Einzahlangabe des Norm-Trittschallpegels eine Verbesserung um 4 dB erzielbar.

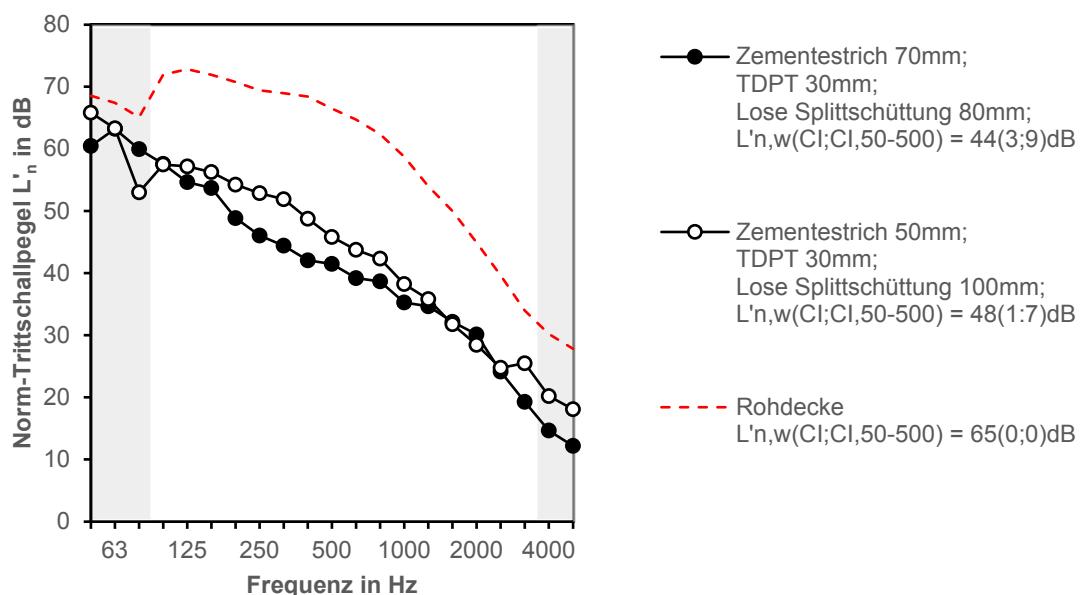


Abbildung 9: Einfluss der Variation der Estrichdicke auf den Norm-Trittschallpegel L'_n einer Holzbalkendecke mit schwimmendem Estrich; die Kurve der Rohdecke ist als Referenz angeführt;

4.3. Einfluss der Verarbeitungsqualität des Estrichs

Zur Bestimmung der Verarbeitungsqualität und ihres Einflusses auf die bauakustische Qualität der Fußbodenaufbauten wurden im Projekt 2 der Norm-Trittschallpegel einer Aufbauvariante bestehend aus 60 mm Estrich, 30 mm TDPT und 90 mm loser Splittschüttung auf fünf unterschiedlichen Decken gemessen. Die folgende Abbildung 10 zeigt den Mittelwert und die Standardabweichung des Norm-Trittschallpegels L'_n aller fünf gemessenen Decken mit schwimmendem Estrich. Die größten Standardabweichungen von ca. 4 dB im mittleren Frequenzbereich treten um 315 Hz auf. Besonders im tiefen und hohen Frequenzbereich liegt die Standardabweichung nur bei 1-2 dB. In der einzahlbewerteten Angabe des Norm-Trittschallpegels tritt eine Standardabweichung von 3 dB auf. Dies lässt auf eine annähernd konstante Verarbeitungsqualität des Estrichs schließen.

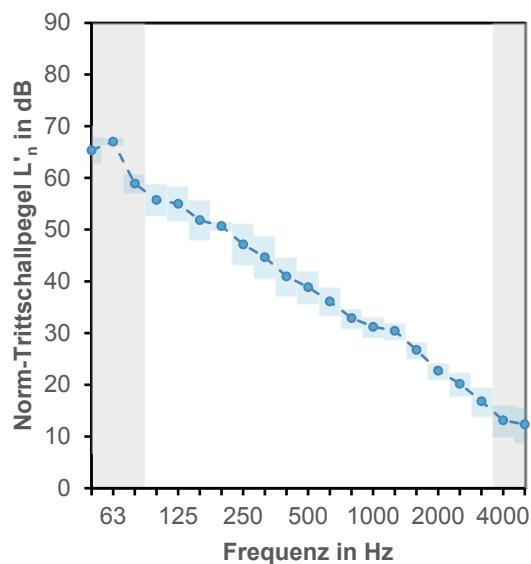


Abbildung 10: Mittelwert und Standardabweichung des Norm-Trittschallpegels $L'n$ aller gemessenen Holzbalken-Rohdecken in zwei Gründerzeithäusern mit schwimmendem Estrich (60 mm Estrich + 30 mm TDPS + 90 mm Schüttung) – Mittelwert $L'_{n,w}(Cl;Cl50-2500) = 44 \pm 3$ ($1 \pm 0; 11 \pm 3$);

4.4. Einfluss der Schüttung

Schüttungen werden bei der Sanierung von Holztramdecken in Gründerzeithäusern vor allem zur Überdeckung von HKLS- und Elektroleitungen eingesetzt. Gleichzeitig können Schüttungen durch ihre Masse die Trittschalleigenschaften der Decke verbessern, wobei ein großes Flächengewicht anzustreben ist. [2, 3]

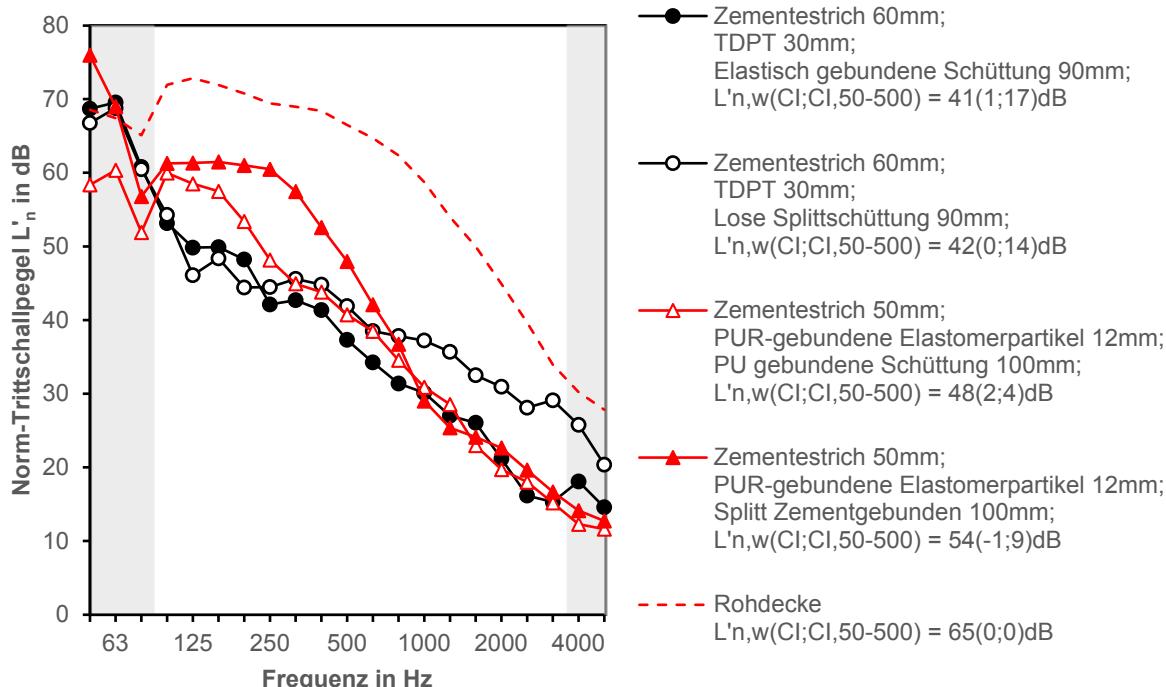


Abbildung 11: Einfluss der Bindung der Schüttung mittels elastischer Bindemittel auf den Norm-Trittschallpegel $L'n$ einer Holzbalkendecke mit schwimmendem Estrich in einem Gründerzeithaus

Um ein nachträgliches Verschieben und damit die Schaffung von Hohlräumen unterhalb des Estrichs zu verhindern, werden diese Schüttungen mittels Bindemitteln gebunden. Untersuchungen in [2] haben gezeigt, dass eine Bindung mit Zement zu einer Plattenwirkung der Schüttung führt. Daher weisen zementgebundene Schüttungen im Vergleich zu ungebundenen Schüttungen schlechtere Trittschalldämmmeigenschaften auf. In den Messungen wurde zusätzlich ein alternatives Bindemittel im Vergleich zum Zement untersucht. Abbildung 11 zeigt den Vergleich der Norm-Trittschallpegel zweier Decken mit Zement und PUR als Bindemittel der Schüttung. Es ist zu erkennen, dass insbesondere im für die Einzahlbewertung von Holzbalkendecken wesentlichen Frequenzbereich zwischen 100-500 Hz eine deutliche Verbesserung von bis zu 12 dB in einzelnen Terzbändern durch den Einsatz von PUR als Bindemittel zu erzielen ist. Im Einzahlvergleich zeigt sich ebenso ein um 6 dB niedrigerer Norm-Trittschallpegel für den Aufbau mit PUR-gebundener Schüttung.

4.5. Einfluss der Flankenübertragung

In Gründerzeithäusern sind durch die Sanierungsmaßnahmen und die dadurch veränderten Grundrisse oft sehr unterschiedliche an Decken flankierende Wandsysteme zu beobachten. Von sehr schweren Ziegelwandaufbauten mit bis zu 60 cm Dicke bis hin zu dünnen Trockenbauwandsystemen wird zur Neugestaltung des Grundrisses das gesamte Spektrum an Flächengewichten der räumabschließenden Wände eingesetzt. Die Flankenschallübertragung des Trittschalls kann im Gegensatz zur Messung im Labor, bei der der Prüfstand Flankenübertragungen z.B. durch Vorsatzschalen unterdrückt, je nach Wand-Decken-Knoten-Ausbildung und Flächengewichtsverhältnis maßgebend für die Größe von $L'_{n,w}$ der Decke im Gebäude sein.

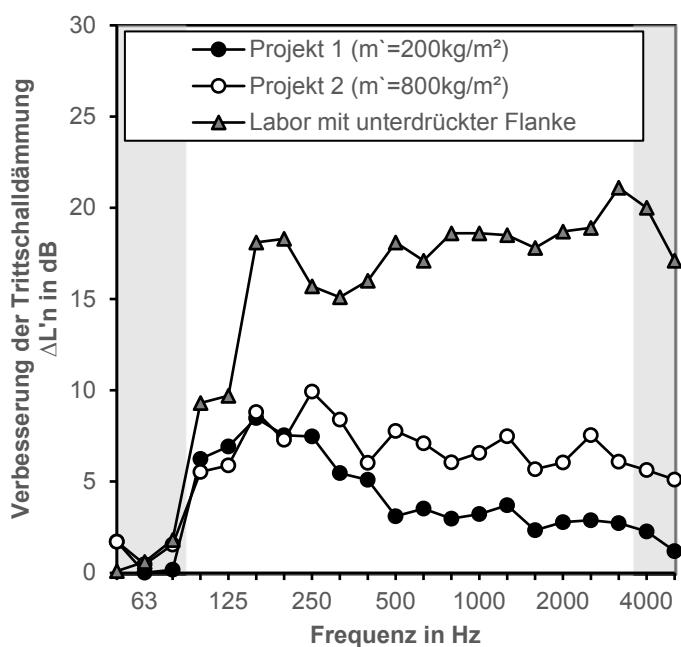


Abbildung 12: Einfluss des flächenbezogenen Gewichts der Flanke auf die Verbesserung der Trittschalldämmung $\Delta L'_n$ einer abgehängten Decke auf einer Holzbalkendecke mit schwimmendem Estrich in einem Gründerzeithaus

Abbildung 12 zeigt die Verbesserung der Trittschalldämmung der gleichen abgehängten Decken mit unterschiedlichen Flankensituationen. Es zeigt sich, dass die Verbesserung stark durch die flankierende Übertragung beeinflusst wird. Insbesondere im Frequenzbereich oberhalb von 315 Hz unterscheidet sich die Verbesserung der Trittschalldämmung mit der Flächenmasse der flankierenden Wände. Durch die flankierende Übertragung ist eine objektive Beurteilung der frequenzabhängigen Trends zur Verbesserung der Trittschalldämmung ΔL_n nur zwischen 50 Hz und 315 Hz möglich. Oberhalb von 315 Hz wird der Trittschallpegel durch die flankierende Übertragung maßgeblich beeinflusst. Ein Vergleich der Messdaten über 315 Hz ist nur möglich, wenn die Flankenübertragung vernachlässigt werden kann (Laborsituation, sehr schwere Flankenwände).

4.6. Einfluss der abgehängten Decke

Die untersuchte abgehängte Decke unterscheidet sich in Plattendicke und Hängertyp. Diese beiden Parameter beeinflussen wesentlich die bauakustische Qualität von Unterdecken. Das grundsätzliche bauakustische Verhalten von abgehängten Unterdecken und von Vorsatzschalen generell wird durch die Masse ihrer Beplankungen, der Abhängehöhe und des Abhängers bestimmt. Die Beplankung (Masse) und die eingeschlossene, in allen Varianten durch Mineralwolle bedämpfte Luftsicht (Feder) bilden ein Masse-Feder-System aus, dessen Resonanzfrequenz die Lage des Anstiegs der Verbesserung der Trittschalldämmung im Frequenzspektrum bestimmt. Unterhalb der Resonanzfrequenz kommt es zu keiner Veränderung, bei der Resonanzfrequenz kommt es durch die großen Schwingamplituden der Beplankung zu einer Verschlechterung und oberhalb der Resonanzfrequenz zu einer Verbesserung des Trittschallpegels der Decke. Neben der Masse-Feder-Resonanz der Beplankung und der Luftsicht bildet sich eine Resonanzfrequenz aus, bei der die Abhänger als Feder und die Beplankung als Masse in einem Masse-Feder-System zusammenspielen. Bei dieser Resonanzfrequenz kommt es ebenso zu einem Einbruch der Verbesserung des Trittschallpegels durch eine abgehängte Unterdecke. Dadurch ist eine Betrachtung der Lage dieser Resonanzfrequenzen im Frequenzspektrum besonders wesentlich.

In den 1/12 Oktave gefilterten frequenzabhängigen Verläufen der nach 3.2 gemessenen und auf ihren maximalen Schnellepegel normierten Schnellen an der Deckenuntersicht zeigen sich in den unterschiedlichen Spitzen der Kurven die beschriebenen Resonanzphänomene. Deutlich zu erkennen ist für alle Varianten die Masse-Feder-Resonanz in der Fläche zwischen 45 und 63 Hz. Danach ist je nach Steifigkeit des Abhängers eine in der Lage der Frequenz unterschiedene Resonanzfrequenz des Abhängers zu erkennen. Die Variante „Syl_Duo“ zeigt dabei die niedrigste Frequenz und der Direktabhänger in der Variante „DiA_GKP“ mit ca. 115 Hz die höchste. Dieser stellt somit das steifste untersuchte Abhängesystem dar. Durch das reduzierte Flächengewicht erklärt sich die Verschiebung der Resonanz zwischen den Varianten „Syl_GKP“ und „Syl_Duo“, die denselben Abhänger besitzen, aber eine unterschiedliche Beplankung. Der Ösenabhänger liegt im Mittelfeld, was die Resonanzfrequenz betrifft, ändert aber vermutlich mit der Abhängehöhe stark seine Steifigkeit.

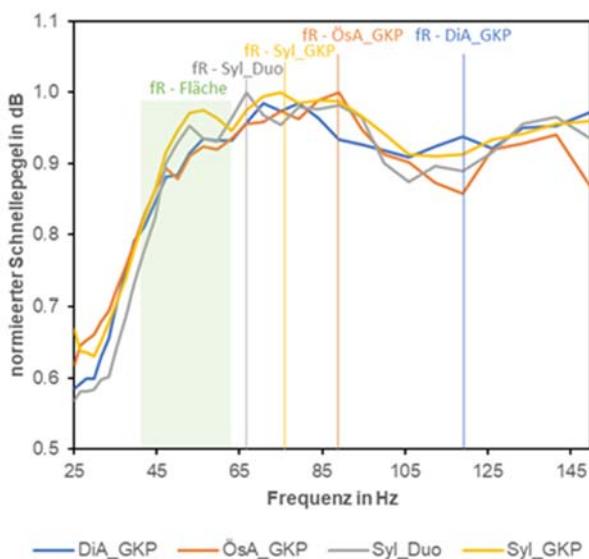


Abbildung 13: Gemittelter und auf das im Frequenzspektrum gemessene Schnelle-Maximum normierter Schnellepegel an der Deckenuntersicht unter Körperschallanregung mittels Resonanzlautsprecher

Im frequenzabhängigen Verlauf der Verbesserung der Trittschalldämmung durch die Unterdecken ist für alle Systeme ein deutlicher Einbruch im Bereich von 63-80 Hz erkennbar. Dieser ist bedingt durch die Masse-Feder-Resonanz der abgehängten Decke (Masse) und der durch sie abgeschlossenen, mit Mineralwolle bedämpften Luftsicht (Feder). Durch die bei allen Varianten gleichbleibende Abhängehöhe liegt diese Resonanzfrequenz für alle Systeme in etwa im selben Frequenzbereich. Durch die niedrigere Resonanzfrequenz und die höhere Dämpfung im Federungssystem der Variante Syl_GKB können Verbesserungen von bis zu 6 dB gegenüber den anderen Varianten erzielt werden. Durch die ausschließliche Dämpfung durch den Metallstab zeigt die Variante ÖsA_GKB bei ihrer Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz den tiefsten Abfall der Verbesserung der Trittschalldämmung. Ebenso zeigt die Variante "ÖsA_GKP" einen sehr deutlichen Rückgang der Verbesserung

bei 500 Hz. Dies könnte durch ein weiteres Resonanzphänomen im Aufhängungssystem verursacht werden. Abbildung 14 zeigt, dass die Erhöhung der Dicke der Beplankung von 12,5 mm auf 25 mm die Masse-Feder-Masse-Resonanzfrequenz von 80 Hz auf 50 Hz reduziert. Dies führt zu einer deutlicheren Verbesserung der Trittschalldämmung über 63 Hz um bis zu 5 dB.

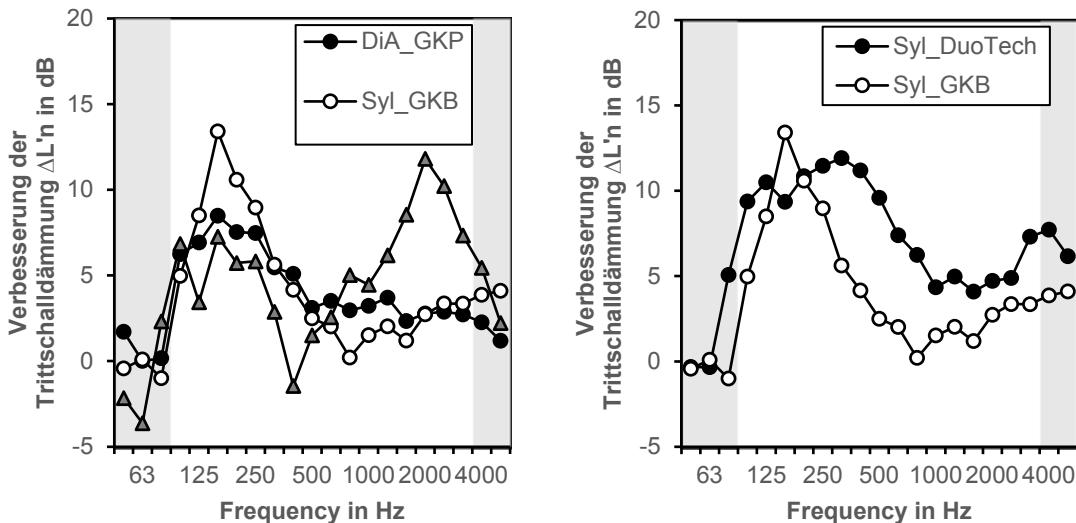


Abbildung 14: Frequenzabhängige Verbesserung des Trittschallpegels der abgehängten Decken – Einfluss der verschiedenen Hängertypen (links), Einfluss unterschiedlicher Plattenstärken (rechts)

In Tabelle 3 ist zu erkennen, dass die geringere Steifigkeit und damit niedrigere Eigenfrequenz des Abhängesystems sich in den einzahlbewerteten Kenngrößen zur Beschreibung der Trittschalldämmung der Decken auch positiv bemerkbar macht. So gehören beide Varianten mit den entkoppelten Abhängen zu den beiden mit der größten Reduktion des Norm-Trittschallpegels. Da die Masse-Feder-Resonanzfrequenzen aller Varianten in der Fläche zwischen 63 Hz und 80 Hz liegen, kommt es bei allen Varianten zu einer Verschlechterung des Spektrumanpassungswerts zur Berücksichtigung der tiefen Frequenzen. Diese fällt aber auch bei den Varianten mit entkoppelten Abhängen am geringsten aus.

Tabelle 3: Differenz der bewertenden Normtrittschallpegel $L'_{n,w}$ und Spektrumanpassungswerte C_I und $C_{I,50-2500}$ mit und ohne abgehängte Decke

	$\Delta L'_{n,w}$ in dB	ΔC_I in dB	$\Delta C_{I,50-2500}$ in dB
Syl_DuoTech	-10	-1	3
Syl_GKB	-7	0	4
DiA_DuoTech	-3	-3	-3
ÖsA_GKP	-3	-3	5

4.7. Einfluss der Verarbeitungsqualität der abgehängten Decke

Zur Bestimmung der Verarbeitungsqualität und ihres Einflusses auf die bauakustische Qualität der Unterdecken wurden in zwei unterschiedlichen Projekten die Verbesserung der Trittschalldämmung einer gleichbleibenden Variante einer Unterdecke bestehend aus einer 12,5 mm Gipskartonplatte und Direktabhangern (rund 10 cm Abhängehöhe) gemessen. Der Hohlraum zwischen Rohdecke und abgehängter Untersicht wurde stets mit Mineralwolle zur Hohlraumbedämpfung gefüllt. Abbildung 15 zeigt die aus allen Messungen in einem Projekt jeweils ermittelte mittlere Verbesserung der Trittschalldämmung und deren Standardabweichung. In beiden Fällen ist der klassische frequenzabhängige Verlauf mit einer Masse-Feder-Resonanzfrequenz von rund 63-80 Hz zu erkennen. Oberhalb dieser Frequenz steigt die Verbesserung steil mit ca. 6 dB/Oktave an. Ab ca. 250 Hz ist in den unterschiedlichen Verläufen zwischen Projekt 1 und Projekt 2 der Flankeneinfluss zu erkennen. Die Standardabweichung ist für beide Projekte im tiefen Frequenzbereich 50-250 mit ca. 2,5 dB je Terzband ähnlich groß. Insbesondere ab 500 Hz steigt diese Standardabweichung an, was vermutlich auf unterschiedliche Flanksituationen und Einbauspots [1] zurückzuführen ist.

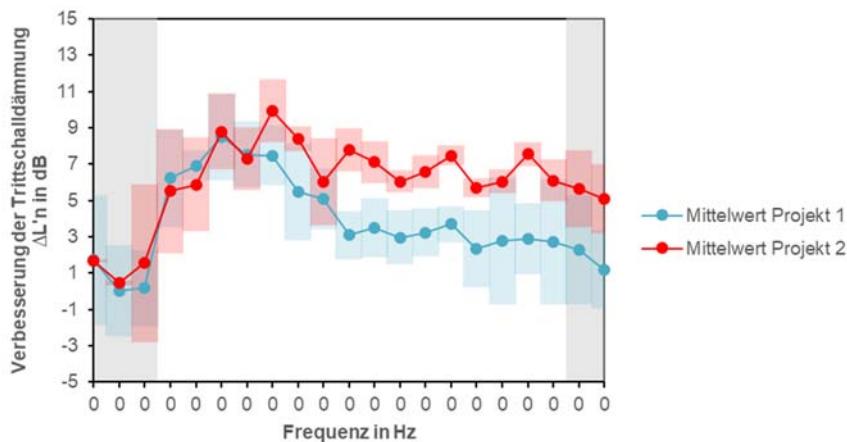


Abbildung 15: Mittelwert und Standardabweichung der Verbesserung der Trittschalldämmung $\Delta L'_n$ aller gemessenen abgehängten Decken mit Direktabhänger (12,5 mm Gipskartonplatte; Direktabhänger mit ca. 10 cm Abhängenhöhe) unter einer Holzbalken-Rohdecke in zwei Gründerzeithäusern mit schwimmenden Estrich

5. Zusammenfassung

In Abhängigkeit von der Kombination von Estrich, Trittschalldämmplatte und Schüttung lassen sich bereits bauakustisch performante Deckensysteme mit Norm-Trittschallpegeln von 40-50 dB durch die diskutierten Sanierungsmaßnahmen herstellen. Es zeigte sich in den Untersuchungen, dass eine Reduktion der dynamischen Steifigkeit der Trittschalldämmplatte und/oder die Vergrößerung der Estrichdicke, auch bei einer damit einhergehenden Reduktion der Schüttungshöhe, den Norm-Trittschallpegel reduziert.

Schüttungen unterhalb des schwimmenden Estrichs können durch eine elastische Bindung, und damit gesteigerte innere Reibungsverluste, eine Verbesserung des Norm-Trittschallpegels von 6 dB gegenüber zementgebundenen Schüttungen bewirken.

Abgehängte Decken sind so auszuführen, dass sie neben einer möglichst großen Abhängenhöhe eine möglichst niedrige Eigenfrequenz des Abhängesystems aufweisen. Durch doppelte Beplankung und ein entkoppeltes Abhängesystem können die Verbesserungen des Norm-Trittschallpegels durch die abgehängte Unterdecke um bis zu 7 dB gesteigert werden.

Die Verarbeitungsqualität hinsichtlich der bauakustischen Performance der sanierten Deckensysteme ist im Rahmen der begleiteten Projekte konstant. Es wurden Standardabweichungen von lediglich 3 dB der Norm-Trittschallpegel gemessen. Unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit von 1-2 dB und des Umstands, dass die Werte an mehreren Deckensystemen mit teilweise unterschiedlichen Spannweiten und in verschiedenen Gebäuden gemessen wurden, ist dies ein sehr geringer Wert.

6. Literatur

- [1] M. Neusser, P. Wegerer, T. Bednar: „The influence of suspended ceilings on the impact sound insulation of wooden-beamed ceilings in a Wilhelminian style house“, International Buildings Physics Conference, Kopenhagen, 2021
- [2] L. Weber, B. Kaltbeitzel: „Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzdecken durch optimierte Deckenauflagen“, IBP-Bericht B-BA 3/2016, Stuttgart, 2017
- [3] A. Rabold, S. Bacher, U. Schanda, A. Mayr, F. Schöpfer: „Schallschutz von Holzbalkendecken Planungshilfen für die Altbausanierung Teil 1: Direktschalldämmung“, Bauphysik 35, Heft 4, Seite 280-285, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2013
- [4] A. Rabold, S. Bacher, U. Schanda, A. Mayr, F. Schöpfer: „Schallschutz von Holzbalkendecken Planungshilfen für die Altbausanierung Teil 2: Flankenschalldämmung“, Bauphysik 35, Heft 6, Seite 398-392, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2013



CURRICULUM VITAE

Ing
Sebastian WIEDERIN

Produktmanagement

Getzner Werkstoffe GmbH
Herrenau 5
A-6706 Bürs
www.getzner.com

sebastian.wiederin@getzner.com
[LinkedIn](#)

Geboren 1988 in Feldkirch, absolvierte seine technische Ausbildung in Vorarlberg (HTL Rankweil, Hochbau). Arbeitete seit 2007 in einem Ziviltechnikerbüro für Tragwerksplanung in Rankweil

Seit 2012 bei der Getzner Werkstoffe GmbH mit Fokus auf die Anwendungen Bau und Akustik in der Funktion als Produktmanager. Hierbei Tätigkeiten im Rahmen verschiedenster Forschungsvorhaben und Entwicklungen im Fachgebiet der Bauakustik.

2020 Zertifikatslehrgang Schall (Immissions- und Lärmschutz, Bau- und Raumakustik sowie der Schadensanalyse) an der Bauhausuniversität Weimar.

Mitarbeit im Normenausschuss K208 Akustische Eigenschaften von Bauprodukten und von Gebäuden

Trittschallschutz bei Treppen

So sind sie dem Schall einen Schritt voraus

Ing. Sebastian Wiederin, Getzner Werkstoffe GmbH, A-6706 Bürs

Dipl Ing Dominik Dobler, Getzner Werkstoffe GmbH, A-6706 Bürs

DDipl.-Ing. Christoph Titz, Getzner Werkstoffe GmbH, A-7000 Eisenstadt

1. Einleitung

Treppen- und Stiegenhäuser stellen zentrale (Erschließungs-)flächen nahezu aller Gebäude dar. Beim Begehen werden diese zu Schwingungen angeregt, welche in weiterer Folge in angrenzende Bereiche übertragen werden. Diese schalltechnisch zu trennen ist daher unumgänglich und hat sich in der Baupraxis bereits seit Jahrzehnten etabliert. Die genauere Betrachtung der Art und Weise, sowie die genaue Auslegung der verwendeten Trennlager, stellt dabei immer noch eine Herausforderung dar. Zum einen fehlt es an den entsprechenden Berechnungstools für eine schnelle und praxisnahe Nachweisführung, zum anderen haben normative Vorgaben die Thematik Treppen bislang nur am Rande betrachtet. Dazu kommt, dass es bis vor wenigen Jahren keine klar definierte Prüfvorschrift gab, nach welchen Treppenlager schalltechnisch zu untersuchen waren. Damit einhergehend wurden verschiedenste Verfahren zur Ermittlung von Verbesserungen im Markt angewandt und erschweren zusätzlich die Vergleichbarkeit.

Mit der Einführung der neuen DIN 7396 wurde das Prüfverfahren vereinheitlicht und führt damit im ersten Schritt zu einer besseren Vergleichbarkeit. Des Weiteren können die damit gewonnenen Messdaten als Input für zukünftige Berechnungsmodelle verwendet werden, und somit beispielsweise die Baustruktur entsprechend optimiert werden. Das Prüfverfahren sowie die Berechnungsmodelle werden im Weiteren analysiert und mit den derzeitigen Methoden der Norm verglichen. In Anbetracht der voranschreitenden Internationalisierung sollten hier auch Ansätze und Verfahren nach EN oder ISO Normen diskutiert werden.

Ein weiterer Teil des Vortags widmet sich der Baupraxis. Hier werden Stiegen vermehrt auch bei Sanierungen zum Problem, da die erforderlichen Grenzwerte an den Schallschutz nach einer Sanierung dem Stand der Technik und damit den gültigen OIB-Vorgaben entsprechen müssen. Hier werden immer wieder individuelle Lösungsansätze entwickelt und umgesetzt. Teilweise sehr erfolgreich – teilweise mit mäßigem Erfolg. Auf welche Details es wirklich ankommt wird im Weiteren eingegangen.

2. Rechenverfahren

2.1. ÖNORM B 8115-4:2003

Der Trittschallnachweis für Teppen oder Stiegen ist in Österreich nach der ÖNORM B8115-4 zu führen und muss zumindest die baulich geschuldeten Grenzwerte der OIB-Richtlinie 5 einhalten, sofern projektseitig keine strengeren Vorgaben getroffen wurden.

Die Nachweisführung ist in derselben Art und Weise zu führen wie diese auch für Trenndecken angewendet wird. Es gilt die Formel:

$$L'_{nT,w} = L_{n,eq,w} - \Delta L_w + K - 10 \lg V + 14,9 \quad (1)$$

Dabei wird auf einen Ausgangswert $L_{n,eq,w}$ ein Delta für die Verbesserung durch eine elastische Trennung angesetzt. Wie dieses Delta ermittelt wird ist bislang in Österreich nicht genormt. Dies hat zur Folge, dass unterschiedliche Hersteller und Prüflabore unterschiedliche Prüfansätze gewählt haben.



Abbildung 1: Unterschiedliche Messverfahren: Treppenprüfstand der MA39, 1991 (links), Prüfungen eines Herstellers mittels gestapelter Betonfertigteilmassen (rechts)

Die unterschiedlichen Ergebnisse können somit sehr stark auf der optimistischen, oder aber auch der konservativen Seite liegen. Schwankungsbreiten von 5 dB zwischen den Prüfverfahren sind hier keine Seltenheit. Als Planer sollte man sich hingegen auf die Angaben der Hersteller und Prüfinstitute verlassen können, weshalb hier nach einigen Forderungen auch mit einem neuen vereinheitlichten Verfahren entgegengesteuert wurde. Dieses reduziert die Schwankungsbreite durch unterschiedliche Prüfeinflüsse bereits erheblich (< 1 dB), ist aber bislang nur in Deutschland als DIN [3] eingeführt und nur bei einzelnen Prüfinstituten durchführbar.

2.2. Eingangsgrößen nach DIN 7396:2016

Das neue Prüfverfahren definiert neben den Trennbauteilen auch die zu prüfende Treppe, sowie die für die Prüfung relevante Stufe, definiert Abmessungen von Treppenpodesten und unterscheidet zwischen Treppen welche elastisch auf einem starr eingebundenen Podest liegen ($L_{n,Lauf}$), von einem elastisch entkoppelten Treppenpodest ($L_{n,Podest}$). Es wird zusätzlich über die entsprechenden Bezugsbauteile die jeweilige Trittschallminderung ΔL oder die zugehörige Einfügedämmung ΔL^* unterschieden. Unten aufgeführt sind die unterschiedlichen ermittelten Prüfgrößen, wobei nicht alle Größen auch relevant für jede Art von Produkten ist.

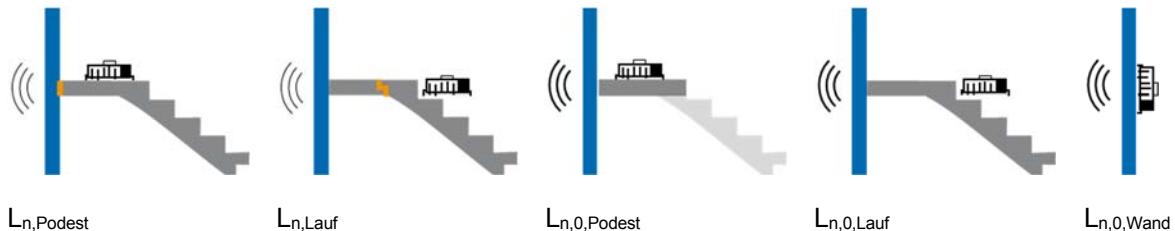


Abbildung 2: Ermittelte Messwerte für die Bestimmung der Kenngrößen nach DIN 7396:2016

Auf den Wert $L_{n,0,Wand}$ soll hier noch kurz etwas genauer eingegangen werden. Dieser wird als Bezugsgröße benötigt und ist primär abhängig von der flächenbezogenen Masse m' . Die Prüfung dieser Größe ist aber schwieriger als dies auf den ersten Blick erscheint, da das Normhammerwerk in der Vertikalen nicht funktioniert. Aus diesem Grund wird auf ein sogenanntes MIDI Hammerwerk [6] zurückgegriffen, welches über eine elektrodynamische Anregung und einen einzelnen Schlaghammer verfügt, der zu einer vergleichbareren Anregung wie das Normhammerwerk führt. Eine weitere Möglichkeit zur Anregung von aufgehenden Bauteilen stellt die Pendelanregung (EMPA) dar, auf welche hier aber aufgrund keiner kontinuierlichen Anregung nicht weiter eingegangen wird.

2.3. Neuer Ansatz nach EN 12354-2

Die meisten gängigen Rechenprogramme wenden bei der Berechnung des Trittschallpegels, als auch bei der Bestimmung der Schallpegeldifferenz das europäische Modell der EN 12354 an. Die energetische Aufsummierung der einzelnen Übertragungswege bietet den Vorteil gegenüber gebräuchlichen vereinfachten Verfahren, dass diese auch frequenzabhängig bestimmt und damit bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden kann. Die bekannten Formeln aus der EN 12354-2 lauten:

$$L'_n = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,ij}/10} \text{ dB} \quad (2)$$

$$L_{n,ij} = L_{n,ii} - \Delta L_i + \frac{R_i - R_j}{2} - \Delta R_j - \overline{D_{v,ij,n}} - 10 \lg \left(\frac{s_i}{l_0 l_{ij}} \right) \quad (3)$$

Dabei wird die Schallübertragung jeweils über das direkte Bauteil als auch über die direkt angrenzenden flankierenden Bauteile bestimmt. Hier zeigt sich, weshalb der Trittschallpegel des direkt abstrahlenden Bauteiles, im Falle der Treppe ist dies oft die Trennwand, als Eingangsparameter benötigt wird.

Das Modell lässt zudem erkennen, dass beispielsweise Vorsatzschalen im Empfangsraum ΔR_j ebenso berücksichtigt werden, wie die Stoßstellenlänge l_{ij} oder die richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz der Stoßstelle $D_{v,ij,n}$. Dies erlaubt eine deutlich genauere Abschätzung der Schallübertragung, als dass dies bei den bisherigen Modellen der Fall ist. Für überschlagsmäßige Einschätzungen der Schallübertragung genügen aber in aller Regel auch die bisherigen Rechenmodelle der nationalen Normen basierend auf Einzahlenwert-Angaben mit einheitlich ermittelten ΔL_w Werten.

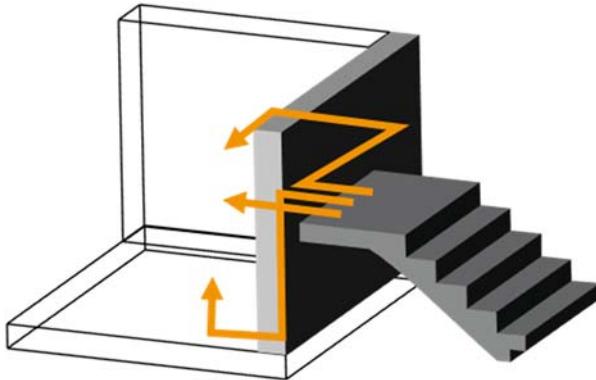


Abbildung 3: Schall-Übertragungswege bei Treppenpodesten in einen angrenzenden Wohnraum

3. Konstruktive Methode

Neben den rechnerischen Verfahren gibt die aktuelle Norm 8115-4 [1] auch Ausführungsbeispiele an, welche die Mindestanforderungen nach OIB-Richtlinie erreichen. Dabei werden neben Ausführungen der Trennbauteile auch die Anforderungen an die SchalldämmLAGER mit $f_0 \leq 80$ Hz beschrieben. Hierbei gilt, je tiefer die Eigenfrequenz eines Elastomers liegt, umso hochwertiger die Entkoppelungswirkung. Die Abstimmfrequenz eines Systems lässt sich über die dynamische Steifigkeit des Lagers c_{dyn} und die entkoppelte Masse m anhand des Einmassenschwinger-Modells ermitteln.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{dyn}}{m}} \quad (4)$$

$$c_{dyn} = \frac{E_{dyn} * A}{d} \quad (5)$$

Lager-Materialien	Elastizitätsmodul E_{dyn}
PUR-Schäume	0,5 - 8 N/mm ²
EPDM Gummi	5 - 50 N/mm ²
Kork	10 - 30 N/mm ²
Holzlatte (Tanne quer zur Faser)	300 - 400 N/mm ²
PP Unterlegplatten	1000 - 2000 N/mm ²
Beton	≥ 35000 N/mm ²

Tabelle 1: Orientierungswerte für üblicherweise unter Treppen eingesetzte Lager-Materialien [10]

Die genauen Werte können jeweils über eine entsprechende Lagerauswahl über Datenblätter, Onlineprogramme oder in Abstimmung mit den Herstellern optimiert werden.

4. Ausführungen in der Praxis

Die elastische Entkopplung von Treppenläufen, Podesten und ganzen Stiegenhäusern ist in Österreich bereits seit Jahrzehnten bautechnische Praxis. Der Bauphysiker ist gut beraten, dennoch auf gewisse Details bei der Besichtigung der Baustelle zu Achten, um sicherzustellen, dass es trotz des Einsatzes von Elastomeren nicht zu schalltechnischen Abschwächungen der Dämmleistung kommt. Einige Ausführungsdetails bei Treppen sind nachfolgend aufgeführt, um die Problemstellen in der Praxis aufzuzeigen:

- Die fehlerhafte oder fehlende durchgängige seitlich Trennung der Treppe zu Liftschächten oder Wohnungstrennwänden ist bei Ortbetontreppen ein häufiges Problem.
- Fertigteiltreppen weisen oft starr verputzte Fugen zu angrenzenden Decken- oder Podestbauteilen auf
- Die elastische Verfugung wird mit Farbe überstrichen
- Die Fugen zwischen Treppen und Lagerung sind ganz oder teilweise mit Betonabplatzungen oder Nägeln hinterfüllt
- Der Treppenbelag oder Sockelleisten sind nicht getrennt von den Fußböden oder seitlichen Wänden ausgeführt
- Der Randdämmstreifen des Estrichs wurde nicht zur Treppenvorderkante hochgezogen
- Leichtbautreppen haben starre oder starr verschraubte Anschlüsse an Trennwänden

Diese oder ähnliche Schallbrücken können einen Einbruch der Schalldämmung von 10 dB und mehr bedeuten. Dies zeigt die Dringlichkeit, auf eine saubere Ausführung zu achten.

4.1. Sanierungsbeispiel

Sollte dennoch einmal etwas fehlerhaft ausgeführt worden sein, kann dies unter Umständen zu sehr hohen Sanierungskosten und mühseligen Bauarbeiten führen. Insbesondere, wenn bereits bei der Planung auf eine Schalldämmung vergessen wurde, oder Gebäude sich aufgrund von Nutzungsänderungen mit neuen Anforderungen konfrontiert sehen.

Hier bleibt oft nur noch eine elastische Entkopplung der Stufen, ohne auf die Tragstruktur Einfluss nehmen zu müssen, um somit größere Umbauten zu umgehen. Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um eine Stahl-Wendeltreppe welche als Erschließungstreppe an eine Wohnungstrennwand, sowie auf einer Wohnungstrenndecke steht. Diese wurde ohne Schalldämmung verbaut und erreichte ein L_{NTW} von lediglich 54 dB in der angrenzenden Wohneinheit, was von den Nachbarn bemängelt wurde.



Abbildung 4: Stahl-Wendeltreppe als Erschließungstreppe mit angrenzenden Wohneinheiten

Die Lösungsfindung bestand in diesem Fall darin, die Stufen der Stahltreppe mittels eines 6 mm dicken Elastomers zu entkoppeln und einer darauf eine „schwimmende“ Steinfliese zu verlegen. Beides wurde mittels einer Stahlwanne auf den bestehenden Tritten befestigt.

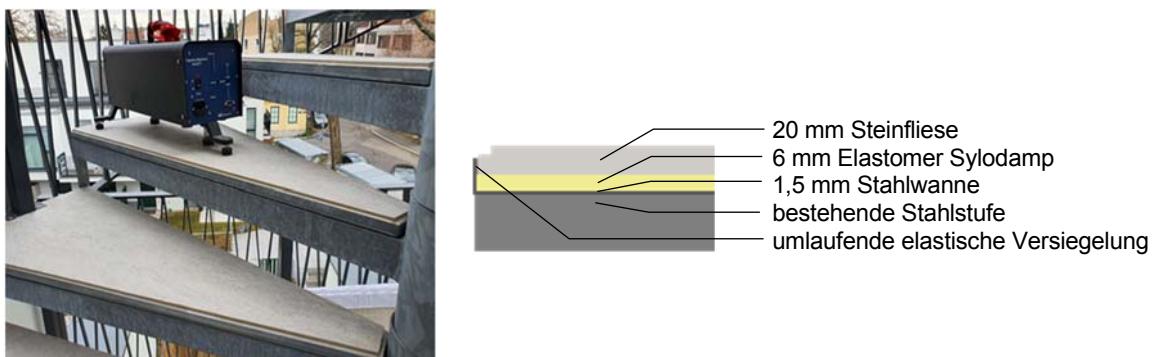


Abbildung 5: Sanierte Treppenstufe und Aufbau der selbigen

Neben einer spürbaren Reduktion der Schwingungen der Stahltreppe konnte auch der Standard-Trittschallpegel L_{nTw} von 54 auf 43 dB herabgesetzt werden und somit sogar die Klasse B „Komfort“ nach der Klassifizierung gemäß ÖNORM B 8115-5 erreicht werden.

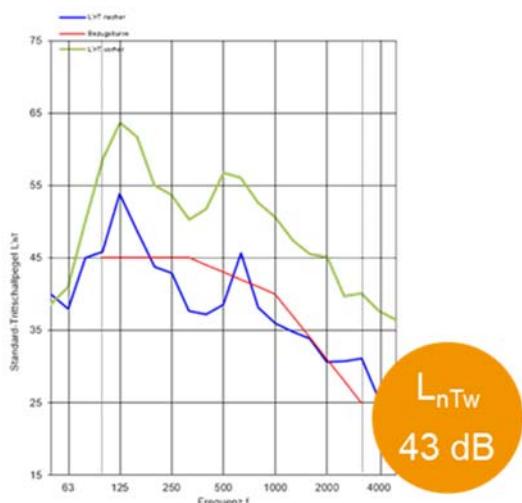


Abbildung 6: Standard-Trittschallpegel-Frequenzspektrum der sanierten (blau) sowie bestehenden Stahltreppe (grün)

5. Zusammenfassung

Treppen sind nicht zu vernachlässigende Schallquellen in Gebäuden, sollten bei fachgemäßer Planung aber zu keinen problematischen Schallübertragungen in angrenzende Räume führen. Ausführungsfehler können allerdings zu Einbußen von 10 dB oder mehr führen, wodurch Grenzwerte, trotz einwandfreier Planung oft nicht eingehalten werden können. Hier gilt es, die ausführenden Stellen zu sensibilisieren und nicht zuletzt auch vor Ort zu kontrollieren.

Die Vorgaben in der bestehenden ÖNORM, als auch in anderen europäischen nationalen Normen haben sich in der Praxis etabliert, sind aber für eine genaue Einschätzung der Schallübertragung zu ungenau, da nicht alle relevanten Einflussparameter berücksichtigt werden können. Die zunehmende Rechenleistung ermöglicht komplexere Rechenmodelle basierend auf neuen Ansätzen wie die der EN 12354-2. Diese sind bislang in der Praxis, zumindest bei Treppen, jedoch noch kaum bekannt oder in Verwendung und müssen sich erst etablieren.

Hersteller von SchalldämmLAGern haben bereits auf diese Veränderung reagiert und wenden nach und nach die neue Prüfnorm DIN 7396 zur Bestimmung der Schalldämmwerte ihrer Produkte an. Die ermittelten Werte können als Trittschallminderung ΔL_w oder als Einfügedämmung ΔL_w^* angegeben werden. Zudem ist zu unterscheiden

ob ein Produkt in der Trennwand und dem Podest oder unter einem Treppenlauf verbaut wird. Da sich die Bezugsbauteile hier unterscheiden, weisen auch die jeweiligen Delta Werte einen Unterschied von ca. 8-10 dB auf. Untersuchungen an Sylomerlagern zeigen, dass Wirksamkeiten von $\Delta L_{w,\text{Lauf}}$ 31 dB erreicht werden, wohingegen bei derselben Lagerqualität ein $\Delta L_{w,\text{Podest}}$ von 40 dB erzielt wird. Hier besteht allerdings noch Handlungsbedarf von Seiten der Prüfstellen, da bislang die Anzahl der Labore, welche solche Prüfungen anbieten noch sehr überschaubar ist und es daher kaum Wissen über die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Laboren gibt. Auf der anderen Seite kann auch über eine besonders tiefe Abstimmfrequenz (< 50 Hz) einer Schallübertragung selbst im niedrigen Frequenzbereich entgegengewirkt werden. Dies wird durch eine geringe dynamische Steifigkeit bei der entsprechenden Lagerauswahl ermöglicht. Diese Kennwerte finden sich in der Regel in den Datenblättern der jeweiligen Hersteller.

6. Literatur

- [1] ÖNORM B 8115-4:2003 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen
- [2] DIN 4109-2:2018 Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
- [3] DIN 7396:2016 Bauakustische Prüfungen - Prüfverfahren zur akustischen Kennzeichnung von Entkopplungselementen für Massivtreppen
- [4] ÖNORM EN ISO 717-2:2021 Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen
- [5] ÖNORM B 8115-5:2021 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 5: Klassifizierung
- [6] Schallschutz bei Wohnungstreppen, Scheck, Fichtel, Kurz, Ausgabe 1 2007
- [7] Schallschutz von entkoppelten Massivtreppen – Teil 1 Prüfverfahren im Labor, Bauphysik 35 (2013) Heft 5
- [8] Charakterisierung von Hammerwerken für horizontale Anregung, Bietz, Wittstock, 2017
- [9] Prognose von Körperschall aus haustechnischen Anlagen – ein robustes und einfaches Tabellenverfahren für den Holzbau, Schöpfer, 2019
- [10] Schallschutz: Bauakustik: Grundlagen – Luftschallschutz – Trittschallschutz (Detailwissen Bauphysik) 29. Ausgabe Mai 2020
- [11] ETAG 008: Guideline for European Technical approval of prefabricated stair kits, EOTA Brüssel, 2002



CURRICULUM VITAE

Heinz HACKL

Public Affairs / Standardisation & Product Regulation

VELUX Österreich GmbH
Veluxstraße 1
2120 Wolkersdorf
Mob.: (+43)6648104497
heinz.hackl@velux.com
www.velux.at

Ausbildung:

Kaufmännische Ausbildung (Handelsakademie) mit Matura

Berufliche Tätigkeiten:

1982 bis 1989 ÖBB: Bus- und LKW-Disposition

Seit 1989 bei VELUX Österreich

Aufbau eines Trainingscenters zur Ausbildung von Kunden und eigenen Mitarbeitern

Leitung der Trainingsabteilung inklusive der Erstellung von Trainingskonzepten und Trainertätigkeit von 1990 bis 2010 für unterschiedliche Kundengruppen: Architekten, Baustoffhändler, Baumeister, Fachhochschulen, Handwerker, HTL's und Universitäten

Seit 2010 verantwortlich für Public Affairs, Sustainability, Standardisation & Product Regulation bei VELUX Österreich

Intensive berufliche Auseinandersetzung mit den Themen Bauphysik, Tageslicht und Raumluft

Normung:

Mitarbeit in ON-AG 01204 Unterdächer und Unterspannungen

Mitarbeit im Komitee 047 Optik und Lichttechnik

Stv. Vorsitzender in ON-AG 047 04 Tageslicht

Tageslicht vs. Überwärmung

Oder lassen sich Tageslicht-Architektur und Sommertauglichkeit verbinden?

Heinz Hackl, VELUX Österreich, A-2120 Wolkersdorf

Funktion und Wirkung von Tageslicht

Grundsätzlich ist der Mensch für ein Leben im Außenraum konzipiert. Ca. 2 Mill. Jahre hat der Mensch tatsächlich die überwiegende Zeit im Außenraum verbracht. Erst die letzten Generationen - vor allem die zivilisierte westliche Gesellschaft – verbringt die überwiegende Zeit im Innenraum. Eine Studie der WHO aus 2014 zeigt, dass sich Europäer im Durchschnitt ca. 90 % der Zeit in Innenräumen aufhalten.. Dies hat immense Auswirkungen auf unser Verhalten und vor allem auf die Gesundheit.

Tageslicht dient nicht nur zur Erfüllung von Sehaufgaben. Tageslicht hat auch starke perzeptuelle Wirkung, sprich wie wir Gebäude und Räume wahrnehmen. Es gilt, die unglaubliche Variabilität des Tageslichts (von den unterschiedlichen Lichtfarben eines Tages, den unterschiedlichen Witterungsbedingungen, den Jahreszeiten etc.) im Innenraum erlebbar zu machen. Tageslicht steuert auch unsere „innere Uhr“ d.h. den Wach- und Schlaufrythmus.



Hotel Castel del Hamms, Mallorca
Planung: smartvoll Architekten Foto: Jörg Seiler

Gemeindezentrum

Großweikersdorf

Erst 2002 gelang die Entdeckung des 3. Photorezeptors im Auge. Der suprachiasmatische Nukleus steuert mit Hilfe des Lichts zahlreiche körperliche und hormonelle Prozesse. Im Wesentlichen sind dies die Unterdrückung des Schlafhormons Melatonin bzw. die Ausschüttung des „Glückshormons“ Serotonin, des „Stresshormons“ Cortisol etc. Somit beeinflusst Tageslicht den Schlaf, das Wohlbefinden, die Stimmungslage, den Appetit und auch ganz stark die Leistungsfähigkeit. Licht ist hier der stärkste Taktgeber.

Tageslicht, vor allem direktes Licht, hat starke Auswirkungen auf die Sterbewahrscheinlichkeit in Krankenhäusern. Die Menge an Tageslicht wirkt sich direkt auf die Aufenthaltsdauer in Krankenhäusern aus. Patienten mit Aussicht ins Grüne und guter Tageslichtversorgung haben sich schneller von Operationen erholt und weniger postoperative Schmerzmittel benötigt.

Prof. Joseph Allen, Director des Department of Environmental Health, Harvard University meinte anlässlich des Healthy Buildings Day 2019 in Paris: “The people who design, operate and maintain our buildings have a bigger impact on our health than our doctors”

Lisa Heshong, eine Architektin und Wissenschaftlerin, hat im Laufe von Jahrzehnten mehr als 3.000 amerikanische Schulen und die Auswirkungen von Tageslicht auf die Leistungsfähigkeit von Schülern und Studierenden evaluiert. Schüler in Klassenzimmern mit guten Tageslichtbedingungen und Aussicht (vor allem auf die Natur) haben in Mathematik um bis zu 26 %, beim Lesen um bis zu 20 % bessere Leistungen erbracht als Schüler, die kein oder wenig Tageslichtangebot bzw. keine adäquate Aussicht in den Unterrichtsräumen hatten. „Der Unterschied, ob Schüler unter guten Bedingungen oder suboptimalen Bedingungen unterrichtet werden macht 1 bis 2 Monate in der Entwicklung von Schülern pro Schuljahr aus“, bringt es Lisa Heshong auf den Punkt.

Lisha Heshong evaluierte auch die Leistungsfähigkeit von Büro-Arbeitern. Mitarbeiter in Callcenter mit Aussicht und guten Tageslicht-Bedingungen haben die Telefonate um 6 % bis 12 % schneller abgewickelt und die geistige Leistungsfähigkeit bei Gedächtnistests war um 10 % bis 25 % besser als bei Mitarbeitern in Büros ohne Aussicht. Je anspruchsvoller die Tätigkeit desto größer war der Unterschied. Erstaunlich, dass jene

Das richtige Licht zur richtigen Zeit:

Licht in den Morgenstunden erhöht die Wachsamkeit, ermöglicht gesteigerte Leistungsfähigkeit am Beginn des Tages. Ab Vormittag bis zum frühen Abend erlauben hohe Tageslichtdosen – wichtig ist hier besonders direktes Sonnenlicht – die Wachsamkeit, die Leistungsfähigkeit und die Stimmung aufrechtzuhalten. Reduziertes Lichtniveau am Abend und ein dunkles Schlafzimmer fördert den gesunden Schlaf.

Wieviel Licht braucht der Mensch?

Die erste brauchbare Regelung in Österreich hinsichtlich Tageslicht ist die ÖNORM EN 17037. Sie regelt die Taglichtzufuhr, die Beurteilung der Aussicht, die Sonnenlicht-Exposition und den Schutz vor Blendung. Diese Norm wurde im Februar 2019 in Österreich eingeführt. Der Anwendungsbereich ist für alle regelmäßig und über längere Zeit von Menschen genutzten Räumen – also sowohl für Wohngebäude als auch für Nicht-Wohngebäude.

Die Tageslichtzufuhr: Ziel der Norm war es, einen subjektiven Helligkeitseindruck in Räumen/Gebäuden zu schaffen.



Die Ziel-Beleuchtungsstärke sollte in ≥ 50 % der Bezugsfläche eines Raumes/Bereichs erreicht werden. Anm.: Bezugsfläche ist jene Fläche, die sich ergibt, wenn man jeweils $\frac{1}{2}$ m je Raumseite abzieht. Demnach ist bei einem Raum mit 6 x 4 m die Bezugsfläche 5 x 3 m. Die minimale Ziel-Beleuchtungsstärke sollte auf ≥ 95 % der Bezugsfläche erreicht werden. Bezugsebene ist 0,85 m über dem Fußboden-Niveau. Die geforderte Beleuchtungsstärke sollte in der Hälfte der Tageslicht-Stunden erreicht werden.

Tabelle A.1 — Empfehlungen für die Tageslichtzufuhr durch Tageslichtöffnungen in vertikalen und geneigten Flächen

Empfehlungsstufe für vertikale und geneigte Tageslichtöffnungen	Ziel-Beleuchtungsstärke E_T lx	Raumanteil für den Zielwert $F_{plane, \%}$	Minimale Ziel-Beleuchtungsstärke E_{TM} lx	Raumanteil für den minimalen Zielwert $F_{plane, \%}$	Anteil an Tageslichtstunden $F_{time, \%}$
Minimum	300	50 %	100	95 %	50 %
Mittel	500	50 %	300	95 %	50 %
Hoch	750	50 %	500	95 %	50 %

Die Norm definiert 3 Stufen für vertikale und geneigte Tageslicht-Öffnungen: siehe Tabelle.

Anmerkung: die Empfehlungsstufe „Hoch“ ist mich ausschließlich vertikalen Belichtungselementen (fast) nicht erreichbar.



Die exakte Tageslicht-Evaluierung lässt sich mit dem VELUX Daylight Visualizer durchführen. Es ist ein Werkzeug zur Planung und Analyse von Tageslicht.

Kostenloser Download unter www.velux.at/daylightvisualizer

Es gibt auch andere Programme wie Relux, Radiance, Dialux etc. mit denen Tageslicht gezielt geplant werden kann.

Aussicht:

Das Verglasungsmaterial der Sichtöffnung sollte eine Aussicht bieten, die als klar, unverzerrt und neutral gefärbt wahrgenommen wird. Anm.: diese Angaben sind sehr vage gehalten und sollen die Richtung erkennen lassen.

(passive) Maßnahmen gegen Überwärmung

1. Effiziente, flexible Beschattung

Sonnenschutz sollte dynamisch sein, denn in unseren Breiten ist der Bedarf für sommerlichen Wärmeschutz nicht permanent. Vor allem in der Periode von Mitte April bis Mitte Oktober neigen (vor allem hochwärmegedämmte Gebäude) zu Überwärmung – das sind max. 180 Tage und max. 1.200 Sonnenstunden (von 8.800 gesamt). Um das Solarmanagement des Fensters zu optimieren, bedarf es für die Heizperiode einen g-Wert von min. 0,55 aber im Sommer einen g-Wert bzw. g_{tot} -Wert von $\leq 0,15$

Sonnenschutz muss nicht notwendigerweise völlig abdunkeln. Es gibt neben den bekannten Raffstores auch Screens (tauchen unter verschiedensten Bezeichnungen wie Fassaden-Markisen etc. auf). Dabei bleibt für die Bewohner weitestgehend der Ausblick und vor allem das gesamte Farbspektrum des Tageslichts erhalten. Diese Screens gibt es sowohl für vertikale Elemente, für Dachfenster und auch großflächige Verglasungen im Steildachbereich.



Damit die Effektivität der Sonnenschutzanlagen tatsächlich gewährleistet ist, ist ein gewisser Grad an Automation absolut zielführend und notwendig. Ob es sich um sogenannte „low tec“-Varianten wie beispielsweise eine Zeitschaltuhr handelt, oder ob Systeme von Herstellern gewählt werden, die mit den lokalen Wetterdaten und -vorhersagen arbeiten oder die Einbindung in ein komplexes BUS-Systeme bleibt den Ansprüchen des jeweiligen Kunden überlassen.

Keineswegs empfehlenswert sind starre Beschattungen, weil diese auch in der lichtarmen Jahreszeit den Einfall vor allem des diffusen Lichts drastisch reduzieren. Sonnenschutz-Verglasungen haben ein reduziertes Farbspektrum (im nicht sichtbaren IR-Bereich) und meist auch im sichtbaren Bereich (starke Reduktion der Rot-Anteile). Das gilt auch für Sonnenschutz-Folien. Außerdem werden die solaren Zugewinne während der Heizperiode minimiert.

2. Natural Ventilative Cooling

Oder gezielte, automatisierte Nachtlüftung.

Es gilt, die Bauteile, die sich tagsüber erwärmt haben, durch einen kühlen Luftstrom wieder abzukühlen. Hier ist es notwendig, bereits während der Entwurfsphase des Gebäudes die Zu- und Abluftöffnungen zu planen. Querlüftung und noch besser die Nutzung des Kamineffekts schaffen Luftwechselraten n von bis zu 13 bis 20 1/h. Messungen an einem Einfamilienhaus außerhalb von Paris haben ergeben, dass sich dadurch die Raumtemperatur um bis zu 5 K pro Nacht senken lässt. Auch hier ist neben der exakten Festlegung der Zu- und Abluftöffnung eine Automation absolut sinnvoll um das volle Potential des Kühleffektes auszuschöpfen.

In der Praxis sind zahlreiche Gebäude mit Ventilative Cooling umgesetzt worden die teilweise sogar gemonitor wurden. Die Gebäude haben sich auch in heißen Sommern bewährt und die Wirkung hat die Erwartungshaltung meist sogar übertroffen. Obwohl die Systeme in der Praxis funktionieren besteht noch Forschungsbedarf, um die Wirkung von Ventilative Cooling – je nach Situation – besser verifizieren zu können.

CoolBRICK: Ein Forschungsprojekt unter der Federführung der Donau Universität Krems (in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Salzburg, VELUX Österreich und dem Verband Österreichischer Ziegelwerke. In Testgebäuden an der Bauakademie Salzburg sollen normative Rechenansätze für passive ventilative Nachtkühlungsstrategien – unter Ausnutzung von Ziegelspeichermassen entwickelt werden. Das Projekt läuft noch bis 2023.

Grundsätzliches Ziel ist es, durch die Kombination aus effizienter Beschattung und Natural Ventilative Cooling vor allem im Wohnbau in den ländlichen Gebieten ohne technische Kühlung auszukommen. Im städtischen Bereich muss man aufgrund der höheren Nachttemperaturen entweder mit höheren Raumtemperaturen leben oder eine „Hybridversion“ mit technischer Kühlung vorsehen. Auf jeden Fall kann mit den Maßnahmen der Kühlenergiebedarf deutlich gesenkt werden.

Fazit:

Fenster haben mehr Funktion als das bloße Nutzen der passiven solaren Gewinne

Fenster dienen nicht nur zum Einsparen von Energie für Beleuchtung (wiewohl dies gerade in Nichtwohngebäuden ein beträchtlicher Anteil an Energie ist)

Fenster dienen nicht nur zur bloßen Erfüllung von Sehauflagen

Fenster sind immens wichtig für Gesundheit, Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Komfort

Sommertauglichkeit sollte keinesfalls durch Verkleinerung der Fensterflächen „geplant“ werden – sondern durch eine adäquate Verglasungsfläche im Sinne der ÖNORM EN 17037 und der Kombination aus effizienter, dynamischer Verschattung + Ventilative Cooling.

Tageslicht-Architektur und Sommertauglichkeit lassen sich verbinden.

Literatur

ÖNORM EN 17037 Tageslicht in Gebäuden

bundesverband sonnenschutz technik: Sommertauglichkeit im Wohnbau

OIB Richtlinie 3, 2019

ÖNORM B 8110-3:2020

Lisa Oberzaucher: Homo Urbanus

Lisa Heshong: Daylight impacts on human performance in school

Pia Anna Buxbaum, Lisa Oberzaucher, Michael Wegerer: Gebäudeoftskills – Bauen in menschlichen Dimensionen

Lisa Heshong: The Visual Delight in Architecture

Dr. Richard Hobday: The Healing Power of the Sun

Dr. Richard Hobday: The Light Revolution

Henry Plummer: Natürliches Licht in der Architektur

CURRICULUM VITAE



Isabel MÜHLBAUER

GRÜNSTATTGRAU Forschungs- und Innovations- GmbH

www.gruenstattgrau.at
Favoritenstraße 50
A-1040 Wien

isabel.muehlbauer@gruenstattgrau.at

Geboren 1998 in Salzburg, absolvierte ihre Schulausbildung an der HTBLuVA Salzburg (Innenarchitektur) und studierte im Anschluss an der FH Salzburg ‚Smart Building‘ (Energieeffiziente Gebäudetechnik und Nachhaltiges Bauen) und der KEA Copenhagen (Architectural Technology and Construction Management).

Während des berufsbegleitenden Studiums arbeitete sie am Studiengang Smart Building als studentische Mitarbeiterin und beschäftigte sich in ihrer Abschlussarbeit mit der Quantifizierung der Effekte von Begrünung auf den Wärmeschutz von Bestandsgebäuden.

Seit 2018 ist sie bei GRÜNSTATTGRAU tätig und arbeitet an nationalen und internationalen Forschungsprojekten, die sich mit nachhaltigem Bauen und Gebäudebegrünung beschäftigen.

GRÜNSTATTGRAU ist die ganzheitliche Kompetenzstelle für Bauwerksbegrünung: Sie gibt Impulse und vernetzt Menschen, innovative Produkte und Projekte, liefert Know How und Analysen für die Praxis und begleitet urbane partizipative Strategien bis zur Umsetzung. Das Innovationslabor steht zu 100% im Eigentum des gemeinnützigen Verbandes für Bauwerksbegrünung und wird im Rahmen des Programms „Stadt der Zukunft“ durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) gefördert.

Bauwerksbegrünung

Technologien und Erkenntnisse aus Projekten

Isabel Mühlbauer, BSc, GRÜNSTATTGRAU, A-1040 Wien
 DI Carmen Kresser, Schöberl & Pöll GmbH, A-1040 Wien

1. Einleitung – Warum Gebäudebegrünung?

In den letzten Jahren wurde aufgrund immer neuer Rekorde an Hitzetagen (30°C und mehr), Tropennächten (20°C und mehr) und Starkregenereignissen deutlich, dass die Begrünung von Bauwerken besonders in Ballungszentren an Bedeutung gewinnt (Enzi et. al, 2021). Auch der diesjährige Sommer gilt als einer der zehn wärmsten der gesamten 255-jährigen österreichischen Messgeschichte und bestätigt die Entwicklung in Richtung eines wärmeren Klimas.¹

Bedingt durch einen hohen Versiegelungsgrad, eine geringe Vegetationsdichte und fehlende Luftzirkulation entstehen in Städten sogenannte städtische Hitzeinseln (Urban Heat Islands), die sich durch Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland zum selben Messzeitpunkt auszeichnen. Dieser Effekt tritt besonders in dichtbebauten Gebieten auf – das Niederschlagswasser kann durch die hohe Anzahl versiegelter Flächen kaum aufgenommen werden und somit nur bedingt durch Verdunstung die Umgebung kühlen. Wichtig für die urbane Klimawandelanpassung und demnach die Lebensqualität in Städten und Siedlungsgebieten sind grüne und blaue Infrastrukturen, also ein strategisch geplantes Netzwerk aus Grünflächen und Gewässern (Wiener Umweltschutzabteilung, 2015).

Aufgrund zunehmender Flächenknappheit leistet auch Gebäudebegrünung hier einen Beitrag zur Verbesserung des Mikroklimas, indem durch Evapotranspiration (Verdunstung über Substrat und Pflanze) der Umgebungsluft Wärme entzogen wird. Durch diesen Vorgang speichern Pflanzen (im Gegensatz zu Bauteilen) die Wärme nicht, sondern wandeln die eintreffende solare Strahlung in Sauerstoff und Biomasse um (CO_2 -Bindung).

Ein wesentlicher Aspekt, wodurch begrünte Bauteile den städtischen Energiehaushalt beeinflussen, ist die Beschattung des darunter- bzw. dahinterliegenden Baukörpers. Vor allem die Verschattung (südexponierter) transparenter Flächen kann hier einen Beitrag zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung leisten. Weitere wichtige Effekte von Gebäudebegrünungen sind unter anderem der Erhalt und die Förderung der Biodiversität, RegenwasserRetention, Luft- und Schadstofffilterung sowie die Wirkungsgradsteigerung von PV-Anlagen bei der Kombination mit Begrünung.

Auch in Österreich wurden diese Effekte von Begrünungen auf Gebäude und Mikroklima bisher im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte genauer betrachtet. In diesem Zusammenhang zu erwähnen sind die Projekte GrünStadtKlima (Untersuchungen zum Einfluss von Dach- und Fassadenbegrünungen auf Gebäude und Umfeld), GrünPlusSchule@Ballungsraum (Messungen an Gebäudebegrünungs-Systemen hinsichtlich ihrer Einflüsse auf PV-Anlagen, Luftfeuchtigkeit, Beschattung, Lärminderung, Wasserrückhaltung, Wärmeinseleffekt und das hygrothermische Verhalten der Gebäude), PROGRÜN (u.a. bauphysikalische Messungen an Dachbegrünungsaufbauten bei unterschiedlichen Substrattiefen) und viele mehr. Genauere Informationen zu derzeitigen Forschungsaktivitäten und Best-Practice-Projekten liefert die GRÜNSTATTGRAU Datenbank.²

Um diese bereits gemessenen Auswirkungen z.B. strategisch zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung zu nutzen, bedarf es einer standardisierten Berechnungssystematik. Die bisher zu diesem Thema durchgeföhrten Forschungsprojekte und deren Ergebnisse sind stark ortsbezogen und systemabhängig. Zukünftig gilt es, diese zusammenzuführen, auszuwerten und schlussendlich Kennwerte abzuleiten. Wichtig ist dabei, Fachleute aus verschiedenen Disziplinen zu vernetzen. Mit Begrünung als „lebendigem“ Bauteil zu arbeiten, erfordert interdisziplinäres Wissen aus unterschiedlichen Fachbereichen (Bauphysik, Bautechnik, Vegetationstechnik, Bewässerungstechnik, Botanik,...). Erste Ideen für die Quantifizierung dieser Effekte werden in den nachfolgenden Kapiteln angeführt. Ziel dieses Beitrags ist, unterschiedliche Konstruktionstypen und Systeme aufzuzeigen und aktuelle Entwicklungen im Bereich der Gebäudebegrünung darzulegen.

¹ <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/einer-der-zehn-waermsten-sommer-der-messgeschichte>

² <https://gruenstattgrau.at/datenbank/>

2. Aktuelle Projekte

GRÜNSTATTGRAU begleitete bisher über 80 Projekte, die sich mit der Begrünung von Städten und Gebäuden beschäftigen. In Bezug auf die energetische Optimierung von Gebäuden durch Begrünung ist in diesem Zusammenhang das Projekt „GREENergieausweis“ zu erwähnen, das im Rahmen der 7. Ausschreibung des Programms „Stadt der Zukunft“ (Wege der Integration von Begrünung in den österreichischen Energieausweis) gefördert wird.

Durch die gesetzliche Verpflichtung zur Vorlegung eines Energieausweises bei Verkauf oder Vermietung gemäß dem EAVG (Energieausweisvorlagegesetz) konnte eine österreichweite Bekanntheit und Akzeptanz erreicht werden. Wird Begrünung als Maßnahme zur Gebäudeoptimierung in den Energieausweis eingebunden, könnte dies eine flächendeckende Umsetzung von Gebäudebegrünung forcieren und dazu beitragen, relevante AkteurInnen für das Thema zu sensibilisieren.

In dem einjährigen F&E-Projekt GREENergieausweis (Sept. 2020 – Sept. 2021) wurden Lösungsvorschläge entwickelt, um die Auswirkungen von Dach- und Fassadenbegrünung auf Gebäude und Umfeld berechenbar zu machen. Unter der Projektleitung von Schöberl & Pöll GmbH wurden gemeinsam mit der Universität für Bodenkultur Wien und GRÜNSTATTGRAU aus den gewonnenen Erkenntnissen Handlungsempfehlungen für eine Integration in den Energieausweis abgeleitet.

Hierfür wurden bereits im Vorhinein relevante StakeholderInnen definiert. Die ExpertInnen aus Forschung und Praxis wurden mithilfe einer Online-Survey und Interviews befragt, wie die Effekte begrünter Dächer und Fassaden in Berechnungsmodelle generell und in den österreichischen Energieausweis bzw. in relevante Normen einfließen könnten. Insgesamt wurden 36 Beiträge durch die Online-Umfrage gesammelt, weitere 12 Antworten erhielt das Konsortium per Mail. Hervorzuheben ist, dass sich auch das österreichische Institut für Bautechnik an der Umfrage beteiligte, indem die Fragen in Abstimmung aller Bundesländer im Sachverständigen-Beirat der OIB-Richtlinie 6 („Energieeinsparung und Wärmeschutz“) beantwortet wurden. Weiters wurde erhoben, welche Chancen und Herausforderungen sich hierdurch ergeben, um eine gesamtheitliche Betrachtung der Thematik zu ermöglichen.

Die Antworten und vorläufigen Ergebnisse wurden anschließend im Rahmen eines Workshops gemeinsam mit einem Teil der StakeholderInnen diskutiert. Auf Basis dieser Inputs wurde im Anschluss eine Liste relevanter Normen erstellt, die Einfluss auf die Energieausweisberechnung haben und die hinsichtlich der Integration von Begrünungen angepasst werden könnten. Die ausführlichen Ergebnisse dieser Studie und Handlungsempfehlungen werden voraussichtlich in Kürze im Endbericht des Projekts publiziert. Grundsätzlich konnte eine positive Grundstimmung in Bezug auf die Integration von Begrünung in den Energieausweis verzeichnet werden:

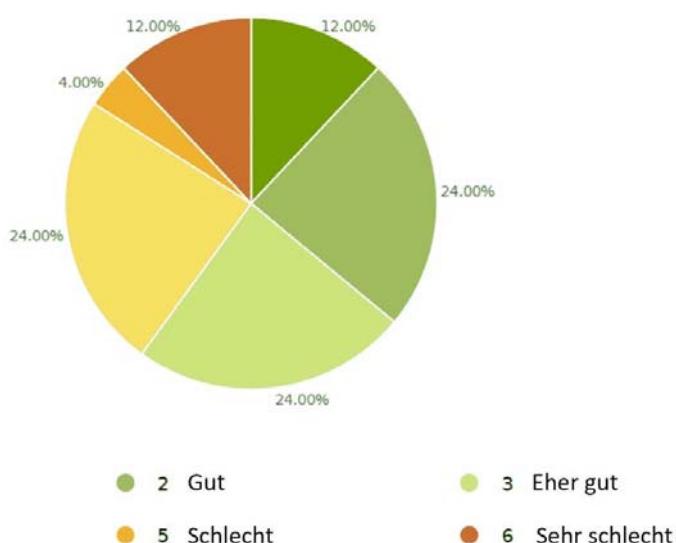


Abb. 1: Chancen einer Integration von Begrünung im Energieausweis (n=25)

Als wesentliche Faktoren, die für eine Einbindung von Begrünung in den Energieausweis sprechen, wurden u.a. die Verschattung von Gebäudeteilen, die adiabate Kühlung des Gebäudeumfelds durch Vegetation, eine dadurch bedingte effektivere Nachtlüftung, der Erhalt und die Förderung der ökologischen Vielfalt, Staubbindung und die Reduktion der Nachhallzeit angeführt.

Die Herausforderung ist, Begrünungen als lebende und dynamische Systeme mit jahreszeitlicher Veränderung abzubilden. Weiters wurden Bedenken hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Begrünung geäußert: Sollte diese entfernt werden oder aufgrund mangelnder Pflege vertrocknen, würde sie die vorher berechnete Verschattungsleistung und Kühlwirkung nicht mehr erfüllen. Auch der Umstand, einen wachsenden Organismus in ein so komplexes System wie den Energieausweis einzubringen, wurde teils kritisch gewürdigt.

Weitere, derzeit laufende Projekte, die sich mit bauphysikalisch relevanten Themen und der Quantifizierung der Effekte von Gebäudebegrünung beschäftigen, werden nachfolgend kurz erläutert.

GLASGrün (07/21-07/24): Modulare vertikale Begrünungsvarianten für Glasfassaden für die Bestandsergänzung, die Bestandssanierung und den Neubau: Monitoring der mikroklimatischen Leistung und der energietechnischen Auswirkungen (z.B. Stromverbrauch, Luftfeuchte, Luft- und Oberflächentemperaturen, Bewässerungsbedarf etc..)

GREENsChOOLENERGY (09/20-08/23): Innovative Kombinationsbauweisen von Photovoltaik mit blau-grüner Infrastruktur werden an einer Schule in Klagenfurt umgesetzt und getestet, um der (sommerlichen) Überwärmung am Standort entgegenzuwirken. Am Vorplatz werden die Pergola mit einem Bachlauf und darüber liegenden PV-Paneelen sowie deren Auswirkung auf die Leistung durch Wasserreflektion und Begrünung untersucht. Am Dach werden unterschiedliche Anordnungen von PV und Begrünung umgesetzt (Ost-West, Süd, vertikal-bifazial).

GreenTech-Renovation (09/21-08/22): Innovative Lösungen zur energetischen, ökologischen und sozialen Revitalisierung von architektonisch wertvollen Bauten mit hohem Glasanteil (am Beispiel einer Schule als Demonstrationsobjekt). Energetische Sanierung, Anwendung von Technologien wie u.a. Bauwerksbegrünungen oder erneuerbare Energie (in Form von PV-Anlagen).

greenWATERrecycling (08/19-08/22): Entwicklung einer gebäudetechnischen Systemlösung, um Grauwasser (= gering verschmutztes, fäkalienfreies Abwasser aus z.B. Badewanne, Dusche oder Waschmaschine) sowohl stofflich als auch thermisch zu verwerten. Das anfallende Grauwasser wird gesammelt, gespeichert, filtriert und die entstandene Abwärme zurückgewonnen. An einer Versuchsanlage werden Messungen zur Wasserqualität nach dem Reinigungsprozess sowie dessen Verwertbarkeit für die Bewässerung von Begrünungen durchgeführt. Dies beinhaltet u.a. die Simulation des anfallenden Grauwasseraufkommens, die Messung der Temperatursenkung durch die Vegetation sowie die Analyse von drei Gebäudestandards (z.B. Passivhaus-Standard, Niedrigstenergie-Standard, Bauordnung bzw. Bestandssituationen).

NaNu3 (09/21-08/22): Entwicklung eines Planungsmodells, das den Einsatz eines Gründachs in Kombination mit Photovoltaik bereits im Planungsprozess analysiert und evaluiert. Umsetzung eines Flachdach-Systems mit Begrünung und PV, Grauwasseraufbereitung und Wasserspeicherung. Dabei werden für das Flachdachsystem die technischen Rahmenbedingungen (Materialien, Aufbau, etc.) definiert, anfallende Kosten (Errichtung und Betrieb) abgeschätzt und die funktionalen Zusammenhänge (Wasser- und Energiebilanzen, thermische Effekte) beschrieben. Zudem werden die Systemgrenzen festgelegt, Kopplungs- und Erweiterungsmöglichkeiten miteinbezogen (z.B. HKLS) und Schnittstellen vordefiniert.

INFINITE (11/20-04/25): Nachhaltige Sanierung von Bestandsgebäuden (All-in-One-Module auf Basis einer gedämmten Holzkonstruktion) in Kombination mit modularen Grünfassaden und Gründächern sowie Grau- und Regenwasseraufbereitung. Der Fokus liegt auf der Vorfertigung der Module im Werk, um bei der Sanierung Zeit und Kosten zu sparen.

Queen Gudrun II (07/20-06/23): Das Blocksanierungsgebiet umfasst insgesamt über 100 sanierungsbedürftige Gebäude. Umgesetzt wird ein Demonstrationsgebäude (Sanierungsprojekt mit ressourcenschonender Nachverdichtung), wobei ein weltweit erster Demonstrator zur gleichzeitigen stofflichen und thermischen Verwertung von Grauwasser zum Einsatz kommen soll (siehe Projekt greenWATERrecycling). Weitere Ziele sind der Aufbau einer Energiegemeinschaft und die Umsetzung von verschiedenen Fassadenbegrünungen.

3. Begrünungstechnologien, Einbindung in Normen und Berechnungsmodelle

Um die Unterschiede und Wirkungsmechanismen verschiedener Arten der Gebäudebegrünung aufzuzeigen, werden die Konstruktionstypen nachfolgend vereinfacht erklärt. Auch eine mögliche Integration der Auswirkungen in relevante Normen und den österreichischen Energieausweis wird diskutiert.

3.1. Dachbegrünung

Eingeteilt werden können Dachbegrünungen grob in extensive und intensive Ausführungsvarianten. Diese unterscheiden sich durch ihre Funktion, Aufbauhöhe, Gewicht und verwendete Vegetation. Begrünte Dächer werden detailliert im Leitfaden für Dachbegrünung der Stadt Wien (erscheint in Kürze) beschrieben und sind in der ÖNORM L 1131 (2010) geregelt. Sowohl Flach- als auch Steildächer können begrünt werden.

Extensive Dachbegrünungen zeichnen sich durch eine Mindestaufbauhöhe von 8 cm aus, das Flächengewicht beträgt durchschnittlich 80 bis 150 kg/m². Sie erfordern wenig Pflegeaufwand (1-2 Pflegedurchgänge pro Jahr). Da sie üblicherweise nur zu Wartungszwecken begangen werden, bieten sie wertvollen Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Durch niedrig wachsende Pflanzenarten kann diese Begrünungsart gut mit Solaranlagen kombiniert werden (s.u.).

Intensive Dachbegrünungen weisen hingegen eine Gesamtaufbauhöhe von mind. 20 cm und damit auch ein höheres Gewicht (300 bis 1.000 kg/m²) auf. Abhängig von der Aufbauhöhe kann eine vielfältige Auswahl an Pflanzenarten zur Anwendung kommen – auch Bäume sind möglich (mind. 80 cm Substrathöhe und gegen Windlasten gesichert). Intensive Begrünungen können hinsichtlich ihrer Nutzung mit einem Garten verglichen werden und erfordern dementsprechende Pflege und Wasserversorgung. Auch intensiv begrünte Dächer können mit Solaranlagen (in Form einer Pergolakonstruktion) verbunden werden.

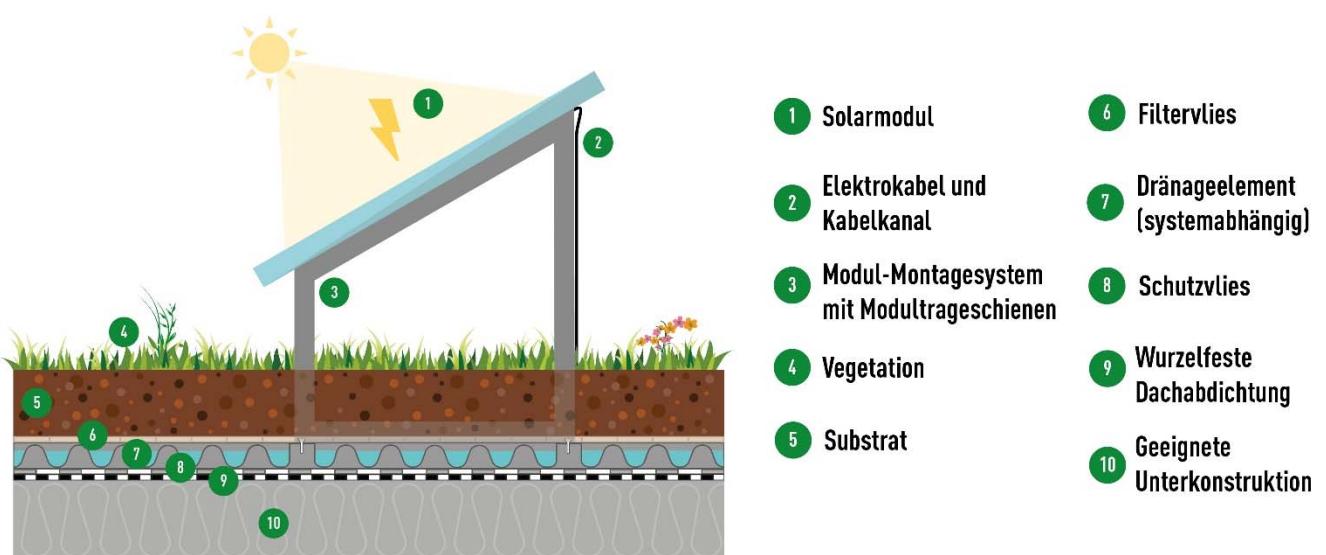


Abb. 2: Schema Solargründach (Quelle: GRÜNSTATTGRAU)

Das Solargründach in seinen unterschiedlichen Ausführungsvarianten wurde in den letzten Jahren vermehrt umgesetzt, aktuelle Entwicklungen und technische Informationen werden beispielsweise im neuen Solarleitfaden der Stadt Wien³ (2021) oder im Beiblatt „Solargründächer“ der ÖNORM L1131 (2019) abgebildet.

Bei Solargründächern handelt es sich grundsätzlich um (auflastgehaltene) Systeme zur Kombination von Energiegewinnung und Begrünung. Die Verbindung beider Technologien führt zu einer Synergie, die zur Wirkungsgradsteigerung der Anlagen beiträgt. Begrünte Dächer entwickeln durch die Verdunstung der Vegetation eine kältere Oberfläche als unbegrünte Dächer – relevant ist dies z.B. in den Mittagsstunden, in denen sowohl die Solarstrahlung als auch die Tagestemperatur ein Maximum erreichen (Pfoser et. al, 2013).

³ <https://www.wien.qv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/solarleitfaden.pdf>

Bisherige Messungen ergaben, dass hierdurch eine Ertragssteigerung bei Photovoltaik-Anlagen erzielt wird (Wölfl, 2011). Vor allem durch die partielle Verschattung entsteht auf Solargründächern wertvoller Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen.

Verschiedene Anordnungsformen zur Kombination von Solartechnik & Begrünung sind möglich (s.u.).

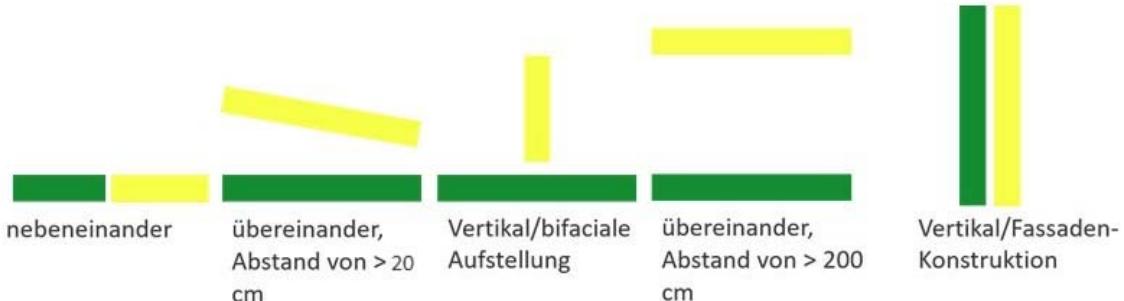


Abb. 3: Anordnungsformen Begrünung & Solartechnologien (Quelle: GRÜNSTATTGRAU)

Bei der Anordnung nebeneinander sind sowohl die Begrünung, als auch die Solaranlage (z.B. für Wartungszwecke) uneingeschränkt erreichbar. Es ist darauf zu achten, die Kollektoren (gemäß verwendeter Vegetation) in ausreichendem Abstand zur Begrünung anzuordnen, um ein Überwachsen zu verhindern. Da hier jedoch keine Mehrfachnutzung der Fläche vorliegt, ist die Synergie zwischen beiden Technologien begrenzt.

Für Module, die unmittelbar über der Dachbegrünung angeordnet werden, existieren am Markt bereits verschiedene Systeme, die durch das Gewicht des Substrats und der Vegetation einen durchdringungsfreien Aufbau gewährleisten. Hierbei können die Module entweder hintereinander (selbe Ausrichtung), oder paarweise (in Giebel-, bzw. V-Form) aufgestellt sein. Ein- bis zweimal im Jahr ist ein Pflegedurchgang notwendig.

Aktuelle Forschungsprojekte in der Schweiz beschäftigen sich mit der Kombination von bi-fazialen PV-Modulen, die die Sonneneinstrahlung von beiden Seiten (Ost-West-Ausrichtung) zur Stromproduktion nutzen. Experimentiert wird u.a. mit silberlaubigen Pflanzen und weißem Zierkies, um die Albedo zu erhöhen und die Effizienz der Anlage zu beeinflussen. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich auch hier die Vegetation positiv auf den Ertrag der Anlage auswirkt (Baumann et al. 2019).

Möglich sind zudem Pergolakonstruktionen aus Holz bzw. Metall, bei denen integrierte, semitransparente Glas-Glas-PV-Module die darunterliegende Fläche beschatten und gleichzeitig Strom produziert wird. So entsteht ein Aufenthaltsraum, der mit verschiedenen Pflanzen (oder z.B. Urban Gardening) kombiniert werden kann.

Im Fokus bei der Verbindung von Begrünung und Solartechnologien steht die Doppelnutzung von Potentialflächen – von Relevanz ist dies besonders im dichtbebauten urbanen Raum. Maßgeblich für ein dauerhaft funktionierendes Solargründach ist vor allem der Aufbau. Die Höhe des Substrats sollte so gewählt werden, dass das Vegetationsbild von niedrigwüchsigen Pflanzen bestimmt wird und demnach keine Module verschattet werden.

Besonders bei nachträglicher Installation einer PV-Anlage auf ein bereits bestehendes Gründach sollten ExpertInnen für die Umsetzung herangezogen werden. Denn durch die Neigung der Paneele wird Regenwasser auf die kritische Fläche vor dem Modul geleitet, was wiederum zu höherem Pflanzenwuchs führt. Eine Möglichkeit, um ein Bewachsen dieser Fläche zu vermeiden, ist die Ausführung eines Kiesstreifens vor dem Modul. Das Regenwasser wird in den Kiesstreifen und von dort (durch ein Gefälle oder Verteilervlies) unter das Modul geleitet.

3.2. Fassadenbegrünung

Begrünte Fassaden können, abhängig von den Anforderungen der zu begrünenden Außenwand und des gewünschten Begrünungsbilds, unterschiedlichste Eigenschaften und Konstruktionsprinzipien aufweisen. Dies ist insofern relevant, da sowohl der Aufbau als auch die verwendeten Pflanzenarten die Auswirkungen des Begrünungssystems auf Gebäude und Umfeld beeinflussen.

Grundsätzlich können begrünte Fassaden grob unterschieden werden in bodengebundene, troggebundene und wandgebundene Begrünung. Weiterführende Informationen zu technischen und botanischen Aspekten finden sich beispielsweise im Leitfaden für Fassadenbegrünung der Stadt Wien.⁴ Die im April erschienene Norm für Vertikalbegrünung im Außenraum [ÖNORM L1136: 2021] gliedert die verschiedenen Arten der Begrünung in 5 Kategorien (s.u.). Möglich sind außerdem Mischformen, also beispielsweise Kletterpflanzen in Trögen an der Außenfassade des Gebäudes.

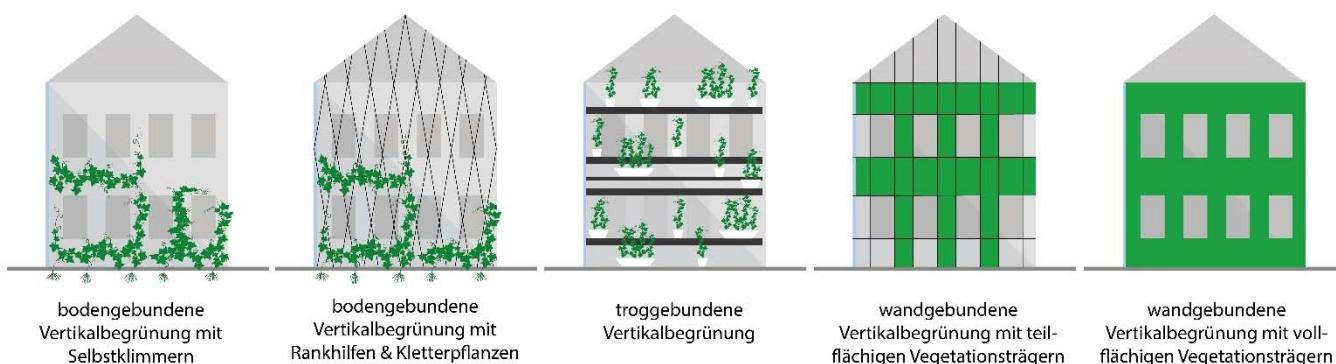


Abb. 4: Arten der Fassadenbegrünung (Quelle: GRÜNSTATTGRAU nach ÖNORM L 1136, 2021)

Als erste Norm für Fassadenbegrünung im europäischen Raum liefert die ÖNORM L1136 (2021) Informationen zu bau-, vegetationstechnischen und botanischen Anforderungen, sowie zur Planung, Errichtung, Pflege und Wartung begrünter Fassaden.

Bei einer Begrünung mit Selbstklimmern wächst die Pflanze durch Haftorgane an der Fassade empor – vor der Umsetzung ist dabei unbedingt der Zustand der Bestandsfassade zu prüfen. Fassaden mit angebrachten Wärmedämm-Verbundsystemen eignen sich aufgrund der mechanischen Belastung der Dämmschicht nicht für eine Direktbegrünung. Überwuchsleisten in Form von Kantblechen können an der Fassade montiert werden, um ein Überwachsen von Fenstern, Lüftungsklappen oder eine ungewollte Ausbreitung zu angrenzenden Gebäuden zu unterbinden.

Gerüstkletterpflanzen benötigen Kletterhilfen (z.B. Stäbe, Seile, Gitter, Netze). Bestimmte Kletterpflanzenarten entwickeln mit zunehmendem Alter starke Zugkräfte, bei der Dimensionierung der Kletterhilfe ist daher auf pflanzenspezifische Eigenschaften zu reagieren. Befestigt wird die Konstruktion kraftschlüssig (z.B. mithilfe von thermisch entkoppelten Wandankern) in der tragenden Konstruktion des Gebäudes. Ist kein Bodenvolumen vorhanden, so kann dies mithilfe von Trögen hergestellt werden, die am Boden oder an der Fassade Wurzelraum für (Kletter-)Pflanzen bieten. Bewässert werden kann manuell oder automatisch.

Wandgebundene Begrünungen (nach dem Prinzip einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade) erreichen innerhalb kurzer Zeit das Begrünungsziel und eignen sich durch ihre automatische (sensorbasierte) Bewässerung besonders dann, wenn kein Bodenanschluss gegeben ist.

Ein viel diskutiertes Thema ist auch der Brandschutz bei Grünfassaden. Bereits 2018 wurden durch die Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Brandversuche gemäß ÖNORM B 3800-5 an Kletterpflanzen durchgeführt. Im Jahr 2020 wurden diese Erhebungen um Versuche an unterschiedlichen wandgebundenen Begrünungssystemen erweitert und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet. Eine ausführlichere Ausarbeitung der Erkenntnisse würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, daher wird auf die Studienergebnisse zum „Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen“ (2018, 2020)⁵ verwiesen. Dort finden sich Informationen zu nachweisfreien Varianten, einzuhaltenden Mindestabständen (z.B. zur Fassade oder zu Fensteröffnungen) und erforderlichen Brandabschottungen.

⁴ <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegruebung-leitfaden.pdf>

⁵ <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=480> bzw. <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=502>

3.3. Mögliche Integration in Normen und Berechnungsmodelle

Nachfolgend werden erste Überlegungen zur Integration von gebäudeintegrierten Begrünungssystemen veranschaulicht, die im Rahmen des Projekts „GREENergieausweis“ erarbeitet wurden.

ÖNORM EN ISO 6946:2018 02 01

(Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren)

Aus bisherigen Untersuchungen zu dem Thema geht hervor, dass begrünte Fassaden als hinterlüftete Fassadensysteme betrachtet werden können und somit der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} beeinflusst werden kann.

Relevant ist hier die Größe der Hinterlüftungsöffnungen, deren Verhältnis zur hinterlüfteten Fläche und somit die Art der Luftsicht. Wird also ein Begrünungssystem z.B. als Fassade mit stark hinterlüfteter Luftsicht betrachtet, könnte anschließend der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} gemäß Tabelle 9 bzw. Tabelle 10 ermittelt werden (s.u.). Beispielwerte für den R_{se} für Fassaden- und Dachbegrünungen werden bereits vereinzelt in der Literatur abgebildet (z.B. Tudiwer D., 2019 und Zirkelbach D., Schafaczek, B., 2013).

Ergänzung Tabelle mit Wärmeübergangswiderstand durch Fassadenbegrünung			
Tabelle 9 — Konventionelle Wärmeübergangswiderstände			
Wärmeübergangswiderstand m ² K/W	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04
$R_{se,Begrünung}$	Zu definierender Kennwert (vgl. z.B. Literatur) $R_{se,Begrünung} > 0,04$		

Abb. 5: Anwendungsbeispiel zur Integration von Fassadenbegrünung in der ÖNORM EN ISO 6946 im Zusammenhang mit Tabelle 9 – Konventionelle Wärmeübergangswiderstände (Quelle: Schöberl & Pöll nach ÖNORM EN ISO 6946, 2021)

Wichtig ist bei begrünten Fassaden zudem, neben der positiven Auswirkung durch die Vegetation auch den Einfluss der mechanischen Befestigungsmittel und die dadurch entstehenden Wärmebrücken (v. A. bei gedämmten Gebäuden) zu beachten. Dieser Aspekt wird durch eine Berechnungsformel (Korrektur für mechanische Befestigungselemente – Detaillierte Berechnung/Näherungsverfahren) in der Norm sowie durch eine entsprechende Eingabemaske im Berechnungsprogramm zum aktuellen Zeitpunkt bereits berücksichtigt. Anzumerken ist, dass hier mittlerweile Lösungen zu wärmebrückenoptimierten Verankerungen von Grünfassaden für Wärmedämmverbundsysteme entwickelt wurden.

ÖNORM B 8110-5:2019 01 15 (Wärmeschutz im Hochbau Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile)

In der ÖNORM B 8110-5 sind die Randbedingungen für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs gemäß ÖNORM B 8110-6 festgelegt – unter anderem auch das zu berücksichtigende Referenzklima. Die monatsweisen Temperatur- und Strahlungswerte sind abhängig von der Lage gemäß den unterschiedlichen Temperaturregionen nach der Klimatographie Österreichs (ÖKLIM) sowie der Höhenlage eines Ortes.

Generell besteht noch Forschungsbedarf zu den Auswirkungen von Begrünungen auf das Mikroklima und wie derartige Klimamodelle im Energieausweis abgebildet werden könnten. Innerhalb des Projekts „GREENergieausweis“ wurde dieses Thema vorerst nicht näher betrachtet. Von Relevanz könnten hier jedoch die Ergebnisse des ACRP12 Projekts "NORM"⁶ (voraussichtliches Projektende Herbst 2021) sein.

⁶Vgl. Zwischenbericht <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/C060952-ACRP12-NORM-KR19AC0K17544.pdf>

ÖNORM B 8110-6-1:2019 01 15

(Wärmeschutz im Hochbau Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren Heizwärmebedarf und Kühlbedarf)
Der Einfluss eines Dach- bzw. Fassadenbegrünungssystems auf die Transmissionswärmeverluste (und den HWB) kann, so wie bereits unter „ÖNORM EN ISO 6946“ beschrieben, bei der U-Wert Berechnung berücksichtigt werden.

Neben den Gesamtwärmeverlusten können sich Begrünungssysteme auch auf die Gesamtwärmegewinne, bzw. auf die solaren Wärmegewinne auswirken. Bei Wohngebäuden ergeben sich die solaren Wärmegewinne einzig aus den transparenten Bauteilflächen (Kollektorflächen), abhängig von deren Gesamtenergiedurchlassgrad g und dem Verschattungsfaktor F_s , sowie einem weiteren Abminderungsfaktor F_g . Bei Nichtwohngebäuden ergeben sich die solaren Wärmegewinne für den Heizfall analog zu Wohngebäuden. Für den Kühlfall jedoch werden die transparenten und opaken Bauteilflächen berücksichtigt. Abhängig sind die Gewinne unter anderem vom Verschattungsfaktor F_s und dem Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} (berücksichtig Raffstoren, Jalousien, etc.) der transparenten Flächen sowie der Glasflächen- Orientierung und Neigung (durch Faktor Z_{ON}) und des Absorptionsgrads (durch Faktor f_{op}) des opaken Bauteils.



Abb. 6: Einfluss vertikaler & horizontaler Fassadenbegrünungen auf die solaren Wärmegewinne (Quelle: Nicole Pfoser, Gebäude Begrünung Energie, 2013)

In der Literatur finden sich zu diesen Faktoren in Zusammenhang mit Gebäudebegrünung Untersuchungen zum Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} (Pfoser N., 2013 nach Baumann R., 1980) bei Gerüstkletterpflanzen. Für Begrünungen vor transparenten Flächen (z.B. vertikale Rankgitter) besteht gemäß o.a. Literatur die Möglichkeit zur Berücksichtigung eines eigenen F_c -Wertes durch die Begrünung analog zu F_c -Werten von herkömmlichen außenliegenden Sonnenschutzeinrichtungen. In der ÖNORM B 8110-6 würde dies z.B. die Erweiterung der Tabellen 18 und 19 (Gesamtenergiedurchlassgrad für äußere Abschlüsse) bedeuten.

Ergänzung Tabelle mit Energiedurchlassgrad für Begrünungselemente				
Gesamtenergiedurchlassgrade g_{tot} für äußere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen	Sehr hell	Hell	Dunkel	Sehr dunkel
Lamellenbehänge fast geschlossen	0,07	0,07	0,07	0,07
Lamellenbehänge, Lamellenwinkel halboffen (bis zu 45°)	0,12	0,10	0,09	0,07
Lamellenbehänge, Lamellen geöffnet (bis zu 90°)	0,24	0,19	0,15	0,09
Fassadenmarkisen mit Alubeschichtung außen mit, Lochanteil ≤ 5 %	0,10	0,10	0,10	0,10
Fassadenmarkisen unbeschichtet mit Lochanteil ≤ 5 %	0,17	0,13	0,11	0,10
Fassadenmarkisen mit u. ohne Alubeschichtung, Lochanteil < 15 %	0,25	0,17	0,17	0,17
Fassadenmarkisen Acryl (dicht gewebt)	0,23	0,15	0,12	0,10
Rollladen dicht geschlossen	0,05	0,05	0,06	0,06
Rollladen, Luft/Lichtschlitz offen	0,06	0,06	0,07	0,07
Rollladen, die unteren 25 % des Fensters ist nicht beschattet	0,20	0,20	0,22	0,22
Rankgitter mit Pflanze xy	...	...	...	...

Abb. 7: Anwendungsbeispiel zur Integration von Fassadenbegrünung in der ÖNORM B 8110-6 im Zusammenhang mit der Tabelle 18 – Gesamtenergiedurchlassgrad für äußere Abschlüsse (Quelle: Schöberl & Pöll nach ÖNORM B 8110-6, 2021)
2021-10-07 Seite 9

Bei Betrachtung der weiteren genannten Einflussfaktoren bieten sich beim Verschattungsfaktor F_s und beim Korrekturfaktor für die Einstrahlung auf die opake Fläche f_{op} Anpassungsmöglichkeiten in der Norm zur Berücksichtigung von gebäudeintegrierten Begrünungssystemen. Für den Verschattungsfaktor F_s könnten horizontale Begrünungselemente (z.B. in der Form eines Vordaches) bzw. auch vertikale Begrünungselemente in Tabelle 12 (Verschattungsfaktoren für horizontale Überstände) und Tabelle 13 (Verschattungsfaktoren für vertikale Überstände) durch Erweiterungen berücksichtigt werden.

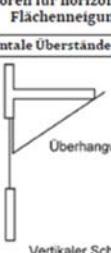
Ergänzung Tabelle mit Durchlassgrad für Begrünungselemente								
Tabelle 12 — Verschattungsfaktoren für horizontale Überstände F_0 bei verschiedenen Flächenneigungen								
Verschattungsfaktoren für horizontale Überstände F_0 bei verschiedenen Flächenneigungen								
 <p>Überhangwinkel Vertikaler Schnitt</p>								
Neigung	Überhangswinkel		Winter		Sommer			
			N	O/W	S	N	O/W	S
90°	0°		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90°	20°		0,90	0,86	0,92	0,90	0,95	0,90
90°	40°		0,79	0,71	0,83	0,80	0,88	0,78
90°	60°		0,64	0,51	0,68	0,68	0,78	0,62
90°	80°		0,42	0,23	0,34	0,51	0,50	0,33
...
Verschattungsfaktoren für horizontale Überstände F_0 aufgrund von Begrünungselementen								
Pflanzenart	90°	0°	...	...	...	...	...	...

Abb. 8: Anwendungsbeispiel zur Integration von Fassadenbegrünung in der ÖNORM B 8110-6 im Zusammenhang mit Tabelle 12 – Verschattungsfaktoren für horizontale Überstände (Quelle: Schöberl & Pöll nach ÖNORM B 8110-6, 2021)

Durch Adaptierung der Angaben für den Korrekturfaktor für die Einstrahlung auf die opake Fläche f_{op} kann vor allem der Einfluss von Gründächern in die Norm bzw. Berechnung integriert werden. Hier besteht die Möglichkeit zur Erweiterung der bestehenden Tabelle 16 (s.u) mit Korrekturfaktoren für den einer Begrünung entsprechenden Absorptionsgrad α .

Ergänzung Tabelle für Absorptionsgrad α von Begrünungen								
Tabelle 16 — Korrekturfaktor für die Einstrahlung auf die opake Fläche f_{op}								
Flächen	Korrekturfaktor f_{op}							
	kKh			Weisse Oberfläche	Graue Oberfläche	Schwarze Oberfläche		
				$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 1,0$	Begrünung	$\alpha = ...$
Horizontale Flächen bis zu einer Neigung von 75°				0,0	0,9	2,5	...	...
Geneigte Flächen				0,0	0,9	2,5	...	...

Abb. 9: Anwendungsbeispiel zur Integration von Dachbegrünung in der ÖNORM B 8110-6 im Zusammenhang mit Tabelle 16 – Korrekturfaktor für die Einstrahlung auf die opake Fläche f_{op} (Quelle: Schöberl & Pöll nach ÖNORM B 8110-6, 2021)

Hinsichtlich der Energieausweis-Berechnungssoftware (z.B. Archiphysik) bedarf es bei der zukünftigen Integration ebenfalls einer Anpassung durch eine Ergänzung von Eingabefeldern und Auswahlmöglichkeiten.

ÖNORM B 8110-7:2013 03 15

(Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte)

Die ÖNORM B 8110-7 gibt wärmeschutztechnische Default - Bemessungswerte für Bauprodukte an, die für bauphysikalische Berechnungen verwendet werden können. Dies umfasst die Rohdichte der Materialien, die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität und die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl. Im Zusammenhang mit der Integration von Gebäudebegrünung in die Energieausweisberechnung ist vor allem die angegebene Wärmeleitfähigkeit (Bestandteil der U-Wert Berechnung) relevant.

Derzeit werden z.B. Substrate für Dachbegrünungen in den Tabellen der ÖNORM noch nicht berücksichtigt. Zirkelbach D. und Schafaczek, B. (2013) geben in ihren Berechnungen z.B. Wärmeleitfähigkeiten für Substrate und Pflanzschichten an. Eine Ergänzung in der ÖNORM B 8110-7 im Kapitel 6.10 Sonstige Baustoffe durch eine zusätzliche Tabelle (z.B. Tabelle 92 Substrate und Vegetation) würde die Anwendung von Standardwerten für wärmeschutztechnische Berechnung von Gründächern ermöglichen. Generell bedarf es dazu jedoch noch der standardisierten Ermittlung dieser Werte. Die Entwicklung eines standardisierten Prüfverfahrens zur Ermittlung von wärmeschutztechnischen Kennwerten von Gründächern wird dafür Voraussetzung sein. Eine Anpassung in der Energieausweis-Berechnungssoftware ist nur insofern notwendig, dass die generierten Daten in den Materialdatenbanken aufgenommen werden.

Weitere Regelwerke, die zwar keinen Einfluss auf Kennzahlen im österreichischen Energieausweis haben, aber dennoch Möglichkeiten zur Abbildung von Gebäudebegrünung bieten, sind:

ÖNORM B 8110-3:2020-06-01 (Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung)

Die Berechnungsverfahren haben keinen Einfluss auf die Kennzahlen im Energieausweis (z.B. HWB, KB). Jedoch ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes auf Basis der operativen Temperatur Bestandteil der OIB Richtlinie 6 und bauphysikalischer Gutachten. Dazu wird anhand eines Simulationsverfahrens, das den Tagesverlauf der operativen Temperatur und die Wärmekapazität der Bauteile berücksichtigt, die operative Temperatur im betrachteten Raum berechnet. Zur Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperaturen bedarf es der Festlegung der Außenklima-Randbedingungen. Die langwellige und kurzwellige Zu- und Abstrahlung auf opake Außenbauteile ist Teil dieser Randbedingungen. Beide sind abhängig vom Material der Oberfläche. Für die langwellige Strahlung ist ein Emissionsgrad festzulegen und für die kurzwellige ein Absorptionsgrad. Der Absorptionsgrad für Gründächer weicht von jenem für z.B. Folien- oder Kiesdächer ab (vgl. Nusser B., 2012).

Prinzipiell erlaubt es das Berechnungsverfahren, Absorptionsgrade selbst zu wählen. Es liegen jedoch neben einigen Beispielwerten in der Literatur keine validierten Kennwerte, die für die Berechnung eingesetzt werden können, vor. Hier bedarf es analog zu den Betrachtungen der ÖNORM B 8110-7 der Entwicklung eines standardisierten Prüfverfahrens um gebäudeintegrierte Begrünungen im Berechnungsverfahren gezielt abbilden zu können.

ÖNORM EN 15026:2007 06 01 (Wärme- und feuchtechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation)

Die Norm legt Verfahren zur Berechnung der Wärme- und Feuchteübertragung in Bauteilen fest, die im Gegensatz zu den Berechnungen im Energieausweis instationären klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind. Zirkelbach D. und Schafaczek B. (2013) haben in einem Forschungsprojekt auf Basis dieser hygrothermischen Simulationen Methoden entwickelt, um Dachbegrünungen, insbesondere auch auf Holzkonstruktionen, zuverlässig planen und berechnen zu können.

Hygrothermische Simulationen spielen also mitunter eine wichtige Rolle bei der Planung und Bewertung von begrünten Dächern. Aus diesem Grund wird diese Norm, auch wenn sie keinen Einfluss auf die Berechnung des österreichischen Energieausweises hat, hier angeführt.

ISO/CD 52016-3 (Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 3: Calculation procedures regarding adaptive building envelope elements (under development))

Die ISO 52016-3 ist Teil des EPB-Normenpakets, dessen Ziel die internationale Harmonisierung der Methodik zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ist. Dieser Teil des Normenpakets beschäftigt sich mit der Berücksichtigung von adaptiven Elementen (z.B. transparente Wärmedämmungen) der Gebäudehülle. Die Norm ist derzeit in Bearbeitung und wurde noch nicht veröffentlicht. Gebäudeintegrierte Begrünungen stellen im Prinzip adaptive Elemente der Gebäudehülle dar. In dieser Norm werden begrünte Fassaden und Dächer jedoch noch nicht berücksichtigt (Stellungnahme August 2020). Um Begrünungen langfristig in die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zu integrieren, ist eine Aufnahme von begrünten Fassaden und Dächern in diesem Normenpaket anzustreben.

4. Schlussfolgerung & weiterer Handlungsbedarf

Um die Auswirkungen von Begrünung auf Gebäude und Umfeld in Berechnungen miteinbeziehen zu können, erfordert es weitere Schritte: Unterschiedliche Begrünungsformen (v.a. begrünte Fassaden) sind systematisch zu untersuchen. Komplex ist dieses Thema vor allem deshalb, weil verschiedene Begrünungsformen (und Pflanzenarten) sich in ihren Eigenschaften unterscheiden - beispielsweise weichen Kühl- oder Beschattungsleistungen voneinander ab. Unentbehrlich ist daher die Entwicklung standardisierter Prüfverfahren, um energieausweis-relevante Kennwerte von gebäudeintegrierten Begrünungssystemen zu erheben.

Als Basis soll hierfür die Studie herangezogen werden, die im Projekt „GREENnergieausweis“ (7. Ausschreibung Stadt der Zukunft) erstellt wurde. Überlegt werden könnte eine Dynamisierung der Energieausweisberechnung, um die Effekte von Begrünungsmaßnahmen (in verschiedenen Städten) besser abbilden zu können. Weiters könnten aktuelle Klimadaten und eine vereinfachte Abbildung des Mikroklimas in der Energieausweisberechnung (sowie im Sommertauglichkeitsnachweis) berücksichtigt werden. Bei einer Einbindung wäre zudem noch zwischen dem Einfluss auf den Kühl- und den Heizwärmeverbrauch (Sommer- bzw. Winterfall) zu unterscheiden. Ein Vorteil der Einbindung von Begrünung in den Energieausweis wäre, dass die tatsächlichen Auswirkungen dann endlich abgebildet und berechnet werden könnten.

Die Chancen, die sich durch Begrünung von Bauwerken ergeben, sind vielseitig: Besonders für die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung bzw. der saisonalen Verschattung und Kühlung des Umfelds können begrünte Fassaden und Dächer in versiegelten, dichtbebauten Gebieten die Aufenthaltsqualität steigern.

Auch einige Herausforderungen gilt es in den nächsten Jahren zu bewältigen. Dazu zählt u.a. die Einbindung dynamisch wachsender Elemente in statische Berechnungsverfahren, da die Pflanzen (bzw. das Substrat) im Jahresverlauf unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Forschungsbedarf besteht zudem bei der systematischen Erhebung von Messdaten unterschiedlicher Dach- und Fassadenbegrünungssysteme in verschiedenen Entwicklungsstadien.

5. Literatur und Links

ÖNORM L 1131 (2010) Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken - Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung

ÖNORM L 1136 (2021) Vertikalbegrünung im Außenraum

ÖNORM B 8110-3 (2012) Wärmeschutz im Hochbau-Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung

ÖNORM B 8110-5 (2019) Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile

ÖNORM B 8110-6-1 (2019) Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmeverbrauch und Kühlbedarf

ÖNORM B 8110-7 (2013) Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte)

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

ÖNORM EN 15026 (2007) Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation

ISO/CD 52016-3 (Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 3: Calculation procedures regarding adaptive building envelope elements (under development))

Enzi V. et al. (2021) GREEN MARKET REPORT - Bauwerksbegrünung in Österreich. GRÜNSTATTGRAU Forschungs- und Innovations- GmbH, Wien

Baumann T. et al. (2019): Photovoltaic systems with vertically mounted bifacial PV modules in combination with green roofs, Solar Energy, Volume 190

Kresser, C. et al. (2021): Integration von Begrünung in den österreichischen Energieausweis. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 10/2020, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Hrsg.)

Magistrat der Stadt Wien (2015): [Urban Heat Islands - Strategieplan Wien](#), MA 22 – Wiener Umweltschutzabteilung (Hrsg.)

Magistrat der Stadt Wien (2019): [Leitfaden Fassadenbegrünung](#), MA 22 – Wiener Umweltschutzabteilung, ÖkoKauf Wien (Hrsg.)

Magistrat der Stadt Wien (2021 – erscheint in Kürze): Leitfaden Dachbegrünung, MA 22 – Wiener Umweltschutzabteilung (Hrsg.)

Magistrat der Stadt Wien (2021): [Solarleitfaden](#), MA 20 – Energieplanung (Hrsg.)

Pfoser N. et al.(2013) Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht. Forschungsinitiative Zukunft Bau. Darmstadt, Deutschland.

Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, MA 39 (2018/2020): Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen (<https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=480> und <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?id=502>)

Tudiwer D. (2019): Einflüsse vertikaler Gebäudebegrünung auf Wärmeschutz, sommerliche Überwärmung und hygrothermische Behaglichkeit; Institut Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien

Wölfel, K. (2011): Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik. Versuchsanlage liefert den Beweis, In: ZinCo GmbH (Hrsg.): Pressebericht vom 24.03.2011; <http://www.pressebox.de/pressemitteilung/zincogmbh/Dachbegruebung-erhoeht-Ertraege-der-Photovoltaik/boxid/413805>

Beiblätter zu den Normen, Abschlussberichte von Projekten und allgemeine Informationen zu Bauwerksbegrünung finden sich im [GRÜNSTATTGRAU Downloadbereich](#). Best-Practice-Beispiele, Forschungsprojekte, Produkte und Experten werden in der [GRÜNSTATTGRAU Datenbank](#) dargestellt.

Folgende Literaturquellen, in denen die Effekte von Dach- und Fassadenbegrünungen auf Gebäude untersucht werden konnten, wurden für erste Überlegungen von GREEnergieausweis als Beispiele herangezogen:

Dach:
1) Zirkelbach D., Schafaczek, B., 2013 (Materialeigenschaften und effektive Übergangsparameter von Dachbegrünungen zur zuverlässigen hygrothermischen Simulation)
2) Minke G., Otto, F., Gross, R., 2009 (Wärmetechnischer Vergleich unterschiedlicher Aufbauten durch Messung der Bauteiltemperaturen und Transmissionswärmeverluste)
3) Scharf B., Zluwa I., 2017 (messtechnische Untersuchung der Wärmedämmeigenschaften von sieben unterschiedlichen Gründachsystemen)
Fassade:
1) Tudiwer D., 2019 (Erhöhung von äußerem Wärmeübergangswiderstand aufgrund der Begrünung sowie ΔU-Werte für Wärmebrücken aufgrund von Befestigungssystemen von Begrünungen)
2) Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A.L.A., Haas, E., Raiteri, R., 2011 (Einfluss der Windgeschwindigkeit auf Wärmewiderstand begrünter Fassaden)
3) Susorova I., Angulo, M., Bahrami, P., Stephens, B., 2013 (Untersuchung zum Einfluss der Begrünung auf den Wärmedurchlasswiderstand der Fassade)
4) Teichmann F., 2018 (Wärmebrückensimulation und Wärmestrommessung der ΔU-Werte von Fassadenbegrünungen)

