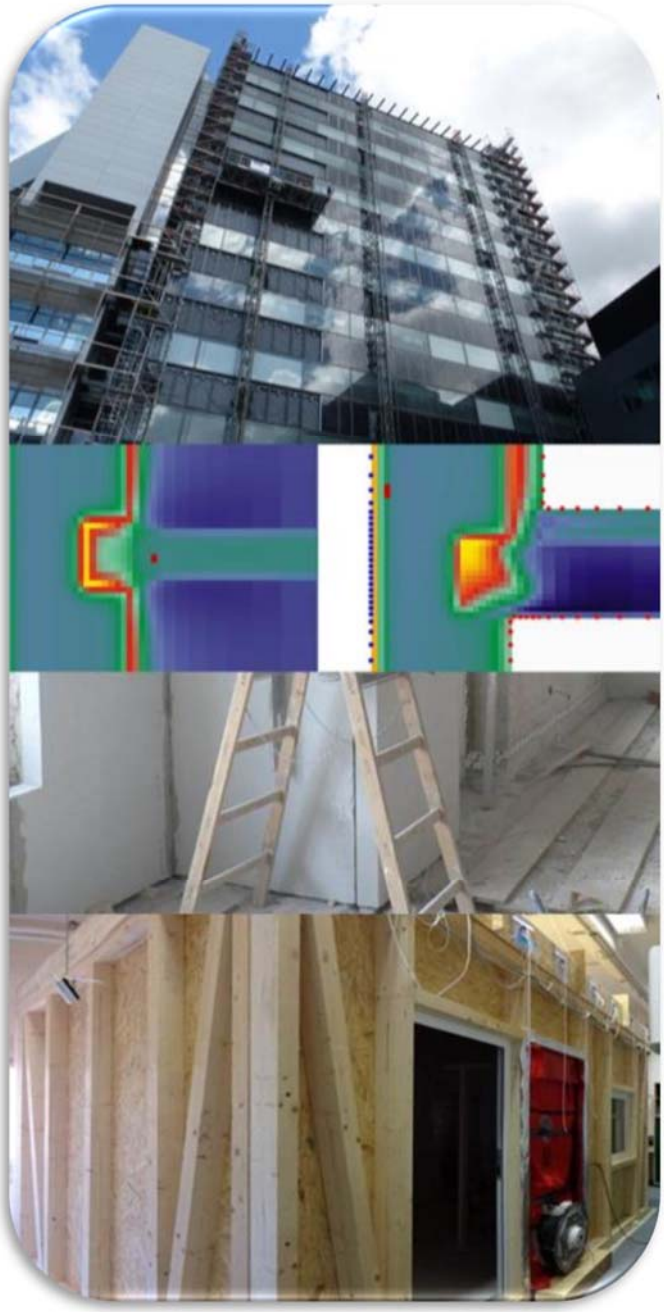
BauphysikerInnen-Treffen 2019



3. Oktober 2019

TUtheSky
Konferenzraum
Getreidemarkt 9
1060 Wien

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

BAUPHYSIK.AT

Programm

09:00 Eintreffen

09:15 **Begrüßungsrede: „Bauphysik im Wandel“**
DI Georg Pommer, MA 39, A-1110 Wien

09:30 **Wärmeschutz: U-Wert - insitu-Messung**
DI Paul Wegerer, Gassner & Partner Baumanagement GmbH, A-1050 Wien
DI Christoph Harreither, FH Oberösterreich, A-4600 Wels

Sonnenschutz: Das neue gtot-Modell vereinfacht die Planung
Johann Gerstmann, Repräsentant BV-Sonnenschutztechnik, A-2353 Guntramsdorf

11:00 Pause

11:30 **Sommerliche Überwärmung - Simulation als normgemäßer Nachweis**
DI Dr. Markus Gratzl-Michlmair, Ingenieurbüro Gratzl, A-4715 Taufkirchen

Sommerliche Überwärmung - Simulation für Bestandsgebäude
BM DI Hans Hafellner, TU Graz, A-8010 Graz

13:00 Mittagspause

14:00 **Schallbrücken - Teil 1**
DI(FH) Martin Schneider MSc, HFT Stuttgart, D-70174 Stuttgart

Schallbrücken - Teil 2
DI Christian Burkhart, Akustikbüro Schwarzenberg und Burkhart, D-82343 Pöcking

15:30 Pause

16:00 **Lärm im Schlafzimmer**
Univ. Prof Dr. Thomas Bednar, TU Wien, A-1040 Wien

Begrünte Fassaden - Aktuelle bauphysikalische Entwicklungen
DI Dieter Werner MSc, MA 39, A-1110 Wien
DI Dr Viktoria Gräf, MA 39, A-1110 Wien
DI Roman Mottinger, MA 39, A-1110 Wien

17:30 Abschluss

18:30 Hocketse

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

TU WIEN TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

BAUPHYSIK.AT

CURRICULUM VITAE

Dipl.-Ing.
Paul WEGERER

Forschung und Entwicklung bei Gassner & Partner Baumanagement GmbH
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 Baumanagement GmbH 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

Dipl.-Ing.

Christoph Harreither

FH Oberösterreich
Fakultät für Technik und angewandte Naturwissenschaften
Stelzhamerstraße 23
4600 Wels
christoph.harreither@fh-wels.at

DCD – Design Construct Develop
Bauplanungsgesellschaft mbH
Riedmüllerstraße 6
3340 Waidhofen an der Ybbs

2010 bis 2015 Assistent an der Technischen Universität Wien am Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

Seit 2015 Bauphysiker bei DCD und Lektor für Bauphysik an der FH Oberösterreich im Bauingenieurwesen

Publikationen im Bereich Innenklima, Nutzerverhalten und probabilistische Bauteilberechnungen

Wärmeschutz: U-Wert – In-Situ-Messung

Dipl.-Ing. Paul Wegerer, Gassner & Partner Baumanagement GmbH, 1050 Wien
Dipl.-Ing. Christoph Harreither, FH Oberösterreich, 4600 Wels

1. Einleitung

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist die zentrale Größe zur Angabe der Transmissionswärmeverluste von Baukonstruktionen. Der stationäre U-Wert wird anhand des Bemessungswerts der Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes berechnet. Diese Kenngröße wird in der Regel in Produktdatenblättern oder Normen und Regelwerken publiziert. In wenigen Ausnahmen werden zur U-Wert-Bestimmung Materialprüfungen vorgenommen, um die Wärmeleitfähigkeit des tatsächlich verbauten Produkts wiederzugeben.

Während bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste für Neubauten bzw. für neu zu errichtende Konstruktionen meist die Wärmeleitfähigkeit aus Produktdatenblättern bekannt ist, besteht bei Bestandskonstruktionen oft die Ungewissheit der tatsächlichen Materialeigenschaften. Vor allem bei der Erstellung von Bestandsenergieausweisen ist unklar, welche Wärmeleitfähigkeit für Mauerwerk, Betonkonstruktionen oder beispielsweise erdanliegende Bauteile angenommen werden soll. Sind diese Kenngrößen von Konstruktionen an bestimmte Anforderungen gebunden, ergibt sich vor allem in der Bestandssanierung eine deutliche Abweichung zwischen Berechnung und Realität.

Der folgende Tagungsbeitrag soll einerseits auf den Unterschied zwischen dem rechnerisch ermittelten und dem in der Realität auftretenden U-Wert eingehen und andererseits die Methodik der In-Situ U-Wert-Messung näher beleuchten. Dabei wird anhand von mehreren Beispielen auf die in der Praxis auftretenden Fehlerquellen und deren Auswirkungen auf das Ergebnis eingegangen.

2. Grundlagen

Unter dem effektiven U-Wert einer Konstruktion versteht man einen dynamischen, zeitabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten, der verschiedene instationäre Randbedingungen berücksichtigt. Neben der solaren Einstrahlung beeinflussen das Wärmespeichervermögen der Wand, die Temperaturleitfähigkeit sowie die feuchte- und temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit den zeitlichen Verlauf des effektiven U-Werts. Mittels Wärmestrommessfolien kann die Wärmestromdichte durch eine Bestandskonstruktionen in-situ und zerstörungsfrei bestimmt werden. Daraus lässt sich der Wärmedurchlasswiderstand der Bauteilschichten und in weiterer Folge unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände der dynamische U-Wert der gesamten Konstruktion berechnen. Um einen annähernd konstanten und von Randbedingungen nur wenig beeinflussten Messwert zu erhalten, müssen solare Einstrahlung, große Temperaturschwankungen an den Oberflächen sowie unregelmäßige Feuchteeinträge in die Konstruktion vermieden werden. Zusätzlich muss ein entsprechender Temperaturgradient in der Wand vorherrschen, um einen Wärmestrom messen zu können.

Im Gegensatz zu aktiven Methoden (Heizdrahtmethode, Nadelsonde etc.) wird mit Wärmestrommessfolien keine Energie in das Bauteil eingebracht [Wegerer et al. (2012)]. Das Bauteil wird lediglich durch den thermischen Widerstand der Wärmestrommessfolie selbst verändert. Dieser sollte möglichst gering sein, es sind also dünne Platten zu verwenden. Die detaillierten Anforderungen an die Messapparatur und den Messvorgang sind in der ISO 9869-1 (2014) angeführt.

Das Funktionsprinzip einer Wärmestrommessfolie basiert auf der Messung minimaler Temperaturunterschiede. In der Wärmestrommessfolie sind knapp unter beiden Oberflächen Thermoelemente angeordnet. Aufgrund dieser gemessenen Temperaturdifferenz zwischen den beiden Oberflächen der Wärmestrommessfolie wird auf den Wärmestrom geschlossen. Bei richtiger Montage ist das derselbe Wärmestrom, der auch durch die Bauteiloberfläche fließt. Da in jeder Wärmestrommessfolie die Thermoelemente geringfügig anders angeordnet sind, wird jede Platte nach der Fertigstellung mit einem eigenem Kalibrierfaktor beaufschlagt. [Phymeas 2019]

Die Wärmestrommessfolie wird raumseitig und vollflächig auf das Bauteil geklebt. Um einen Luftspalt zu vermeiden, kann Wärmeleitpaste verwendet werden. Die Stelle, an der die Messfolie aufgeklebt wird, soll repräsentativ für das zu untersuchende Bauteil sein. Die Oberfläche muss eben sein und es darf keine Wärmebrücke in der Nähe sein. Besonders bei Messungen an Mauerpfeilern muss auf mögliche geometrische Wärmebrückeneinflüsse geachtet werden. Direkte Sonneneinstrahlung auf die Wärmestrommessfolie ist zu vermeiden. In unmittelbarer Nähe zur Wärmestrommessfolie werden die Oberflächen- und die Lufttemperatur

gemessen. An der Außenseite des Bauteils werden ebenfalls beide Temperaturwerte erfasst, wobei der Sensor zur Messung der Lufttemperatur mit einem belüfteten Strahlungsschutzschirm ausgestattet sein muss. In seltenen Fällen ist auch die Anordnung eines Pyranometers zur Messung der solaren Einstrahlung erforderlich.

$$\frac{1}{U} = R_{si} + R + R_{se} = R_{si} + \frac{T_{si} - T_{se}}{q} + R_{se}$$

$$\frac{1}{U} = R_T = \frac{T_i - T_e}{q}$$

R … Wärmedurchlasswiderstand in m²K/W

R_T … Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand in m²K/W

T_{si} … Oberflächentemperatur innen in °C oder K

T_i … Lufttemperatur innen in °C oder K

T_{se} … Oberflächentemperatur außen in °C oder K

T_e … Lufttemperatur außen in °C oder K

q … Wärmestromdichte in W/m²

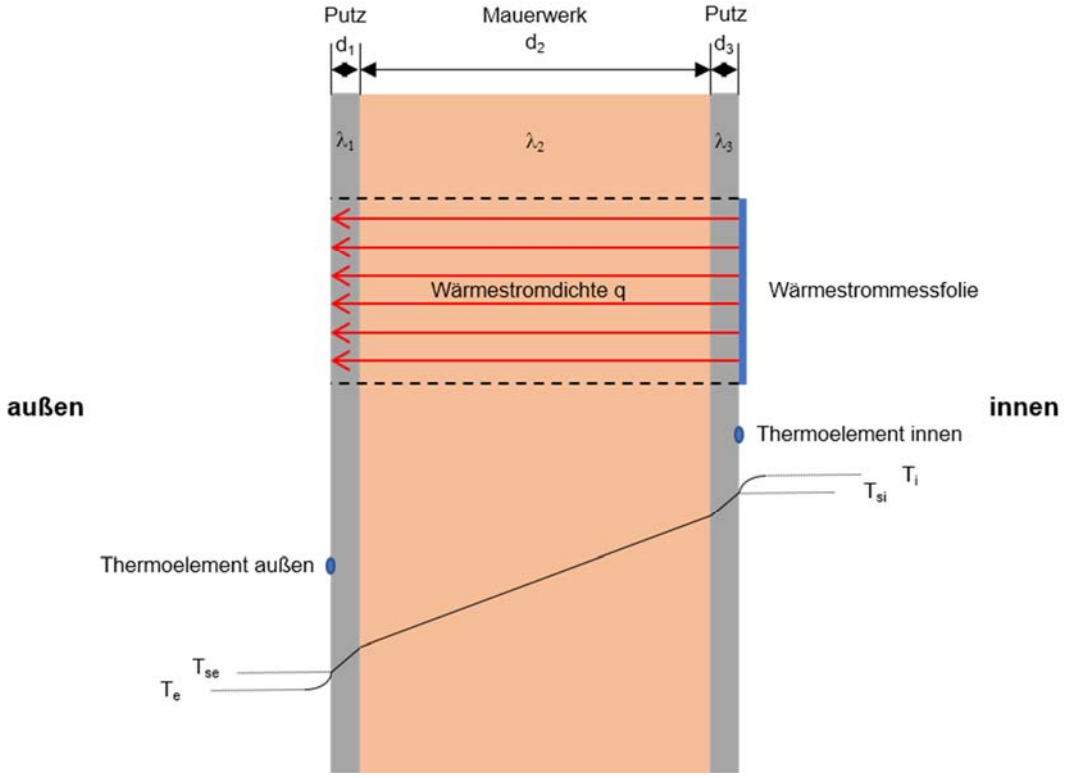


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer In-Situ U-Wert-Messung mit den mindestens erforderlichen Parametern

Gemäß EN ISO 6946 (2017) ist R_{tot} der Gesamtwärmedurchlasswiderstand (ehemals Wärmedurchgangswiderstand R_T) und $R_{c;op}$ der Wärmedurchlasswiderstand der Komponente (ehemals Wärmedurchlasswiderstand R) und R der Wärmedurchlasswiderstand einer Baustoffschichte.

Die Messdauer hängt von den Umgebungsbedingungen und der Wärmekapazität des Bauteils ab. Je größer die Schwankungen der Randbedingungen und je höher die spezifische Wärmekapazität des Bauteils sind, umso länger sollte die Messdauer sein. Die Zeitspanne reicht gemäß ISO 9869-1 (2014) von drei bis zu sieben Tagen, kann aber auch wesentlich länger sein. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen bzw. die Messdauer zu verkürzen, kann raumseitig der Wärmestrommessfolie und der Temperatursensoren eine Hilfswand montiert werden. Die Hilfswand gewährleistet konstantere Temperaturen an der inneren Wandoberfläche, beeinflusst das Ergebnis aber nicht, da sie eben innerhalb des gesamten Messaufbaues montiert wird.

Das Temperaturniveau sollte während der Messung möglichst konstant sein, um Speichereffekte sowie variable Materialeigenschaften wie die Änderung der Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur, etc. möglichst gering zu halten. Die ISO 9869-1 (2014) gibt Korrekturterme für Wärmespeicherung sowie notwendige Genauigkeiten für gültige Messungen an. Berichte über in-situ-Wärmedurchlasswiderstandsmessungen finden sich in Wenger & Wakili et al. (2012) sowie Atsonios et al. (2017). In Atsonios et al. (2017) werden speziell verschiedene Auswertemethoden beschrieben sowie deren Auswirkung auf das Ergebnis.

3. Praxisbeispiele von In-Situ U-Wertmessungen

3.1. Projekt „Wissgrillgasse 10“ (PW)

Beim Gebäude Wissgrillgasse 10 handelt es sich um ein typisches Wiener Gründerzeithaus, das aufgrund seines Alters und mangelnder Instandhaltungsmaßnahmen in einem sehr desolaten Zustand war. Vor allem die gegliederte Fassade war nicht zu sanieren, wodurch eine Nachbildung mit gedämmten Formteilen auf einer Vollwärmeschutzfassade ausgeführt wurde. Auch die Fassaden im Innenhof und an einer freistehenden Feuermauer wurden mittels Wärmedämmverbundsystem thermisch verbessert. Das Gebäude war ein Demonstrationsobjekt des Projekts Gründerzeit mit Zukunft.

Das Ziel der durchgeführten Messungen war die realen Transmissionswärmeverluste anhand des Wärmestroms durch die Außenwand aufzuzeigen. Da zum Zeitpunkt der Montage der Messanlage noch keine Dämmung an der Fassade aufgebracht war, konnte der Ist-Zustand des Bestandsobjektes erfasst werden. Während der Messphase wurde die Vollwärmeschutzfassade fertiggestellt und somit der Wärmestrom durch die Außenwand verringert. Es war daher ein direkter Vergleich von Bestandswand und thermisch saniertem Bauteil an einer Messstelle möglich.

Wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt, muss die Wärmestrommessung an einer geschützten Stelle an der Fassade durchgeführt werden, um solare Strahlung, Wind und einen Feuchteeintrag durch Schlagregen zu vermeiden. Aus diesem Grund wurde eine bereits bezogene, beheizte Wohnung (Top 6A) ausgewählt, die eine hofseitige Fassade aufweist. Die Lage der Versuchswand im Erdgeschoß und die hofseitige Orientierung verhinderten eine Beeinflussung der Oberflächentemperatur durch direkte Sonneneinstrahlung und durch Wind. Die folgenden Abbildungen zeigen die Messergebnisse vor und nach der Montage des Wärmedämmverbundsystems. Dabei ist erkennbar, dass zu Beginn der Messungen die Außenoberflächen- und die Außenlufttemperatur nahezu deckungsgleich sind. Nach dem Aufbringen der Dämmung lag der Oberflächensensor (rote Kurve) zwischen dem Bestandsputz und dem Wärmedämmverbundsystem.

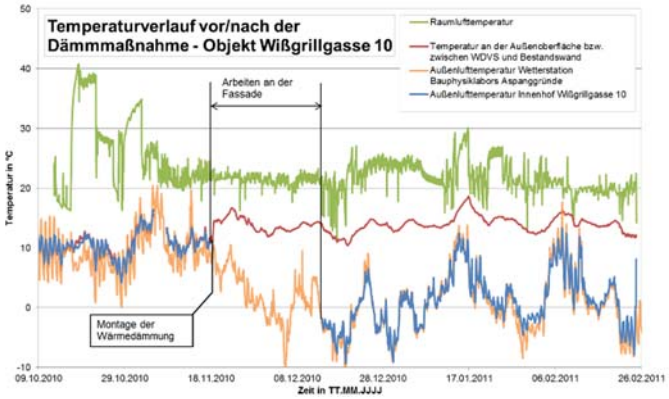


Abbildung 2: links: Temperaturverläufe vor und nach der Dämmmaßnahme an der Messstelle „Wandfläche“
rechts: Messapparatur mit zwei Messstellen (Wand und Parapet)

Betrachtet man die gemessene Wärmestromdichte über den gesamten Messzeitraum, so ist keine eindeutige Interpretation der Ergebnisse möglich. Erst durch die Berechnung des spezifischen Wärmestroms bzw. des Gesamtwärmedurchlasswiderstands ist der Zeitpunkt erkennbar, als die Wärmedämmung an der Fassade montiert wurde. Die Unterschiede zwischen Wandfläche und Parapetbereich sind aufgrund der unterschiedlichen Wanddicken ebenfalls deutlich erkennbar.

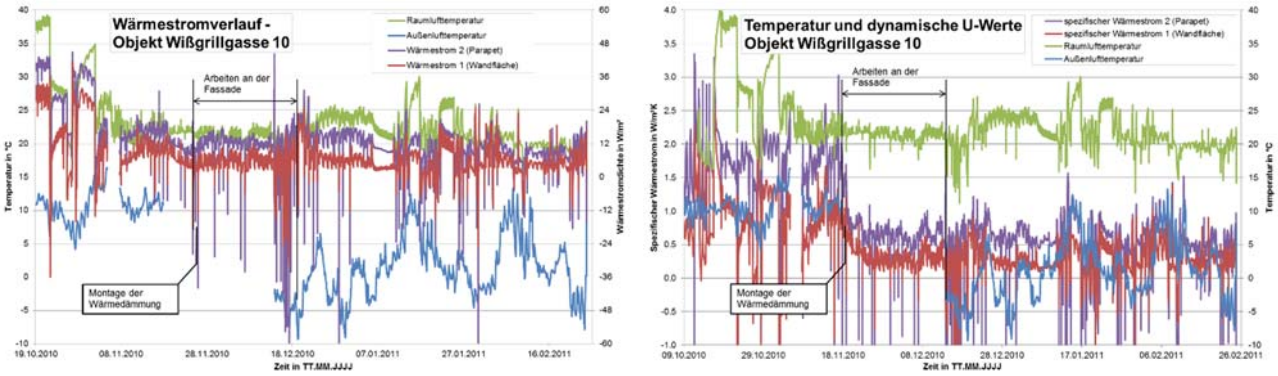


Abbildung 3: links: Lufttemperaturen und Wärmestromdichte vor und nach der Dämmmaßnahme ohne die Möglichkeit einer Bewertung des tatsächlichen U-Werts; rechts: Lufttemperaturen und spezifischer Wärmestrom vor und nach der Dämmmaßnahme und deutlich erkennbarer Verbesserung des thermischen Widerstands der Wand.

Die folgende Abbildung 4 links zeigt den spezifischen Wärmestrom in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz. Dabei ist eine Punktwolke erkennbar, die keine Bewertung des tatsächlichen U-Werts zulässt. Aufgrund der hohen Schwankungsbreite, die durch verschiedenste Randbedingungen hervorgerufen wird, führt bei der In-Situ-Bestimmung des U-Werts ausschließlich eine Mittelwertbildung über einen ausreichend langen Zeitraum zu repräsentativen Ergebnissen.

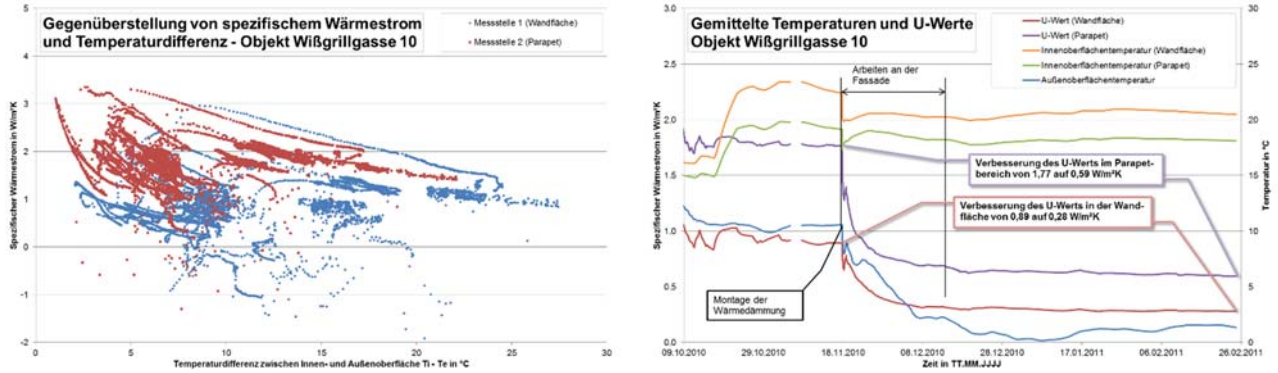


Abbildung 4: links: spezifischer Wärmestrom in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenoberfläche; rechts: gemittelte Oberflächentemperaturen und U-Werte in der Wandfläche und im Parapetbereich

Zum direkten Vergleich mit stationär berechneten U-Werten, wurden aus den vorliegenden Messergebnissen summierte Mittelwerte bestimmt. Wie in Abbildung 4 rechts zu sehen ist, werden die Werte umso konstanter, je länger die Messung andauert.

An der violetten und der roten Kurve in Abbildung 4 rechts ist die Verbesserung des U-Werts nach Applikation der Außendämmung eindeutig erkennbar. Die Verringerung der Transmissionswärmeverluste wirkt sich vor allem im Parapetbereich aus, der vor der Dämmmaßnahme einen U-Wert von 1,77 W/m²K aufwies, danach einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,59 W/m²K. In der Wandfläche, wo das Bestandsmauerwerk fast doppelt so dick ist wie im Parapetbereich, konnte eine Verbesserung des U-Werts von 0,89 auf 0,28 W/m²K erreicht werden.

3.2. Projekt „Kaiserstraße 7“ (PW)

Das Gebäude Kaiserstraße 7 wurde einer totalen Sanierung inklusive Dachgeschoßausbau, Zubauten und umfangreichen thermischen Optimierungsmaßnahmen unterzogen. Dieses Objekt war ein Demonstrationsgebäude des Projekts „Gründerzeit mit Zukunft“. Aufgrund der strukturierten und denkmalgeschützten Fassade wurde das Gebäude mit einer Innendämmung aus Mineralschaumplatten versehen. Gleichzeitig wurde ein umfangreiches Bauteil- und Gebäudemonitoring installiert. Die Innendämmung wurde in mehreren Wandquerschnitten und bei Deckenanschlüssen untersucht. Weiters wurde überprüft, ob der U-Wert der sanierten Außenwand den Angaben der zuvor erstellten Berechnung entspricht. Leider wurde keine

„Nullmessung“ der Originalkonstruktion durchgeführt, wodurch die Verbesserung des U-Werts infolge der Innendämmung bei diesem Projekt nur rückgerechnet bzw. abgeschätzt werden konnte.

Zur Bestimmung des tatsächlichen Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand wurde in der Wohnung Top 7 eine Wärmestrommessung durchgeführt. Dazu wurden eine Wärmestrommessfolie zur Messung der Wärmestromdichte q an die innere Wandoberfläche und Temperaturfühler zur Bestimmung des Temperaturgefälles an die innere und äußere Wandoberfläche geklebt. Die folgende Abbildung 5 zeigt die Innen- bzw. Außenoberfläche des Versuchsbauteils.

Abbildung 5: Wärmestrommessfolie an der inneren Wandoberfläche (oben)
Außenwandoberfläche (rechts)

Aufgrund der Orientierung der Außenwand nach Westen sind vor allem in den Nachmittags- und Abendstunden große Schwankungen der Oberflächentemperatur zu verzeichnen. Für die Auswertung des Wärmestroms können daher nur ausgewählte Zeitabschnitte herangezogen werden. Außerdem wird für die Berechnung des U-Werts ein mehrwöchiger Zeitraum betrachtet und ein summierter Mittelwert gebildet.

Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten wurden zwei Zeiträume mit geringer solarer Einstrahlung gewählt. Optimaler Weise sollte die Oberflächentemperatur annähernd der Lufttemperatur plus einem definierten Übergangswiderstand entsprechen. Die gewählten Auswertungszeiträume erstreckten sich über November/Dezember 2014 (6 Wochen) und Teile von Jänner und Februar 2015 (4 Wochen). Während dieser Zeit herrschte fast durchgehend nebeliges Wetter, wodurch weder eine störende solare Einstrahlung, noch starke Temperaturschwankungen an der Fassade auftraten. Kurzzeitige Temperaturspitzen wurden in der Auswertung bewusst weggelassen.

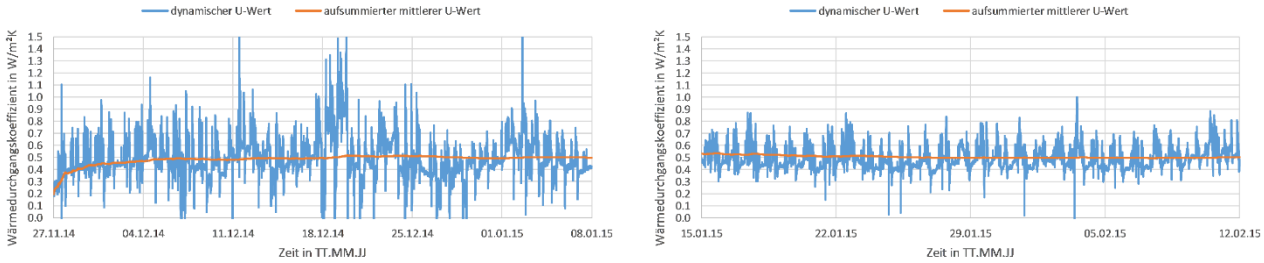


Abbildung 6: Berechneter dynamischer U-Wert und summierter mittlerer U-Wert einer Messstelle in zwei unterschiedlichen Auswertungszeiträumen

Die Ergebnisse in Abbildung 6 stammen beide von derselben Messstelle jedoch aus unterschiedlichen Auswertungszeiträumen. Es wird deutlich, dass trotz unterschiedlicher solarer Einstrahlung dasselbe Ergebnis erzielt werden kann, wenn die Mittelwertbildung über einen ausreichend langen Zeitraum geführt wird. Es muss dabei darauf geachtet werden, dass die Energiebilanz der gemessenen Wandkonstruktion ausgeglichen ist, das heißt, dass sich der Bauteil dauerhaft weder erwärmen noch abkühlen darf. Für den vorliegenden Fall ergab sich

für die innengedämmte Wand ein mittlerer dynamischer U-Wert von 0,499 W/m²K im ersten Messzeitraum und 0,502 W/m²K im zweiten Messzeitraum.

Um die Frage nach dem thermischen Verbesserungspotential mittels Innendämmung zu beantworten, musste auf den U-Wert der Originalkonstruktion rückgerechnet werden. Als Basis für diese Berechnungen wurden 5 cm Dämmdicke mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,045 W/mK und 52 cm Mauerwerk inklusive Verputz mit einer mittleren Wärmeleitfähigkeit von 0,76 W/mK angenommen (Masea Datenbank 2016). Wird von den Messdaten und dem langzeitgemittelten U-Wert der Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschichte abgezogen, ergibt sich ein Bestands-U-Wert von 1,12 W/m²K. Die direkte Berechnung des U-Wertes der Bestandskonstruktion unter Berücksichtigung der oben erwähnten Annahmen aus der Masea Datenbank lieferte einen U-Wert von 1,17 W/m²K. Daraus ergab sich eine gute Übereinstimmung von den Annahmen aus der Literatur und der durchgeführten Messung.

In der Wohnung Top 11 wurde eine doppelt so dicke Innendämmung wie in Top 7 mit 10 cm Dämmstärke installiert. Für diese Konstruktion lagen keine Wärmestrommessungen vor, doch konnte der U-Wert auf Basis der gewonnenen Daten aus Top 7 abgeschätzt werden. Unter der Annahme, dass die Bestandskonstruktion an der Südfassade von Top 11 denselben Aufbau hat wie jene an der Westfassade, konnte der U-Wert mit 10 cm Innendämmung berechnet werden. Es ergab sich ein U-Wert von 0,32 W/m²K. Dieser Wert erfüllt die Anforderung der OIB-Richtlinie 6 für Außenwände, die mit einem Grenzwert von 0,35 W/m²K angegeben ist.

3.3. Projekt „Mariahilfer Straße 182“ (PW)

Das Gebäude Mariahilfer Straße 182 wurde im Jahr 2014 durch eine Gasexplosion teilweise zerstört. Beim Wiederaufbau und der großzügigen Erweiterung und Sanierung des Bestands wurde unter anderem die gegliederte Fassade mit Aerogelputz nachgebildet. Zur Überprüfung der Performance des Dämmputzes wurden Wärmestrommessungen an mehreren Fassadenpositionen durchgeführt. Das Ziel der Messungen war einen Vorher-Nachher-Vergleich des Wärmedurchlasswiderstands der Außenwand bzw. eine Analyse des U-Wertes in zwei Bereichen der Fassade zur Denglergasse zu erstellen. Dazu wurden an insgesamt acht Messstellen der Wärmestrom und die Oberflächentemperaturen gemessen und der dynamische U-Wert berechnet. Es wurden immer zwei Querschnitte mit Wärmestrommessfolien pro Messposition erstellt, um mögliche Messfehler sowie Abweichungen infolge von inhomogenen Wandaufbauten zu erkennen und in der Auswertung berücksichtigen zu können.

Die Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten erfolgte in zwei Teilmessungen. In der ersten Teilmessung, die im Winter 2016/17 stattgefunden hat, wurde die bestehende Fassade untersucht. In der zweiten Teilmessung, die im Winter 2017/18 stattgefunden hat, wurde die sanierte Fassade untersucht. Die Messungen und deren Auswertung erfolgten in Anlehnung an ISO 9869-1:2014, wobei die Norm von mindestens 72 Stunden für das Erreichen von gemittelten stationären Zuständen ausgeht. Für die vorliegenden Auswertungen wurden deutlich längere Zeiträume von mehreren Wochen unter ausgewählten und selektierten Klimarandbedingungen herangezogen.

Ein Vergleich der Vorher/Nachher-Messungen brachte zwar qualitativ Verbesserungen des Wärmedurchgangs mit sich, doch wurden die zuvor berechneten statischen U-Werte der sanierten Konstruktion mit Aerogelputz zu keinem Messzeitpunkt erreicht. Daher wurden bei diesem Projekt eine Fehlerrechnung und eine intensive Ursachenforschung erstellt, wobei folgende Parameter von Relevanz waren.

Für die Messungen an der Bestandskonstruktion wurden zur Beheizung des Innenbereichs lokale Einhausungen der gewählten Mauerpfeiler hergestellt. Aufgrund der fehlenden Fenster war der Laibungsbereich dem Außenklima ausgesetzt. Die dadurch entstehende geometrische Wärmebrücke für diesen Messzustand ist in Abbildung 7 rechts dargestellt.

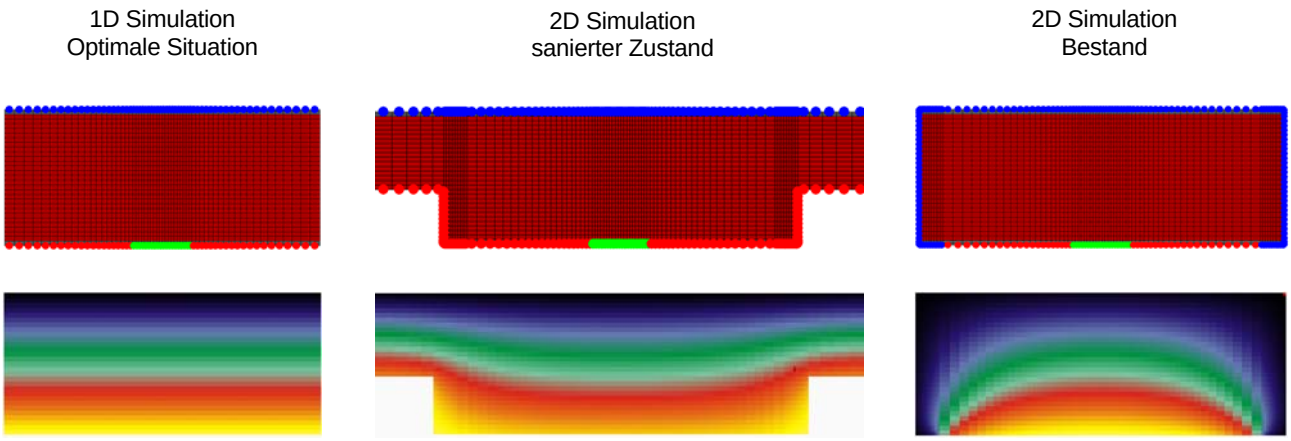


Abbildung 7: Modell (oben) und Temperaturfeld (unten) der geometrischen Wärmebrücke an den Mauerpfeilern; Wärmebrückensimulation mit HAM4D_VIE

Die Messungen im sanierten Zustand wurden nach Fertigstellung der Wohnungen durchgeführt. Dadurch liegen sowohl die Fensterlaibungen als auch das Parapet im warmen Bereich. Aufgrund der geringen Pfeilerbreite von 150 cm bei einer Wanddicke von ca. 60 cm bildet sich auch in diesem Zustand eine geometrische Wärmebrücke aus, die in Abbildung 7 in der Mitte dargestellt ist. Links ist der Wandaufbau mit eindimensionalem Wärmestrom abgebildet. Die grüne Randbedingung in den Bauteilmodellen bezeichnet die Wärmestrommessplatte im jeweiligen Versuchsaufbau. Durch den Vergleich der beiden Geometrien der Versuchskonstruktionen mit dem eindimensionalen Wandmodell kann abgeschätzt werden, mit welchen Abweichungen bei den durchgeführten Messungen im Vergleich zum eindimensionalen Wärmedurchgangskoeffizienten zu rechnen ist. Die thermischen Simulationen wurden mit HAM4D_VIE durchgeführt.

Die Untersuchungen der Wärmebrücken zeigen, dass der Wärmestrom der Vorher-Messung den eindimensionalen Zustand überschätzt, während die Ergebnisse der Nachher-Messung das eindimensionale Modell unterschätzen.

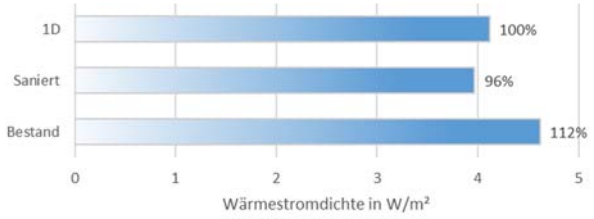


Abbildung 8: Einfluss der geometrischen Wärmebrücke auf die Wärmestromdichte im Messbereich; Verhältnis zwischen Vorher/Nachher-Messung und dem 1D Wärmestrom mittels Simulation

Im Weiteren wurden Messfehler der Sensorik – im Wesentlichen der Wärmestrommessplatten und der Temperatursensoren – nachträglich überprüft und in die Auswertung mit aufgenommen. Das Endergebnis mit Berücksichtigung sämtlicher Messtoleranzen und Messfehler entspricht dennoch nicht den erwarteten Resultaten.

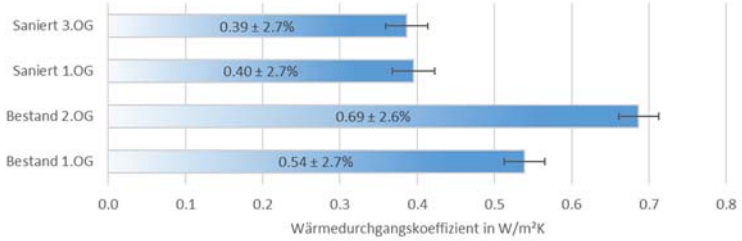


Abbildung 9: Wärmedurchgangskoeffizienten aller vier Messstellen mit Angabe des Messfehlers

Für die Ursache der Abweichungen der Messergebnisse wurden in der Ergebnisauswertung folgende Hypothesen aufgestellt:

- Die Putzdicke des Aerogelputzes hat einen massiven Einfluss auf den thermischen Widerstand des gesamten Wandaufbaus. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit zeigen geringfügige Dickenunterschiede eine große Auswirkung auf die Ergebnisse der U-Wertberechnung.

- Analog hat die Wärmeleitfähigkeit des Aerogelputzes einen großen Einfluss auf das Ergebnis.

Eine Parametervariation der Putzdicke und der Wärmeleitfähigkeit des Aerogelputzes zeigt die Auswirkungen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Wandkonstruktion. Die beiden Diagramme in Abbildung 10 zeigen die Zusammenhänge von Putzdicke und U-Wert sowie von Wärmeleitfähigkeit und U-Wert für verschiedene Konstruktionsdicken.

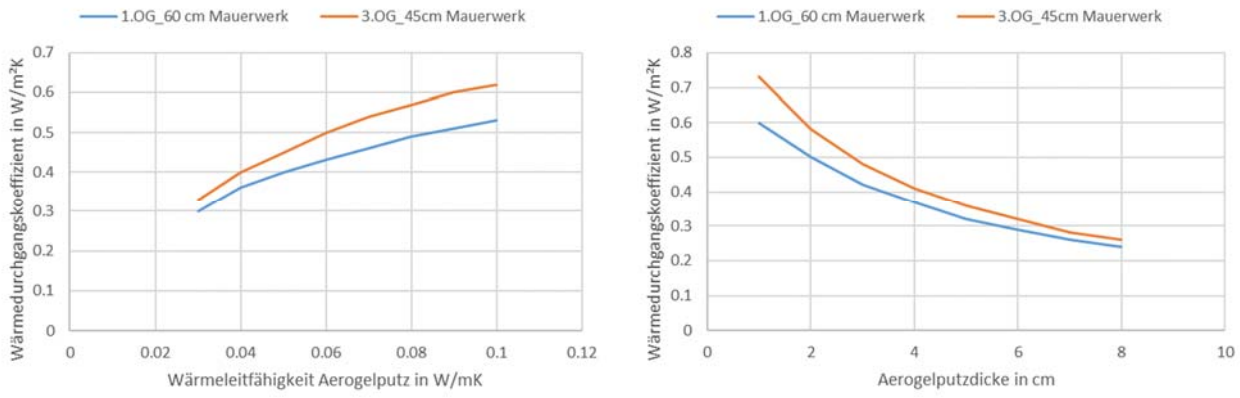


Abbildung 10: Parameterstudie des Wärmedurchgangskoeffizienten in Abhängigkeiten der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke des Aerogelputzes dargestellt für die Wandaufbauten im 1. OG und im 3. OG

Für die endgültige Klarheit der Ergebnisse wurde eine Putzdickenbestimmung und eine Messung der Wärmeleitfähigkeit an ausreichend vielen Messstellen vorgeschlagen.

3.4. Projekt „Wels“ (CH)

Anfang 2019 sollte in Wels der tatsächliche U-Wert einer Ziegel-Wand mit WDVS ermittelt werden. Es sollte auch der Einfluss der Orientierung (bzw. der solaren Einstrahlung) untersucht werden. Zuerst wurde der instationäre U-Wert berechnet und anschließend mittels in-situ-Messung überprüft.

Die schwarze Linie in Abbildung 11 ist der vorab errechnete summierte Mittelwert des U-Wertes an der Nordfassade unter Zuhilfenahme folgender Gleichungen, lokaler Klimadaten (Wetterstationsdaten) sowie unter Annahme von Materialdaten.

$$q_{se} = (T_{se} - T_{air}) \cdot h_c + \left(T_{se} - T_{sky}\right) \cdot h_r \cdot F_s - I_{sol} \cdot \alpha$$

q_{se} … Wärmestromdichte außen in W/m²

T_{se} … Oberflächentemperatur außen in °C oder K

T_{air} … Lufttemperatur außen in °C oder K

h_c …konvektiver Übergangswiderstand in m²K/W

T_{sky} … Oberflächentemperatur des Himmels in °C oder K

h_r … radiativer Übergangswiderstand in m²K/W (beinhaltet den Emissionsgrad)

F_s … Sichtfaktor (1 für Flachdächer, 0,5 für Wände, …)

I_{sol} … solare Einstrahlung (direkt und diffus) in W/m²

α … solarer Absorptionsgrad

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\sum q}{C}$$

d_T … Änderung der Temperatur in K

d_t … Zeit in s

∑q … Summe der Wärmestromdichten in W/m²

C … Wärmekapazität in Ws/(kg·K)

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

q … Wärmestromdichte in W/m²

T_1, T_2 … Temperatur der Schicht 1 bzw. Schicht 2 in °C oder K

R … Wärmedurchlasswiderstand der Baustoffschichten zwischen den Temperaturen T_1 und T_2 in m²K/W

Die Innentemperatur stammt aus eigener Messung, Außenlufttemperatur und Windgeschwindigkeit von Wetterstationen des Landes OOE und Solarstrahlung von der Wetterstation der FH OOE. Die Materialdaten (Wärmeleitfähigkeit, Dichte, Kapazität, Absorptionsgrad und Emissionsgrad der Oberflächen) stammen aus Datenblättern und Annahmen. Der so errechnete U-Wert nach sieben Tagen ergibt sich zu 0,150 W/(m²K).

Im Vergleich dazu ist der stationäre U-Wert gem. EN ISO 6946 (2017) U=0,154 W/(m²·K).

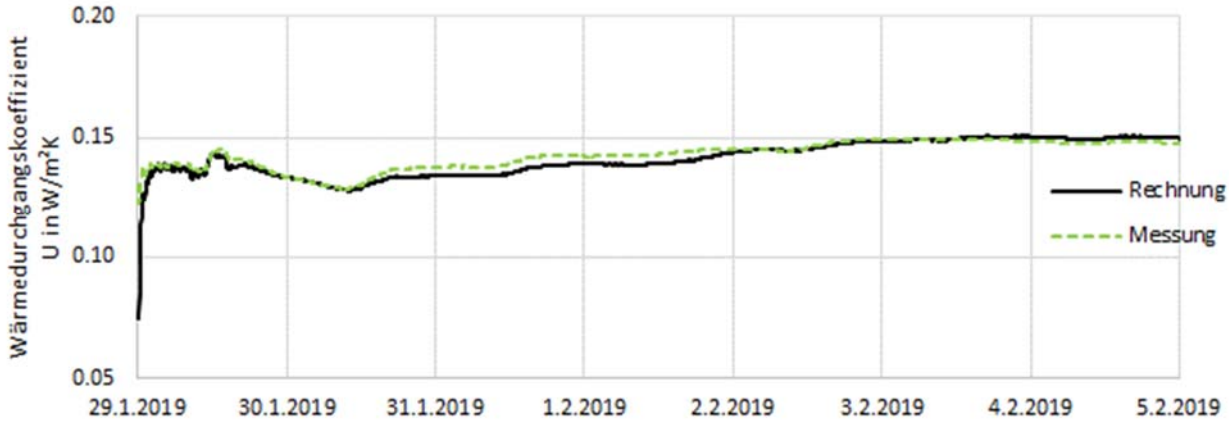


Abbildung 11: summierter Mittelwert des U-Wertes (immer vom Beginn der Messung bis zum jeweiligen Zeitpunkt): Rechnung und anschließende Messung (beides an der Nordseite des Gebäudes) zum Vergleich

Die Messung des Wärmedurchlasswiderstandes der ganzen Konstruktion mittels Wärmestrommessfolie sowie innerer und äußerer Oberflächentemperatur ergab 3,48 m²K/W. Mit R_{se}=0,04 m²K/W und R_{si}=0,13 m²K/W erhält man so U=0,148 W/(m²K) (grün strichlierte Linie in Abbildung 11).

Werden einige vorab gewählte Materialdaten oder nächtliche Abstrahlung (Bewölkungsgrad, Sichtfaktor des Himmels) variiert sind sehr genaue Reproduktionen der Messdaten möglich. Für eine noch genauere Berechnung wäre die Messung der auftreffenden Strahlung (Pyranometer auf der vertikalen Wandoberfläche) erforderlich.

Da die Südseite des Gebäudes während der Messung direkter Solarstrahlung ausgesetzt war, stiegen die äußeren Oberflächentemperaturen immer wieder über die Raumtemperatur. Mit Oberflächentemperaturen und Wärmestrom über die gesamte Messzeit sowie R_{si}=0,13 m²K/W und R_{se}=0,04 m²K/W erhält man U=0,887 W/(m²K). Weil die innere und die äußere Oberflächentemperatur manchmal sehr nahe beisammen liegen, errechnen sich für manche Zeitschritte extrem hohe oder niedrige U-Werte, wodurch der Mittelwert verfälscht wird. Werden jetzt beispielsweise alle Bereiche in denen die äußere Oberflächentemperatur höher als 10°C ist, nicht für die Mittelung herangezogen errechnet sich U=0,217 W/(m²K).

Die Spitzen der Wärmestromdichte von bis zu 18 W/m² im Vergleich zur Nordseide, wo max. 6 W/m² gemessen wurden, sind mit den vorhandenen Messdaten nicht eindeutig interpretierbar. Möglich ist eine Wärmebrücke, ebenso wie ein Messfehler. Auch eine Anpassung des Bauteils an die steigende Innenlufttemperatur sowie die steigenden inneren Oberflächentemperaturen ist eine mögliche Erklärung. Da der Raum ein großes Fenster nach Süden hat tritt viel Solarstrahlung in den Raum. Das führt zum Aufwärmen der besonnten Innenoberflächen und in weiterer Folge zum Aufwärmen der Lufttemperatur.

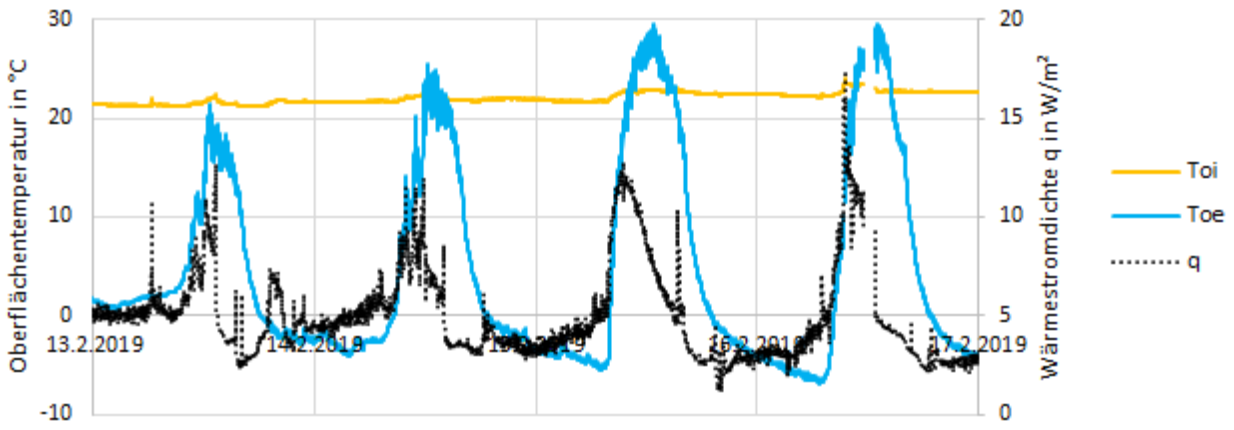


Abbildung 12: Messergebnisse an der Südwand.

Der Einfluss der Strahlung bzw. der Orientierung des Bauteils ist demnach weder messtechnisch noch rechnerisch klar zu ermitteln. Wird der U-Wert mittels Wärmestrom und Lufttemperaturdifferenz ermittelt, so verringert solare Einstrahlung den effektiven U-Wert, eine Südwand ist demnach günstiger als dieselbe Wand im Norden. Wird der U-Wert mittels Wärmestrom und Oberflächentemperaturdifferenz ermittelt, ist der richtige Umgang mit hohen äußeren Oberflächentemperaturen aufgrund solarer Einstrahlung wesentlich. Wird „einfach“ über die ganze Messdauer gemittelt, so kann der U-Wert mit steigender Strahlung sogar höher werden.

4. Schlussfolgerung

Ein Vergleich mehrerer Messstellen an derselben Wandkonstruktion zeigt, dass die Auswertung einzelner Messungen nicht verlässlich ist. Aufgrund von Inhomogenitäten in der Konstruktion oder geometrischen Wärmebrücken kann es sein, dass eine einzelne Messung nicht repräsentativ ist. Die rechnerische Reproduktion mittels stationärer U-Wert Berechnung einer Messung sollte im ungestörten Fall gut möglich sein. Auch eine nachträglich durchgeführte dynamische thermische Simulation kann oftmals ein Messergebnis verifizieren oder einen Hinweis auf einen Mess- oder Auswertungsfehler geben.

Zusammenfassend sollten bei einer In-Situ U-Wert Messung folgende Punkte beachtet werden:

- Eine ausreichend lange Mittelwertbildung ist unbedingt erforderlich. Die Angaben zur Messdauer gemäß ISO 9869-1 sind für die Praxis oftmals zu kurz angesetzt.

- Die Ergebnisse müssen jedenfalls auf Plausibilität überprüft werden. Dazu ist die Messung an mehreren Messstellen sinnvoll, um Inhomogenitäten und Messfehler zu minimieren. Alternativ kann eine dynamische thermische Simulation ebenfalls eine Plausibilitätskontrolle darstellen.

- Je konstanter die Umgebungsbedingungen sind, umso verlässlicher sind die Ergebnisse. Auch eine schwankende Innentemperatur hat Einfluss auf das Ergebnis, weshalb empfohlen wird, unbenützte Räume zur Messung zu verwenden oder die in der Einleitung beschriebene Hilfswandmethode. Große Solarstrahlung auf die Außenoberfläche sollte vermieden werden. Die Auswertung der Messdaten ist nur sinnvoll, wenn die äußere Oberflächentemperatur kleiner ist als die innere Oberflächentemperatur.

- Für die Auswertung ist eine Fehlerrechnung von großer Bedeutung, um einerseits die Messgenauigkeit und andererseits den Messfehler im Endergebnis berücksichtigen zu können. Ein gemittelter dynamischer U-Wert sollte immer mit einem Fehlerbalken angegeben werden.

Literatur

Atsonios et al. (2017): Ioannis Atsonios, Ioannis Mandilaras, Dimos Kontogeorgos & Maria Founti: A comparative assessment of the standardized methods for the in–situ measurement of the thermal resistance of building walls. Energy and Buildings 154 (2017) 198-206 (Elsevier)

ISO 9869-1 (2014) Thermal Insulation – Builading elemnts – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance –. Part 1: Heat flow meter method.

Wegerer, Deseyve & Bednar (2012): Paul Wegerer, Christoph Deseyve & Thomas Bednar: In-situ-Bestimmung thermische Eigenschaften von Baukonstruktionen. Bauphysik-Kalender 2012: Gebäudediagnostik. Herausgegeben von Nabil Fouad. Ernst & Sohn GmbH & Co. KG

Phymeas (2019): Funktionsweise einer Wärmestrommessfolie
http://www.phymeas.de/?page_id=27
letzter Zugriff 27.9.2019

Wenger & Wakili et al. (2012): Martin Wenger, Karim Ghazi Wakili, Bruno Binder & Christoph Tanner: Erneuerung Fichtenstrasse 14, Zürich. Sanierung der Fassade des denkmalgeschützten Mehrfamilienhauses aus dem Jahr 1877 mit verputzter Aerogel Hochleistungswärmedämmung einschliesslich Erfolgskontrolle. Schlussbericht 13. März 2012. Eidgenössisches Departement für_Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Bundesamt für Energie BFE

EN ISO 6946 (2017) Bauteile — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren (ISO 6946:2017). Europäische Norm

Gründerzeit mit Zukunft: Endbericht Wissgrillgasse
http://www.gruenderzeitplus.at/best-practice/wissgrillgasse/index.php
letzter Zugriff 22.9.2019

Gründerzeit mit Zukunft: Endbericht Kaiserstraße
http://www.gruenderzeitplus.at/best-practice/kaiserstrasse/index.php
letzter Zugriff 22.9.2019

MASEA Datenbank vom 3.10.2016, Wärmeleitfähigkeit für Kalkzementputz und Mauerwerk
http://www.masea-ensan.de/

Klimadaten der Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie, Zugriff vom 28.9.2016;
https://meteo.boku.ac.at/wetter/mon-archiv/2015/201504/201504.html

M. Krempl, W. Hüttler, I. Wall: Modernisierung eines Gründerzeitgebäudes unter Anwendung eines Aerogel-Dämmputzes, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 26/2019, BMVIT 2019

CURRICULUM VITAE

Hannes GERSTMNANN

Repräsentant des BV-Sonnenschutztechnik
GENIOLUX Ingenieurbüro für Mechatronik

www.bvst.at
www.geniolux.com
Mühlgasse 1, Obj. 9
A-2353 Guntramsdorf

j.gerstmann@bvst.at
gerstmnann@geniolux.com

Geboren 1956 in Gleistorf/Stmk., maturierte er am BRG Gleisdorf und anschließend an der HTL Graz Gösting (Fachrichtung Elektrotechnik). Als Ergänzung zur technischen Ausbildung absolvierte er an der Wirtschaftsuniversität Wien den Universitätslehrgang für Werbung und Verkauf.

Hauptstationen seiner beruflichen Laufbahn bis zum Einstieg in die Sonnenschutztechnik Anfang 1991 waren HILTI Befestigungstechnik und ATLAS COPCO Kompressoren. Von 2001 bis 2005 war er Geschäftsführer der GENIOLUX INTELLLIGENTE LICHTLENKSYSTEME GMBH, welche auf Initiative von Prof. Christian Bartenbach (BARTENBACH LICHTLABOR) gegründet wurde. 2007 gründete er gemeinsam mit einem Partner die Plattform SONNE-LICHT-SCHATTEN, die sich mit Chancen und Zukunftsfragen der Sonnenschutztechnik befasst. Seit 2010 betreibt Gerstmann sein eigenes Ingenieurbüro GENIOLUX mit dem Schwerpunkten Belichten und Beschatten. Der Tätigkeitsbereich umfasst projektbegleitende Planungen und die Entwicklung adaptiver Lösungen für effiziente Gebäudehüllen mit optimaler Tageslichtnutzung; zudem bringt er sein Know-how immer wieder in Forschungsprojekte ein.

Seit 2010 ist Gerstmann auch Repräsentant und Sprecher des Bundesverbandes Sonnenschutztechnik Österreich BVST. In dieser Funktion ist er Delegierter in der europäischen Dachorganisation EUROPEAN SOLAR SHAING ORGANIZATION (www.es-so.eu). Bei AUSTRIAN STANDARDS vertritt er den Verband in den Komitees für „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“, „Optik und Lichttechnik“ sowie „Fenster, Türen, Tore und Vorhangfassaden“.

Sonnenschutz – F_C -Wert versus g_{tot}

Eine vereinfachte Methode den Gesamtenergiedurchlass einer Verglasung mit Sonnenschutzvorrichtung produktneutral zu planen.
Eine Entwicklung im Zuge der Arbeit an der ÖNORM B8110-6-1

Hannes GERSTMANN, bvst.at, A-2353 Guntramsdorf

1. Einleitung

Die volle Wirkung der Verglasung im solaren Strahlungsbereich kann nur dort zur Geltung kommen, wo die Verglasung auch tatsächlich von der Sonneneinstrahlung beaufschlagt wird, in anderen Bereichen wird entweder die Verglasung vor allem durch langwelliges Infrarot aus der sekundären Wärmeabgabe der Behänge, den sich bildenden Warmluftpolster und in geringem Maße durch solares Streulicht beaufschlagt. Die Berechnung des Energiedurchlasses nach der Formel $g_{tot} = F_C \times g$ unterstellt jedoch, dass der g-Wert nach ÖN EN 410 ein inhärenter Wert ist. Auch die vereinfachte Methode zur Berechnung des g_{tot} gemäß ÖNORM EN ISO 52022-1, (zuvor ÖNORM EN 13363-1) geht von dieser Falschannahme aus. Stellt man die Berechnungsergebnisse der vereinfachten Methode dem detaillierten Berechnungsverfahren nach ÖNORM EN ISO 52022-3 (zuvor EN 13363-2) gegenüber, sind die Abweichungen überwiegend gravierend. Fakt ist, dass die vereinfachte Methode zur g_{tot} -Ermittlung nachweislich unkorrekte Ergebnisse liefert, die detaillierte Berechnungsmethode jedoch einen hohen Aufwand und erhebliche Kosten bei Planern und Erzeugern verursacht. Im Zuge der Arbeiten an der ÖNORM B8110-6-1, in der nun der Sonnenschutz verankert wurde, ist es gelungen ein Modell zu entwickelt, das eine sehr einfache und produktneutrale Ermittlung des g_{tot} ermöglicht.

Der zweite gravierende Punkt betrifft den Faktor F_C – er gilt gemeinhin als Abschattungswert einer Sonnenschutzvorrichtung, was er jedoch per Definition nicht ist. Wie bspw. aus ÖNORM B8110-3:2012 ersichtlich, ändert sich der F_C ein und derselben Sonnenschutzvorrichtung mit dem g-Wert der Verglasung! Für die Planung bedeutet das, dass für jedes spezifische Glas die Beschattung einen spezifischen F_C hat; mit anderen Worten – der F_C ist der Abschattungswert des Systems Glas + Beschattung, also im Fall einer Sonnenschutzverglasung geht auch die selektive Wirkung der Verglasung mit ein! Hersteller von Sonnenschutzprodukten veröffentlichen gemäß CE-Kennzeichnungspflicht für ihre Produkte F_C -Werte gemäß ÖNORM EN 14501, diese referenzieren jedoch auf ein Zwei-Scheiben Wärmeschutzglas (Verglasungstyp C: 4/16Ar/4, U_g=1,2 W/m^{2}K, g=0,59, Low-E ε=0,05). Dieser Abschattungswert darf jedoch nur dann für die Planung herangezogen werden, wenn eine gleichwertige Verglasung zum Einsatz kommt; in jedem anderen Fall sollte der F_C im Einzelfall berechnet oder aus entsprechenden Tabellen entnommen werden! Der F_C-Wert als Quotient des Gesamtenergiedurchlassgrades einer Verglasung mit und ohne Sonnenschutzvorrichtung ist kein produktspezifischer Kennwert. Er trägt eher zur Verwirrung bei, denn für Planer ist hinsichtlich einer Verglasung mit Beschattung nur der g_{tot} entscheidend!

Mein Dank gilt dem Labor für Bauphysik der TU-Graz, Herrn DI Ferk und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, für den fachlichen Austausch, die wissenschaftliche Betreuung und die Validierung des neuen vereinfachten g_{tot}-Modells! Mein Dank gilt auch AUSTRIAN STANDARDS und dem Vorsitzenden des Komitees 175, Herrn DI Dr. Christian Pöhn, dem es ein Anliegen war, die in die Tage gekommene Darstellung des Sonnenschutzes in der Normung dem Stand der Technik anzupassen!

2. Rückblick - Sonnenschutz in der Normung

2.1. Vor 2012

Geht man auf die Zeit vor 2012 zurück, so wurde die Wirkung des Sonnenschutzes über den Abminderungsfaktor „z“ definiert und galt für Verglasungen mit einem g-Wert von 0,75 was einer unbeschichteten Doppelverglasung (U-Wert von 2,7 W/m²K) entspricht. Leider finden sich diese Werte heute immer noch in Broschüren, Leitfäden, Fachartikeln und Kriterienkatalogen wieder!

ÖNORM B8110-3:1999, Tabelle 7 – Richtwerte für Abminderungsfaktor z von Abschattungsvorrichtungen in Kombination mit Doppelverglasung (g=0,75)

Zeile	Abschattungsvorrichtung	Abminderungsfaktor [1] z
1	keine Abschattungsvorrichtung	1,00
2	Außenjalousie, Fensterläden mit Jalousiefüllung (beweglich, unterlüftet, Belichtung ohne künstliche Beleuchtung möglich)	0,27
3	Zwischenjalousie	0,53
4	Innenjalousie (je nach Farbe und Material)	0,75
5	beschattungswirksame Vordächer, Balkone und horizontale Lamellenblenden	0,32
6	Markisen (seitlicher Lichteinfall möglich)	0,43
7	Rolläden, Fensterläden mit voller Füllung	0,32
8	helle Innenvorhänge [2], Reflexionsvorhänge [2] und Innenmarkisen	0,75
9	Bepflanzung [2]	0,50 bis 1,00 [3]

Wie diese Werte zustand kamen konnte nicht eruiert werden. Fragwürdig ist, wieso Vordächer (ohne Einschränkung der Orientierung) gleichwertig zu, oder sogar besser als äußere Abschlüsse eingestuft wurden!

2.2. Ab 2012

Mit der überarbeiteten ÖN 8110-3:2012 wurde der Abminderungsfaktor „z“ durch den F_C-Wert ersetzt und weiterhin als „Abminderungsfaktor Sonnenschutz“ beschrieben. Berechnet wurden die F_C nach der seinerzeit gültigen EN 13363-1 (vereinfachtes Berechnungsmodell). Dabei ändert sich – zumindest nach dieser Methode – für ein und dieselben Sonnenschutz die Abschattungswirkung je nach Farbe, Lichtdurchlass und Verglasung.

ÖNORM 8110-3:2012, Ausschnitt aus Tabelle E.2 - Richtwerte für Sonnenschutzvorrichtungen

Zeile	Lage	Lichtdurchlass	Farbe	$\tau_{e,B}$	$\rho_{e,B}$	F_c [a]	F_c [a]	F_c [a]
						$g = 0{,}70$	$g = 0{,}50$	$g = 0{,}25$
1	außen	wenig	weiß	0,05	0,70	0,08	0,10	0,16
2	außen	wenig	hell	0,05	0,50	0,11	0,13	0,22
3	außen	wenig	dunkel	0,05	0,30	0,13	0,17	0,29
4	außen	wenig	schwarz	0,05	0,10	0,15	0,20	0,36
5	außen	mittel	weiß	0,20	0,60	0,23	0,25	0,33
6	außen	mittel	hell	0,20	0,40	0,25	0,28	0,40
7	außen	mittel	dunkel	0,20	0,20	0,27	0,32	0,46
8	außen	mittel	schwarz	0,20	0,10	0,30	0,35	0,53
9	außen	stark	weiß	0,40	0,40	0,42	0,45	0,57
10	außen	stark	hell	0,40	0,30	0,44	0,48	0,63
11	außen	stark	dunkel	0,40	0,20	0,46	0,52	0,70

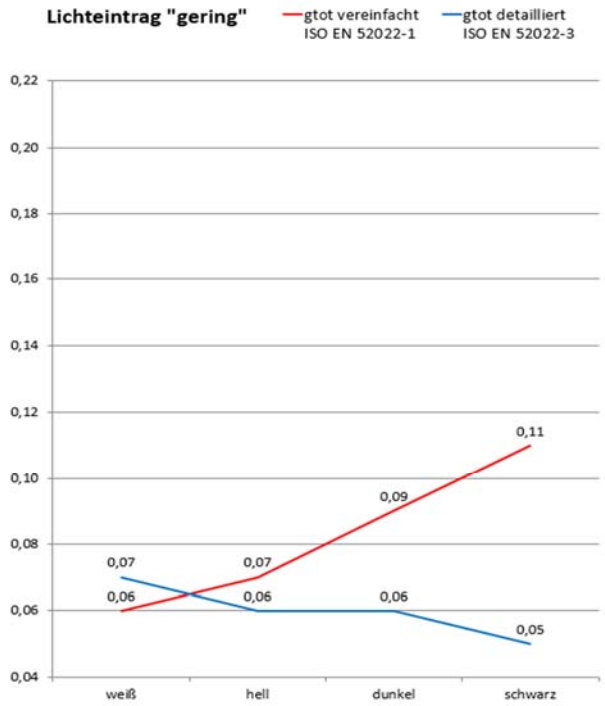
a F_C berechnet nach ÖNORM EN 13363-1 für U_g 1,1 W/m²K

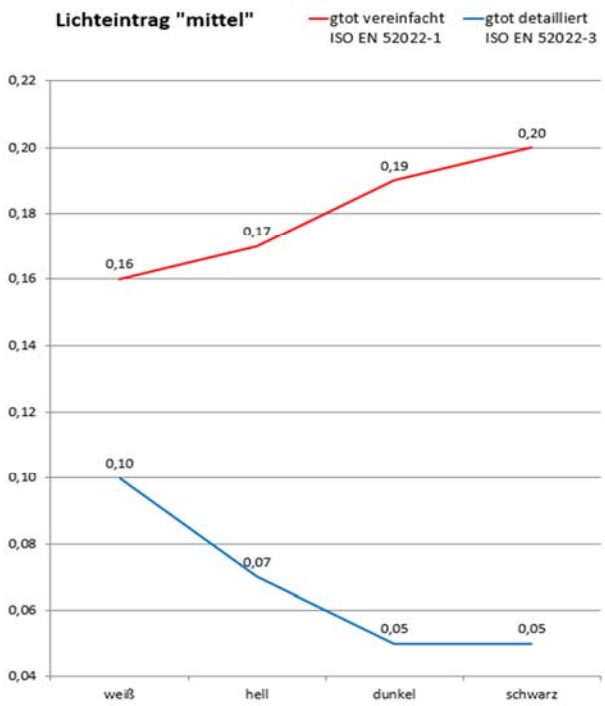
Diese Matrix ist jedoch nicht praktikabel, weil die klassifizierten Lichtdurchlässe als konstante Werte festgelegt sind, und nicht in Bezug zur Behangfarbe stehen; somit ist es möglich einem schwarzen Behang eine Lichttransmission von 40% zuzuschreiben! Tatsächlich bestimmen Behangfarbe und Transparenzgrad (bei Lamellen der Lamellenwinkel und bei Geweben bspw. der Lochanteil) den Lichteintrag determiniert wird.

Planer müssen aus der Normentabelle einen plausibel erscheinenden F_C-Wert – die Lichttransmission muss eigenverantwortliche abgeschätzt werden – wählen! Will man auf Nummer Sicher gehen, muss der g_{tot} jeweils im Einzelfall (Glasaufbau, Art der Beschattung, Behangfarbe, Lichtdurchlass usw.) mittels spezieller Softwaretools berechnet werden! Sonnenschutzfirmen können einen verbindlichen F_C-Wert nur garantieren, wenn alle Parameter bekannt sind! Ändert sich im Laufe der Planung ein Parameter, erlischt diese Garantie!

Die Nachrechnung der Tabelle E.2 (108 Varianten aus 36 Positionen mit je 3 Verglasungen) mit dem detaillierten strahlungsphysikalischen Modell nach ÖNORM EN ISO 52022-3 (bzw. mit der davor gültigen identen Norm EN 13363-2) ergibt, dass Ergebnisse nach dem vereinfachte Modell wenig Übereinstimmung mit dem detaillierten Berechnungsverfahren zeigen. Von den 108 zur Auswahl stehenden Tabellenwerte korrelieren weniger als 20% mit den detaillierten Ergebnissen.

Gegenüberstellung der g_{tot}-Werte für Wärmeschutzglas (U 1,1 W/m²K, g 0,64) in Kombination mit einem Raffstore mit geringem bzw. mittleren Lichteintrag gemäß ÖNORM EN ISO 52022-1 (ohne zusätzliche Einflüsse).





Die Analyse zeigt, dass die vereinfachte Methode stark abweichende Ergebnisse liefert!

Vier wesentliche Schwachpunkte der vereinfachten Methode wurden analysiert:

- Die Berücksichtigung der Wärmeschutzbeschichtung (Low-E) ist unzureichend, wodurch bei dunklen äußeren Behängen der Wärmeeintrag (Wärmeabgabe nach innen) überbewertet wird.
- Der Lichteintrag (diffuse Strahlung) wird nicht über die Behangfarbe und den Öffnungsgrad festgelegt. Bei hellen Behängen ist der Lichteintrag tendenziell etwas unterbewertet!
- Bei „Zwischenliegend“ wird nicht unterschieden, ob eine Low-E-Schicht vor oder hinter der Beschattung positioniert ist, was jedoch zur Folge hätte, dass das Wirkungsprinzip entweder eher einem außenliegenden oder einem innenliegenden Sonnenschutz entspricht.
- Bei Innenbeschattungen gibt es keine Abgrenzung wo Sonnenschutz aufhört und nur noch Sicht/Blendschutz gegeben ist. So wird auch dunklen Behängen noch eine gewisse Sonnenschutzwirkung zugestanden, und das sogar in Kombination mit starkem Sonnenschutzglas! Zudem empfiehlt die Norm, für diese Low-cost Produkte die Berechnung nach dem teuren und Aufwendigen detaillierten Verfahren durchzuführen!

3. Der Sonnenschutz in der ÖNRM B8110-6-1

3.1. Zielsetzung

Im Zuge der Überarbeitung des Normenpaketes B8110 wurden auf Grund der zuvor dargestellten Probleme beschlossen, den Teilbereich Sonnenschutz neu zu gestalten. Bisher war der Sonnenschutz uneinheitlich in ÖN B8110-3:2012 und ÖN B8110-6:2010 geregelt. Die Zielsetzung war, klare und produktneutrale Planungskriterien zu erarbeiten, um mehr Planungssicherheit zu erreichen. Basierend auf den bereits getätigten Vorarbeiten sollte ein neues, vereinfachte Modell entwickelt werden, das sowohl für Planer als auch die Sonnenschutzindustrie einfach anzuwenden ist und dessen Ergebnisse besser mit dem detaillierten Berechnungsverfahren korrelieren. Anhand einer praxisnahen g_{tot}-Tabelle soll, basierend auf physikalischen Eigenschaften der Materialien ein Raster vorgegeben werden, der sowohl quantifizierbare Anforderungen an die Verglasung als auch an die Beschattung definiert. Im Gegensatz zur bisherigen Gepflogenheit sollen Planer den g_{tot} in der frühen Planungsphase festlegen können, ohne die gestalterischen Optionen zu beschränken.

3.2. Hinterfragen des bisherigen Modells

Zu Beginn der Entwicklung haben wir uns grundlegende Fragen gestellt, wie beispielsweise:

F: Braucht es einen F_C, der in der Praxis fälschlich als Kennwert für die Beschattung verstanden wird?
A: Nein, denn der F_C beschreibt die Wirkung des Systems Glas mit Beschattung - dies tut der g_{tot} ebenfalls!

F: Ist der g-Wert einer Verglasung ein inhärenter Wert?
A: Nein, weil der g-Wert für direkte, senkrechte Einstrahlung gilt. Eine Verglasung im Schatten einer Sonnenschutzvorrichtung wird nur in geringem Maße durch solares Streulicht beaufschlagt. Sonnenschutzglas in Kombination mit einer Außenbeschattung ist praktisch nicht wirksamer als herkömmliches Wärmeschutzglas!

F: Ist es richtig den Abschattungsfaktor unabhängig von der Einbaulage zu berechnen ($F_C = g_{tot} / g$)?
A: Nein, denn wie zuvor geschrieben, verliert ein Sonnenschutzglas hinter einem äußeren Abschluss zum Großteil seine Wirkung und der g-Wert nach ÖN EN 410 ist somit irrelevant! Primär ist immer die der Sonne zugewandte Sonnenschutzmaßnahme maßgeblich.

Beispiel: Ein Anbieter gibt als F_C für eine innen aufgebrachte Sonnenschutzfolien mit 0,30 an; sagt aber nicht dazu; dass dieser Wert für 3mm Einscheibenglas gilt.
Unter Umständen wurde – um einen möglichst guten Sonnenschutz zu erreichen – die Folie mit einem Sonnenschutzgals (g 0,35) kombiniert, womit sich gemäß $g_{tot} = g \times F_C$ ein Abschattungswert von 0,11 ergibt! Für den Nachweis des KB vielleicht ausreichend, aber realitätsfern!*

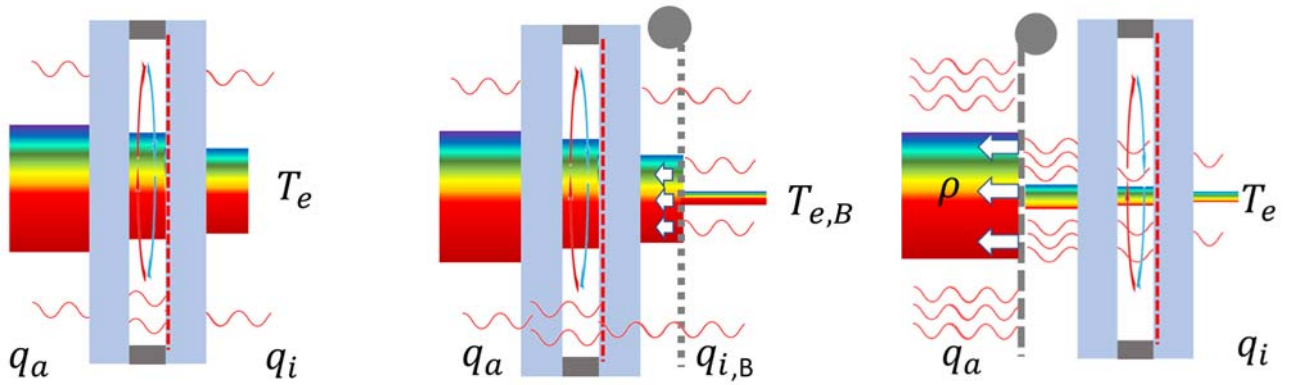
F: Wie ist das Wirkprinzip einer Außenbeschattung?
A. Bei Außenabschattungen kommt es auf die solare Transmission und die vom Behang auf das Glas einwirkende Wärme (und somit auf den U-Wert der Verglasung) an.

F: Wie ist das Wirkprinzip einer Innenbeschattung?
A: Im Gegensatz zur Außenbeschattung ist der Reflexionsgrad maßgeblich. Helle Innenbeschattungen erreichen vor allem in Kombination mit unbeschichteten Gläsern eine Wirkung! Mehrscheibengläser mit Beschichtungen reduzieren die Wirkung; eine Low-E Schicht verhindert die Wärmeabgabe nach außen und eine selektive Schicht (Sonnenschutzglas) lässt nur noch einen Teil des solaren Spektrums durch.

F: Wie ist das Wirkprinzip einer Beschattung zwischen zwei Glasscheiben?
A. Es kommt auf die Lage der Glasbeschichtungen an; befindet sich die Low-E-Schicht hinter dem Behang (also zur Raumseite hin), dann kommt das Wirkmodell für Außenbeschattungen zu tragen (jedoch mit höheren thermischen Lasten im Zwischenraum). Ist das Glas auf der Innenseite der Außenscheibe beschichtet (Low-E oder Kombischicht) dann gilt das Prinzip der Innenbeschattung?

F: Nachdem der F_C als Kennwert ausscheidet - lassen sich Sonnenschutzbehänge eindeutig charakterisieren?
A: Ja, und zwar über Reflexion und Transmission!

F: Gibt es eine einfache Formel, wie der g_{tot} ermittelt werden kann?
A: Ja, der g_{tot} setzt sich aus der durch Glas und Behang transmittierten solaren Energie T_e und der durch die solare Einwirkung hervorgerufene Wärmeabgabe in den Raum Q_i, zusammen. T_e wird dabei von der Art und Position des Behangs (Material, Farbe, Lamellenwinkel bzw. Lochanteil usw.) und dem g-Wert der Verglasung determiniert, der Q_i vom U-Wert der Verglasung sowie Farbe und Einbaulage des Behangs.



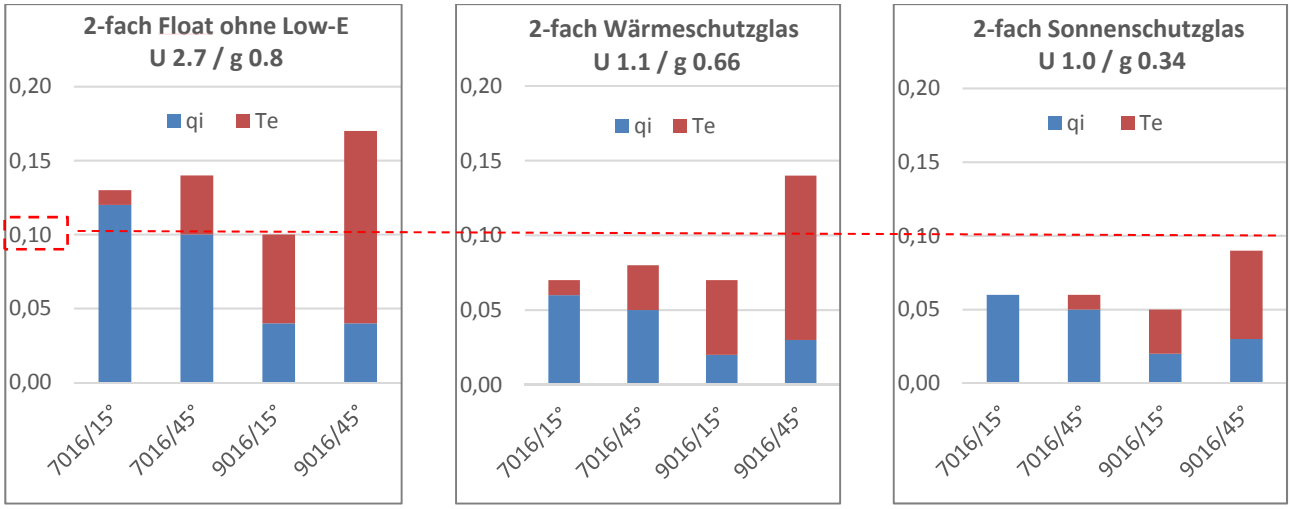
Wirkungsweise ohne Beschattung *Wirkungsweise Innenbeschattung* *Wirkungsweise Außenbeschattung*

3.3. Umsetzung in ÖNORM B8110-6-1

F_C-Wert wurden irrtümlicher Weise häufig als Abschattungswert des Sonnenschutzes betrachtet. Die Definition gemäß ÖN EN 4501:2006 lautet jedoch wie folgt: „Verhältnis zwischen dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung in Kombination mit der Sonnenschutzeinrichtung g_{tot} und der Verglasung ohne Sonnenschutzeinrichtung g“. Auch in der vor kurzem im CEN beschlossenen Novellierung der EN 14501 wurde auf den F_C verzichtet! Um es für die Industrie und die Planer zu vereinfachen wurde entschieden, nur noch den g_{tot} in der Norm anzugeben. F_C-Wertberechnungen sollten somit in Zukunft obsolet sein!

Basierend auf charakteristischen Produkteigenschaften von Abschlüssen und Verglasungen wurde eine Vielzahl von g_{tot}-Werten nach ÖN EN ISO 52022-3 berechnet, systematisiert und geclustert und daraus übersichtliche Norm-Tabellen entwickelt, die gegenüber dem bisherigen Stand wesentlich realitätsnäher und vor allem nachvollziehbar bzw. praktikabler sind.

Vergleich: g_{tot} je nach Art der Verglasung sowie Farbe und Lamellenstellung des Raffstores.



Analyse:
Wärmschutzbeschichtungen mindern den langwelligen Wärmeeintrag um ca. 50%! Die Reduktion des g-Wertes reduziert den Eintrag kurzwelliger Strahlung und wirkt sich unmittelbar auf den Lichteintrag aus! Es wird nicht empfohlen, g_{tot}-Werte < 0,1 zu verwenden, da die detaillierte Kennwertberechnung nach ÖNORM EN ISO 52022-3 keine seitlichen Lichteinträge, Stanzungen oder Nutzereingriffe berücksichtigt. Aus energietechnischer Sicht und aus Gründen des visuellen Komforts ist es nicht empfehlenswert, Behänge gänzlich zu schließen, da fehlendes Tagelicht durch Kunstlicht ersetzt werden muss!

3.4. g_{tot}-Werte für Außenbeschattungen

Für 80% aller Baueinreichungen sollte Tabelle 18 der Norm ausreichen genaue g_{tot}-Werte bereitstellen. Im begründeten Einzelfall ist es zulässig individuelle Werte nach ÖN EN ISO 52022 zu berechnen. Gemäß ÖNORM EN 14501 ist es notwendig, für jede Produktgattung drei g_{tot}-Wert für typische Behang-Varianten bzw. Positionen darzustellen. Vorteile für Planer – sofort verfügbare Kennwerte und Planungssicherheit, ohne das Glas und die Beschattung im Detail festlegen zu müssen!

Gesamtenergiedurchlassgrade g_{tot} für äußere Abschlüsse in Kombination mit Verglasungen	Wärmeschutzglas U ≤ 1,5 W/m²K				Isolierglas ohne Low-E U > 1,5 W/m²K			
	Sehr hell	Hell	Dunkel	Sehr dunkel	Sehr hell	Hell	Dunkel	Sehr dunkel
Lamellenbehänge fast geschlossen	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,10	0,14	0,14
Lamellenbehänge, Lamellenwinkel halboffen (45°)	0,10	0,10	0,09	0,07	0,13	0,13	0,15	0,15
Lamellenbehänge, Lamellen geöffnet (90°)	0,24	0,19	0,15	0,09	0,30	0,25	0,22	0,18
Fassadenmarkisen mit Alubeschichtung außen, Lochanteil ≤ 5%	0,10	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,14	0,14
Fassadenmarkisen unbeschichtet, Lochanteil ≤5%	0,17	0,13	0,11	0,10	0,20	0,16	0,14	0,17
Fassadenmarkisen mit u. ohne Alubeschichtung, Lochanteil < 15%	0,25	0,17	0,17	0,17	0,30	0,25	0,25	0,25
Fassadenmarkisen Acryl (dicht gewebt)	0,23	0,15	0,12	0,10	0,29	0,21	0,17	0,14
Rollladen dicht geschlossen	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08	0,12	0,12
Rollladen, Luft/Lichtschlitz offen	0,06	0,06	0,07	0,07	0,10	0,10	0,14	0,14
Rollladen, die unteren 25 % des Fensters ist nicht beschattet	0,20	0,20	0,22	0,22	0,25	0,26	0,27	0,30
Anwendungen von Lamellenwinkel halboffen (45°) und Lamellen geöffnet (90°) kommen nur für Fälle entsprechender Sonnenhöhen (d. h. Eigenverschattung der Lamellen) in Frage.								

Analog zur g_{tot}-Tabelle lassen sich die entsprechenden Werte für die Lichttransmission darstellen. (nicht in ÖNORM B8110-6-1 enthalten).

Richtwerte für die Lichttransmision (LT bzw. Tv) von 2-Scheiben Verglasungen (mit und ohne Low-E) in Kombination mit äußeren Abschlüssen	Sehr hell	Hell	Dunkel	Sehr dunkel	Anmerkungen
Lamellenbehänge fast geschlossen	0,06	0,04	0,01	0,01	Jede zusätzliche Glasscheibe und jede weitere Low-E Schicht reduziert den Lichteintrag in der 2. Nachkommastelle und wird hier nicht dargestellt.
Lamellenbehänge, Lamellenwinkel halboffen (bis zu 45°)	0,11	0,08	0,05	0,01	
Lamellenbehänge, Lamellen geöffnet (bis zu 90°)	0,29	0,18	0,12	0,03	
Fassadenmarkisen mit Alubeschichtung außen, Lochanteil ≤5%	0,08	0,07	0,06	0,05	
Fassadenmarkisen unbeschichtet, Lochanteil ≤5%	0,18	0,10	0,07	0,05	
Fassadenmarkisen mit u. ohne Alubeschichtug, Lochanteil < 15%	0,20	0,18	0,17	0,15	Bei Verglasungen mit Kombi-Beschichung (Sonnenschutzglas) verringert sich der Lichteintrag vereinfacht nach der Formel: $LT_{korr} = LT \times g / 0,65$
Fassadenmarkisen Acryl (dicht gewebt)	0,25	0,11	0,05	0,01	
Rollladen geschlossen	0,01	0,01	0,01	0,01	
Rollladen, Luft/Lichtschlitz offen	0,05	0,05	0,05	0,05	
Rollladen, die unteren 25% des Fensters sind nicht beschattet	0,30	0,30	0,30	0,30	

3.5. Tabellenwerte für Innenbeschattungen

Gesamtenergiedurchlasswerte g_{tot} für inneren Abschlüssen in Kombination mit Verglasungen	Verglasung ohne Sonnenschutzfunktion g ≤ 0,45	Verglasung mit Sonnenschutzfunktion g > 0,45
Textile Behänge der Klasse1 und Folien mit $T_v \leq 3\%$	0,30	0,25
Lamellen derKlasse 1, Textile Behänge der Klasse 2 und Folien mit T_v 6-18%	0,40	Blendschutz
Behänge mit reflektierender Beschichtung	0,45	Blendschutz
Lamellen der Klasse 2 und Textile Behänge der Klasse 3	Blendschutz	Blendschutz
Lamellen der Klasse 3 und 4 sowie Textile Behänge der Klasse 4	Blendschutz	Blendschutz

Die Klassifizierung der Sonnenschutzbehänge basiert auf verfügbaren Angaben der Erzeuger, entweder über Reflexionswerte oder Hellbezugswerte.

Klasse 1: sehr hell 65 % ≤ $R_{s,B}$ < 85%
Klasse 2: hell 40% ≤ $R_{s,B}$ < 65%
Klasse 3: dunkel 15% ≤ $R_{s,B}$ < 40%
Klasse 4: sehr dunkel $R_{s,B}$ < 15%

3.6. Beschattungen zwischen der Verglasung

Eine Berechnung des g_{tot} sollte entsprechend der zahlreichen Aufbauvarianten im Einzelfall berechnet werden. Anbieter von im Glaszwischenraum integrierten Sonnenschutz haben in der Regel Prüfberichte eines akkreditierten Labors. Auch Fassadenbauer kennen die g_{tot}-Werte ihrer Systeme.

3.7. Solaren Kollektorfläche - Aktivierungsgrad von Sonnenschutzvorrichtungen (Parameter $a_{m,S,c}$)

Die Problematik bestand bisher darin, dass Gebäude mit hohem Glasanteil und Nordausrichtung die Anforderung an den KB* (OIB RL6:2015) nicht oder nur sehr schwer erreichen. Idente Gebäude mit Südausrichtung erfüllen die KB*-Anforderung jedoch mit Leichtigkeit. Diese Bewertungsmethode war offensichtlich fehlerhalt! Der Parameter $a_{m,S,c}$ wurde von der DIN V 18599-2 übernommen (dort als „a“ bezeichnet). Leider enthält die Norm keine Hinweise, welche Rahmenbedingungen den Aktivierungsgraden zu Grunde liegen; dies lassen sich jedoch recherchieren. Demzufolge ist der Parameter $a_{m,S,c}$ ein Mix aus mehreren Annahmen, wovon einige als diskussionswürdigen erachtet wurden. Vor allem die Einflussfaktoren Klimadaten, Schwellwert für die Aktivierung und Betriebszeit führen dazu, dass der Parameter $a_{m,S,c}$ bei Nordorientierung gegen Null tendiert.

Für die ÖNORM B8110-6-1:2019 wurden eine sehr einfach anzuwendende Tabelle entwickelt. Mittels bewährter Energieausweis-Software wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt (OIB RL6 Ausgabe 2015 versus 2019). Die Neuregelung des Parameters $a_{m,S,c}$ führt zu deutlich plausiblere Ergebnisse für jede Fassadenorientierung.

Art der Steuerung / Bedienung	$a_{m,S,c}$
Automatische Steuerung (Strahlung oder Lichtstärke oder Zeit oder kombiniert) mit beschränktem manuellen Nutzereingriff sowie allfälligen Wettereinflüssen wie Windböen	0,80
Vorsorgliche manuelle Bedienung: Wenn sichergestellt ist, dass auch außerhalb der Anwesenheit von Personen der Sonnenschutz aktiv ist (z. B. präventive Aktivierung am Vortag).	0,50
Manuelle Bedienung: wenn der Sonnenschutz erst bei thermischem Diskomfort aktiviert wird	0,25

4. Schlussfolgerung

Mit der Überarbeitung der ÖNORM B8110-6-1 wurde das Thema Sonnenschutz einer kompletten Überarbeitung unterzogen und dem aktuellen Stand der Technik angepasst. Insbesondere wurde die Wirkung von Sonnenschutzmaßnahmen mit der modernen Glastechnologie in Einklang gebracht und die Bewertung der solaren Kollektorfläche in Bezug auf die Art der Bedienung neu geregelt.

Ziel war es, vor allem eine Vereinfachung für die Anwender der Norm zu erreichen und mehr Planungssicherheit zu schaffen! Außerdem wird in der nächsten Ausgabe der ÖNORM B8110-3 ein Beiblatt zum Sonnenschutz enthalten sein, der auf die Schnittstelle Planer – Fenster / Fassade – Elektro hinweist. Für einen funktionierenden Sonnenschutz ist eine gute Abstimmung aller Beteiligten (Planern, Erzeuger, Professionisten) von großer Wichtigkeit und nicht minder wichtig ist, dass Nutzerinnen und Nutzer hinsichtlich der Handhabung des Sonnenschutzes eingewiesen werden!

5. Literatur

OIB Richtlinie 6: Ausgabe 2015 und 2019

ÖNORM B8110-3:2012

ÖNORM B8110-5:2010

ÖNORM B8110-6-1:2019

ÖNORM EN 14501:2006

ÖNORM EN ISO 52022-1:2018 (bzw. ÖNORM EN 13363-1 zurückgezogen)

ÖNORM EN ISO 52022-3:2018 (bzw. ÖNORM EN 13363-2 zurückgezogen)

DIN V18599-2

CURRICULUM VITAE

DI Dr.

Markus GRATZL

Ingenieurbüro Gratzl
Green.Building.Simulation

energie.gratzl.co.at
Reischau 5
A-4715 Taufkirchen

energie@gratzl.co.at

Markus Gratzl wurde 1981 in Wels geboren. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen für Bauwesen in Graz und schloss sein Diplomstudium mit der Diplomarbeit „Ökobilanzierung von Wohnhausanlagen“ im Jahr 2008 ab. Daran anschließend wechselte er an die Maschinenbaufakultät und forschte in der Arbeitsgruppe für „Energieeffiziente Gebäude“. Er promovierte im Jahr 2011 mit seiner Dissertation zum Thema „Entwicklung und Adaption von Algorithmen zur Bewertung des Energiebedarfs von Lüftungsanlagen im Kontext des Energieausweises“. Die daraus entstandene intensive Einbindung in die Normungskomitees ON-K 175 (Wärmschutz von Gebäuden) und ON-K 235 (Wirtschaftlicher Energieeinsatz in Gebäuden) ist seither bestehen geblieben, er ist weiterhin als Experte in beiden Gremien tätig.

Im Jahr 2011 gründete er das Ingenieurbüro Gratzl, mit dem er sich unter der Bezeichnung Green.Building.Simulation vollständig auf das Themengebiet „Simulationsmethoden in der Bauphysik“ spezialisiert hat. Zum Aufgabenumfang zählen integrale Gebäude- und Anlagensimulationen, Tageslichtsimulation, Bauteilsimulation und Strömungssimulation mithilfe von CFD.

Neben seiner Tätigkeit im eigenen Ingenieurbüro ist er auch der Forschung weiterhin erhalten geblieben. Seit 2014 lehrt und forscht er an der Fachhochschule Salzburg als FH-Professor im Themengebiet Bauphysik und leitet den Fachbereich „Bauphysikalische Simulationsmethoden“.

Sommerliche Überwärmung

Simulation als normgemäßes Nachweisverfahren

DI Dr. Markus Gratzl, Ingenieurbüro Gratzl, A-4715 Taufkirchen
DI Markus Leeb, Studiengang Smart Building der Fachhochschule Salzburg, A-5431 Kuchl

1. Einleitung

„Hitze in Städten wird dramatisch steigen – Wien besonders betroffen“ (Der Standard, 11.07.2019[1]). Diese Schlagzeile ist nur eine von vielen, die uns vor allem im Frühherbst nach dem „heißesten Monat seit Beginn der Aufzeichnungen“ (Zeit Online, 05.08.2019[2]) mit erschreckender Häufigkeit begegnen. Eine um bis zu 7,6 °C höhere Maximaltemperatur in Wien in den nächsten 30 Jahren (Bastin et al., 2019) stellt eine erschreckende Prognose dar, die auch auf unsere aktuelle Bautätigkeit bereits Einfluss nehmen muss.

Dementsprechend wird in der Baugesetzgebung nicht nur der winterliche, sondern auch der sommerliche Wärmeschutz behandelt. Gemäß OIB-Richtlinie 6 aus dem Jahr 2019 sind als Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für Wohn- ebenso wie für Nichtwohngebäude zwei Verfahren möglich (OIB, 2019a):

- Einhaltung der Anforderungswerte des außeninduzierten Kühlbedarfs KB*
- Nachweis des Schutzes vor sommerlicher Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110-3

Das Nachweisverfahren durch die Vorgabe einer mindesterforderlichen speicherwirksamen Masse, wie es für Wohngebäude in der aktuell noch gültigen Ausgabe 2012 der ÖNORM B 8110-3 (2012) zulässig war, ist in der aktuell im Entwurfsstadium befindlichen Überarbeitung der Norm (2018) nicht mehr enthalten. Gemäß neuester OIB-Richtlinie 6 ist das Verfahren auch nicht mehr zulässig (OIB, 2019a)[3]. Wird dementsprechend ein Nachweis für Einzelräume geführt, weil der Gebäude- oder Nutzungseinheits-weise Nachweis des außeninduzierten Kühlbedarfs nicht möglich ist, ist auf das Simulationsverfahren zur „Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall“ – so der angepasste Titel der prÖNORM B 8110-3 (2018) – zurückzugreifen[4].

2. Vermeidung sommerlicher Überwärmung

Der Anwendungsbereich der prÖNORM B 8110-3 (2018) ist die Vermeidung sommerlicher Überwärmung in Räumen – unterschieden in Haupt- und Nebenräume – ohne mechanische Kühlung. Für Wohngebäude MUSS dieser Nachweis geführt werden, bei Nichtwohngebäuden KANN er geführt werden. Der Fokus des Nachweises liegt auf dem Einsatz passiver Kühlmaßnahmen wie Orientierung und Qualität der Fensterflächen, Sonnenschutz, Einsatz von speicherwirksamer Masse und Raumlüftung (insbesondere Nachtlüftung). Aufgrund der Formulierung ist abzuleiten, dass für Wohngebäude der Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung jedenfalls zu führen ist und dementsprechend der Einsatz mechanischer Kühlung nicht erforderlich sein darf. Für Nichtwohngebäude wird über die Begrenzung des außeninduzierten Kühlbedarfs sichergestellt, dass ausreichende passive Kühlmaßnahmen zum Einsatz gebracht werden. Kommt mechanische Kühlung zum Einsatz, so ist diese nach ÖNORM H 6040 (2012) mit einer Kühllastberechnung auszulegen.

2.1. Berechnungsverfahren

Die Berechnung der operativen Temperatur als zentrales Beurteilungselement erfolgt basierend auf der in ÖNORM EN ISO 52016-1 (2018) beschriebenen Methode des „stundenbezogenen Berechnungsverfahrens“[5], für das jedoch im vorliegenden Anwendungsfall geringere Simulationszeitschritte empfohlen werden. Dieses deckt insbesondere die Berechnung der Innentemperatur ab und basiert im Gegensatz zum „quasi-stationären“ Monatsbilanzverfahren auf einem dynamischen Berechnungsmodell, also einem Simulationsverfahren. Für

[1] https://www.derstandard.at/story/2000106190600/hitze-in-staedten-wird-dramatisch-steigen
[2] https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2019-08/hitze-sommer-temperatur-klimawandel-wetteraufzeichnung-copernicus-dienst
[3] Die Ausgabe 2019 der OIB-Richtlinien ist bislang noch in keinem Bundesland in kraft getreten (OIB, 2019b).
[4] Alle weiteren Beschreibungen in diesem Artikel beziehen sich auf den Normentwurf der ÖNORM B 8110-3 aus dem Jahr 2018.
[5] Die EN ISO 52016-1:2018 dient als Ersatz für die Vorläufernormen EN 15255:2007, EN 15265:2007, EN ISO 13790:2008, EN ISO 13791:2012 und EN ISO 13792:2012.

diesen Anwendungsfall kann die Berechnungszeitspanne auf eine kurze, repräsentative Zeitspanne – üblicherweise ein Tag mit ungünstigen klimatischen Randbedingungen – begrenzt werden.

2.2. Software

Zulässige Software für den Nachweis sind gemäß prÖNORM B 8110-3 (2018) Programme, welche:

a. „die Anforderungen der ÖNORM EN ISO 52016-1 erfüllt oder
b. mit den Validierungsbeispielen“ im eigenen Normenanhang validiert sind (ÖNORM B 8110-3:2018)

Diese Vorgabe erfüllen vermutlich zukünftig die in Österreich zum Einsatz kommenden Softwareprogramme zur Erstellung von Energieausweisen nach b. ebenso wie zumeist überregional zum Einsatz kommende Simulationssoftware (zB IDA ICE, Energy Plus, Designbuilder, TRNSYS, TAS, etc.) nach a.[6].

2.3. Randbedingungen

Ist das Berechnungsverfahrens festgelegt, kommt den Randbedingungen der Berechnung erhebliche Bedeutung zu. In prÖNORM B 8110-3 (2018) werden die notwendigen Randbedingungen definiert. Diese umfassen im Speziellen:

- Außenklima-Randbedingungen: Die Berechnung erfolgt für den 15. Juli[7] und bezieht sich auf einen durchschnittlichen Sommer. Im Anhang der Norm ist der Tagesgang der Außenlufttemperatur als stundenweise Abweichung vom Tagesmittelwert gemäß prÖNORM B 8110-5 (2018) festgelegt. Auch für Bestrahlungsstärken, atmosphärische Gegenstrahlung, sowie kurz- und langwelligen Strahlungsaustausch opaker Außenbauteile mit der Umgebung sind Randbedingungen definiert.
- Innere Lasten: Für ein breites Spektrum an Gebäuden von Wohngebäuden über Bürogebäude und Krankenhäuser bis hin zu Pensionen und Hotels werden Vorgaben für die stundenweise Wärmeleistung von Geräten und Personen definiert.
- Annahmen zur Lüftung von Haupt- und Nebenräumen: Auch für die Lüftung werden stundenweise Vorgaben zu personen- oder grundflächenbezogenen Luftwechselraten für unterschiedliche Gebäudekategorien getroffen.
- Annahmen zum Sonnenschutz: Der eingesetzte Sonnenschutz nimmt erheblichen Einfluss auf die sommerliche Überwärmung von Räumen und stellt daher einen Maßnahmenbereich dar, der sehr gut zur Optimierung eingesetzt werden kann. Dabei wird auf die (ebenfalls im Normentwurf aufliegende) prÖNORM B 8110-6-1 (2018) verwiesen, in der für unterschiedliche Sonnenschutzsysteme Gesamtenergiedurchlassgrade (g_{tot}) definiert sind.

Die Verwendung nichtnormativer Angaben (Nutzungsprofile, Volumenstrom) ist möglich, jedoch zu begründen.

Mechanische Lüftungsanlagen auch zur Nachtlüftung und vor allem erweiterte Möglichkeiten der natürlichen Lüftung und Nachtlüftung sind in im Normentwurf enthalten. So können nun auch Schachtlüftungssysteme und Fensterlüftung über gekippte und gänzlich offene Fenster berücksichtigt werden. Dabei ist allerdings sicherzustellen, dass die Vorgaben des Bauherrn hinsichtlich zu erfüllender Sicherheitserfordernisse eingehalten werden. Außerdem ist der Umgebungslärm und die daraus resultierende Wahrscheinlichkeit der Nachtlüftung zu überprüfen. Verschattung über feststehende Verschattungssysteme, Überstände und Horizontüberhöhung werden weiterhin gemäß prÖNORM B 8110-6-1 (2018) berücksichtigt.

3. Nachweis mittels Simulation

Im Vergleich zur vorherigen Ausgabe (2012) wird das Anwendungsspektrum der prÖNORM B 8110-3 (2018) deutlich erhöht. Dennoch bleiben Anwendungsfälle bestehen, die mit der normgemäßen Methode nicht oder nicht in zufriedenstellender Art und Weise modelliert werden können. In vielen Fällen ist dabei gar nicht ursächlich der normative Nachweis im Zuge der Einhaltung der Anforderungen aus der Baugesetzgebung betroffen, sondern die Möglichkeit einer Aussage über zu erwartende Temperaturen bei komplexeren Randbedingungen.

[6] Eine Überprüfung des aktuellen Stands der Validierung erfolgte an dieser Stelle für keine der angeführten Software.
[7] Im Anwendungsbereich der prÖNORM B 8110-3 (2018) ist definiert, dass auch die Beurteilung der Überwärmung in der Übergangszeit nach demselben Verfahren erfolgen kann, was insbesondere bei Räumen mit hohem Verglasungsanteil möglicherweise von größerer Bedeutung ist.

Dabei handelt es sich dann vorwiegend um den Einsatz als Planungsinstrument. Für diesen Einsatzzweck ist das normative Verfahren zwar jedenfalls geeignet, aber nicht vorrangig ausgelegt.

Derartige komplexere Randbedingungen können in vielfältigen Kombinationen vorhanden sein, nachfolgend werden einige Beispiele angeführt:

- zur Reduktion der installierten Kühlleistung und des resultierenden Kühlbedarfs werden Nachtlüftungskonzepte gleichzeitig mit aktiver Kühlung eingesetzt
- zum Einsatz gebrachte Sonnenschutz- und Verschattungssysteme lassen sich nicht zufriedenstellend mit den normativ vorgeschlagenen Systemen beschreiben
- die vorgesehene Gebäudenutzung deckt sich nicht mit den normativ vorgeschlagenen Default-Nutzungsprofilen bzw. ist stärker zu diversifizieren

Derartige Beispiele treten in der Planungspraxis regelmäßig auf. In diesen Fällen ist es jedenfalls sinnvoll, auf Simulationsprogramme zurückzugreifen, die ein höheres Maß an Eingriffsmöglichkeiten zur Abbildung der komplexen Situation mit Wechselwirkung aus Außenklima, Gebäudenutzung, bautechnische Komponenten und Haustechniksystem gewährleisten. Nachfolgend werden zwei Beispiele aus der Praxis erläutert.

3.1. Eingangshalle Franz-Josefs-Bahnhof „Quartier ALTHAN“

Im Rahmen des Projekts „Althan Quartier“, das die Modernisierung des gesamten Quartiers, das den Franz-Josefs-Bahnhof am Julius-Tandler-Platz umfasst, wird auch die Eingangshalle zum Bahnhof und die darüberliegenden Büro- und Dienstleistungsflächen vollkommen umgestaltet. Es soll eine offen gestaltete Fläche auf drei Geschoßen mit hoher Aufenthaltsqualität entstehen, in der ev. auch Freiflächen von Gastronomiebetrieben untergebracht sind und die bei Veranstaltungen von bis zu 300 Personen frequentiert werden kann.

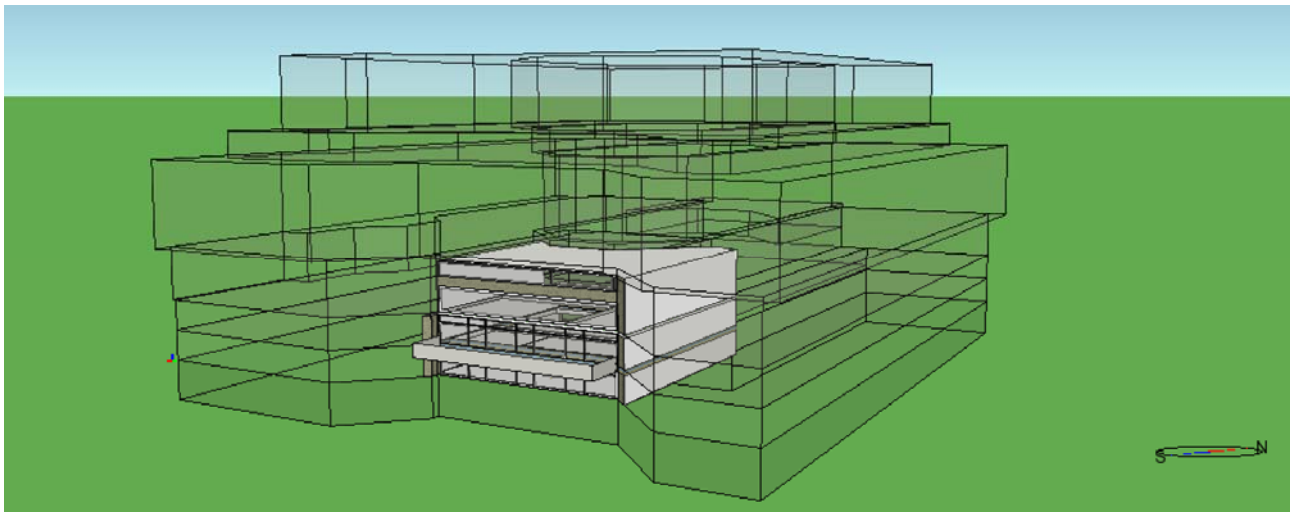


Abbildung 1: 3D-Darstellung des Simulationsmodells der Eingangshalle. Bildquelle. IDA ICE

Der vorgestellte Stand des Planungsprozesses befindet sich am Ende des Vorentwurfs, die Planung ist dementsprechend noch nicht vollständig abgeschlossen. Die vorliegende Beschreibung stellt das ursprüngliche Planungskonzept betreffend die sommerliche Überwärmung der Eingangshalle dar und erläutert die Herangehensweise zur Beurteilung der Kombination aus passiven, hybriden und aktiven Kühlmaßnahmen mit dem Ziel, hohen sommerlichen Komfort zu gewährleisten.

Zielsetzung des Bauherrn war es, unter Einsatz möglichst geringer Kühlleistung und unter Nutzung passiver Kühlmaßnahmen die operative Temperatur während sommerlicher Hitzeperioden so weit wie möglich zu reduzieren. Als passive Kühlmaßnahmen wurden Sonnenschutz und Verschattung der südorientierten Glasfassade, weitgehend freiliegende Stahlbetondecken als aktivierbare Speichermassen und Nachtlüftung mittels natürlicher Querlüftung vorgesehen. Als ergänzende hybride Maßnahme könnte das zur Verfügung stehend Grundwasser zur direkten Fußbodenkühlung und Bauteilaktivierung genutzt werden, aktive Kühlung ist

bis zu einem gewissen Grad über die raumlufttechnische Anlage möglich, die vorrangig den erforderlichen hygienischen Luftwechsel sicherstellen soll.

In der hier dargestellten Variante der Untersuchung wird dargestellt, welcher Benutzungskomfort sich einstellt, wenn folgende Maßnahmenkombination zum Einsatz kommt:

- Außenliegender Sonnenschutz in den oberen zwei Dritteln der Glasfassade
- Balkon über dem Erdgeschoß als bauliche Verschattung für den unteren Bereich
- Zuluftkühlung über adiabate Abluftkühlung, beschränkt auf hygienisch erforderlichen Luftwechsel
- Nachtlüftung über Lüftungsanlage und natürliche Querlüftung mit Zuluft im Erdgeschoß (Lüftungsklappen) und Abluft auf Höhe des 3. Obergeschoß in den Innenhof
- Reduktion des Wärmeeintrags über Beleuchtung auf 10 W/m² und tageslichtabhängige Regelung

Abbildung 2 zeigt, wie sich für diese Variante am Höhepunkt einer Hitzeperiode die operative Temperatur im kritischen zweiten Obergeschoß der Eingangshalle entwickelt. Dazu erfolgt eine grafische und tabellarische Zuordnung in die Komfortkategorien nach EN 15251 (2007) für nicht klimatisierte Räume, die in die Kategorien I (best), II (good), III (acceptable) und IV unterteilt. Als Bezugsgröße dient ein gleitender Durchschnitt der Außentemperatur der vorangegangenen Stunden. Lediglich Kategorie IV wird als nicht akzeptabler Komfort definiert. Die Aufstellung der Benutzungsstunden in den verschiedenen Komfortkategorien zeigt, dass der Komfort während des gesamten Simulationszeitraums (01.05.-31.08.) lediglich 62 Stunden in Kategorie IV liegt. Das sind 2,8 % der gesamten Benutzungsstunden. Auf dieser Grundlage kann der Bauherr entscheiden, ob das geplante Maßnahmenpaket seinen Qualitätsanforderungen entspricht.

Die Anforderung der prÖNORM B 8110-3 (2018), wonach die operative Temperatur von Nebenräumen, als welcher normgemäß auch ein Atrium zu betrachten ist, höchstens das Tagesmaximum erhöht um 2 K betragen darf, wird zu jedem Zeitpunkt deutlich erfüllt.

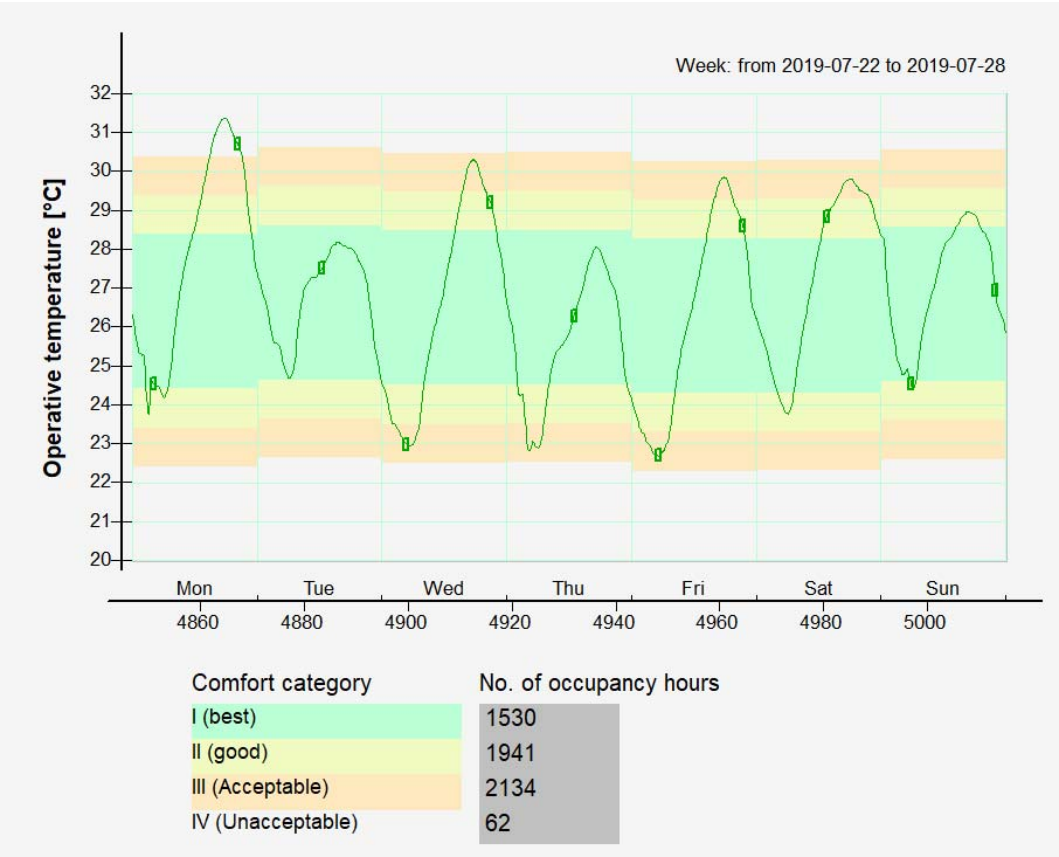


Abbildung 2: Verlauf der operativen Temperatur im (kritischen) zweiten Obergeschoß (OG2) am Höhepunkt einer zweiwöchigen Hitzeperiode mit Einteilung in die Komfortkategorien I, II, III, IV gemäß EN 15251. Bildquelle. IDA ICE

3.2. Studentenwohnheim

Bei einem neu zu errichtendem Studentenwohnheim im Salzburger Pongau sollte aus Einspargründen die außenliegende Verschattung entfallen. Trotz der hohen verfügbaren Speichermasse (freiliegende Stahlbetondecke, zwei Begrenzungswände Stahlbeton) ist im Nachweis sowohl gemäß vereinfachtem (normgemäß in diesem Fall ausreichend) als auch nach detailliertem Verfahren gemäß ÖNORM B 8110-3 (2012) mit nachts gekipptem Fenster keine ausreichende Sommertauglichkeit gegeben. Werden jedoch die Fenster als nachts vollständig und durchgehend geöffnet angenommen, so ist der Nachweis mit einer operativen Temperatur von maximal 25,8 °C erfüllt.

Sowohl vom Bauphysiker als auch von Seite des Architekten wurden jedoch Bedenken angemeldet, dass eine Überschreitung der akzeptablen Sommertemperaturen bei Entfall der außenliegenden Verschattung zu erwarten sei. Aus diesem Grund wurde eine thermische Simulation beauftragt, die eine nähere und detailliertere Untersuchung der Situation auch in Anbetracht der zukünftig erhöhten Außentemperaturen während einer längerfristigen Hitzeperiode gewährleisten sollte.

Im Simulationsmodell wurden im ersten Schritt die bautechnischen und haustechnischen Randbedingungen (Ausrichtung, Bauteile, Fenster, Abluftanlage mit Zuluftöffnungen) abgebildet. Entscheidende Bedeutung kam in weiterer Folge der hinterlegten Nutzung des Objekts zu: Das Objekt ist – beispielsweise während einer intensiven Lernphase – tagsüber und nachts durchgehend belegt, mittags und abends wird die vorhandene Teeküche für jeweils 30 Minuten genutzt. Die Beleuchtung wird bei ausreichend Tageslicht deaktiviert. Darüber hinaus wurde von sachgemäßer Benutzung ausgegangen, ungünstige Benutzungsszenarien (keine Nachtlüftung, Fenster tagsüber geöffnet) wurden nicht betrachtet.

Die Ergebnisse der Untersuchung, die in Abbildung 3 bestätigen weitgehend die Resultate der Betrachtung gemäß dem detaillierten Verfahren der ÖNORM B 8110-3 (2012). Im sommerlichen Standardfall beträgt die operative Temperatur bei effektiver Nachtlüftung rund 26 bis 27 °C, liegt also unterhalb des normativ festgelegten Grenzwerts von 27 °C und auch innerhalb der Komfortklasse I gem. EN 15251. Während einer mehrtägigen Hitzeperiode allerdings steigen die Extremwerte der operativen Temperatur vorübergehend auf fast 29 °C an, dann ist kurzfristig nur noch Komfortklasse III gewährleistet. Werden anstatt der eher konservativen Klimadaten ungünstigere, zukünftig aber sicherlich realistischere Eingangsdaten mit länger andauernden Hitzeperioden herangezogen, so erhöht sich die maximale operative Temperatur auf deutlich über 30 °C.

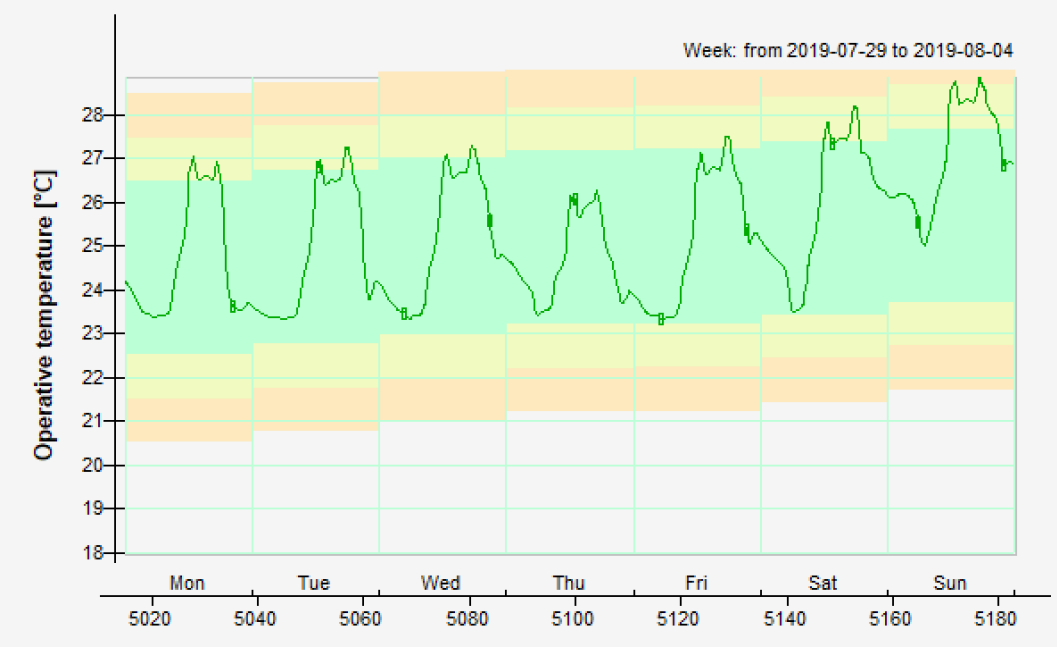


Abbildung 3: Verlauf der operativen Temperatur in einem südorientierten Zimmer des untersuchten Studentenwohnheims am Ende einer mehrtägigen Hitzeperiode mit Einteilung in die Komfortkategorien gemäß EN 15251. Bildquelle. IDA ICE

Fast kritischer sind jedoch die „üblichen“ täglichen Temperaturen im Sommerfall zu betrachten. Auch bei niedrigeren Außenlufttemperaturen mit Temperaturspitzen zwischen 20 und 25 °C liegt die operative Temperatur tagsüber bei durchgehend 26 bis 27 °C. Damit liegt sie zwar immer noch mindestens in Komfortklasse II nach

EN 15251, das „gefühlte Empfinden“ bei so hohen mittleren Temperaturen über einen derart langen Zeitraum ist jedoch sicherlich nicht sehr positiv. Diesbezüglich sollte auch berücksichtigt werden, dass bereits bei Temperaturen über 22 °C die Produktivität und Leistungsfähigkeit kontinuierlich um rund 7 % je Kelvin Temperaturanstieg abnimmt (Fitzner, 2004).

Werden hingegen wirksame Außenjalousien eingesetzt, können die üblichen Temperaturen im Sommerfall auf 24 bis 25 °C verringert werden, die Temperaturspitzen liegen bei nur knapp über 27 °C. Mit den realistischeren Klimadaten kann die maximal auftretende operative Temperatur knapp unter 29 °C gehalten werden.

4. Schlussfolgerung

Mit der Ausgabe 2012 der ÖNORM B 8110-3 wurde erstmals ein Simulationsverfahren zum Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung eingeführt. Mit der im Entwurfsstadium vorliegenden Überarbeitung der Norm wird der Anwendungsbereich des Verfahrens deutlich erweitert. Dennoch bleiben gewisse Anwendungsfälle, in denen der Einsatz anderer Simulationsverfahren erhebliche Vorteil mit sich bringen. Dazu zählen neben Objekten mit einer komplexen Mischung aus eingesetzten Sonnenschutz- und Haustechniksystemen, variablen Nutzungsprofilen, oder der zielgerichtete Einsatz von Nachtlüftungsstrategien. Der Artikel illustriert zwei Beispiele, in denen derartige Simulationsverfahren eingesetzt wurden, um die Nutzungsqualität der untersuchten Objekte in Bezug auf die Vermeidung sommerlicher Überwärmung zu verbessern.

5. Literatur

Bastin, J. F., Clark, E., Elliott, T., Hart, S., van den Hoogen, J., Hordijk, I., ... & Mo, L. (2019). Understanding climate change from a global analysis of city analogues. PloS one, 14(7), e0217592.

EN 15251:2007: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik

Fitzner, K. (2004). Hermann-Rietschel-Colloquium Teil 3-Einfluss des Raumklimas auf die Produktivitat. HLH-Heizung Luftung Klima Haustechnik, 55(9), 59-60.

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 - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf

ÖNORM EN ISO 52016-1:2018: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie der Heiz- und Kühllast in einem Gebäude oder einer Gebäudezone - Teil 1: Berechnungsverfahren (ISO 52016-1:2017)

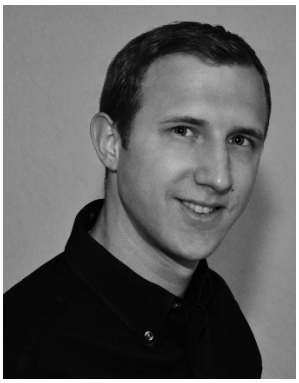
ÖNORM H 6040:2012: Berechnung der sensiblen und latenten Kühllast sowie der sommerlichen Temperaturgänge von Räumen und Gebäuden - (Nationale Ergänzungen zu ÖNORM EN 15255 und ÖNORM EN ISO 13791)

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB, Hrsg.) (2019a): OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz. OIB-330.6-026/19. Ausgabe: April 2019

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB, Hrsg.) (2019b): Inkrafttreten der OIB-RL. Inkrafttreten 2019. Online im Internet: URL: https://www.oib.or.at/de/inkrafttreten-2019 [Stand: 22.09.2019]

prÖNORM B 8110-3 2018: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Vermeidung sommerlicher Überwärmung)

CURRICULUM VITAE



BM Dipl.-Ing.

Hans HAFELLNER

Technische Universität Graz

Institut für Hochbau - IHB
Lessingstraße 25/III
8010 Graz

hafellner@tugraz.at

In Schladming 1987 geboren, Reifeprüfung an der HTBLA Zeltweg für Hoch- und Tiefbau und anschließend an der TU Graz Bauingenieurwesen studiert.

Während der Schul- und Studienzeit arbeitete er im Baubereich bei verschiedenen Baumeisterbetrieben und Architekturbüros.

In den Jahren 2013 bis 2015 war er in einem Architekturbüro als Projektleiter (Insdustrie-, Kommunal-, Gewerbe-, Wohnbau, Sanierungen...) und Bauphysiker angestellt. In dieser Zeit legte er die Befähigungsprüfung im Gewerbe Baumeister und 2017 zum Bauträger ab.

Ab 2015 angestellt als Universitätsassistent am Institut für Hochbau an der TU Graz und tätig im Bereich Lehre (Bauphysik, Hochbaukonstruktionen, Bauschadensanalyse, Diplomarbeitsbetreuer) und Forschung.

2017 Bestellung zum stellvertretenden Institutsleiter sowie Gründung des Planungsbüros bm3 GmbH.

Im Doktoratsstudium beschäftigt er sich mit dem instationären, hygrothermischen Verhalten von erdberührten und erdnahen Bauteilen.

Sommerliche Überwärmung in Bestandsgebäuden und deren Sanierung mit Innendämmung

Bojan Živković, BSc., Technische Universität Graz, Institut für Hochbau – IHB, Lessingstraße 25/III, 8010 Graz
Baumeister Dipl.-Ing. Hans Hafellner, Technische Universität Graz, Institut für Hochbau – IHB, Lessingstraße 25/III, 8010 Graz

In den letzten Jahren ist die thermische Gebäudesanierung von Bestandsgebäuden aufgrund wirtschaftlicher und ökologischer Umstände zu einem der Hauptthemen geworden. In Österreich befinden sich mehr als 600 000 Wohnungen in Gründerzeitgebäuden, die ungedämmt sind. [1] Die thermische Fassadensanierung der Gründerzeithäuser ist oft nur mit einer Innendämmung möglich. Die Anwendung der Innendämmung könnte negative Auswirkungen, aufgrund der Abnahme der speicherwirksamen Masse, auf die sommerliche Raumbehaglichkeit haben und die Untersuchung dieser möglichen negativen Auswirkungen ist eines der Ziele dieser Forschung. Der Einfluss der Innendämmung auf die sommerliche Überwärmung an Bestandsgebäuden wird mit Hilfe zweier Modelle und mit zwei unterschiedlichen Nutzungen (Wohn- und Büronutzung) untersucht. Als Sanierungsmaßnahmen werden sechs verschiedene Innendämmsysteme festgelegt. Der Nachweis zur Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung wird mit den beiden dafür vorgesehenen Berechnungsverfahren gemäß ÖNORM B 8110-3 [2] durchgeführt. Zusätzlich zu diesen Berechnungen laut Norm werden Gebäudesimulationen geführt, die durch vier verschiedene Lüftungsvarianten analysiert werden. Abschließend wird ein Vergleich zwischen den Simulationsergebnissen und den tatsächlich gemessenen Temperaturwerten, als auch eine Gegenüberstellung zwischen den Ergebnissen der Gebäudesimulation und der Berechnungen gemäß derzeit gültiger Norm durchgeführt.

1 Einleitung

Die thermische Gebäudesanierung an Bestandsgebäuden ist notwendig, um deren Energieeffizienz zu verbessern. Ein großer Teil der Energie wird bei ungedämmten oder unzureichend gedämmten Häusern über die Gebäudehülle verloren. Um ein Bestandsgebäude gesamtheitlich zu sanieren ist es notwendig, neben der Fenstersanierung bzw. eines Fenstertausches auch die opake Gebäudehülle thermisch zu sanieren. [3]

Diese Forschung beschäftigt sich mit der sommerlichen Überwärmung in Bestandsgebäuden und deren Sanierung mit verschiedenen Innendämmsystemen. Für die Untersuchung wurde ein Bestandsobjekt in der Mandellstraße 9 in Graz, das Teil eines Forschungsprojekts des Hochbauinstituts der TU Graz ist, ausgewählt. Im Zuge dieses Projekts wurden Innendämmmaßnahmen vorgenommen.

2 Konstruktionsmodelle und Innendämmsysteme

Das Bestandsgebäude wurde mit zwei unterschiedlichen Nutzungen, Wohn- und Büronutzung, betrachtet. Aufgrund der komplizierten Gebäudegeometrie (sehr unterschiedliche Dicken der Außen- und Innenwände) wurde für die Eingabe des Modells in die Simulationssoftware eine Vereinfachung der Grundrisse durchgeführt. Es entstanden zwei Modelle (Bild 1 und Bild 2):

- Modell 1 – original Bestandsgrundriss
- Modell 2 – vereinfachter Grundriss

Die Grundrisse des Modells 1 und des Modells 2 unterscheiden sich darin, dass bei dem Modell 2 mit dem vereinfachten Grundriss die Dicken der Innen- und Außenwände korrigiert wurden und die Raumaufteilung leicht geändert wurde. Die Größe sowie die Position der Fenster und Eingangs- und Innentüren sind bei den beiden Grundrissen der Modelle ident.

Es wurden das Erdgeschoss und das erste Obergeschoss betrachtet, wobei das Erdgeschoss 6 Räume und eine lichte Raumhöhe von 3,40 m hat und das erste Obergeschoss 8 Räume mit einer lichten Raumhöhe von 3,55 m. Im Modell 1 werden die Einheiten als „Raum“ und im Modell 2 als „Zone“ bezeichnet.

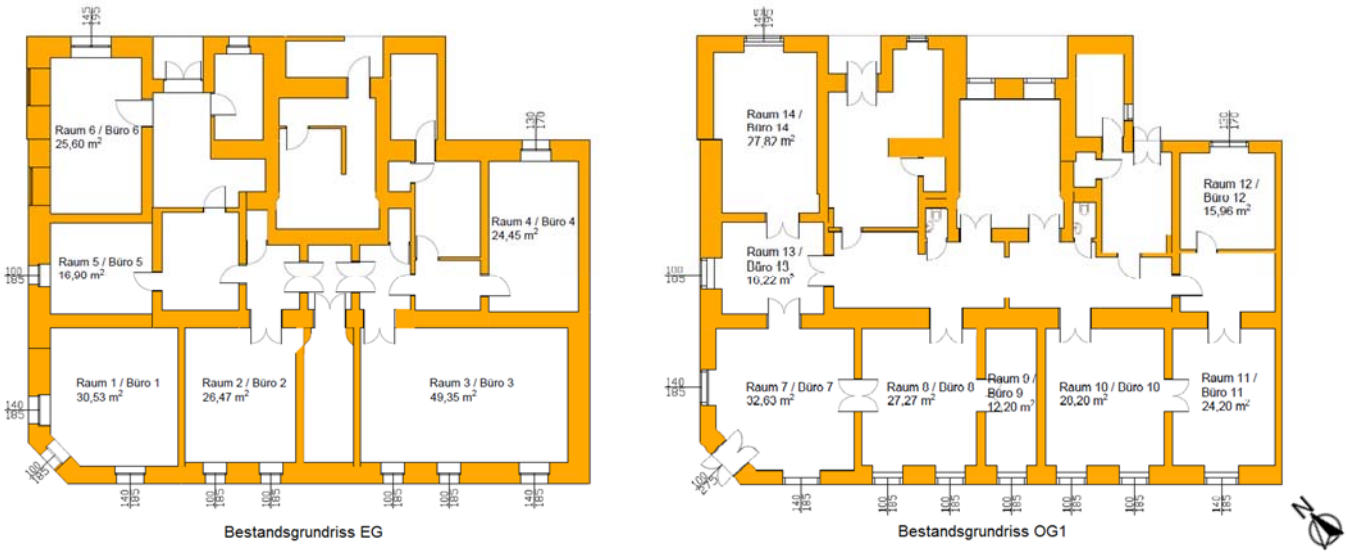


Bild 1. Modell 1 - Grundrisse

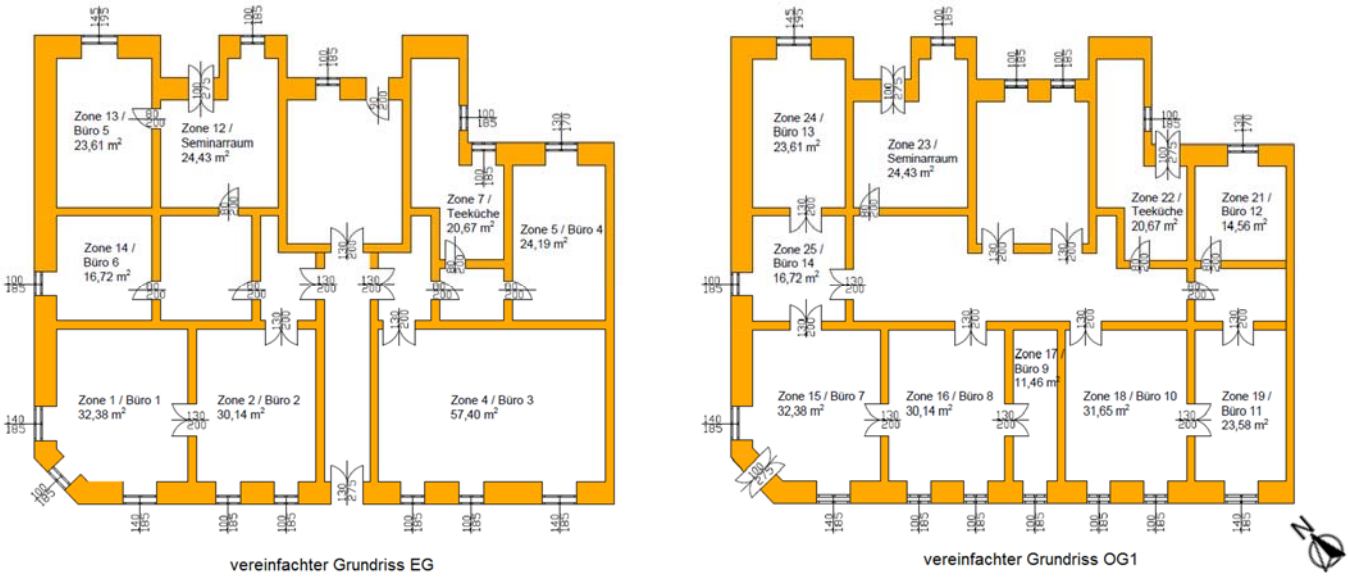


Bild 2. Modell 2 - Grundrisse

Im Zuge dieser Forschung wurden 6 verschiedene Innendämmsysteme als mögliche Sanierungsmaßnahmen untersucht. Ausgewählt wurden:

- iQ-Therm (Hersteller: REMMERS Baustofftechnik GmbH)
- Mineralwolle mit Gipskartonplatten (Hersteller: ROCKWOOL HandelsgmbH)
- Calsitherm (Hersteller: CALSITHERM Silikatbaustoffe GmbH)
- Multipor Mineraldämmplatten (Hersteller: XELLA International GmbH)
- Aerogel Dämmputzsystem (Hersteller: RÖFIX AG)
- Renocell Innendämmsystem (Hersteller: ISOCELL VertriebsgmbH)

Für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung sind die Wärmeleitfähigkeit λ, die spezifische Wärmekapazität c, die Rohdichte ρ und die Dicke d der einzelnen Baustoffschichten erforderlich. In der Tabelle 1 sind die Eigenschaften der Innendämmsysteme, sowie die U-Werte der Bauteile samt Innendämmsystem zusammengefasst. Der U-Wert der bestehenden Außenwand ohne Innendämmsystem beträgt 1,28 W/m²K.

Tabelle 1. Materialeigenschaften

Innendämmung	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	U-Wert Bauteilaufbau [W/m²K]
iQ-Therm	0,08	0,033	45	1400	0,24
MW mit Gipskartonplatten	0,10	0,035	33	1030	0,23
Calsitherm	0,08	0,031	90	1000	0,24
Multipor Mineraldämmplatten	0,10	0,042	90	1300	0,24
Aerogel Dämmputzsystem	0,08	0,028	220	1000	0,23
Renocell Innendämmsystem	0,10	0,039	54	2110	0,24

Die Dicken der Basisdämmungen wurden so ausgewählt, dass diese bei jeder Variante der Innendämmung zwischen 8 cm und 10 cm betragen. Höhere Innendämmdicken (mehr als 10 cm) führen zu geringen zusätzlichen Energieeinsparungen, erhöhen aber das Risiko von hygrothermischen Problemen sowie von Wärmebrücken. [4]

3 Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3

Der Nachweis zur Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung wurde gemäß derzeit gültiger ÖNORM B 8110-3 [2] mit den beiden dafür vorgesehenen Berechnungsverfahren, nachgewiesen. Die gesamten Berechnungen wurden mit der Software GEQ durchgeführt.

3.1 Randbedingungen und Annahmen

Der Standort des Bestandsobjekts ist in Graz, Katastralgemeinde St. Leonhard, mit einer Seehöhe von 353 m.ü.A. Die Normsommeraußentemperatur beträgt für diesen Ort 22,3°C.

Bei den Fenstern handelt es sich um Holzkastenfenster mit unterschiedlichen Fenstermaßen. Die Fenster wurden mit einem Scheibenabstand von 20 cm gebaut. Die relevanten Kenngrößen der Kastenfenster wurden laut Altbaukonstruktionen und Rechenwerte – Handbuch für Energieberater [5] festgelegt. Der U-Wert vom Glas beträgt 2,90 W/m2K und der Energiedurchlassgrad bzw. g-Wert beträgt 0,65. Die Fensterrahmen wurden aus Holz mit einem Uf-Wert von 2,20 W/m2K angenommen.

Als Beschattung im Erdgeschoss dienen innenliegende, weiße Fensterläden aus Holz. Im Obergeschoss werden weiße Jalousien aus Metall, welche im Kasten liegen, verwendet. Bei der Verschattung wurden die Vor- und Rücksprünge des Grundrisses als auch der Einfluss der umgebenden Gebäude berücksichtigt. Für die Speichermasse der Einrichtung wurde ein Wert von 38 kg/m2 gemäß ÖNORM B 8110-3 [2] angenommen.

Neben den allgemeinen Randbedingungen ist die Definition der Luftwechselzahl für die Berechnung der speicherwirksamen Masse beim vereinfachten Verfahren erforderlich. Die Luftwechselzahl hängt von den vorhandenen Fassadenebenen mit Lüftungsöffnungen ab.

Für die Berechnung des Tagestemperaturverlaufes bzw. für das detaillierte Verfahren wurden zusätzlich die inneren Lasten sowie die Steuerung der Beschattung bzw. der Fensterlüftung für beide Nutzungen festgelegt. Innere Lasten wurden gemäß ÖNORM 8110-3 [2] als 24h-Tageswerte in der Berechnungssoftware definiert. Die Werte der inneren Lasten wurden für die Wohnnutzung je Quadratmeter Wohnraum angenommen. Bei der Büronutzung werden die inneren Lasten in Abhängigkeit von der Anzahl der Arbeitsplätze in einem Büro bestimmt. Die Anzahl der Personen, die in einem Büro arbeiten, ist nach Arbeitsstättenverordnung [6] festgelegt. In diesem Gesetz ist festgelegt, dass für einen Arbeiter mindestens 8 m² der Bodenfläche notwendig sind und für jeden weiteren zusätzlich noch 5 m². Die Personenanzahl für Bürogebäude bei beiden Modellen wurde auf Basis der Minimalanforderungen der Bodenfläche bestimmt.

Die Steuerung der Beschattung wurde so definiert, dass die Beschattung bei der Wohnnutzung von 12:00 Uhr bis 18:00 Uhr und bei der Büronutzung von 10:00 Uhr bis 18:00 Uhr aktiv ist. Die Verschattung von Nachbargebäuden und von Vor- und Rücksprüngen des betrachteten Gebäudes wurde ebenfalls berücksichtigt.

Für das Wohngebäude wurde eine Nachtlüftung von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr definiert. Die Lüftungseingabe in der Berechnungssoftware GEQ ist beschränkt. Es gibt nur die Auswahl einer Nachtlüftung mit offenen oder gekippten Fenstern. Eine Nachtlüftung bei dem Büro ist aus Witterungs- und Sicherheitsgründen aber nicht realistisch. Aus diesem Grund wurde für die Büronutzung die Variante ohne eine Nachtlüftung ausgewählt.

3.2 Ergebnisse – vereinfachtes Verfahren

Die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens zeigen, dass der Nachweis für alle Zonen leicht erfüllt wird. Zu erwähnen ist, dass der maximale Unterschied der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude bei beiden Modellen ca. 31 % beträgt. Es ist bemerkbar, dass alle Innendämmsysteme fast identische Werte der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse aufweisen. In Bild 3 sind für den Raum 1 des Modells 1 bzw. für die Zone 1 des Modells 2, der den Raum mit der geringsten Speichermasse darstellt, die Ergebnisse zusammengefasst und verglichen.

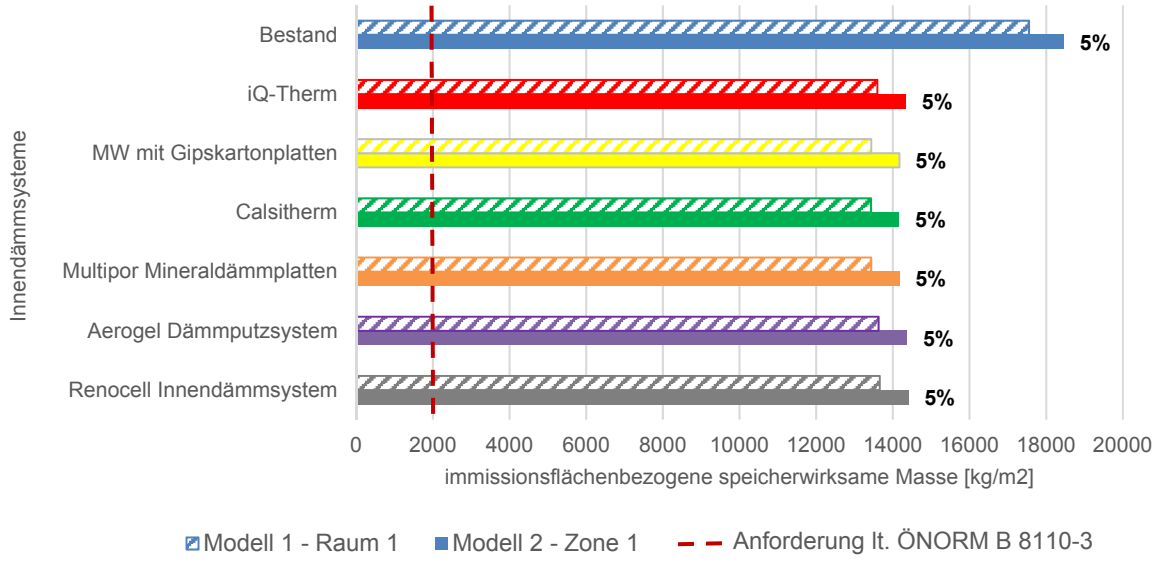


Bild 3. Vergleich der immissionsflächenbezogenen Speichermasse zwischen Modellen

Obwohl die Sanierung der Außenwände mit sechs unterschiedlichen Innendämmsystemen bzw. Materialien durchgeführt wurde, zeigen die Ergebnisse nur geringe Abweichungen. Wichtig ist anzumerken, dass bei der Berechnung der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse auch die Innenwände und die Decke bzw. der Fußboden berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund hängt die gesamte immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse eines Raumes vor und nach der Sanierung von dem Anteil der Außenwand dieses Raumes ab. Ein Vergleich zwischen den Modellen zeigt, dass das vereinfachte Modell eine Abweichung von ca. 5 % von dem tatsächlichen Modell bzw. Bestandsmodell aufweist.

3.3 Ergebnisse – Tagestemperaturverlauf

Um einen Einfluss der unterschiedlichen Innendämmsysteme auf die maximale operative Temperatur zu bestimmen, wurden die Ergebnisse des kritischen Raumes im Obergeschoss für beide Modelle analysiert und verglichen. Obwohl Zone 18 im Modell 2 die kritischere Zone ist, wurde Zone 19 aufgrund der gleichen Lage wie Raum 11 im Modell 1 verglichen. Der Unterschied zwischen den maximalen operativen Temperaturen von Zone 18 und 19 beträgt jedoch nur 0,1°C.

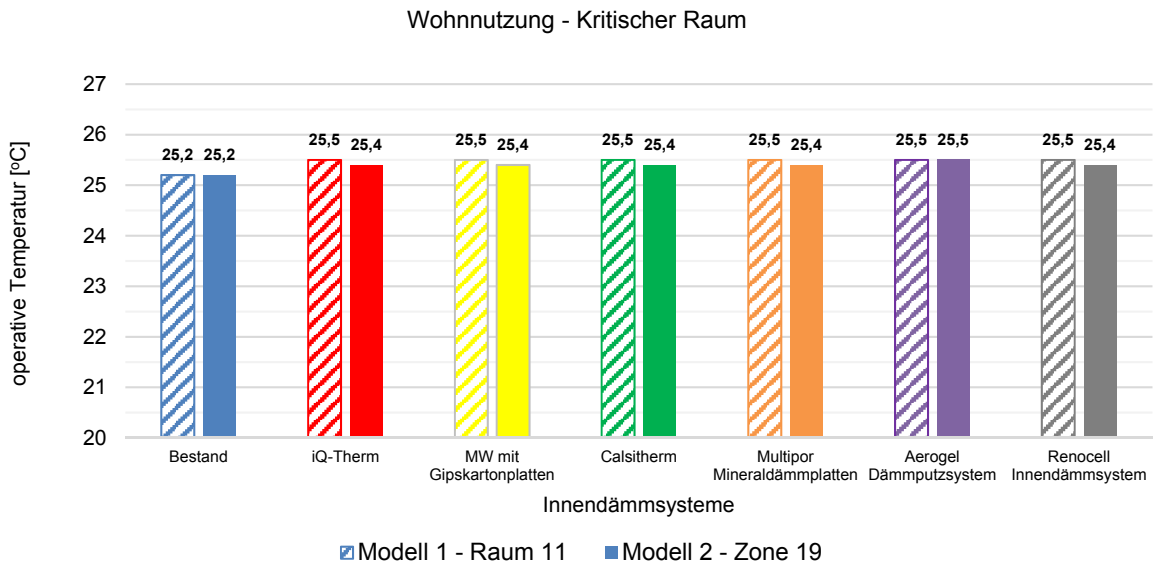


Bild 4. Maximale operative Temperatur der kritischen Räume für Wohnnutzung

Bild 4 stellt die maximalen operativen Temperaturen der kritischen Räume für die Wohnnutzung der beiden Modelle dar. Die maximalen operativen Temperaturen bei beiden Modellen bewegen sich zwischen 25,2°C und 25,6°C in Abhängigkeit von den verwendeten Innendämmsystemen. Die Unterschiede zwischen den operativen Temperaturen des Bestandsgebäudes und des sanierten Gebäudes liegen zwischen 0,2°C bis 0,3°C. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass der Temperaturunterschied zwischen den Modellen maximal 0,1 °C beträgt. Die maximale operative Temperatur weist vor und nach der Sanierung eine sehr geringe Abweichung auf. Das bedeutet, dass es bei der Wohnnutzung mit Nachtlüftung praktisch keinen Einfluss von den innengedämmten Außenwänden auf die maximale operative Innenraumtemperatur in den Sommermonaten gibt.

Bild 5 zeigt die maximalen operativen Temperaturen der kritischen Räume für die Büronutzung der beiden Modelle. Der Raum mit der Bezeichnung Büro 11 erweist sich als kritischer Raum bei beiden Modellen. Die operative Temperatur bewegt sich zwischen 36,0°C bis 38,8°C bei Modell 1 und zwischen 36,9°C bis zu 39,1°C bei Modell 2 in Abhängigkeit von den verwendeten Innendämmsystemen. Aus dem Diagramm geht hervor, dass der Temperaturunterschied zwischen den Modellen bei der Bestandsvariante 0,9°C und bei den Innendämmsystemen 0,3°C beträgt. Der maximale Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude bei Modell 1 beträgt 2,8°C. Bei Modell 2 liegt dieser Temperaturunterschied bei einem Wert von 2,5°C. Es ist ersichtlich, dass der Temperaturunterschied vor und nach der Sanierung bei der Büronutzung im Vergleich zur Wohnnutzung durch die erhöhten inneren Lasten und den Entfall der Nachtlüftung viel größer ist.

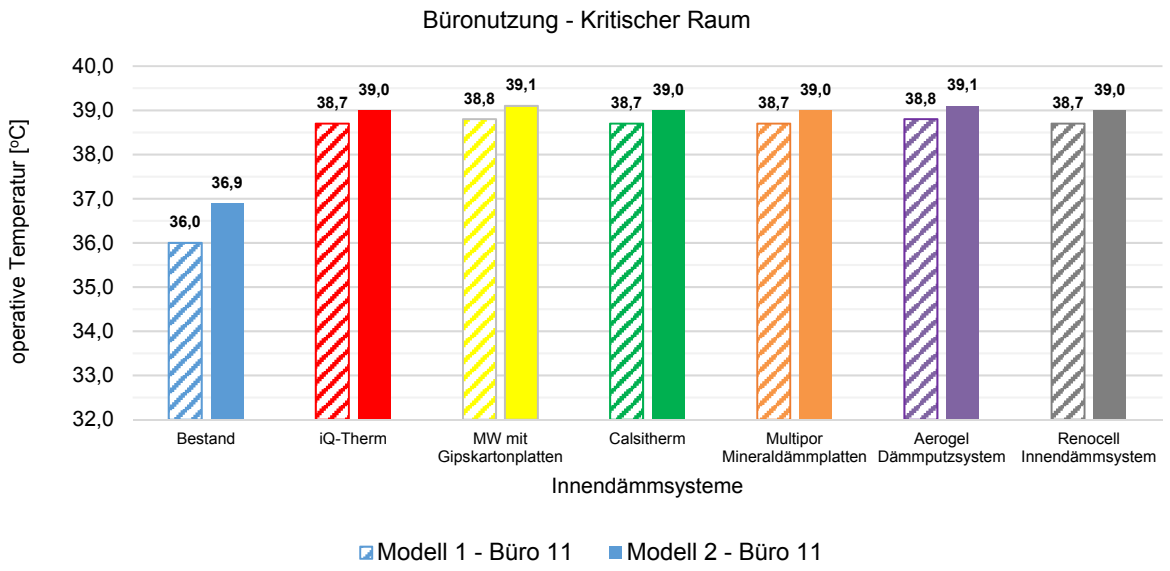


Bild 5. Maximale operative Temperatur der kritischen Räume für Büronutzung

4 Gebäudesimulation

Nach der Berechnung gemäß ÖNORM B 8110-3 [2] mit Hilfe der Software GEQ wurden die Ergebnisse der Modelle verglichen. Aufgrund des geringen Temperaturunterschiedes und der schon genannten komplizierten Geometrieeingabe des Grundrisses vom Modell 1, wurde nur das Modell 2 für die Gebäudesimulation verwendet. Die Gebäudesimulation wurde mit Hilfe der Simulationssoftware IDA ICE durchgeführt.

4.1 Simulationsmodell

Das Modell wurde für beide Nutzungen auf 26 Zonen verteilt. Das Stiegenhaus wurde als eine Zone, die beide Geschosse umfasst, modelliert. Bei der Simulation wurden die Bauteilaufbauten mit unterschiedlichen Mauerdicken, wie sie im Bestand vorzufinden sind, berücksichtigt. Die lichte Höhe und die Lage der Achsen der Innenwände wurden fixiert. Die Dicken der Außenwände sind für jede Variante der Innendämmung unterschiedlich. Das heißt, dass aufgrund dieser unterschiedlichen Wanddicken, die Nettogrundfläche der Räume und die Außenabmessungen vom Gebäude gering variieren. Die Anwesenheit und Belegung, die Beleuchtung sowie die inneren Lasten wurden für die Nettogrundflächen festgelegt. Bild 6 zeigt das 3D-Modell:

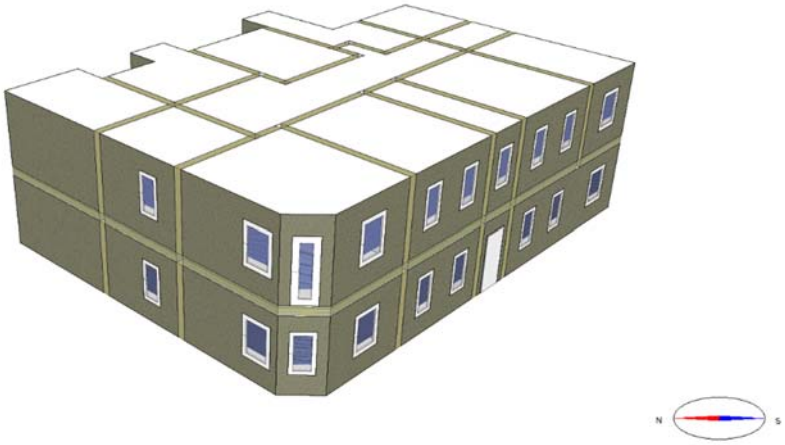


Bild 6. Simulationsmodell

4.2 Annahmen und Randbedingungen

Für beide Nutzungen wurden für alle Innentüren des Modells der gleiche Typ festgelegt. Alle Innentüren wurden aus Holz mit einer Dicke von 5 cm und einem U-Wert von 1,9 W/m2K angenommen. Unterschiede gibt es nur in Bezug auf die Abmessungen. Die Innentüren haben zwei unterschiedliche Maße, eine mit lichter Größe von 80 cm auf 200 cm und eine mit lichter Größe von 130 cm auf 200 cm. Bei den Eingangstüren wurden zwei Typen festgelegt. Die Haupteingangstür ist aus Holz mit einer lichten Breite von 130 cm und einer lichten Höhe von 200 cm. Die zweite Eingangstür, die hoforientiert ist, ist aus Aluminium und hat eine lichte Größe von 90 cm auf 200 cm. Um den Einfluss der Nachbarräume auf die maximale operative Innentemperatur zu vermeiden, wurden die Innentüren von den Räumen, die zur Außenluft führen, permanent als geschlossen festgelegt. Mit dieser Regelung der Innentüröffnung ist die Berechnung der maximalen operativen Temperaturen mittels Gebäudesimulation auf der sicheren Seite.

Die erforderliche Beleuchtungsstärke hängt von der Nutzung des Objekts ab. Bei der Wohnnutzung beträgt die Mindestgrenze für die Beleuchtungsstärke 300 Lux. Die minimale Beleuchtungsstärke bei der Büronutzung ist 500 Lux. [7] In dieser Forschungsarbeit wurde als Lichtkörper eine LED-Beleuchtung mit der Leistung von 15W und dem Lichtstrom von 1350 lm ausgewählt. Aus soeben genannten Anforderungen und Eigenschaften des Lichtkörpers wurde die Beleuchtungsstückzahl pro Quadratmeter berechnet.

Die Steuerung der Lüftung unterscheidet sich zwischen Wohnnutzung und Büronutzung. Bei der Wohnnutzung gibt es eine Nachtlüftung für die Zeitperiode von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Um den Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur festzustellen, wurden für die Büronutzung vier Lüftungsvarianten wie folgt definiert:

- Lüftungsvariante 1: ohne Lüftung
- Lüftungsvariante 2: Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr
- Lüftungsvariante 3: Lüftung von 07:00 Uhr bis 10:00 Uhr
- Lüftungsvariante 4: Lüftung von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr

Als innere Lasten werden die Wärmeabgaben von Personen sowie von Geräten berücksichtigt. Gemäß ÖNORM 8110-3 [2] wurden die inneren Lasten von Geräten bei der Wohnnutzung als 24h-Tageswerte festgelegt. Für die Dateneingabe in die Software war es notwendig, diese Tageswerte in einen Mittelwert von 4,5 W/m² umzurechnen. Bei der Büronutzung wurden die inneren Lasten von Geräten als ein Wert von 150 W pro Arbeitsplatz definiert. Dieser Wert wurde auf einen flächenbezogenen Wert umgerechnet und beträgt 24,39 W/m² für das Erdgeschoss und 22,44 W/m² für das erste Obergeschoss. Die inneren Lasten von Personen wurden bei beiden Nutzungen mit dem Aktivitätsgrad (MET) und mit der Art der Bekleidung (CLO) definiert. Für die Wohnnutzung wurde der Wert des Aktivitätsgrads mit 1,0 MET und bei der Büronutzung mit 1,1 MET für Büros und 1,0 MET für Seminarräume festgelegt. Die Bekleidung wurde für beide Nutzungen mit einem Wert von 0,85 CLO (clothing) mit einer Abweichung von ±0,25 CLO festgelegt.

4.3 Simulationsergebnisse

Bild 7 stellt die maximale operative Temperatur des kritischen Raumes (Zone 4) für die Wohnnutzung dar. Diese beträgt für den Bestand und für die Sanierung 24,1°C. Die Sanierungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Innendämmsystemen haben bei Wohnnutzung mit einer natürlichen Nachtlüftung keinen Einfluss auf die Innentemperatur in Hinsicht auf sommerliche Überwärmung.

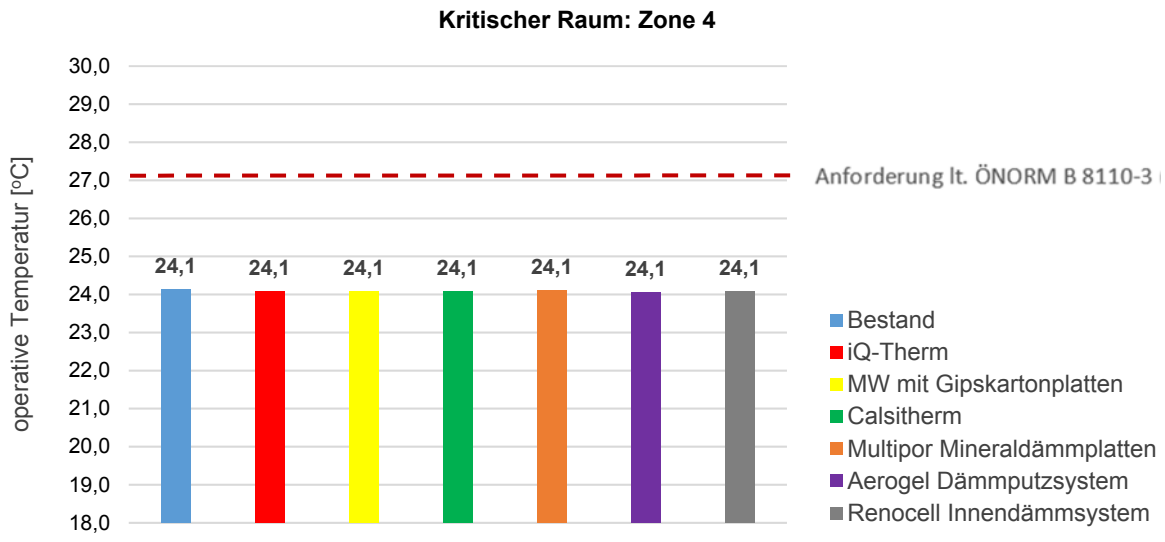


Bild 7. Maximale operative Temperatur – Zone 4 - Wohnnutzung

In Bild 8 sind die maximalen operativen Temperaturen der Zone 4 für die Lüftungsvariante 2 (Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr) der Büronutzung dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsgebäude und allen Varianten mit Innendämmsystemen ca. 1°C beträgt. Bei den Sanierungsvarianten sieht man, dass die Temperaturdifferenz sehr gering ist (maximal 0,2°C). Eine Sanierung der Außenwand mittels Innendämmung hat also auch bei Büronutzung keinen großen Einfluss auf die Innentemperatur hinsichtlich sommerlicher Überwärmung.

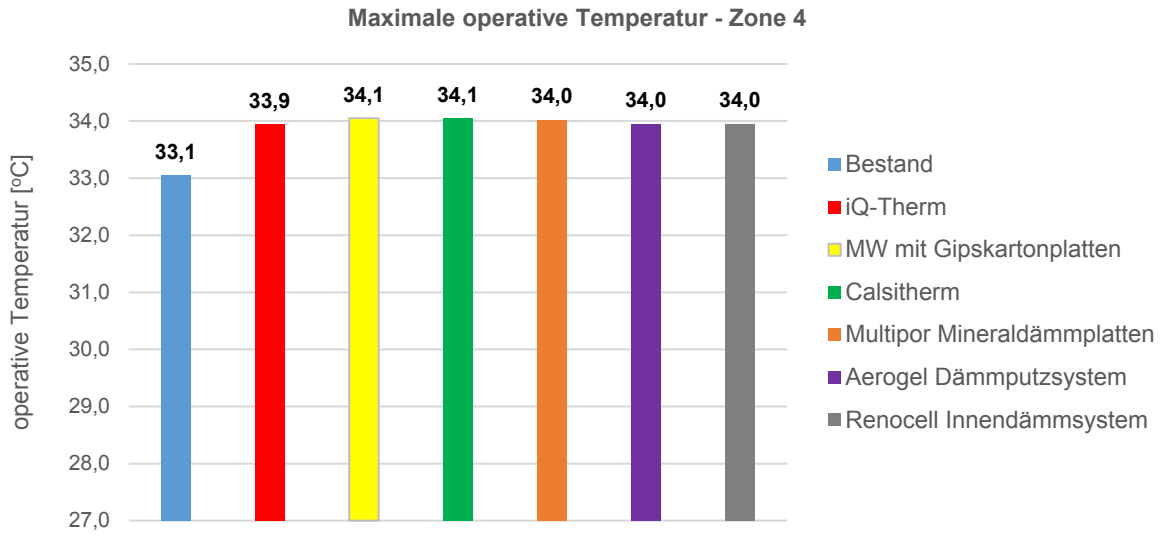


Bild 8. Maximale operative Temperatur – Zone 4 – Büronutzung-Lüftungsvariante 2

4.4 Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur bei der Büronutzung

Um den Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur zu bestimmen, wurde ein Vergleich der operativen Temperaturen für Zone 4 zwischen Bestand und Sanierung mit einem Innendämmsystem (MW mit Gipskartonplatten) für vier Lüftungsvarianten durchgeführt (Bild 9).

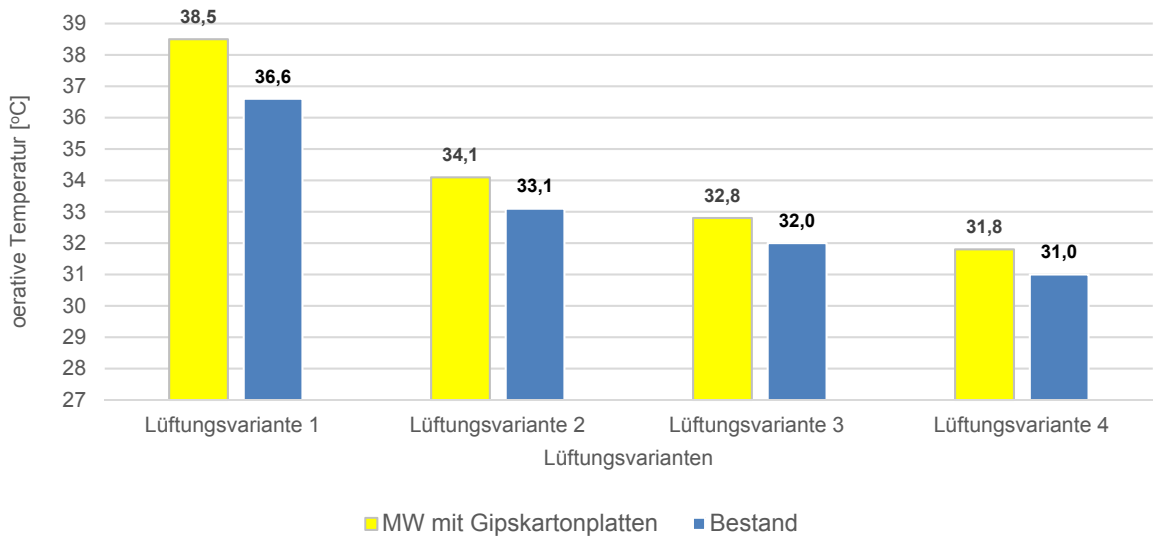


Bild 9. Vergleich der maximalen operativen Temperaturen – Zone 4 - Büronutzung

Das Diagramm zeigt, dass die höchste operative Temperatur die Variante ohne Lüftung aufweist. Die maximale operative Temperatur bei der Lüftungsvariante 2 (natürliche Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr) erreicht einen deutlich niedrigeren Wert im Vergleich zur Variante ohne Lüftung. Eine 2-stündige Lüftung senkt die operative Temperatur um mehr als 4°C bei dem Bestandsgebäude bzw. 3,5°C bei dem sanierten Gebäude mit Mineralwolle. Eine weitere Verlängerung der Fensterlüftung für eine Stunde am Morgen (von 07:00 Uhr bis 10:00 Uhr) verringert die maximale operative Temperatur um ca. 1°C für das Bestandsgebäude und für das sanierte Gebäude. Die vierte Lüftungsvariante, die wieder für eine Stunde (von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr) verlängert wird, weist als maximale operative Temperatur wiederum einen um 1°C niedrigeren Wert als bei der vorherigen Lüftungsvariante auf.

Bild 10 stellt die Temperaturdifferenzen zwischen den maximalen operativen Temperaturen des Bestandsgebäudes und des sanierten Gebäudes (MW mit Gipskartonplatten) für die Zonen 4, 24 und 17 dar. Der Grund für die Auswahl dieser Zonen liegt darin, dass die Zone 4 den kritischen Raum darstellt und die Zonen 24 und 17 die größten bzw. niedrigsten Temperaturdifferenzen vor und nach Sanierung aufweisen. Für die Analyse wurden nur jene Zonen, welche als Büros verwendet werden, betrachtet.

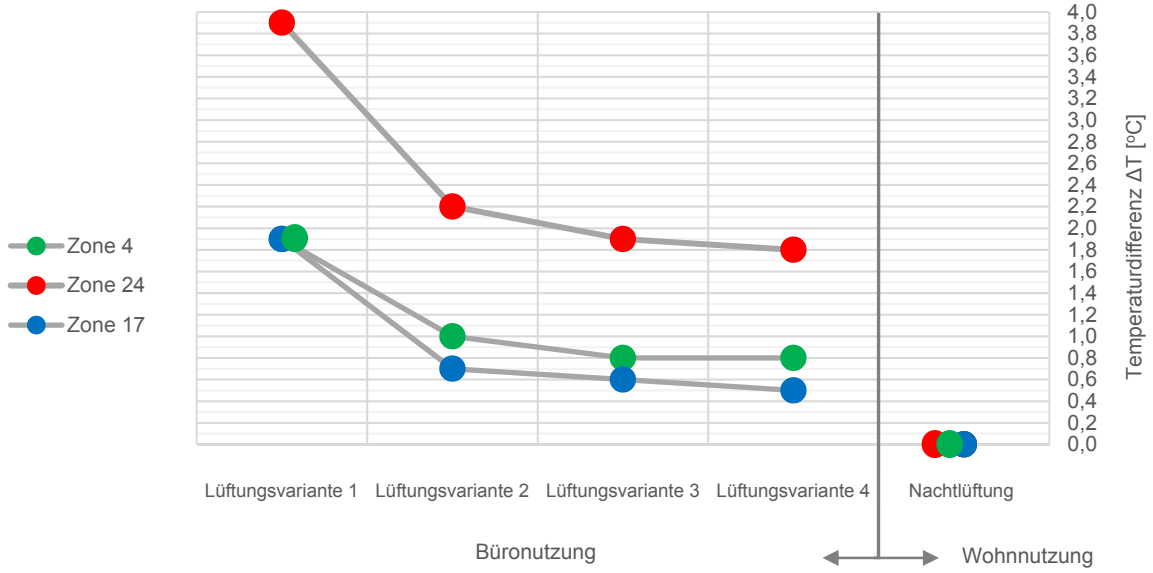


Bild 10. Temperaturdifferenz – Bestandsgebäude und saniertes Gebäude - Büronutzung

Der rechte Teil der Grafik stellt die Temperaturdifferenz bei Wohnnutzung mit einer Nachtlüftung (von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) dar. Ein Null-Wert für alle drei Zonen bedeutet, dass es keinen Temperaturunterschied vor und nach der Sanierung der Außenwände gibt. Auf der linken Diagrammseite sind die Temperaturunterschiede vor und nach der Sanierung für drei Zonen dargestellt, wobei die Zonen 24 und 17, die Zonen mit größtem bzw. kleinstem Außenwandanteil darstellen. Es ist ersichtlich, dass ohne Lüftung der Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsobjekt und dem sanierten Objekt die größte Differenz aufweist. Im Weiteren ist erkennbar, dass sich mit einer Erhöhung der Lüftungszeit von Lüftungsvariante 2 bis Lüftungsvariante 4 der Temperaturunterschied für alle drei Zonen verringert. Ein Vergleich zwischen den Zonen zeigt, dass die Zone mit größtem Außenwandanteil den höchsten Temperaturunterschied vor und nach Sanierung aufweist. Aus allen erwähnten Erkenntnissen ergibt sich die Schlussfolgerung, dass sich die Temperaturunterschiede zwischen Bestand und Sanierung durch die Erhöhung der Lüftung verringern. Dementsprechend kann mit einer Nachtlüftung der Einfluss einer Innendämmung auf die maximale operative Temperatur vollständig vermieden werden.

4.5 Gegenüberstellung Simulationsergebnisse vs. gemessene Werte

In Bild 11 sind die Temperaturverläufe der Zone 13 (in dieser Zone wurde mittels Sensoren gemessen) des Bestandsgebäudes für die Wohn- und Büronutzung (samt allen Lüftungsvarianten) sowie der Verlauf der gemessenen Temperaturen dargestellt. Als Zeitperiode wurde die heißeste Woche (von 25 Juni bis 01 Juli) aus der Gebäudesimulation ausgewählt.

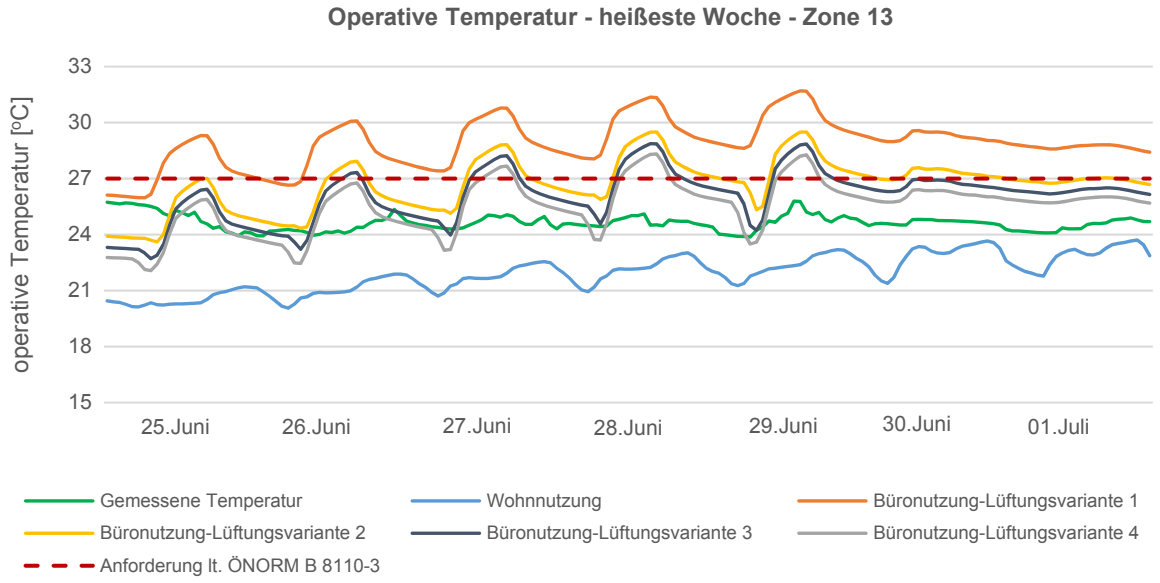


Bild 11. Temperaturverlauf – Zone 13

Das Diagramm zeigt, dass die gemessenen Temperaturen zwischen den Temperaturen der Wohnnutzung und der Büronutzung mit Lüftungsvariante 4 (Lüftung von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr) liegen. Es ist auch bemerkbar, dass die Temperaturverlaufskurve der gemessenen Temperaturen mit jener der Wohnnutzung ähnlich ist. Die gemessenen Temperaturen sind auch niedriger als die Grenztemperatur von 27°C lt. ÖNORM B 8110-3 [2].

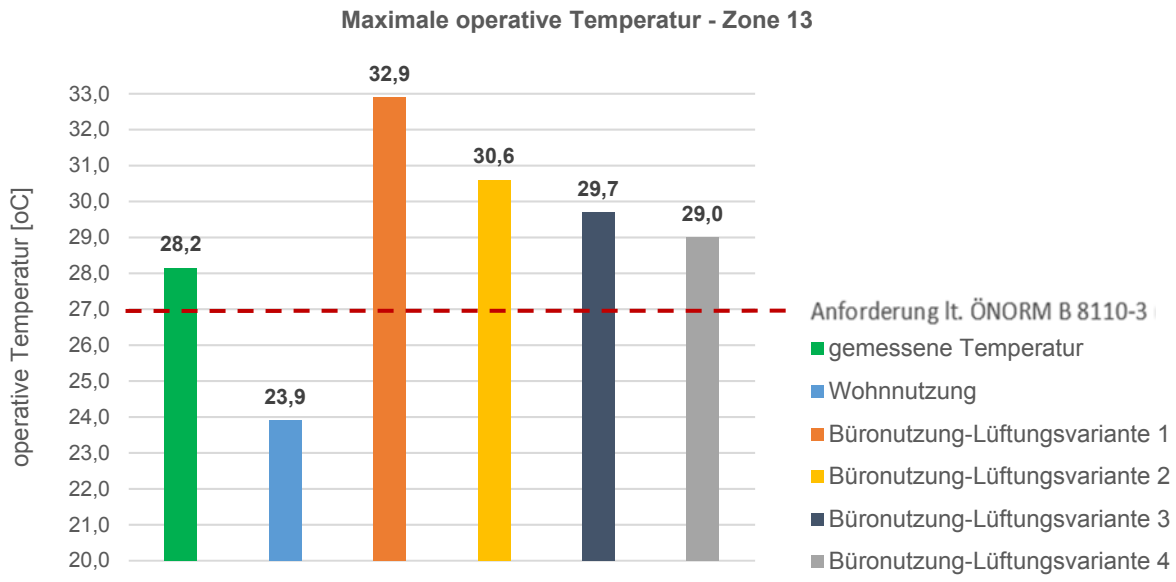


Bild 12. Maximale operative Temperatur – Zone 13

In Bild 12 sind die maximalen operativen Temperaturen der Simulation für Wohn- und Büronutzung (alle Lüftungsvarianten) des Bestandsgebäudes sowie die gemessene Temperatur für die Zone 13 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der größte Temperaturunterschied zwischen der gemessenen Temperatur und der maximalen operativen Temperaturen der Gebäudesimulation bei ca. 4,7°C (Büronutzung-Lüftungsvariante 1) liegt. Die maximale gemessene Temperatur kommt der berechneten maximalen operativen Temperatur der Büronutzung mit Lüftungsvariante 4 (Lüftung von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr) sehr nahe, der Temperaturunterschied beträgt hier 0,8°C. Der Temperaturunterschied im Vergleich zur Wohnnutzung beträgt ca. 4,3°C.

5 Gegenüberstellung Gebäudesimulation vs. Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 [2]

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Gebäudesimulation und der Berechnungen lt. ÖNORM B 8110-3 [2] für die Zone 18 des Modells 2 mit Wohnnutzung zusammengefasst und dargestellt:

Tabelle 2. Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 vs. Gebäudesimulation - Wohnnutzung

Berechnungsverfahren	Anforderungen	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineraldämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämmsystem
vereinfachtes Verfahren	2 000 [kg/m²]	55 404	50 038	49 824	49 815	49 819	50 081	50 124
Tagestemperaturverlauf	27,0 [°C]	25,3	25,5	25,5	25,5	25,5	25,6	25,5
Gebäudesimulation		23,7	23,6	23,6	23,6	23,6	23,5	23,6

Es ist ersichtlich, dass der Nachweis bei der Wohnnutzung für alle drei Berechnungsverfahren erbracht wird. Es zeigt sich auch, dass die Unterschiede zwischen den maximalen operativen Temperaturen bei dem Tagestemperaturverlauf (Verfahren nach ÖNORM) und der Gebäudesimulation vor und nach der Sanierung vergleichbar sind und dass das Verfahren nach ÖNORM auf der sicheren Seite liegt.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Gebäudesimulation (ohne Lüftung) und der Berechnung des Tagestemperaturverlaufes nach ÖNORM B 8110-3 [17] für die Zone 19 bzw. Büro 11 der Büronutzung des Modells 2 zusammengefasst und dargestellt:

Tabelle 3. Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 vs. Gebäudesimulation - Büronutzung

Berechnungsverfahren	Anforderungen	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineraldämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämmsystem
Tagestemperaturverlauf	27,0 [°C]	36,9	39,0	39,1	39,0	39,0	39,1	39,0
Gebäudesimulation		36,6	38,5	38,6	38,5	38,5	38,6	38,5

Es ist erkennbar, dass die operativen Temperaturen bei beiden Berechnungsverfahren sehr hohe Werte erreichen. Für die unterschiedlichen Sanierungsvarianten kann festgestellt werden, dass die Temperaturdifferenzen zwischen den Innendämmvarianten gering sind. Ein Vergleich der operativen Temperaturen vor und nach Sanierung zeigt hingegen einen größeren Temperaturunterschied von ca. 2°C.

6 Schlussfolgerung

Im Rahmen dieser Forschung wurde der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung, gemäß derzeit gültiger ÖNORM B 8110-3 [2] mit den beiden dafür vorgesehenen Berechnungsverfahren für beide definierten Modelle (realitätsgetreu und vereinfachtes Modell) durchgeführt. Der Nachweis mittels vereinfachtem Verfahren wurde nur für die Wohnnutzung geführt, wobei die Ergebnisse zeigen, dass der Nachweis für alle Räume erfüllt ist. Aus der Analyse der Ergebnisse kann man schlussfolgern, dass die in dieser Untersuchung verwendeten Innendämmsysteme keinen entscheidenden Einfluss auf die Berechnung der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse bzw. des vereinfachten Verfahrens haben. Die Ergebnisse der Berechnung des Tagestemperaturverlaufes zeigen, dass der Nachweis lt. ÖNORM B 8110-3 [2] für die Wohnnutzung bei beiden Modelle erbracht wurde. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bei der Wohnnutzung mit einer Nachtlüftung keinen Einfluss von innengedämmten Wänden auf die Innenraumtemperatur in Hinsicht auf sommerliche Überwärmung gibt. Bei der Büronutzung der beiden Modelle liegen die operativen Temperaturen bei beiden Modellen in den meisten Fällen oberhalb des Temperaturgrenzwertes von 27°C. Die operativen Temperaturen bei Büronutzung erreichen in einigen Fällen den Wert von 39,1°C. Die Gründe für die hohen Temperaturen sind die erhöhten inneren Lasten und der Entfall der Nachtlüftung.

Neben den Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 [2] wurde in dieser Forschungsarbeit auch eine Gebäudesimulation durchgeführt. Dafür wurde nur das vereinfachte Modell 2, das auf 26 Zonen aufgeteilt wurde, verwendet. Für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung erfordert die Gebäudesimulation viele Annahmen und komplexe Festlegungen der Randbedingungen. Die Analyse der Ergebnisse für die Wohnnutzung zeigt, dass die Sanierungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Innendämmsystemen mit einer natürlichen Nachtlüftung keinen Einfluss auf die Innentemperatur in Hinsicht auf die sommerliche Überwärmung haben.

Um den Einfluss der Lüftung auf die sommerliche Überwärmung bei der Büronutzung festzustellen, wurden verschiedene Lüftungsvarianten definiert und untersucht. Es zeigte sich, dass mit der Erhöhung der Lüftungszeit der Temperaturunterschied im Vergleich von Bestandsgebäude und saniertem Gebäude mit den unterschiedlichen Innendämmsystemen abnimmt. Unabhängig von den Lüftungsvarianten findet am Wochenende eine deutliche Temperaturabsenkung statt. Daraus kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass die inneren Lasten von Personen, Geräten und Beleuchtung einen großen Einfluss auf die Innentemperatur haben. Um den Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur detailliert festzustellen, wurde ein Vergleich der operativen Temperaturen für die kritische Zone zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude für alle vier unterschiedlichen Lüftungsvarianten durchgeführt. Zudem wurden auch die Temperaturdifferenzen zwischen den maximalen operativen Temperaturen des Bestandsgebäudes und des sanierten Gebäudes analysiert. Aus diesen Untersuchungen ging hervor, dass sich die Unterschiede der Raumlufttemperatur zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude durch die Erhöhung der Lüftung verringern. Des Weiteren zeigt der Vergleich zwischen den Zonen, dass die Zone mit der größten Außenwandfläche (größte Sanierungsfläche) auch den höchsten Temperaturunterschied vor und nach Sanierung aufweist.

Das Ergebnis dieser Forschung ist, dass der unerwünschte Einfluss der Innendämmungen auf die sommerliche Behaglichkeit in Bestandsgebäuden, welche als Wohngebäude verwendet werden, durch eine regelmäßige Nachtlüftung vermieden werden kann. Wenn bei einer Büronutzung eine Nachtlüftung aus Sicherheits- bzw. Witterungsgründen nicht möglich ist, kann mit einer morgendlichen Lüftung die Temperaturdifferenz zwischen der Bestands- und der Sanierungsvariante unter 2oC gehalten werden kann.

7 Literatur

[1] Hüttler W.; Sammer K.: Inovative Sanierung von Gründerzeitgebäuden – technische Optionen und rechtliche Fragen, Manz, 2010

[2] Austrian Standards Institute: ÖNORM B 8110-3:2012-03-15 – Wärmeschutz im Hochbau/Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung

[3] DBZ Deutschebauzeitschriften.: Leitfaden Innendämmung, Bauverlag BV, 2012, online unter: https://www.dbz.de/download/1243702/leitfaden-innendaemmung.pdf , Datum des Zugriffs 24.09.2019, 17:55 Uhr.

[4] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung, 1. Auflage 2005, Überarbeitung 2011

[5] Frey K.; Haas J.; Könighofer K.: Handbuch für Energieberater, Forschungsgesellschaft Joanneum, Institut für Energieforschung, Graz, 1994

[6] Arbeitsstättenverordnung BGBl. II Nr. 309/2017; §24 AStV Bodenfläche und Luftraum

[7] Austrian Standards Institute: ÖNORM EN 12464-1:2011-07-01 – Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten/Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen, §29 AStV Künstliche Beleuchtung in Arbeitsräumen.

Autoren dieses Beitrages:
Bojan Živković, BSc., bojan.zivkovic@student.tugraz.at.
Technische Universität Graz
Institut für Hochbau - IHB
Lessingstraße 25/III
8010 Graz

Baumeister Dipl.-Ing. Hans Hafellner, hafellner@tugraz.at
Technische Universität Graz
Institut für Hochbau - IHB
Lessingstraße 25/III
8010 Graz

Schlagwörter: Bestandsgebäude, Innendämmung, sommerliche Überwärmung, Gebäudesimulation

Keywords: existing building, interior insulation, summerly overheating, building simulation

CURRICULUM VITAE

MSc Dipl.-Ing. (FH)

Martin SCHNEIDER

Hochschule für Technik Stuttgart

Zentrum für akustische und thermische Bauphysik
Schellingstr. 24
D 70174 Stuttgart

martin.schneider@hft-stuttgart.de

Diplomstudium "Bauphysik" an der Hochschule für Technik Stuttgart. Master Studium "Sound and Vibration Research" am Institute of Sound and Vibration Research (ISVR) in Southampton.

Beratender Ingenieur im Ingenieurbüro Prof P.Lutz, Leinfelden und im Ingenieurbüro Kurz und Fischer, Winnenden. Seit 1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule für Technik Stuttgart. Betreuung von Diplom- und Bachelorarbeiten. Durchführung von Forschungsprojekten mit Schwerpunkt Bauakustik im Massiv- und Leichtbau. Breite messtechnische Erfahrung bei Messungen im Labor und am Bau im Bereich Bau- und Raumakustik, Körperschallmesstechnik und Strukturdynamik.

Seit 2014 Vorsitzender des Fachausschusses Bau-und Raumakustik in der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA). Mitarbeit in der nationalen (z.B. DIN 4109 und VDI 4100) und internationalen Normung (EN 12354, ISO 19488). Veröffentlichungen und Vorträge zu bauakustischen Themen.

Schallbrücken Teil 1

MSc Dipl.-Ing.(FH) Martin Schneider, Hochschule für Technik Stuttgart

1. Einleitung

Schallbrücken sind Verbindungen zwischen akustisch getrennten Bauteilen, über welche Schallenergie von dem angeregten Bauteil auf das akustisch entkoppelte Bauteil übertragen werden kann. Diese Verbindung kann konstruktiv notwendig sein, wie z. B. Mauerwerksanker oder Konsolen bei zweischaligem Außenmauerwerk. Üblicherweise spricht man jedoch von Schallbrücken, wenn diese bei der Ausführung am Bau ungewollt entstehen. Diese Verbindungen können dabei punktförmig, linienförmig aber auch kleinflächig sein. Am häufigsten findet sich diese Art der Schallbrücke beim schwimmenden Estrich als Verbindung zwischen Estrichplatte und Bauwerk. Diese meist steifen Verbindungen vermindern in der Regel den erreichbaren Schallschutz. Nachfolgend wird am Beispiel des schwimmenden Estrichs die schalltechnische Wirkung einer solchen Schallbrücke beschrieben. Weitergehend werden aber auch konstruktiv notwendige Schallbrücken vorgestellt und ihre akustischen Wirkungen beschrieben.

2. Schwimmende Estriche

Schwimmende Estriche sind im deutschsprachigen Raum seit vielen Jahren Standard im Geschosswohnungsbau. Sie verbessern sowohl die Tritt- als auch die Luftschalldämmung von Wohnungstrenndecken. Ausgehend von einem einfachen Masse (Estrichplatte) - Feder (Dämmschicht) Modell ergibt sich gegenüber der Massivdecke oberhalb der Resonanzfrequenz eine mit der Frequenz ansteigende Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung. Immer wieder wird jedoch festgestellt, dass durch Ausführungsfehler, z.B. Schallbrücken zwischen Massivdecke und Estrich, die akustische Wirkung der Estriche vermindert wird. Nachfolgend werden Messergebnisse vorgestellt, die an einem schwimmenden Estrich auf einer Massivdecke im Deckenprüfstand ermittelt wurden. Um das akustische Verhalten des schwimmenden Estrichs möglichst umfassend zu charakterisieren, werden unterschiedlichste Messmethoden eingesetzt. Neben der klassischen Bestimmung der Luft- und Trittschalldämmung sowie der Luft- und Trittschallverbesserung kann mittels Modalanalyse das Schwingungsverhalten visualisiert werden. Durch den Einbau einer massiven Körperschallbrücke kann deren Einfluss auf die Luft- und Trittschalldämmung der Massivdecke mit Estrich bzw. auf die Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch den Estrich aufgezeigt werden.

2.1. Bauteilbeschreibung

Die Messungen wurden in einem Deckenprüfstand nach DIN EN 10140 mit unterdrückter Flankenübertragung durchgeführt. Die untersuchte Deckenkonstruktion bestand aus einer 140 mm Stahlbetondecke (Prüfstandsdecke) als Tragkonstruktion. Der untersuchte schwimmende Estrich bestand aus 35 mm Fließestrich (Knauf FE 50 Largo) auf einer Trennlage, die auf 20 mm elastifiziertem Polystyrol (EPS Knauf Therm 045 DES sm mit s' < 20 MN/m³) liegt. Mit diesen Bauteildaten ergibt sich rechnerisch die Resonanzfrequenz des schwimmenden Estrichs zu f_0 = 85 Hz.

Im Rahmen der Messungen wurde eine massive Schallbrücke zwischen Estrichplatte und Massivdecke eingebaut. Hierzu wurde eine Bohrung durch den Estrich und die darunterliegende EPS-Dämmung mit einem Durchmesser von d = 35 mm (siehe Abbildung 1 links) hergestellt. Der entstandene Hohlraum wurde anschließend mit schnell erhärtendem Fließmörtel verschlossen, so dass der erhärtete Fließmörtel die Estrichplatte kraftschlüssig mit der Massivdecke verband.

Abbildung 1: links und Mitte: Bohrung durch den schwimmenden Estrich zur Herstellung einer Schallbrücke zwischen Massivdecke und Estrichplatte. Rechts: Verfüllen der Bohrung mit Fließmörtel.

2.2. Luft- und Trittschalldämmung

Die nach DIN EN ISO 140 im Deckenprüfstand bestimmte Luft- und Trittschalldämmung der Deckenkonstruktion ohne und mit Schallbrücke sind in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt. Als Einzahlangabe wird für den bewerteten Normtrittschallpegel ein Wert von $L_{n,w}$ = 54 dB (mit Schallbrücke $L_{n,w}$ = 62 dB) und für das bewertete Schalldämm-Maß ein Wert von R_w = 60 dB (mit Schallbrücke R_w = 59 dB) erreicht.

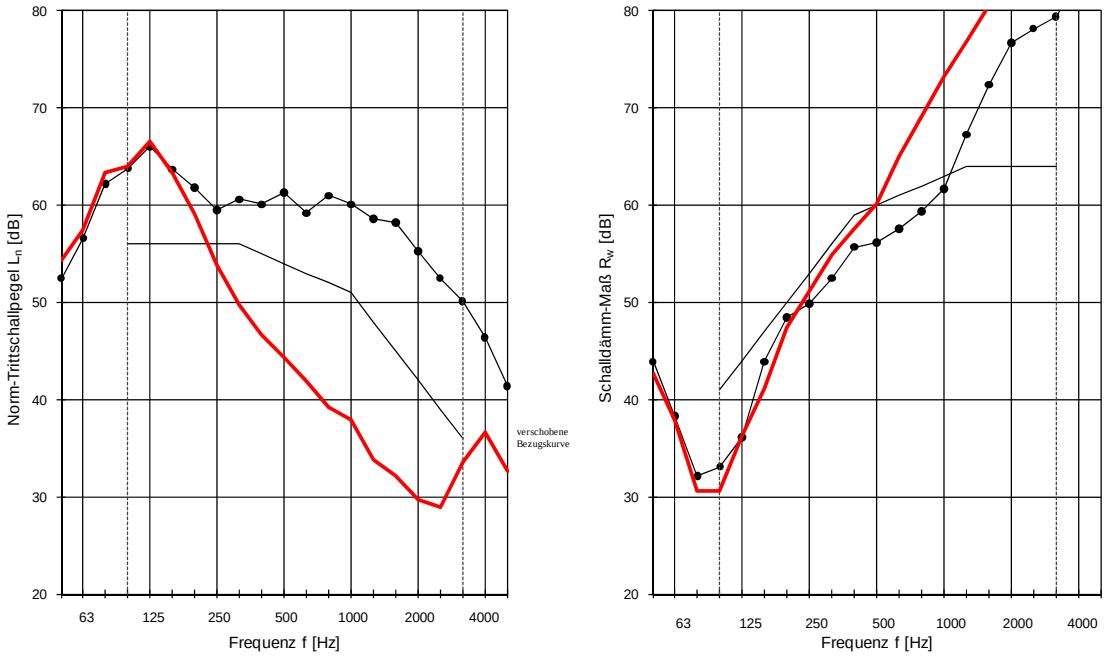


Abbildung 2: Messwerte links: Normtrittschallpegel, rechts: Schalldämm-Maß. Rot: ohne Schallbrücke, schwarz: mit Schallbrücke

Die Werte für die Messung ohne Schallbrücke entsprechen den Rechenwerten nach DIN EN 12354, Teil 1 [1] und 2 [2]. Der Einfluss der einzelnen Schallbrücke zwischen Estrich und Massivdecke ist beim Luftschallschutz relativ gering, beim Trittschallschutz allerdings sehr deutlich. Besonders im mittelfrequenten Bereich (250 Hz - 2500 Hz) kommt es zu einer massiven Verminderung der Trittschalldämmung Die messtechnischen Untersuchungen zeigen, dass das akustische Verhalten des untersuchten schwimmenden Estrichs deutlich von einem einfachen Masse-Feder Modell abweicht. Trotzdem hilft dieses einfache Modell, das Schwingungs-, Dämpfungs- und Abstrahlverhalten von schwimmenden Estrichen grundlegend zu beschreiben.

3. Zweischalige massive Haustrennwände

Bei zweischaligen Haustrennwänden ergibt sich aus wirtschaftlichen und bautechnischen Gründen im untersten Geschoss häufig die Notwendigkeit, die beiden akustisch getrennten Wandschalen über eine durchgehende Bodenplatte oder über das gemeinsame Fundament konstruktiv miteinander zu verbinden. Hierdurch entsteht eine Kontaktstelle zwischen den durch eine Trennfuge getrennten Wandschalen. Diese konstruktive "Schallbrücke" vermindert dann die Schalldämmung der zweischaligen Haustrennwand (HTrW) zwischen den angrenzenden Räumen.

Besonders wenn Einfamiliendoppel- und Reihenhäuser ohne Keller ausgeführt werden, wird der Schallschutz zwischen den Aufenthaltsräumen im untersten Geschoss über Kopplungsstellen vermindert. Eine Berechnung der Schallübertragung über typische Kopplungsstellen im Fundamentbereich kann aufgrund fehlender Daten zur Stoßstellendämmung bislang nicht durchgeführt werden, da bislang nur für eine einfache Stoßstellengeometrie (Dickenwechsel, Ecken und T- oder Kreuzstöße) Rechenwerte zur Stoßstellendämmung vorhanden sind.

Die DIN 4109-2 [3] geht deshalb einen anderen Weg und korrigiert in Abhängigkeit der Ausführung dieser „Schallbrücke“ im Fundamentbereich das erreichbare Schalldämm-Maß Der Einfluss dieser konstruktiven Überbrückung wird bei der Berechnung des Schallschutzes nach DIN 4109-2 wie folgt berücksichtigt:

Auf das Schalldämm-Maß einer einschaligen Wand (berechnet aus der flächenbezogenen Masse der beiden Wandschalen) werden nachfolgende Korrekturwerte $\Delta R_{w,Tr}$ in Abhängigkeit der Ausführung der Schallbrücke und deren Lage zu den betrachteten schützenswerten Räumen addiert:

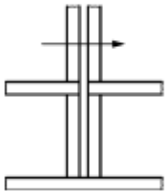
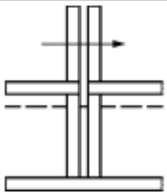
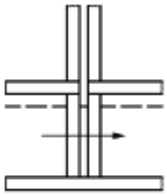
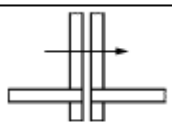
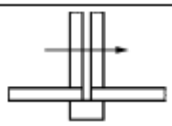
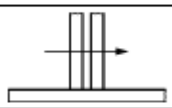
Zeile	Situation (Vertikalschnitt)	Beschreibung	$\Delta R_{w,Tr}$ dB
1		vollständige Trennung der Schalen und der flankierenden Bauteile ab Oberkante Bodenplatte, auch gültig für alle darüber liegenden Geschosse, unabhängig von der Ausbildung der Bodenplatte und der Fundamente	12
2		Außenwände durchgehend mit $m' \geq 575$ kg/m² (z. B. Kelleraußenwände als „weiße Wanne“)	9
3		Außenwände durchgehend mit $m' \geq 575$ kg/m² (z. B. Kelleraußenwände als „weiße Wanne“) Bodenplatte durchgehend mit $m' \geq 575$ kg/m²	3
4		Außenwände getrennt Bodenplatte und Fundamente getrennt	9
5		Außenwände getrennt Bodenplatte getrennt auf gemeinsamen Fundament	6[d]
6		Außenwände getrennt Bodenplatte durchgehend mit $m' \geq 575$ kg/m²	6[d]

Abbildung 3: Auszug aus DIN 4109-2 [3] mit den Zuschlagswerten $\Delta R_{w,Tr}$

Diese Zuschlagswerte reichen von 12 dB (Zeile 1: „Schallbrücke“ befindet sich im Keller und braucht nicht berücksichtigt werden) bis zu 3 dB (Zeile 3: „weiße Wanne“). Durch die seitlich durchlaufenden Außenwände und die unten durchlaufende Bodenplatte werden die beiden Schalen der zweischaligen Haustrennwand linienförmige steif verbunden und stellen damit eine massive Schallbrücke her, so dass hier durch die zweischalige Ausführung nur eine sehr geringe Verbesserung der Schalldämmung gegenüber einer einschaligen Wand erreicht wird.

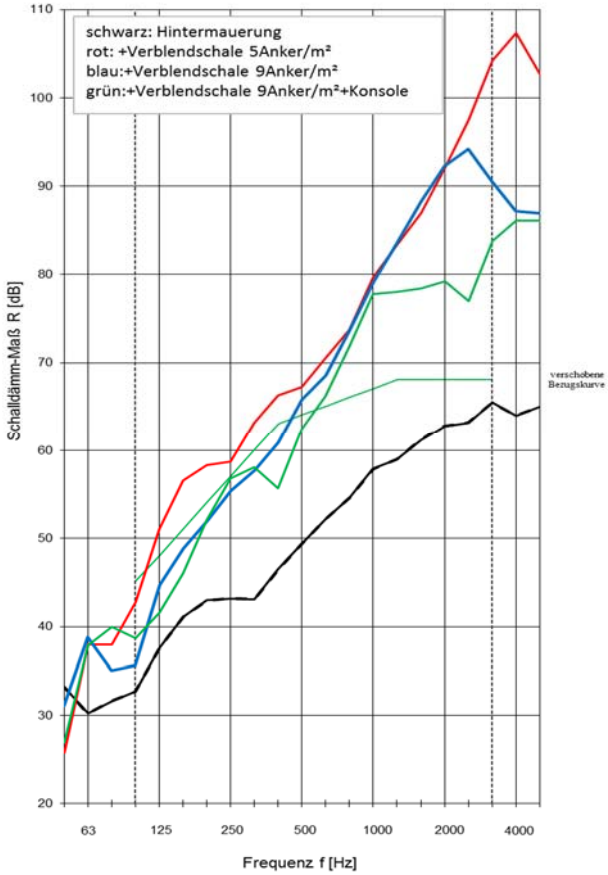
4. Zweischalige Außenwände

Das bewertete Schalldämm-Maß von massiven Außenwänden aus Mauerwerk mit einer Vormauer- oder Verblendschale wird in DIN 4109-32 [4] aus der flächenbezogenen Masse der beiden Wandschalen unter Berücksichtigung eines Zuschlages von 5 bzw. 8 dB ermittelt. Diese Werte stammen noch aus dem alten Beiblatt zur DIN 4109 aus dem Jahr 1989. Da zum Zeitpunkt der Normerstellung keine neueren Messdaten für derartige Konstruktionen bekannt waren, werden die alten Werte weiterverwendet. Allerdings haben sich gegenüber den 1980er Jahren die Konstruktionen aufgrund gestiegener Anforderungen an den Wärmeschutz deutlich verändert. Die Dämmstoffdicke und damit der Abstand zwischen Hintermauerung und Verblendschale stiegen von ca. 50 mm auf heute übliche 200 mm an. An der HFT Stuttgart wurde eine solche Konstruktion im Wandprüfstand eingebaut und schalltechnisch untersucht. Neben den klassischen Messungen zur Bauakustik (Schalldämm-Maß, Körperschall-Nachhallzeit) wurden auch weitergehende Untersuchungen zum Schwingungsverhalten dieser Konstruktion durchgeführt.

Nachfolgende Wandkonstruktion wurde hierzu im Prüfstand eingebaut und schalltechnisch untersucht (Abbildung 1). Die Hintermauerung (HM) bestand dabei aus 175 mm Kalksandsteinmauerwerk der Rohdichteklasse 2.0 mit der Bezeichnung KS–R P 20 – 2,0 – 6 DF (175). Zwischen der Hintermauerung und der Verblendschale (VS) wurde eine 200 mm dicke Mineralwolle-Wärmedämmung (Anwendungsgebiet nach DIN 4108-10: WZ) eingebaut. Die Verblendschale bestand aus 115 mm Kalksandstein-Verblendmauerwerk mit der Bezeichnung KS Vb 12 – 1,8 – 2 DF und wurde über 5 Dübelanker („Schallbrücken“) je m² mit der Hintermauerung verbunden. Die Anker waren 4 mm dicke Draht-Anker, die in der Hintermauerschale eingedübelt und in den Mörtel der Verblendschale eingelegt wurden. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde die Verbindung zwischen HM und VS durch zusätzliche Anker (insgesamt 9 je m²) sowie durch vier Gewindestangen verstärkt. Durch die vier Gewindestangen sollte eine Konsole, die z.B. oberhalb von Fensterstürzen eingesetzt wird, simuliert werden.

Abbildung 4: Einbau der Verblendschale in den Wandprüfstand

Das bewertete Schalldämm-Maß der Hintermauerung (einschalige Wand) bezogen auf den Bauverlustfaktor beträgt $R_{w,Bau,ref}$ = 55,4 dB. Dieser Wert liegt 0,7 dB unter dem rechnerisch, z.B. nach DIN 4109-32:2016-07, aus der flächenbezogenen Masse der Wand zu erwartenden Wert von R_w = 56,1 dB und damit im Rahmen der zu erwartenden Genauigkeit. Das bewertete Schalldämm-Maß von Grundwand und Verblendschale liegt bei R_w = 70 dB mit 5 Ankern je m² bzw. bei R_w = 65 dB mit 9 Ankern je m². Damit wird der rechnerisch, z.B. nach DIN 4109-32:2016-07, zu erwartenden Wert von R_w = 70 dB bei der Mindestanzahl der Anker erreicht. Durch die einzelnen Anker wird zwar in diesem Fall auch Schallenergie übertragen, die Anker an sich wirken jedoch nicht als steife Verbindung zwischen den beiden Wandschalen, sondern erhöhen die Steifigkeit der elastischen Schicht (Mineralfaserdämmstoff) zwischen den Schalen.



Durch die Verblendschale wird im gesamten Frequenzbereich die Schalldämmung verbessert. Allerdings wird durch den Einbau der zusätzlichen Anker die Schalldämmung im Frequenzbereich zwischen 80 Hz und 500 Hz sowie oberhalb von 2 kHz vermindert. Die Verminderung der Schalldämmung im unteren Frequenzbereich führt dann auch zu einem um 5 dB geringeren bewerteten Schalldämm-Maß der Wandkonstruktion.

Der Einbau der vier Gewindestangen (M12, d = 12 mm) zur Simulation einer Konsole (massive „Schallbrücke“) ergab eine deutliche zusätzliche Verminderung der Schalldämmung im Frequenzbereich oberhalb von 1 kHz.

Die Gewindestangen (mit etwa der gleichen Querschnittsfläche wie die zusätzlichen Anker) vermindern als Schallbrücke die Schalldämmung vor allem im höheren Frequenzbereich, vermutlich aufgrund einer erhöhten Steifigkeit zwischen den Wandschalen. Die Anordnung von Konsolen erfolgt am Bau in der Regel nicht in die Hintermauerung sondern direkt in die Geschoßdecke. Diese Situation kann im Prüfstand allerdings nur bedingt abgebildet werden. In der Praxis ist deshalb vermutlich mit einer deutlich geringeren Reduzierung der Schalldämmung durch Konsolen o.Ä. zu rechnen.

Abbildung 5: Schalldämm-Maß des untersuchten KS-Mauerwerks (HM) ohne VS (schwarz); mit VS, verbunden über 5 Anker/m² (rot); mit VS, verbunden über 9 Anker/m² (blau) und mit VS, verbunden über 9 Anker/m² und eine (durch Gewindestangen simulierte) Konsole (grün)

5. Zweischalige Gipsplatten-Ständerwände

Gipsplattenbeplankte Ständerwände weisen bei sehr geringem Gewicht eine hohe Schalldämmung auf. Auch bei diesen Konstruktionen bilden die Ständer Schallbrücken (linienförmig), über die Schallenergie von einer Schale auf die andere übertragen wird. Die Schalldämmung dieser Konstruktion hängt somit nicht nur von der Beplankung, der Hohlraumtiefe etc., sondern auch von der akustischen Qualität der Ständer (“Schallbrücken“) ab. Bei gleicher Beplankung und gleichem Schalenabstand liefern einfache Holzständer gegenüber üblichen Metallständern ein deutlich geringeres Schalldämm-Maß. Bei einer Wand mit zwei vollständig getrennten Ständern ergeben sich bei Verwendung von Holz- oder Metallständern jedoch nur geringe Unterschiede in der Schalldämmung, da hierbei die Trennfuge entscheidend ist und nicht das Material der Ständer.

In nachfolgendem Bild ist die Schalldämmung einer Metallständerwand (CW 75) als Schachtwand und als zweischalige Wand (mit ein- bzw. zweimal 12.5 mm Gipsplatte) dargestellt. Bei der Resonanzfrequenz (ca. f_0 = 80 Hz) vermindert sich das Schalldämm-Maß der zweischaligen Konstruktion gegenüber der einschaligen Wand. Ab ca. 250 Hz verdoppelt sich das Schalldämm-Maß der zweischaligen Konstruktion gegenüber der Schachtwand. Aufgrund der Verdoppelung der Schalldämmung kann vermutet werden, dass die Übertragung über die Metallständer vernachlässigt werden kann und deshalb der Metallständer nicht als Schallbrücke wirkt.

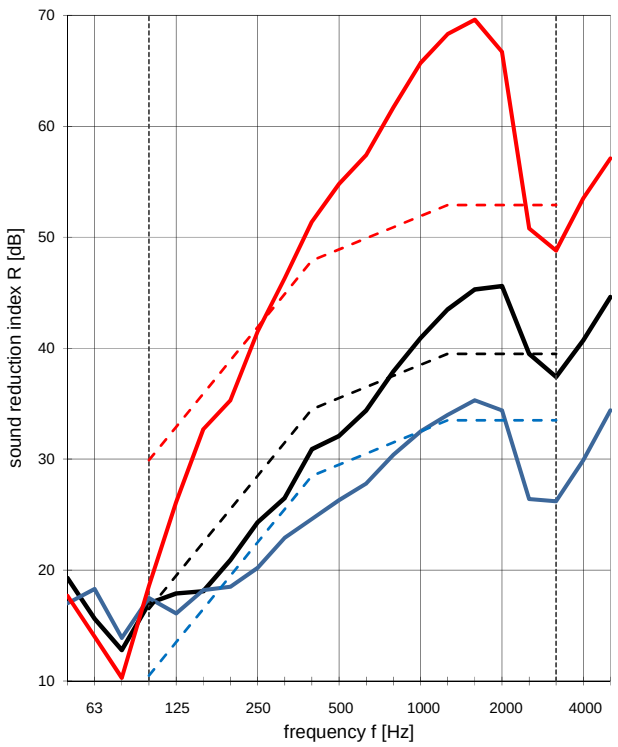


Abbildung 6: Messwerte des Schalldämm-Maßes für eine 75 mm Metallständerwand mit 12.5 mm Gipsplatte beplankt. Blau: Schachtwand; schwarz: Schachtwand mit 60 mm Mineralwolle; rot: zweischalige Wand

6. Zusammenfassung

„Schallbrücken“ sind Verbindungen zwischen akustisch getrennten Bauteilen, die Schallenergie übertragen. Diese können bei mangelhafter Bauausführung entstehen (z.B. Mörtelreste zwischen zweischaligem Mauerwerk), sie können aber auch konstruktiv notwendig sein (z.B. Metallanker zwischen Vor- und Hintermauerung bei zweischaligem Außenwänden). Abhängig von der Größe, Länge oder Fläche sowie der Steifigkeit der Schallbrücke und deren Lage vermindert diese die erreichbare Schalldämmung der mehrschaligen Konstruktion.

7. Danksagung

Teile dieser Arbeit wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 13FH9I01IA geförderten Forschungsvorhabens: „i_city: Intelligente Stadt“ durchgeführt.

8. Literatur

[1] DIN EN ISO 12354-1:2017-11 Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen

[2] DIN EN ISO 12354-2:2017-11 Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen

[3] DIN 4109-2:2018-01 Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen

[4] DIN 4109-32: Schallschutz im Hochbau - Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Massivbau, Juli 2016

CURRICULUM VITAE

Dipl.-Ing. Univ.

Christian BURKHART

Akustikbüro Schwartzenberger und Burkhart

akustikbuero.com
Hindenburgstraße 34a
D-82343 Pöcking

cb@akustikbuero.com

Jahrgang 1964, Studium der Nachrichtentechnik an der TU München, seit 1990 im Bereich der Akustik tätig, seit 2000 öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Bauakustik, Raumakustik und Beschallungstechnik, aktives Mitglied in verschiedenen Normenausschüssen, Beratender Ingenieur, Verantwortlicher Sachverständiger EnEV (Energieeinsparverordnung), aktives Mitglied im Fachausschuss Bau- und Raumakustik der DEGA und verschiedenen Arbeitskreisen („Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis“, „Schallschutz im eigenen Wohnbereich“, „Die anerkannten Regeln der Technik in der Bauakustik“), Mitglied in verschiedenen Normenausschüssen (DIN 18041, VDI 4100), Mitglied im Vorstandsrat der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA).

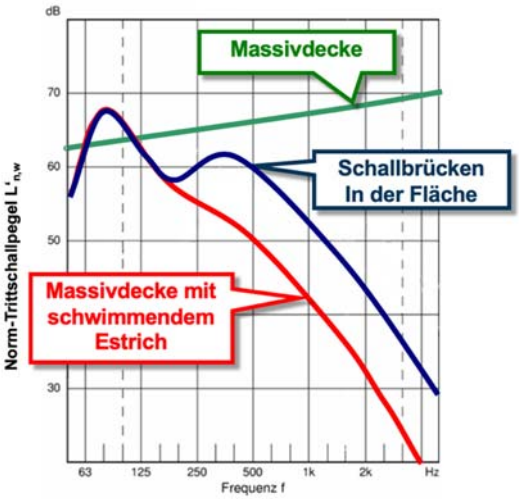
Schallbrücken – Teil 2

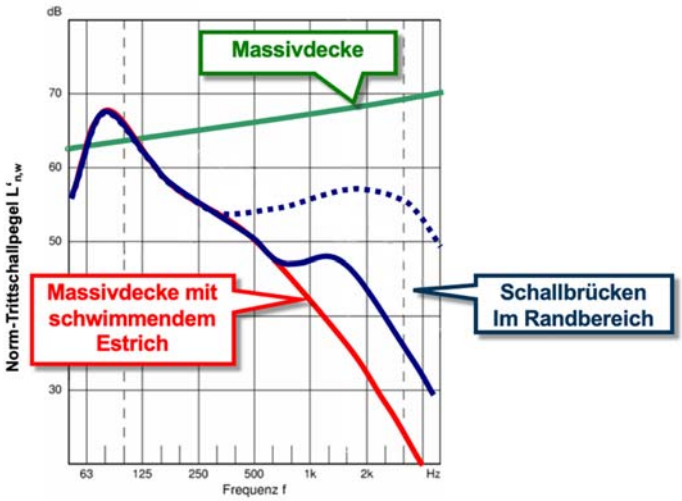
Lokalisierung, Sanierung und Vermeidung

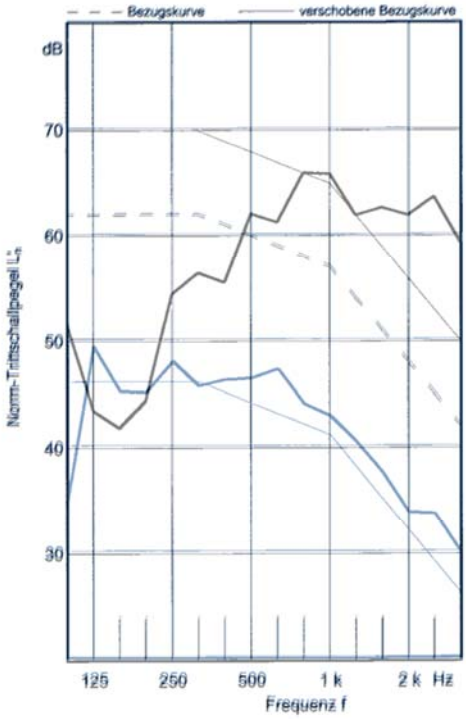
Dipl.-Ing. Univ. Christian Burkhart, akustikbuero.com, D-82343 Pöcking

1. Wo und warum stören uns Schallbrücken

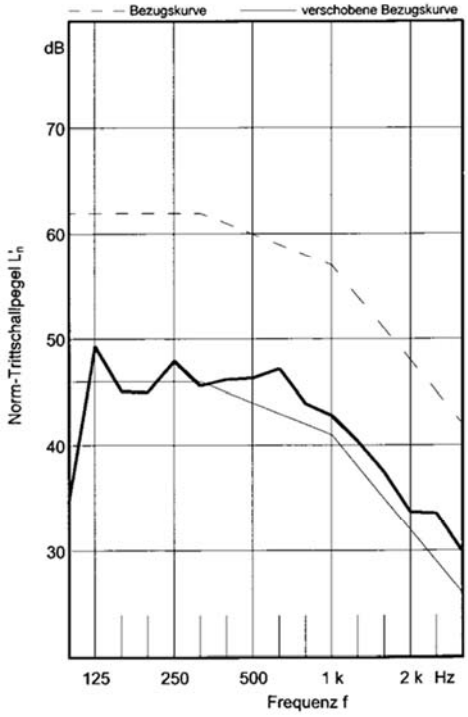
Grundsätzlich stören uns Schallbrücken überall dort, wo wir zweischalige oder entkoppelte Konstruktionen geplant bzw. dimensioniert oder vorgegeben haben, diese aber nicht gebaut wurden. Dies können WC-Schüssel (Schallschutzset), zweischalige Trennwände, Vorsatzschalen/Unterdecken oder schwimmende Estrich-konstruktionen, Balkone oder Treppen sein. Ebenso können Schallbrücken auch im Bereich von Leitungen (z.B. Heizleitungen) auftreten und so zu Zwängungen der Leitungen führen, die dann wiederum beim Aufheizen oder Abkühlen der Leitungen thermische Entspannungsbewegungen und damit verbundene Geräusche verursachen.







$L'_{n,w}$ = 68 dB

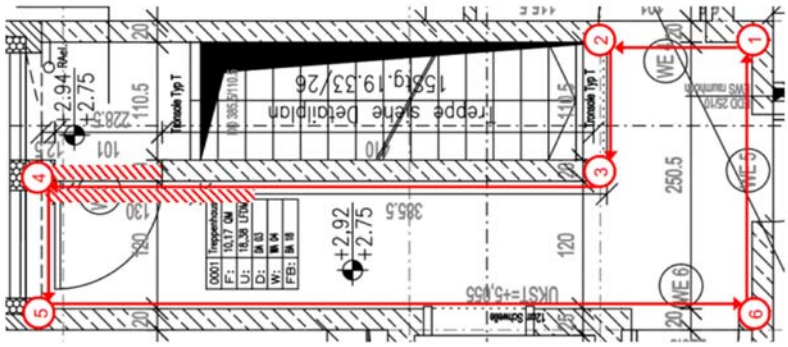


$L'_{n,w}$ = 44 dB

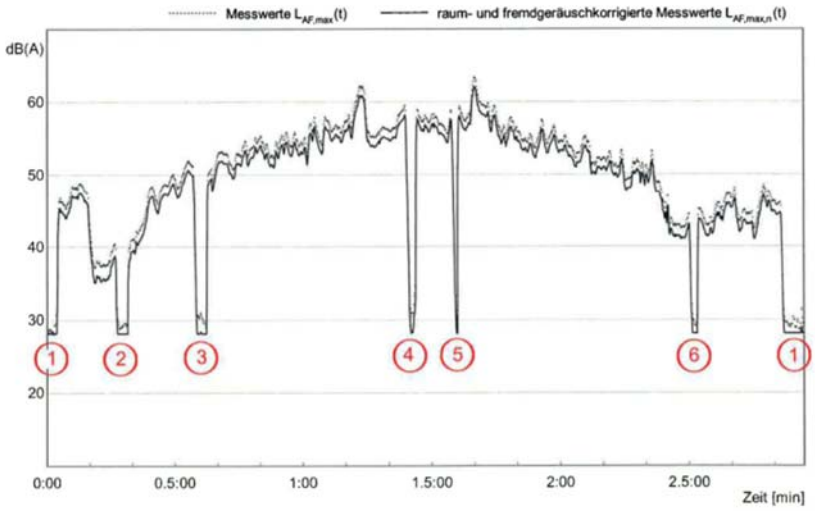
2. Lokalisierung von Schallbrücken

2.1. Schwimmende Estriche

Bewährt hat sich die einfache und direkte Lokalisierung mit einem Gummihammer, mit dem der Randbereich abklopft wird. Bei entkoppeltem Randbereich schwingt der schwimmende Estrich frei und es ist ein tieffrequentes Schwingen der Estrichplatte zu hören. Nähert man sich der Schallbrücke, schwingt die Estrichplatte nicht mehr frei und der Ton verändert sich deutlich hin zu einer Reduktion der tieffrequenten Schwingung und Hinzukommen einer hochfrequenten Schwingung. Ebenso möglich ist das „Abfahren“ des Randbereiches mit einem Kleinhammerwerk und gleichzeitiger Messung des Empfangspegels im darunter befindlichen Raum. Mit etwas Übung gelingt die „Fahrt“ des Kleinhammerwerkes so gleichmäßig, dass sich aus dem Pegel-Zeitverlauf die Schallbrücken sehr gut erkennen lassen.



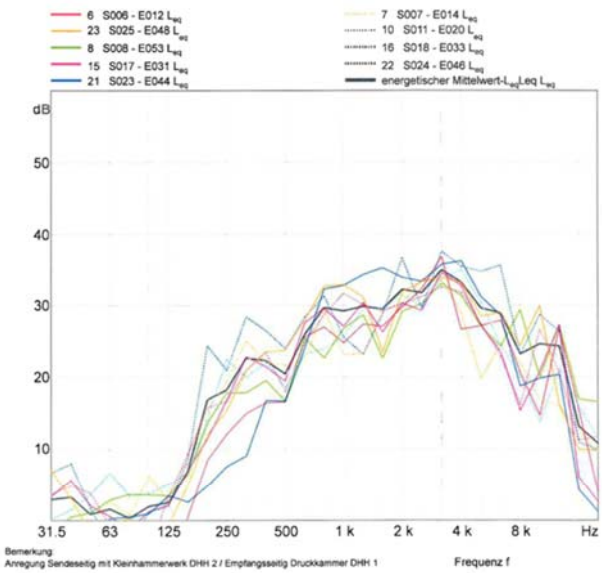
Hausflur OG
Treppe führt ins DG ins Wohnzimmer ohne weitere Türe
schwimmende Estrichplatten im Hausflur und
im Flur vor der Treppe sind verbunden

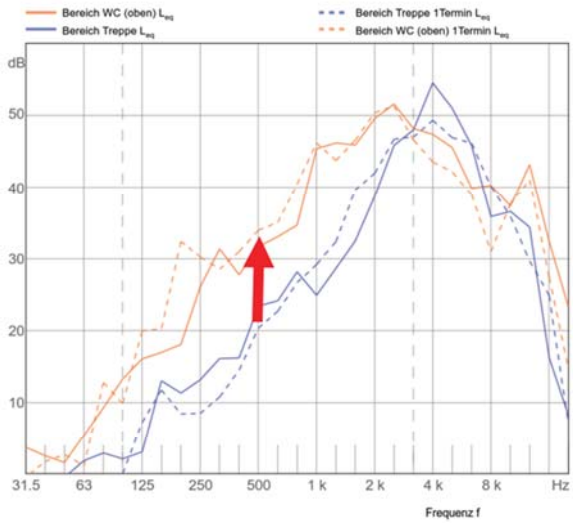


Bei der Durchführung hat sich das Anheben des Kleinhammerwerks an markanten Punkten (z.B. Ecken) bewährt, um die geometrische Zuordnung der Zeitpunkte zu erleichtern. Bei der Bewertung ist dabei zu berücksichtigen, dass sich in den Ecken aufgrund der Reflexionen auch ohne Schallbrücken eine Pegelerhöhung ergibt.

2.2. 2-schalige Reihen-/Doppelhaustrennwände

Schallbrücken bei zweischaligen Reihenhaustrennwänden entstehen meist beim Betonieren der Decken durch unsachgemäß verlegte Dämmungen, unzureichender Schutz dieser Dämmungen oder unsachgemäßem Verfüllen von Schalungsziegeln. Durch systematisches Anregen der Trennwand mit einer Körperschallquelle und Abtasten auf der gegenüberliegenden Wandseite lassen die Unterschiede im Körperschall-Schnellepegel L_v auf die Lage der Schallbrücken schließen.





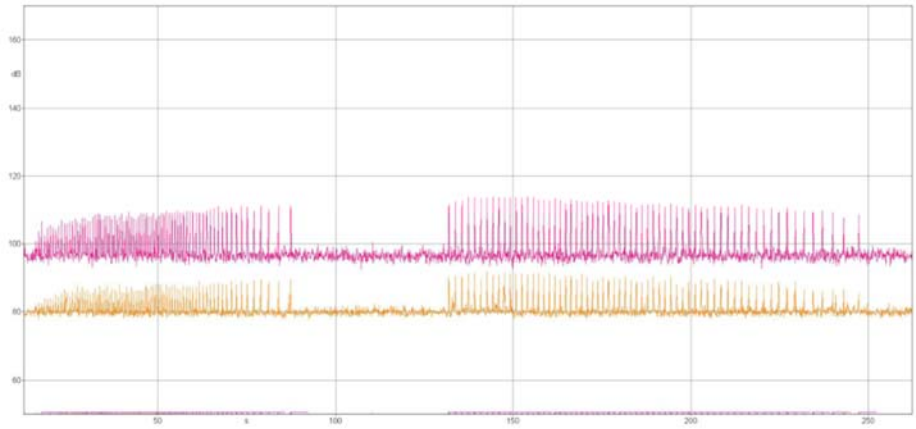
Körperschall-Schnellepegel-Differenzen ΔL_v

Beispiele aus 2 verschiedenen Projekten

Die vermuteten Stellen lassen sich dann zielgerichtet von einer Seite öffnen, die Schallbrücken beseitigen und das Mauerwerk anschließend wieder verschließen. Der hierdurch entstehende zeitliche und finanzielle Aufwand ist deutlich geringer als der Aufwand, der durch pauschales Durchsägen der Trennwandfuge entsteht. Hinzu kommt, dass bei Durchsägen der Trennwandfuge ein großer Teil des Dämmmaterials (Hohlraumbedämfung) aus der Fuge entfernt wird, was sich negativ auf den erreichbaren Schallschutz auswirkt.

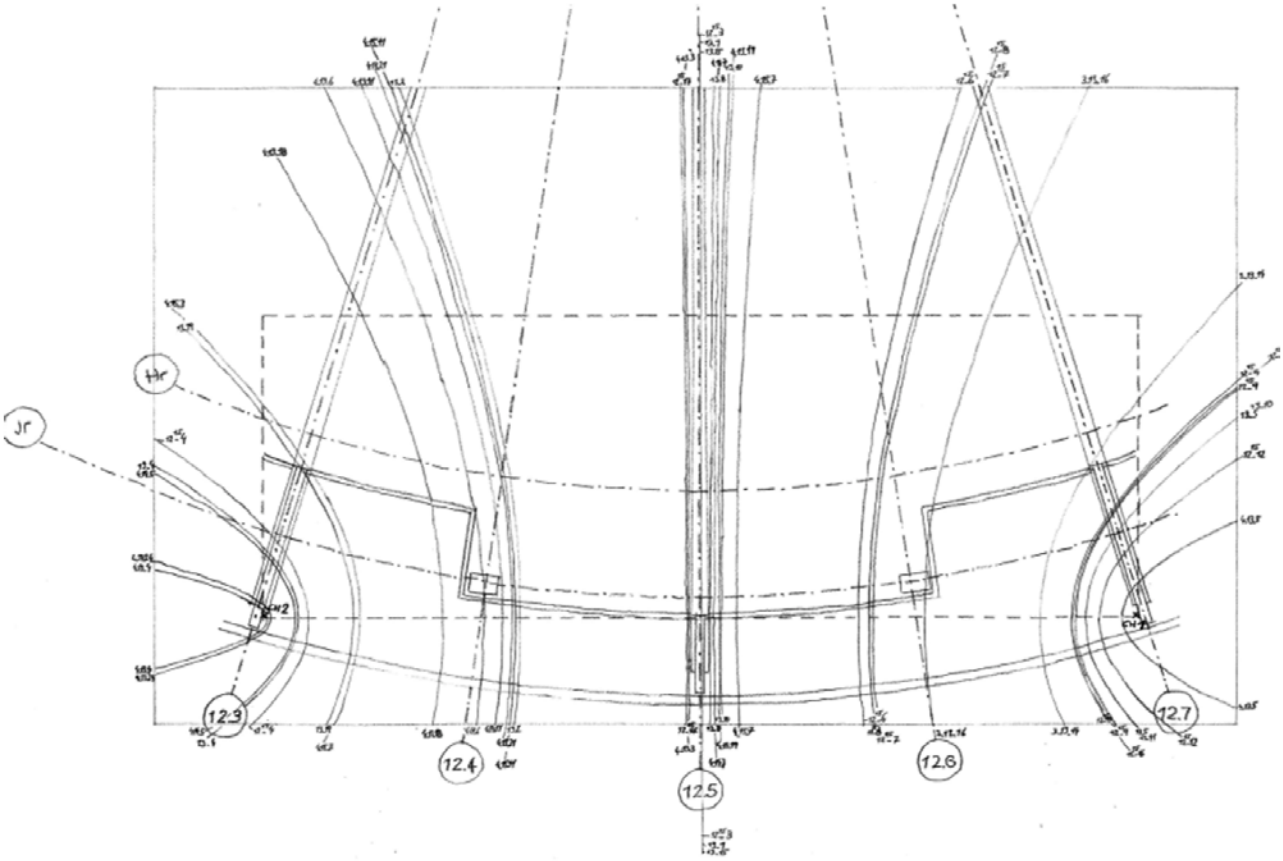
2.3. Thermische Knackgeräusche

In Heizleitungen können aufgrund thermischer Spannungen sehr laute Knack- oder Knallgeräusche entstehen. Das folgende Bild zeigt Körperschall-Schnellepegel (nicht kalibriert). Die auftretenden Schallpegel in den Wohnräumen können teilweise bis zu 70 dB(A) erreichen. Zur Lokalisierung werden mindestens 2 Schwingungsaufnehmer auf den Heizleitungen montiert und über die Differenz der Laufzeiten lässt sich dann die Lage der „Knackstelle“ eingrenzen. Hierbei ist eine möglichst hohe Abtastrate der Eingangssignale und eine sehr gute Kanaltrennung erforderlich, handelsübliche Soundkarten genügen in der Regel herfür nicht.



Das funktioniert sowohl auf Heizleitungen, als auch in dreidimensionalen Gebäudestrukturen, beispielsweise bei der Lokalisierung eines Stahldornes an einer Stahlbetonstütze oder Balkonen in einem mehrstöckigen Wohnhaus.

Im Gegensatz zu linienförmigen Strukturen wie Heizleitungen ergeben sich auf flächigen Strukturen Parabeln auf denen die „Knackstelle“ liegt. Durch geschickte Wahl der Messpunkte kann letztlich die genaue Lage eingegrenzt werden.



3. Sanierung von Schallbrücken

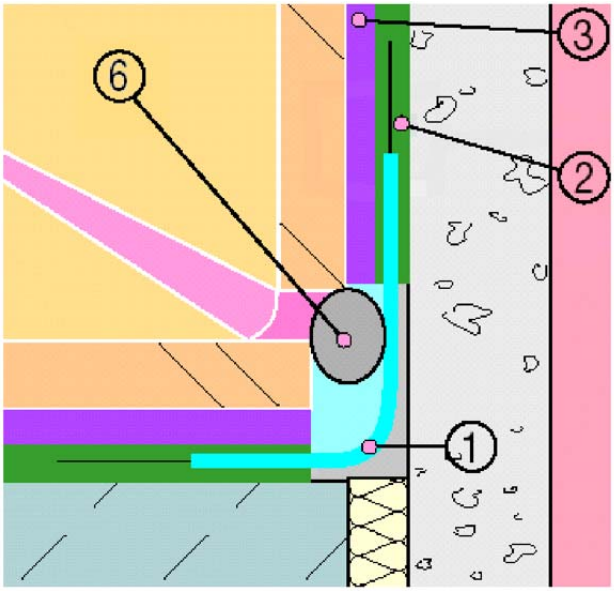
Grundsätzlich sind die Kontaktstellen zu beseitigen, oder bei Leitungen die Zwängungen zwischen den Leitungen und angrenzenden Bauteilen zu entfernen. Sägeverfahren können bei zweischaligen massiven Trennwänden zum Erfolg führen. In der Regel wird jedoch die Hohlraumbedämpfung (meist Mineralwolle) vollständig entfernt, sodass sich häufig keine Verbesserung manchmal sogar eine Verschlechterung eintreten kann. Deshalb ist die Lokalisierung und gezielte Öffnung der Wand die zu bevorzugende Methode.

4. Vermeidung von Schallbrücken

Leider wird aus Kostengründen häufig auf die Verwendung von Estrich-Randdämmstreifen mit Folienlappen verzichtet, auch wenn die Mehrkosten bei einem 6-Familienhaus ca. 70 EUR betragen. Hierdurch ließen sich die typischen Schallbrücken im Randbereich durch herausfließende Estrichmasse sicher verhindern. Immer wieder sind auch Schallbrücken im Randbereich bei Umkehr der Bauausführung und Einbringung des Estrichs vor dem Verputzen der Wände festzustellen. Der Klassiker unter den Schallbrücken im Estrichbereich werden durch zu früh abgeschnittene Estrich-Randdämmstreifen verursacht.

Im Badbereich sind zwingend Abdichtungsbänder (Dichtband = 1) in den Kanten vorgeschrieben, die in eine mehrlagige flüssige Gummischicht eingebettet werden (z.B. Lastogum). Diese Gummischicht härtet aus und ist

im Endzustand zumindest auch schalltechnischer Sicht hart. Deshalb sehen die Vorgaben der Hersteller vor, dass nur die Gummilappen und nicht die Kante selbst überstrichen werden (siehe grüne Schicht = 2).



Detail: Boden-Wand-Anschluss

① PCI-Sicherheits-Dichtband-120
② Dichtschicht:
PCI-Lastogum
③ Fliesenkleber:
PCI-Flexmörtel auf Dichtschicht
aus PCI-Lastogum
④ PCI-Fugenmörtel
z. B. PCI-Flexfuge
⑤ PCI-Silcoferm S
⑥ DIN-Polyband

Das wird in der Praxis meist nicht so ausgeführt und durch die Aushärtung des flüssigen Gummis entstehen so starre Verbindungen zwischen der Estrichplatte und den Wänden.

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.

Lärm im Schlafzimmer

Univ. Prof. DI Dr. Thomas BEDNAR, TU-Wien, Institut für Hochbau und Technologie

Erholsamer Schlaf braucht Schutz vor Umgebungslärm, niedrige Raumtemperaturen und eine hohe Raumluftqualität. Der Schutz vor Umgebungslärm erfolgt durch die Verminderung der Schallübertragung über die Fassade eines Gebäudes und die Reduktion der Temperaturen durch die Ermöglichung eines hohen nächtlichen Luftwechsels über die eventuell selben Fassadenteile. Dadurch ergibt sich im ersten Ansatz ein Zielkonflikt. Im Vortrag wird die Erweiterung der Berechnung der Schallimmission in Wohnungen unter Berücksichtigung der Topologie der Räume zusammengestellt und anhand typischer Situationen mit und ohne „ruhiger“ Fassade der Ablauf in der Planung diskutiert. Geeignete Grundrisse und/oder ein geeigneter Aufbau doppelschaliger Fassaden können Lösungsmöglichkeiten darstellen bevor über persönlichen bzw. aktiven Schallschutz nachgedacht werden muss.

Der Beitrag und die Berechnungstabellen zum Vortrag sind unter

www.bph.tuwien.ac.at/bauphysikmeetspublic/bauphysiker-innen-tag-2019/

verfügbar. Bevor sie ihn Ausdrucken – bitte an die Umweltfolgen denken.

Dipl.-Ing., MSc

Dieter WERNER

Leiter des Bauphysiklabors der MA 39 (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien)

Mail: dieter.werner@wien.gv.at
Telefon: 01/4000/39261

Ausbildung / Studien: Studium der Technischen Chemie an der TU Wien, Postgraduales Studium Fire Safety Management an der Donau-Uni Krems, Qualitäts-Management-Ausbildung, Ausbildung zum Experten für Schimmelbekämpfung
beruflicher Werdegang: Assistententätigkeit an der Universität Wien am Institut für Theoretische Chemie und Strahlenchemie, Bediensteter des höheren technischen Dienstes der Stadt Wien bei der MA 39, nebenberufliche Lektorentätigkeit am FH Campus Wien
Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien zum Thema Bauphysik, umfangreiche Publikationen und Vortragstätigkeit im Bereich Bauphysik

Dipl.-Ing.

Roman MOTTINGER

Mitarbeiter des Bauphysiklabors der MA 39, Bereich Schallschutz (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien)

Mail: roman.mottinger@wien.gv.at
Telefon: 01/4000/39273

Ausbildung / Studien: Studium des Maschinenbaus an der TU Wien
beruflicher Werdegang: Mitarbeit in Projekten der Fahrzeugentwicklung, Tätigkeit im Facilitymanagement, Bediensteter des höheren technischen Dienstes der Stadt Wien bei der MA 39
Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien zum Thema Schallschutz und Vortragstätigkeit im Bereich Bauphysik

Dipl.-Ing. Dr. techn.

Viktoria GRÄF

Mitarbeiterin des Bauphysiklabors der MA 39, Bereich Wärmeschutz, Feuchteschutz und Behaglichkeit (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien)

Mail: viktoria.graef@wien.gv.at
Telefon: 01/4000/39274

Ausbildung / Studien: Diplomstudium der Technischen Physik an der TU Wien, Doktoratsstudium für Bauingenieurwesen an der TU Wien
Beruflicher Werdegang: Projektassistententätigkeit an der TU Wien am Institut für Hochbau und Technologie, Bedienstete des höheren technischen Dienstes der Stadt Wien bei der MA 39, nebenberufliche Lektorentätigkeit am FH Campus Wien
Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien zum Thema Bauphysik, Publikationen und Vortragstätigkeit im Bereich Bauphysik

Begrünte Fassaden

Aktuelle bauphysikalische Entwicklungen

Dipl.-Ing. Dr. techn. Viktoria Gräf, Dipl.-Ing. Roman Mottinger, Dipl.-Ing. Dieter Werner, MSc, alle MA 39 – Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, Rinnböckstrasse 15/2, 1110 Wien

1. Einleitung

Begrünungsmaßnahmen, im speziellen Fassadenbegrünungen, rücken gerade für Großstädte wie Wien immer mehr in den Fokus. Der globale Klimawandel trifft ganz besonders Ballungsräume, da durch das Versiegeln der Flächen (dies wiederum begründet mit steigender Populationsdichte und dem damit verbundenen Flächenbedarf) die Hitzekumulation im städtischen Bereich groß ist. Vergleicht man die in Wien gemessenen Maximaltagestemperaturen in den 5-Jahres-Perioden von 2007-2011 und 2012-2016 miteinander, so zeigt sich ein erheblicher Anstieg der Anzahl der Hitzetage (= Tage, an denen die Maximaltemperatur über 30 °C liegt). Waren es im ersten Zeitraum noch 15,4 Hitzetage pro Jahr, so waren es von 2012-2016 bereits 26,4 Hitzetage pro Jahr.

Die Stadt Wien hat diese Tendenz schon früh erkannt. Seit fast 20 Jahren beschäftigt sich die Wiener Umweltschutzabteilung (MA 22) mit der Thematik Hitze in der Stadt in Form von grundlegenden Studien, strategischen Papieren und einer aktiven Informationsarbeit.

Einigkeit besteht auf breiter Ebene darüber, dass mehr städtische grüne Infrastruktur (z.B. Parks) oder blaue Infrastruktur (z.B. offene Wasserflächen, Bäche) zu einer Verbesserung der Situation führen. Gerade jedoch Frei- und Grünräume stehen durch den steigenden Bedarf von Grund und Boden, durch die Erhaltungskosten und zum Teil auch durch die geringe Akzeptanz gegenüber grüner Infrastruktur unter Druck. Diesem kann großteils entgangen werden, wenn bereits bestehende ebenso wie gerade neu geschaffene Gebäude an Dach und Fassade begrünt werden.

Der gegenständliche Artikel soll nun Fassadenbegrünungen bezüglich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften beleuchten, die derzeit bekannten Erkenntnisse zu den drei Disziplinen Brand-, Schall- und Wärmeschutz zusammenfassen und einen Ausblick auf derzeit begonnene und zukünftige Projekte zum Thema geben.

2. Brandschutz

Als einer der Hemmschuhe für Fassadenbegrünungen wird oft der Brandschutz genannt, da grundsätzlich angenommen wird, dass Pflanzen brennen und damit zu einer Brandweiterleitung über die Fassade beitragen. Nichtsdestotrotz ist das exakte Brandverhalten derselben in großmaßstäblichen Versuchsanordnungen jedoch noch weitestgehend unbekannt.

Die MA 39 hat daher in den letzten Jahren versucht durch großmaßstäbliche Prüfungen an Grünfassaden Licht ins Dunkel zu bringen. Für die großmaßstäblichen Brandversuche wurde ein Brandszenario in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 (Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen) gewählt. Als angenommenes Szenario dient ein Vollbrand in einem Raum, der aus einem Fenster ausbricht und die anliegende Fassade angreift. Zur Beurteilung wird jener Beitrag zur Brandausbreitung herangezogen, den die gegenständliche Fassadengestaltung (Form, Baustoffe, Montagesysteme u. a.) zusätzlich zur stets vorhandenen Ausbreitung bietet. Als Brandlast wird dabei eine 25 kg schwere Fichtenholzkrippe verwendet.

Beurteilungskriterien sind

- die Brandausbreitung entlang der Fassadenbegrünung und
- das Abfallen großer und/oder brennender Teile der Fassade.

Insgesamt wurden vier Großbrandversuche mit unterschiedlichen, jedoch für Fassadenbegrünungen in Wien typischen Pflanzen (Hedera helix (Efeu), Akebia (Fingerblättrige Akebie), Hydrangea (Kletterhortensie), Parthenocissus (Wilder Wein), Wisteria (Blauregen)) durchgeführt, wobei bei drei dieser Versuche die Pflanzen mechanisch auf einer metallischen Rankhilfe und bei einem der Versuche mechanisch direkt auf dem Prüfstand montiert waren.

Es zeigte sich, dass grundsätzlich alle getesteten Pflanzen im Großbrandversuch zu einer vertikalen Brandweiterleitung beitragen, indem sie strohfeuerartig in kurzer Zeit (wenige Sekunden) nach oben hin wegbrennen und zum Teil weiterglimmen (siehe folgende Abbildungen 1 und 2).

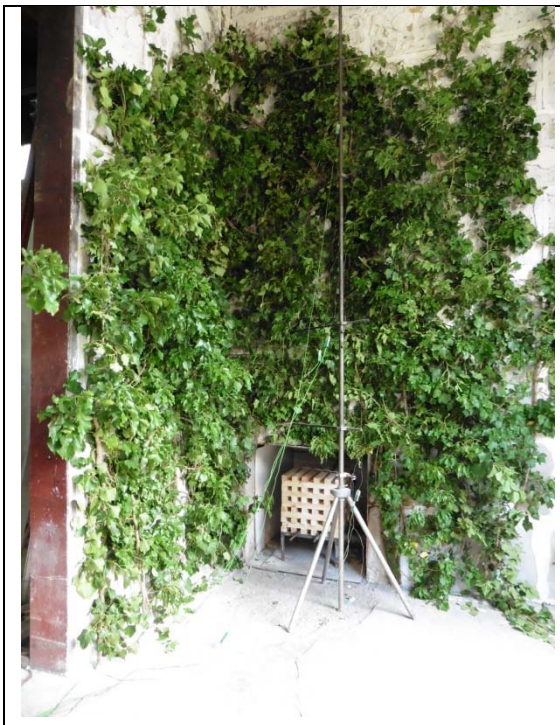


Abbildung 1: Efeu am Prüfstand der MA 39 vor der Fassadenbrandprüfung	Abbildung 2: kurzzeitige vertikale Brand-weiterleitung während der Brandprüfung

Prinzipiell ist eine Entzündung der Blätter zu erkennen, ein Mitbrand der verholzten Triebe ist nicht bzw. nur in sehr geringen Ausmaß in der Nähe der Brandkammer, also im Bereich der höchsten Temperaturen von ca. 850 °C bis 900 °C, zu erkennen. Als Ursache dafür wird der Gehalt an ätherischen Ölen in den Blättern vermutet, nachdem bei der Prüfung kein Totholz vorlag.

Werden die Pflanzen mit einem Abstand von 60 cm oberhalb der Brandkammer (= simuliertes Fenster) montiert, so ist der „Strohfeuereffekt“ bereits vermindert, bei einem Abstand von 1,0 m ist keine Entzündung der Fassadenbegrünung zu beobachten, die kritische Temperatur scheint bei ca. 500 °C bis 550 °C zu liegen – das ist jene Temperatur, die bei den Versuchen in genau dieser Höhe 10 cm vor der Fassadenbegrünung gemessen wurde. Eine vertikale Brandweiterleitung war bei keinem der Versuche zu beobachten. Die Sekundärbrandgefahr durch abfallende, brennende Teile war ebenfalls nicht gegeben. Die metallische Rankhilfe trägt in keinem Fall zur Brandweiterleitung bei, sie hält dem Brandszenario stand ohne abzufallen.

Dadurch ergeben sich für künftige Anwendungen von Fassadenbegrünungen folgende richtungsweisende Erkenntnisse:

- Bei Gebäuden bis zur Gebäudeklasse 3 (vgl. 3 Geschoße) sind keine Nachweise hinsichtlich der Brandweiterleitung bzw. spezielle Brandschutzmaßnahmen erforderlich.
- Bei höheren Gebäudeklassen sind nichtbrennbare Rankhilfen (z.B. aus Metall) einzusetzen.
- Ab der Gebäudeklasse 4 sind auch Nachweise zur wirksamen Einschränkung der Brandweiterleitung bzw. des Herabfallens großer und brennender Teile der Fassade zu erbringen.
    - Dies kann beispielsweise durch eine Prüfung gemäß ÖNORM B 3800-5 erfolgen.
    - Nachweisfrei sind folgende Ausführungen (siehe auch Abbildung 3)
        - Fassadenbegrünung maximal dreigeschossig oder
        - zwischen den Geschoßen Ausführung einer Brandschutzabschottung (Stahlblechprofil, 20 cm auskragend) oder
        - vertikaler Schutzabstand zu darunter liegenden Fenstern von mindestens 1,0 m

Abbildung 3: beispielhafte Ausführungen von brandschutztechnisch nachweisfreien Fassadenbegrünung

<u>Unabhängig von der Gebäudeklasse</u> sind Fassadenbegrünungen zu pflegen und in einem vitalen, funktionalen Zustand zu erhalten (eindeutige Regelung der Zuständigkeit für Pflege und Erhaltung der Begrünung, z.B. im Bauwerksbuch). Erforderliche Pflegemaßnahmen sind bereits in der Planung zu berücksichtigen und gegebenenfalls im Bauwerksbuch festzuhalten. Falls größere Pflanzflächen absterben (Hinweis: jahreszeitlich bedingtes Verbraunen und Einziehen von Pflanzen ist damit nicht gemeint): Umgehende Entfernung eines zu hohen und dichten oberirdischen Pflanzbestandes im vertrocknetem Zustand erforderlich.

3. Schallschutz

Die Schallthematik wird in sehr vielen Bereichen des Bauens als ein unangenehmes Thema empfunden, da bereits sehr kleine, oftmals nicht sichtbare Verbindungen in Bauwerkskonstruktionen den Schall extrem stark übertragen können. Umso wichtiger ist es, schallschutztechnische Maßnahmen richtig zu planen, auszuführen und zu prüfen.

Was können nun begrünte Fassaden für den Schallschutz tun?

Eine der naheliegendsten Vermutungen ist, dass sich durch die insgesamt größere Oberfläche der Begrünung und durch das offene System der Bepflanzung ein höherer Schallschutz schaffen lässt.

Vermutung deshalb, da selbst nach eingehender Literaturrecherche wissenschaftliche Nachweise für die schalldämmende Wirkung von Grünfassaden fehlen oder nur in sehr geringem Ausmaß zu finden sind. Die zwei Themenbereiche, die für die Grünfassade von Bedeutung sind, sind die Absorption (die Aufnahme von Schall) und die Schalldämmung (der Widerstand gegen das Durchdringen von Schall). Beide Bereiche lassen sich getrennt voneinander gut untersuchen und beeinflussen sich positiv (z.B. höheres Gewicht bietet besseren tieffrequenten Schallschutz). In den wenigen recherchierten Berichten, Diplom- und Bachelorarbeiten wird oft von einer Pegelminderung in dB(A) berichtet und diese teilweise auch mit der Schallreduktion gleichgesetzt. Eine saubere Trennung der Bereiche wäre wünschenswert und wissenschaftlich gewinnbringend. Eine weitere interessante Frage, die bis dato unbeantwortet ist, ist inwieweit eine begrünte Fassade zu einer Verbesserung des Schallschutzes im Gebäudeinneren, also zum Vorteil der WohnungsnutzerInnen beitragen kann.

Untersuchungen im Labor bieten seit vielen Jahren eine solide Basis für die schalltechnischen Eigenschaften von Bauteilen. Messungen der Absorption α_S nach ÖNORM EN ISO 354 und des Schalldämmmaßes R_W nach ÖNORM EN ISO 10140 (Serie) lassen sich prinzipiell auch auf Grünfassaden anwenden. Auch die Messung des Ist-Zustandes von bereits begrünten Fassaden (In-Situ) nach ÖNORM EN ISO 16283-3 wäre denkbar.

Bei der Betrachtung der Absorption gilt eine grundlegende Regel: „Luftdurchlässige Oberflächen absorbieren den Schall“. Der Absorptionsgrad hängt von Gewicht, Form und Material-Struktur ab. Hier ist die Ausgangssituation für die Grünfassade durchaus gut, wobei das Substrat selbst voraussichtlich die ausschlaggebende Größe darstellt. Die Eigenschaften der Pflanze, wobei ja eine begrünte Fassade aus vielen unterschiedlichen Pflanzenarten bestehen kann, reduzieren die absorbierende Wirkung des Substrates und werden wohl eher eine schallreflektierende Eigenschaft aufweisen. Konkrete Messergebnisse liegen derzeit noch nicht vor, ein geplantes Forschungsprojekt der MA 39 gemeinsam mit der Universität für Bodenkultur soll hierzu konkrete Ergebnisse liefern.

Die Schalldämmung ist bei den Grünfassaden ein umfassenderes Thema, da aus bauphysikalischer Sicht nicht alleine die Begrünung dazu beiträgt, dass sich eine Verbesserung einstellt, sondern das Gesamtsystem Fassade zu betrachten ist. Gewicht und Montage erforderlicher Bauteile der Grünfassade beeinflussen ausgeprägt die Zielgröße, z.B kann eine hinterlüftete Fassade, die mit Mineralwolle gedämmt wurde (diese bietet neben Wärmeschutz auch eine schallschutztechnische Verbesserung zur Grundwand) und nachträglich begrünt wird, durch eine falsche Ausführung der Anbindung eines Pflanzen-Trog-Systems, an Schallschutz verlieren - der verbesserte Schallschutz im Vergleich zur Grundwand ist ebenso verloren. Entscheidende Fragen sind somit: Wie ist das Begrünungssystem an der Fassade montiert, wie sind entstehende Schallbrücken möglichst zu verhindern?

Selbst auf Basis der jahrzehntelangen Prüferfahrungen der MA 39 mit den unterschiedlichsten Bauteilen und Konstruktionen ist schwierig einschätzbar, welche schallschutztechnischen Veränderungen durch Grünfassaden bei Absorption und Schalldämmung zu erwarten sind. Konkrete Werte zum Schallschutz bei Grünfassaden liegen sehr spärlich vor. Verbesserung der Schalldämmung von 10 dB und der Absorption von 0,65 werden in Literatur und Berichten genannt. Nachweise für diese Zahlen werden teilweise nicht erbracht. Erst zukünftige normative Messungen (Labor und In-Situ) werden zeigen, ob die genannten Größen erreicht werden können. Eine erhöhte Wissenschaftlichkeit zum Thema Schallschutz und Grünfassaden ist aus Sicht der MA 39 unumgänglich, um diesen möglichen weiteren Vorteil der Grünfassade auch entsprechend „verkaufen“ zu können.

4. Wärmeschutz

Wärmetechnische Auswirkungen von Fassadenbegrünungen werden bereits seit den 1980er Jahren wissenschaftlich untersucht. Hierbei werden Auswirkungen auf Temperaturen, Feuchtigkeit und Energiebedarf erforscht – nahezu untrennbar verbundene Faktoren im Wärmeschutz.

Diverse Messungen haben gezeigt, dass begrünte Fassaden aufgrund ihrer Verschattungswirkung vor intensiver Sonneneinstrahlung schützen und somit zum sommerlichen Wärmeschutz beitragen. Hierbei konnten im Sommer bereits Oberflächentemperaturabsenkungen von 2°C bis zu 10°C festgestellt werden [Treiber, Vertikale Gärten 2012; Pfoser, Fassade und Pflanze 2016]. Im Winter hingegen wurde eine bis zu 7°C höhere Temperatur zwischen Grünsystem und Wand aufgrund der windschützenden Wirkung gemessen [Scharf et al., Living Walls – more than scenic beauties 2012].

Die Anbringung einer „Schutzschicht“ vor der Außenhaut eines Gebäudes hat auch eine dämmende Wirkung. Eine Untersuchung an zwei konkreten Gebäuden mit Fassadenbegrünung hat eine Verbesserung der Wärmedämmung um bis zu 21% nachgewiesen [Tudiwer et al., Endbericht MA 22-154330/2015]. Jedoch wird der mögliche dämmende Effekt einer Fassadenbegrünung maßgeblich von der Bepflanzung, der Substratschicht, der Montagekonstruktion, der Exposition des Gebäudes und der Bausubstanz abhängig sein.

Abhängig von der Wahl der Bepflanzung kann die Fassadenbegrünung auch als Luftbefeuchter und Luftfilter fungieren. Eine Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit von bis zu 40% im Sommer bzw. von bis zu 8% im Winter ist nachgewiesen worden [Rath et al., Bauforschungsbericht 1988]. Bedenken hinsichtlich möglicher Feuchteprobleme bestehen hauptsächlich gegenüber Selbstklimmern, da hier die Fassade großflächig mit den Pflanzen und somit der Feuchte in Kontakt kommt.

Hinsichtlich der Anforderung an den erneuerbaren Anteil gemäß 4.3 der OIB-Richtlinie 6 sind die Auswirkungen der Kombination von erneuerbaren Energiequellen und Fassadenbegrünung zu berücksichtigen. Die angestrebte Oberflächentemperatursenkung durch begrünte Fassaden hat auf Photovoltaik und Solarthermie unterschiedliche Auswirkungen. Eine reduzierte Aufheizung der Photovoltaikmodule im Sommer kann in Hitzephasen zu einer Wirkungsgradsteigerung von bis zu 5% führen [Wölfl, Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik 2011]. Hingegen ist der Leistungsertrag der Solarthermie von der Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und Absorber abhängig. Somit führt eine Temperaturabsenkung im Bereich der Außenhaut eines Gebäudes zu einer Leistungsminderung.

Aus wärmetechnischer Sicht liegt bei Betrachtung der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen die Vermutung nahe, dass das thermische Verhalten einer Fassadenbegrünung mit einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade vergleichbar ist. Außerdem hat sich gezeigt, dass das Schadenspotential von Selbstklimmern im Vergleich zu den gemessenen Effekten zu groß ist und hinsichtlich des Wärmeschutzes andere Montagesysteme zu bevorzugen sind.

Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse der durchgeführten Einzelmessungen ist problematisch, da die Untersuchungen nicht nur an Objekten durchgeführt wurden, die sich bezüglich Lage, Exposition und Baustoffen unterscheiden, sondern auch die Fassadenbegrünungssysteme bezüglich System, Montage, Bepflanzung und Ausdehnung variieren. Hierzu sollten Labormessungen in kontrollierten definierten Bedingungen durchgeführt werden um die wärmetechnischen Auswirkungen von Fassadenbegrünungen unter Ausschluss anderer Einflussparameter zu erfassen. Außerdem sind die Auswirkungen der Montage und der damit entstehenden zusätzlichen punktuellen Wärmebrücken zu erfassen.

5. Ausblick

Deutlich scheint, dass an zukünftigen Begrünungsmaßnahmen im städtischen Bereich im Sinne der Einschränkung von Hitzeinseln kein Weg vorbei führen wird. Bauphysikalische Auswirkungen dieser Maßnahmen sind in den Teildisziplinen Brandschutz, Schallschutz und Wärmeschutz insgesamt jedenfalls so wenig erforscht, dass allgemein gültige Aussagen zur bauphysikalischen Performance von Begrünungen nur sehr spärlich gegeben werden können.

Hier ist jedenfalls noch einiger Forschungsbedarf gegeben, der zunächst vor allem mit Labormessungen abgedeckt werden sollte. Das reicht von weiteren Brandversuchen (z.B. Verhalten von Fassadenbegrünungen vor Balkonplatten oder Laubengängen) über Schallabsorptionsmessungen bis hin zu wärmeschutztechnischen Messungen, beispielsweise einen Jahreszyklus simulierend. Das Bauphysiklabor der MA 39 ist in allen Bereichen – zum Teil in Zusammenarbeit mit weiteren Forschungseinrichtungen und Stakeholdern – tätig und wird über die weiteren Entwicklungen in einschlägigen Fachveranstaltungen laufend berichten.

6. Literatur

Urban Heat Islands, Strategieplan Wien, Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22, Wien, 2015

OIB-Richtlinie 2: Brandschutz, OIB-330.2-011/15, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2015

OIB-Richtlinie 2.3: Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m, OIB-330.2-014/15, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2015

ÖNORM B 3800-5: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen, Austrian Standards Institute, Wien, 2013

OIB-Richtlinien, Begriffsbestimmungen, OIB-330-014/15, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2015

Scharf, B./Pitha, U./Oberarzbacher, S. (2012): Living Walls - more than scenic beauties, In: IFLA – International Federation of Landscape Architects, Landscapes in Transition, 2012

Tudiwer et al., Endbericht MA 22-154330/2015

Rath, J./Kiessl, K./Gertis K. (1988): Bauforschungsbericht. Auswirkungen von Fassadenbegrünung auf den Wärme- und Feuchtehaushalt von Außenwänden und Schadensrisiko. Suttgart, 1988

Treiber, E. (2012): Vertikale Gärten. Fassadenbegrünung: Systeme und Auswirkungen, Projektstudie an der Fachhochschulstudiengänge Burgenland GmbH, Pinkafeld, 2012

Pfoser N. (2016): Fassade und Pflanze. Potentiale einer neuen Fassadengestaltung, Dissertation an der Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, 2016

OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz, OIB-330.6-009/15, Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2015

Wölfl, K. (2011): Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik. Versuchsanlage liefert den Beweis, In: ZinCo GmbH (Hrsg.): Pressebericht vom 24.03.2011; unter: http://www.pressebox.de/pressemitteilung/zinco-gmbh/Dach-begruenung-erhoeht-Ertraege-der-Photovoltaik/boxid/413805 [13.05.2013]

TU Verlag
an der Technischen Universität Wien
www.tuverlag.at
ISBN 978-3-903311-04-6