

Innendämmung ohne Dampfsperre im Lichte des Wärme-, Feuchte- und Schallschutzes

1. Ausgangssituation

Im Zuge der weltweiten Bestrebungen zur Energieeinsparung kommt der thermischen Ertüchtigung bestehender Bausubstanz, vor allem auch der 1940er- bis 1980er-Jahre besondere Bedeutung zu. Man schätzt allein für Österreich 130 Mio m² zu sanierende Wohnnutzfläche.¹

Die Einwohnerzahl Österreichs stieg laut Statistik Austria in den letzten 10 Jahren um zirka 5 % und wird in den nächsten 10 Jahren voraussichtlich um weitere 5 % anwachsen. Die auch weltweit zu beobachtende Konzentration dieser Entwicklung auf die Städte bei gleichzeitig nicht beliebig ausdehnbarem Flächenbedarf bedeutet konkreten Handlungsbedarf auch hinsichtlich Nachverdichtung, Belegung der Stadtkerne und Anhebung des energetischen Niveaus von Bestandsbauten.

Dabei bieten Innendämmungen in vielen Fällen die Möglichkeit, den U-Wert bestehender, gegebenenfalls denkmalgeschützter oder aus anderen Gründen (wie erreichter Bauflichtlinien, komplizierter Fassadengeometrie oder hinderlicher Eigentumsverhältnisse) nicht außen zu dämmender Außenwände um rund 50 bis 60 % zu senken, die behaglichkeitsrelevanten inneren Oberflächentemperaturen zu erhöhen und das Risiko von Schimmelpilzbefall der Wandoberflächen zu reduzieren.

Auch die ersten Dämmmaßnahmen von Außenwänden in Form von innen liegenden Holzverkleidungen, expandiertem Kork, wasserglasimprägnierten Torf- oder magnetitgebundenen Holzwolleleichtbauplatten waren somit Innendämmungen, meist mit Zelluloseprodukten. Außen liegende Wärmedämmungen kamen 1959 mit der Erfindung des Wärmedämmverbundsystems durch *Edwin Horbach* in Verwendung² und erreichten erst durch die Energiekrise der frühen 1970er-Jahre weitere Verbreitung.

Die frühen Innendämmungen, später auch aus Mineralwolle und Polystyrol, wurden in Dicken von 2 bis 5 cm bis in die 1970er-Jahre angewandt und funktionierten feuchte-technisch einwandfrei. Aufgrund geänderter Heizungs- und Fenster- bzw Lüftungsgegebenheiten sowie größerer Dämmdicken wurden Innendämmungen in der Folge mit (gegebenenfalls feuchteadaptiven) Dampfbremsen versehen oder mit dampfdichten Dämmstoffen ausgeführt. Neuere, diffusionsoffene Konstruktionen verfolgen das Ziel, schädliche Wasserdampfkondensation unter Ausnutzung der Sorptions- und kapillaren Leitfähigkeit des Dämmmaterials zu vermeiden.

Neben einigen der seit über 100 Jahren bekannten Materialien kommen bei diesen kapillaraktiven Innendämmsystemen heute vorwiegend Plattendämmstoffe auf Basis von Calciumsilikat oder Mineralschaum zum Einsatz. Diese zeichnen sich durch weitgehende Feuchtigkeitsunempfindlichkeit, großes Feuchtespeichervermögen und einen hohen pH-Wert aus, benötigen jedoch einen planebenen Untergrund, was insbesondere im denkmalgeschützten Bereich häufig nicht der Fall ist und nicht selten aufwendige Ausgleichsmaßnahmen erfordert.

2. Behaglichkeit

Grundsätzlich wird das – in der Praxis durchaus subjektive – Empfinden von (Un-)Behaglichkeit von physiologischen, physikalischen und intermediären Randbedingungen bestimmt, welche wiederum in primäre, sekundäre und zusätzliche Faktoren unterteilt werden. Zu den primären Faktoren zählt man insbesondere die Raumlufttemperatur inklusive Luftbewegung und relativer Feuchte, aber auch die Raumumschließungsflächen-Temperatur,³ auf die die wärmetechnische Qualität des Bauteils einen erheblichen Einfluss hat.

3. Risiko Innendämmung?

Sofern möglich, sind Außendämmungen vor allem wegen des günstigeren hygrothermischen Verhaltens, der Applikationsmöglichkeit ohne Nutzungseinschränkung, des nicht gegebenen Verlustes an Wohnfläche etc, aber auch der weitgehenden Wärmebrückenfreiheit durch Bauteilanschlüsse (wie Zwischendecken, Innenwände oder Fensterlaibungen) in den meisten Fällen das Mittel der Wahl, um die Behaglichkeit in Wohnräumen zu erhöhen und Energie zu sparen.

Wenn eine Außendämmung nicht möglich ist oder bei Gebäuden mit stark intermittierender Nutzung, wo kurze Aufheizzeiten im Vordergrund stehen, bieten sich moderne Innendämmsysteme durchaus als Alternative an. Das immer wieder vorgebrachte Argument des Verlustes an speicherwirksamer Masse wird als eher untergeordnet angesehen, da zum einen die meist größeren Raumhöhen von Altbauten das Problem entschärfen und zum anderen deren meist massive Innenwände für ausreichend verbleibende speicherwirksame Masse sorgen. Insbesondere höhere Dämmstoffdicken stellen allerdings an Planende wegen der notwendigen hygrothermischen Gesamtbetrachtung

und an Ausführende vor allem bei Verwendung von Dampfbremsen wegen der erforderlichen Qualität der Verarbeitung höhere Anforderungen als Außendämmungen.

Aufgrund der Verschiebung des Taupunktes nach innen sind besondere Maßnahmen erforderlich, um schädliche Wasserdampfkondensation hintanzuhalten.

Während es bei einer ungedämmten Vollziegel-Außenwand höchstens zu ungefährlichem Kondensatanfall im Ziegel selbst kommt, bewirken bereits 5 cm Innendämmung ohne Dampfbremse deutlichen Kondensatanfall an der Grenzschicht zum Bestandsmauerwerk, der in der Regel von nicht sorptiven Materialien (zB Mineralwolle) nicht aufgenommen werden kann und daher – je nach Beschaffenheit der Wandinnenfläche – als flüssiges Wasser ausfällt.

Dies kann durch dampfdichte Dämmstoffe (wie Schaumglas) zur Gänze oder durch innenseitige (funktionierende) Dampfbremsen zum größten Teil verhindert werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass diese Dampfbremsen bei einer Umkehr des Dampfdruckgefälles, wie sie zB im Sommer vorkommen kann, unter Umständen nachteilige Auswirkungen haben können, da sie dann auf der falschen (kälteren) Seite liegen.

Diesen Nachteil verhindern sogenannte feuchtevariable Dampfbremsen, deren s_d -Wert mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit abnimmt und damit die Forderung nach einem inneren Abschluss der Innendämmung so diffusionsdicht als nötig, jedoch so diffusionsoffen als möglich mehr als erfüllen.

Sogenannte diffusionsoffene, kapillaraktive Dämmmaterialien (wie Calciumsilikat oder Zellulose) kommen ohne Dampfbremse aus, da anfallendes Kondensat sofort kapillar gespeichert und zeitversetzt wieder an die Innenraumluft abgegeben wird. Diese Systeme verhalten sich auch günstiger bei umgekehrter Diffusionsrichtung und kommen daher besonders bei der sensiblen nachträglichen Dämmung von Fachwerkbauten,⁴ zunehmend aber auch im übrigen Bestandsbau zum Einsatz.⁵

Wesentlich ist bei allen Systemen, dass die Hinterströmung der Innendämmung durch Raumluft, wie sie beispielsweise durch Risse oder konventionelle Steckdosen möglich ist, dauerhaft unterbunden wird.

Überdies ist grundsätzlich bei der thermisch-hygrisch angekoppelten Applikation von Innendämmungen in Bestandsbauten ein ausreichender Schlagregenschutz in Form einer möglichst regendichten, aber diffusionsoffenen Außenhaut wichtig, da das Trocknungspotenzial der Bestandswand durch die Innendämmung geringer wird und es ansonsten zu Feuchte- und Frostschäden an der Fassade kommen kann.

4. Innendämmsysteme

Beispielhaft für eine kapillaraktive Innendämmung wird ein Zellulose-Aufsprühdämmsystem vorgestellt, das im Rahmen dreier von der Österreichischen Forschungsförderungsge-

sellschaft (FFG) geförderter Projekte simulations-, mess- und produktionstechnisch entwickelt wurde. Das System besteht aus Altpapierzellulose, wie sie zur Dämmung von Hohlräumen im Wand- und Dachbereich sowie als Schüttdämmung der obersten Geschoßdecke verwendet wird, die mit einer Wasser-Bindemittel-Mischung feucht aufgesprüht und nach Trocknung mit einem Spezialputz verputzt wird.

Das neuartige Dämmsystem wurde in einem Testhaus unter realen Außen- und leicht verschärften Innenklimabedingungen über zwei Kondensations- und zwei Austrocknungsperioden getestet.⁶ Die lange Messperiode ist wegen des instationären Wärmeleitungs-, insbesondere aber wegen des stark instationären Wärme- und Feuchtespeicherungsprozesses in den einzelnen Bauteilschichten mit Wasserdampfkondensation bei Taupunktunterschreitung erforderlich. Dabei kam der in Abbildung 1 skizzierte umfangreiche Messaufbau zum Einsatz.

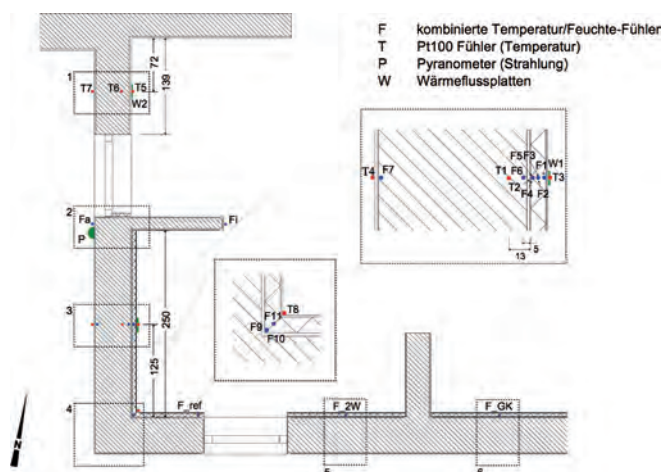


Abbildung 1: Grundriss und Messaufbau

Die Bestimmung der Bauteilfeuchte erfolgte über die Messung der relativen Luftfeuchtigkeit der im Bauteil bzw im Bereich der Feuchtefühler eingeschlossenen Luft; das heißt die Messung der sogenannten Gleichgewichtsfeuchte, womit über die Baustoff-Sorptionsisotherme der Wassergehalt im Material berechnet werden kann. Zusätzlich kann die örtliche Taupunkttemperatur berechnet werden.

Insgesamt wurden 13 kombinierte Feuchte-/Temperaturfühler in der Wandkonstruktion sowie je ein kombinierter Feuchte-/Temperaturfühler für Außen- und Innenraumklima eingesetzt, wobei die besonders sensiblen Bereiche zur Erzielung höherer Messsicherheit doppelt bestückt wurden. Zwei Fühler wurden in der Außenwandkante platziert, da diese bezüglich Taupunktunterschreitung besonders kritisch einzustufen ist. Weiters wurden die Oberflächentemperaturen an der Außen- und Innenoberfläche sowohl der gedämmten als auch der nicht gedämmten Wand gemessen.

Schließlich wurden die auf die Fassade einstrahlende Solarenergie und der Wärmefluss sowohl durch die gedämmte als auch durch die ungedämmte Wand erfasst (siehe Abbildung 1).

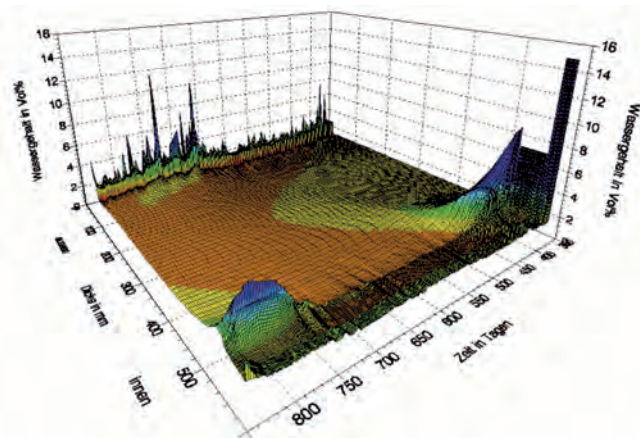


Abbildung 2: Zeitlicher und örtlicher Feuchteverlauf (1 D; Tag 350 ≙ 1. Januar)

Die Vor-Ort-Messungen haben in beiden Jahren die vollständige Austrocknung des angefallenen Kondensats gezeigt. Trotz relativ hoher Luftfeuchtigkeitswerte über einen längeren Zeitraum wurde kein nennenswerter Schimmelpilzbefall festgestellt. Dies bedeutet, dass die Konzentrationen von Brand- und Insektenschutzmitteln, wie sie für die Standardzelluloseflocken verwendet werden, auch für diesen anspruchsvollen Anwendungsfall ausreichend sind.

Die Validierung der hygrothermischen Simulationsberechnungen durch die vor Ort erhobenen Messwerte hat eine sehr gute Übereinstimmung erbracht. Damit ist es nun möglich, bei Vorliegen der notwendigen Materialparameter die Auswirkungen zukünftiger Innendämmmaßnahmen ohne aufwendige Messungen abzuschätzen und die Verbreitung dieser anspruchsvollen Maßnahme zur Energieeinsparung zu unterstützen.

Das Nachfolgeprojekt „OEKO-ID“⁷ verfolgte das Ziel, das neu entwickelte diffusionsoffene Innendämmsystem zusammen mit vier weiteren als ökologisch geltenden diffusionsoffenen Systemen zu analysieren und feuchtetechnisch tendenziell kritische Anschlüsse von Zwischenwänden, Fenster- und Türleibungen sowie Holzbalkendecken weiterzuentwickeln.⁸

Insbesondere Letztere stellen im Falle möglicher negativer Auswirkungen der Taupunktverschiebung nach innen eine Herausforderung dar – sind sie doch schwer zugänglich und betreffen die Gebäudestatik. Auch das WTA Merkblatt 6-4-16/D⁹ erwähnt zwar die Gefahr des Wärmebrückeneffektes von Holzbalken, gibt aber keine Lösungsvorschläge an.¹⁰

Weiters wurde ein neuartiges DNA-basierendes molekularbiologisches Verfahren zum Nachweis und zur Quantifizierung von mikrobiologischem Befall an Baumaterialien entwickelt und getestet, das den zuverlässigen und reproduzierbaren Nachweis der gesamten Population von Mikroorganismen mit minimalen Probenmengen, also nahezu zerstörungsfrei, ermöglicht.¹¹

Bei herkömmlichen Untersuchungen an Baumaterialien bzw. Dämmsystemen werden überwiegend klassische

Kultivierungsversuche angewandt, um Schimmelpilze und Bakterien aus den Proben zu isolieren. Neben dem Vorteil, dass lebende Mikroorganismen erhalten werden, haben diese Verfahren jedoch gravierende Nachteile: Zum einen werden relativ große Probenmengen benötigt, so dass zerstörungsfreie Entnahmen nahezu unmöglich sind. Zum anderen sind diese Kultivierungsversuche sehr zeitintensiv.

Weitere wesentliche Nachteile betreffen die Selektivität und die Detektionsgrenzen dieser Methoden. Viele Untersuchungen haben gezeigt, dass durch klassische Kultivierung nur zirka 15 % der tatsächlich vorhandenen Pilze kultiviert werden können. Im Falle von Bakterien liegen die Schätzungen sogar bei nur zirka 1 %. Mithilfe der molekularbiologischen Methode kann ein wesentlich größerer Anteil der tatsächlich vorhandenen Mikroorganismen detektiert werden.

Hinsichtlich Vermeidung, Beurteilung und Sanierung von Schimmelschäden sei auch auf die österreichische Adaptierung des Schimmelpilzleidfadens des deutschen Umweltbundesamtes¹² und hinsichtlich rechnerischer Prognosemodelle des Schimmelpilzwachstumsrisikos auf WTA Merkblatt 6-3-05/D¹³ verwiesen.

Die für organische Baumaterialien unter Umständen kritischen Feuchtigkeitsbelastungen wurden durch hygrothermische Vor-Ort-Messungen an einem denkmalgeschützten ehemaligen Sanatorium in Graz-Mariagrün über den Zeitraum von drei Kondensations- und Austrocknungsperioden erhoben.

Im Hinblick auf eine möglichst große Bandbreite unterschiedlicher Konstruktionen und Materialien wurden folgende Dämmsysteme ausgewählt (die Wärmeleitfähigkeiten λ entsprechen den von den Herstellern genannten Rechenwerten):

- 80 mm aufgespritzte Zellulose ($\lambda = 0,052 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) + Kalkzementputz – organisch.
- 80 mm Perlite-Platten ($\lambda = 0,045 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) + Deckputz/Spachtelung – mineralisch.
- 120 mm Thermosilit-Putz ($\lambda = 0,075 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) + Deckputz – mineralisch.
- 60 mm Holzweichfaserplatten ($\lambda = 0,041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) + Lehmputz – organisch.
- 100 mm Schilf ($\lambda = 0,060 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) + Lehmputz – organisch.

Abbildung 3 zeigt die maximale Holzfeuchte „an der nasesten Stelle“ der von unten nach schräg oben eingeschlagenen Stabelektrode (aller Wahrscheinlichkeit nach im Bereich der Spitze).

Wie auch im WTA Merkblatt 8-14-14/D¹⁴ vorgeschlagen, wurden die Holzbalken weitestgehend luftdicht an die Dämmmaterialien angedichtet und sämtliche Holzrisse verdübelt. Einer der beiden Schilfbalken wurde ebenso wie der ungedämmte Referenzbalken nicht abgedichtet.

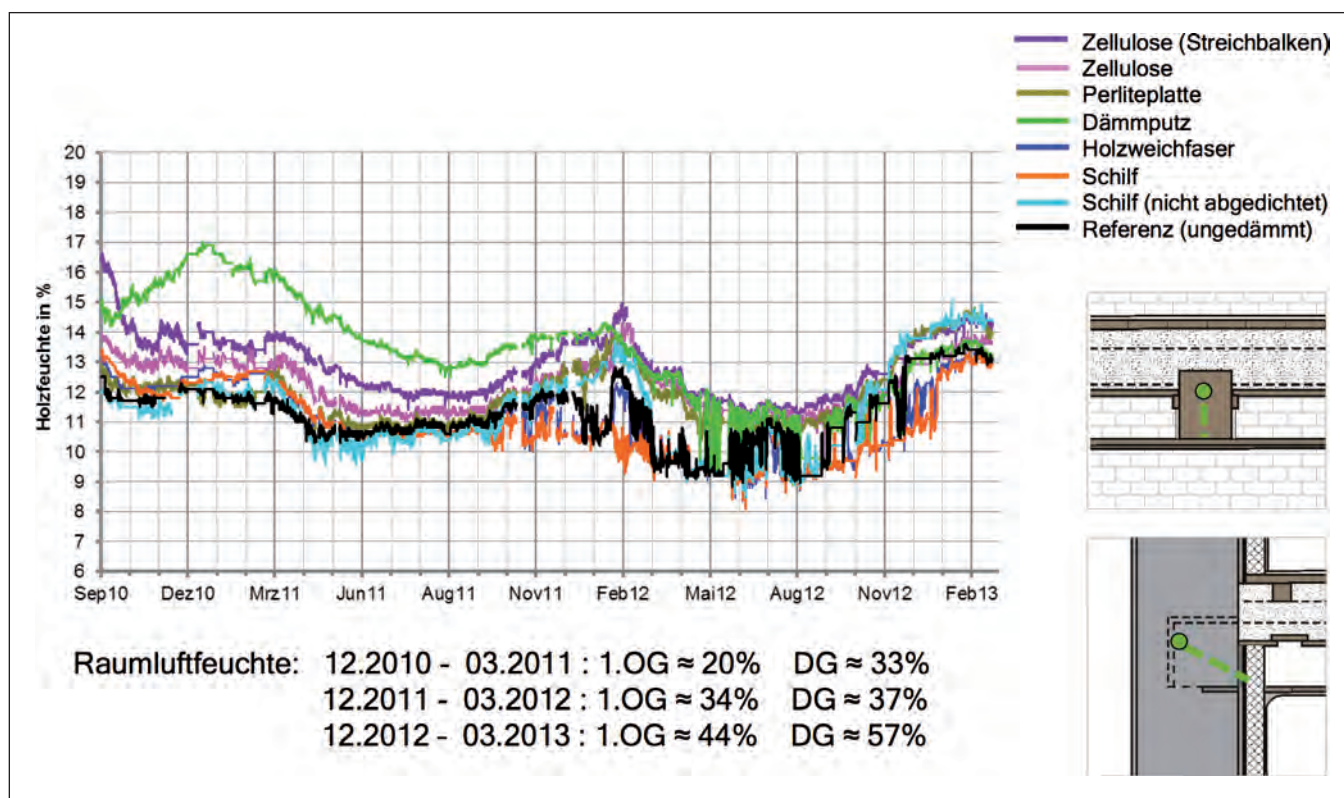


Abbildung 3: Maximale Holzfeuchte (Masseprozent) über die Sensorlänge

Es konnte festgestellt werden, dass selbst längere Phasen mit sehr hohen Luftfeuchten nur relativ geringe Anstiege der Holzfeuchte zur Folge hatten, diese nach Erreichen des eingeschwungenen Zustands bei allen Materialien relativ nahe beisammen lagen und mit maximal 15 % eindeutig im unkritischen Bereich.

5. Erdnaher Bereich

Das hygrothermisch sensible Verhalten von Innendämmungen wird im Sockelbereich durch aufsteigende Feuchtigkeit, (gegebenenfalls salzhaltiges) Spritzwasser sowie die Wärmebrückenwirkung des Erdreichs oder/und eines unbeheizten Kellers verschärft (siehe Abbildung 4).

In einer laufenden Untersuchungsreihe werden daher eine Calciumsilikat-Innendämmung einerseits und – da heute immer noch häufig zur Anwendung gebracht – Mineralwolle-Innendämmung mit Dampfbremse und Gipskartonplatte als Endbeschichtung andererseits in folgenden Varianten untersucht:

- Ausgangszustand – ohne Dämmung;
- Maßnahme 1 – Außenwand-Innendämmung und Kellerdeckendämmung;
- Maßnahme 2 – Fußbodendämmung (relativ aufwendig);
- Sockelheizung;
- Wandheizung.

Betrachtet man die Feuchteverteilung für den Ausgangszustand, so erkennt man die Sättigung durch den erdberührten Bereich und die damit verbundene aufsteigende Feuchtigkeit. Die Außenwand wird je nach Schlagregenbelastung und Jahreszeit beansprucht und somit durchfeuchtet.

Durch eine Außenwand-Innendämmung sowie eine unterseitige Kellerdeckendämmung stellen sich durch die erhöhte Bauteiltemperatur starke Verbesserungen der Feuchteverteilung ein.

Durch die Installation einer Sockelheizung im kritischen Bereich der Innenkante zwischen Mauerwerk und Fußboden wird die Bauteil- und Oberflächentemperatur weiter erhöht, womit Schimmelbildung vermieden werden kann. In den Simulationsberechnungen wurde die Sockelheizung außentemperaturabhängig bei Temperaturen unter +12° C aktiviert, dies mit dem Ergebnis, dass im Sommer mit inaktiver Sockelheizung mit Kondensat und in weiterer Folge Schimmelpilzwachstum zu rechnen ist (siehe Abbildung 5).

Der Jahres-Feuchteverlauf im kritischen Punkt der Innenkante (schwarz = Ausgangszustand) macht den positiven Effekt der Außenwand- und Kellerdeckendämmung (Maßnahme 1 bzw grün) sowie der Sockelheizung (rot) – inklusive nachteiliger Betriebsunterbrechung im Sommer mit starkem Feuchtigkeitsanstieg – deutlich sichtbar (siehe Abbildung 6).

Die Ergebnisse der unterschiedlichen Dämmsysteme zeigen für beide Maßnahmen zusammenfassend, dass die

Innendämmung ohne Dampfsperre im Lichte des Wärme-, Feuchte- und Schallschutzes

Calciumsilikat-Dämmung der Mineralwolle mit Dampfbremse vorzuziehen ist. Durch die Feuchtebelastung aus Schlagregen, aufsteigender Feuchtigkeit und Dampfdiffusion entsteht in der Mineralwolle-Dämmung ein stetig steigender Feuchtigkeitsgehalt, der durch die innen liegende Dampfbremse zusätzlich am Austrocknen gehindert wird. Sockel- und Wandheizungen können Schimmelbildung im kritischen Innenkantenbereich verhindern, wiewohl auch in den Sommermonaten die dementsprechende Temperatur gehalten werden muss. Kommt bei der Wandheizung diesbezüglich nur der untere Bereich von zirka 0,5 m zum Tragen, ist dieser andererseits (ohne die Restfläche) stets aktiv zu halten.

Die fortzusetzenden Untersuchungen zeigen auch die Notwendigkeit standardisierter Vorgehensweisen auf, da die derzeitigen, unter Punkt 6. erörterten Regelwerke oft nicht oder nur ansatzweise zur Anwendung kommen können bzw zB die ÖNORM EN ISO 13793¹⁵ aufgrund relativ extremer Randbedingungen für Österreich nur bedingt anwendbar ist.

6. Normen – Richtlinien – Merkblätter

Unterscheiden die Normen und Richtlinien grundsätzlich nicht zwischen Außen- und Innendämmung, wird der Stand der Technik hinsichtlich Innendämmung insbesondere aus den Merkblättern des Referats 6 „Bauphysik“ der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA)¹⁶ und – weniger detailliert – aus den Technischen Richtlinien zur Planung und Ausführung von Innendämm-Systemen des Hersteller-Fachverbands WärmedämmVerbundsysteme¹⁷ ersichtlich.

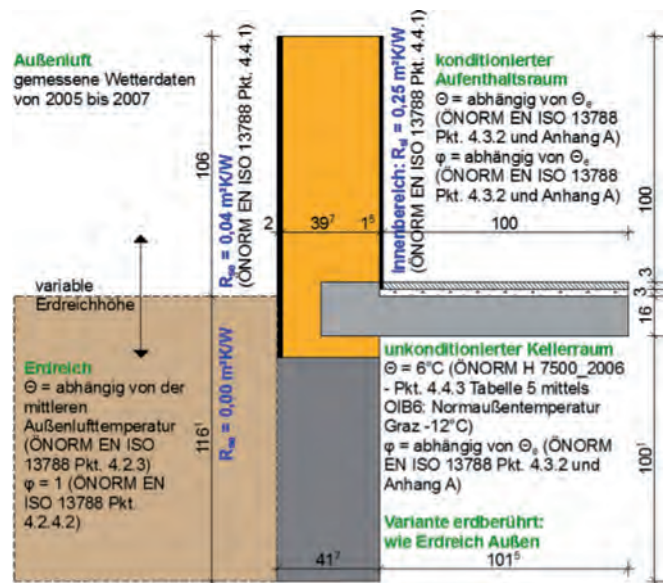


Abbildung 4: Erdberührter Sockel (Ausgangssituation und Randbedingungen)

In wärmetechnischer Hinsicht ist in Österreich in erster Linie die durch die Landesbaugesetze übernommene **OIB-Richtlinie 6**¹⁸ maßgeblich (der Schwerpunkt der gegenständlichen Erörterung konzentriert sich auf die hygrothermischen Faktoren bei Wohngebäuden), wonach einerseits größere Renovierungen den Neubauten zwar gleichgestellt werden, andererseits sich jedoch die Anforderungen reduzieren, wenn bautechnische oder baurechtliche Gründe einer Erreichung des Sanierungsziels entgegenstehen. Kommt dies nicht zum Tragen, sind ent-

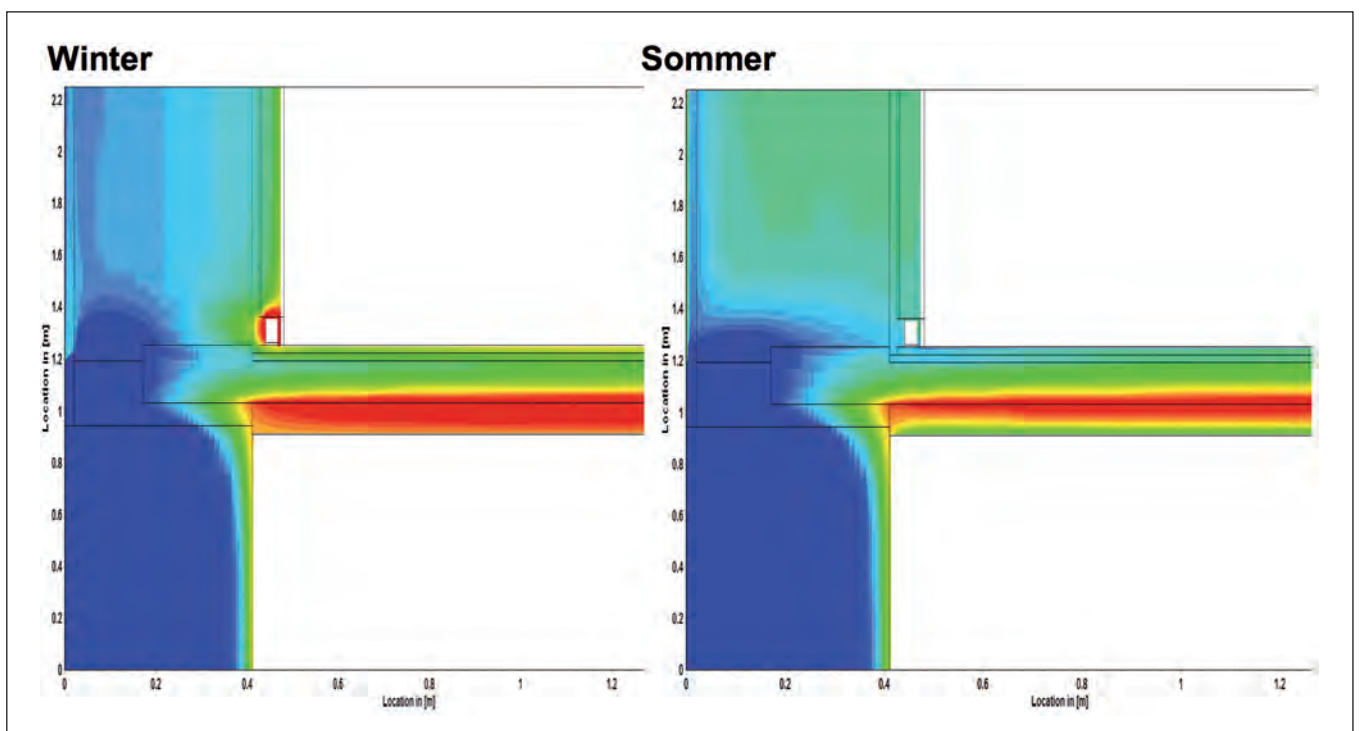


Abbildung 5: Feuchteverteilung – Außenwand-Innen- und Kellerdeckendämmung sowie Sockelheizung

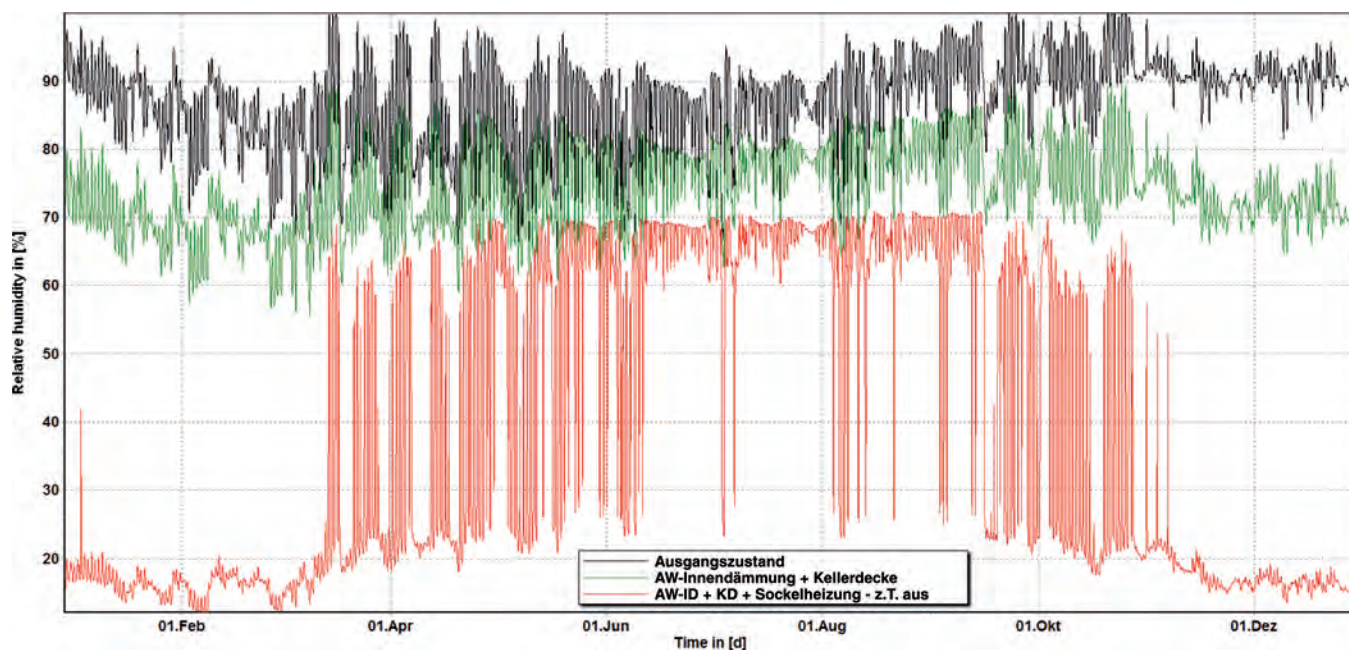


Abbildung 6: Jahres-Feuchteverlauf – Außenwand-Innen- und Kellerdeckendämmung sowie Sockelheizung

weder die Anforderungen an den Heizenergiebedarf bzw Gesamtenergieeffizienz-Faktor oder mindestens 12 % bessere Neubau-U-Werte einzuhalten.¹⁹ Das bedeutet beispielsweise für Außenwände einen U-Wert von maximal 0,31 (W/m²K).

Demgegenüber definiert die deutsche **Energieeinsparverordnung 2014**²⁰ (und folgend) im Gegensatz zu $U_{\max ID} \leq 0,35$ W/m²K früherer Ausgaben für Innendämmungen keine bauteilspezifischen Anforderungen mehr bzw stellt eine nachträgliche Innendämmung keine relevante Bauteilveränderung dar. Auch der Referentenentwurf für ein Gebäudeenergiegesetzes²¹ als geplante Zusammenlegung von Energieeinsparverordnung und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz²² sieht an dieser Stelle keine Veränderung bzw Verschärfung vor. Die Innendämmdicke kann damit nach energetischen Ambitionen und bauphysikalischen Kriterien festgelegt werden.²³

In feuchtigkeits- bzw diffusionstechnischer Hinsicht sind laut **ÖNORM B 8110-2**²⁴ Außenwände aus Voll- oder Hohlziegeln, Hohlblocksteinen oder Leichtbeton mit jeweils innerer Wärmedämmschicht nachweisfrei, wenn die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der raumseitigen Abdeckung einschließlich der Wärmedämmschicht $\mu \cdot d \geq 2$ m beträgt und sich außen Verputz oder eine hinterlüftete Verkleidung befinden; bei zusätzlicher Außendämmung, wenn die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke des Innenputzes bzw der inneren Verkleidung $\mu \cdot d \geq 0,2$ m und der Wärmedurchlasswiderstand der inneren Dämmschicht höchstens 25 % des Gesamt-Wärmedurchlasswiderstands betragen. Überdies darf die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke des Außenputzes bzw der Deckschichte eines Außenwand-Dämmsystems nicht größer als das 10-Fache der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke des Innenputzes

oder der inneren Verkleidung betragen bzw ist bei Steinmetzarbeiten die **ÖNORM B 2213**²⁵ zu beachten.²⁶

Nach **DIN 4108-3**²⁷ sind Innendämmsysteme unter folgenden Bedingungen nachweisfrei möglich: Keine Schlagregenbeanspruchung, Einströmen von Raumluft hinter die Dämmung wird unterbunden, R-Wert der Innendämmung $\leq 1,0$ m²K/W (dies sind zirka 4 cm konventioneller Dämmung) und s_d -Wert des Innendämmsystems inklusive raumseitiger Bekleidung $\geq 0,5$ m; bei einer Innendämmung mit $R \leq 0,5$ m²K/W entfällt die Anforderung an den Diffusionswiderstand.²⁸

Analog zur **ÖNORM B 8110-2** legt die **ÖNORM EN ISO 13788**²⁹ ein vereinfachtes Berechnungsverfahren fest, dem die Annahme des Feuchtetransports nur durch Wasserdampfdiffusion und monatliche Klimadaten zugrunde liegen. Die Anwendung von weiterentwickelten Verfahren wird jedoch nicht ausgeschlossen. Die Norm gilt nicht für Feuchteaspekte wie Grundwasser oder Eindringen von Niederschlag bzw sie gilt nur, wenn folgende Wirkungen vernachlässigbar sind: Schwankungen der Materialeigenschaften in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt, kapillare Saugwirkung und Transport von Feuchte in der flüssigen Phase in Baustoffen, Luftbewegung aus dem Gebäudeinneren in den Bauteil, das heißt konvektiver Feuchteeintrag oder hygroskopisches Verhalten von Baustoffen, womit neuere diffusionsoffene kapillaraktive Systeme auch von dieser Norm nicht erfasst werden. Auch wenn diese Norm nur für stationäre Berechnungen gilt und die **ÖNORM EN 15026**³⁰ nur die physikalischen Modelle zur rechnerischen Vorhersage der eindimensionalen instationären Wärme- und Feuchteübertragung beschreibt, wird bei mehrdimensionalen hygrothermischen Simulationen dann doch immer wieder darauf verwiesen. Die Bewusstseinsbildung

mit relativ allgemein gehaltenen Ausführungen zu Möglichkeiten und Grenzen instationärer Simulationsberechnungen erfolgte bereits mit dem **WTA Merkblatt 6-1-01/D**,³¹ das gemeinsam mit dem **WTA Merkblatt 6-2-14/D**³² für die ÖNORM EN 15026 als Vorlage diente.

Beschreibt das bereits erwähnten **WTA Merkblatt 6-3-05/D** die physikalischen und biologischen Grundlagen zur Vorhersage von Schimmelpilzwachstum sowie die Funktionsweise und Einschränkungen des sogenannten Isoplethenmodells, versteht sich das **WTA Merkblatt 6-4-16/D** als Planungsleitfaden hinsichtlich der grundsätzlichen bauphysikalischen Aspekte von Außenwand-Innendämmungen. Demnach braucht für geringfügige Dämmmaßnahmen mit $\Delta R_i \leq 0,5$ bzw. $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ analog zur oben angeführten DIN 4108-3 bei saugfähigen Untergründen und ausreichendem Schlagregenschutz kein feuchtetechnischer Nachweis geführt zu werden; für größere Verbesserungsmaßnahmen wird (mit Einschränkungen) der erforderliche Mindestdiffusionswiderstand s_{di} des Innendämmsystems auf verschiedenen schlagfähige Untergründe angegeben.³³ Die Anforderungen an regenbeanspruchte Oberflächen werden mit $w^*s_d \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$, $w \leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ und $s_d \leq 1,0 \text{ m}$ angegeben, da, wie die Praxis gezeigt hat, wasserabweisende Putze laut Punkt 6.3 der DIN 4108-3 mit den doppelten w - bzw. s_d -Werten einen ausreichenden Schlagregenschutz innen gedämmter Außenwände nicht immer sicherstellen.

Im **WTA Merkblatt 6-5-14/D**³⁴ wird neben den Randbedingungen für Simulationsberechnungen nach WTA Merkblatt 6-1-01/D und WTA Merkblatt 6-2-14/D näher auf Themen wie Schlagregenbelastung und Beurteilung der Simulationsergebnisse eingegangen. Demgemäß gilt die Funktionsfähigkeit eines Innendämmsystems als nachgewiesen, wenn es nach einer Einschwingphase von in der Regel drei Jahren (als Richtwert gilt eine Wassergehaltsänderung von weniger als 1 % bezogen auf den Vorjahreswassergehalt) zu keiner kontinuierlichen Auffeuchtung kommt. In einem weiteren Schritt werden die maximal auftretenden Gesamtwassergehalte der einzelnen Bauteilschichten beurteilt, wobei gilt, dass 1.) für möglicherweise nicht frostbeständige Materialien ein Sättigungsgrad als Verhältnis des vorhandenen Wassergehalts zur Porosität von 30 % nicht überschritten wird (höhere Sättigungsgrade sind zulässig, sofern die relative Luftfeuchte innerhalb der Materialschicht unter 95 % bleibt), 2.) bei gipshaltigen Untergründen eine Gleichgewichtsfeuchte von 95 % relative Feuchte nicht überschritten werden oder 3.) die relative Porenluftfeuchte in Holzbauteilen 95 % bis 85 % bei 0° C bis 30° C im Tagesmittel nicht überschreiten. Langfristig sollten im Jahresverlauf 85 % nicht überschritten werden.

7. Innendämmung und Schallschutz

Versteht man unter Schallschutz im Allgemeinen den Schutz vor störendem Schall von außen, sei hier die Verbesserung raumakustischer Verhältnisse verstanden. Im Projekt „Aufgespritzte und verputzte Zellulose-Kompaktabsorber“ wurde versucht, die günstigen hygrothermi-

schen und akustischen Eigenschaften aufgespritzter und verputzter Altpapier-Zellulose in einem völlig neuartigen Dämmsystem zu verbinden.³⁵

Das entwickelte Absorbersystem bedämpft vorzugsweise den üblicherweise nur recht aufwendig in den Griff zu bekommenden tieffrequenten Bereich und kann auch dort eingesetzt werden, wo konventionelle Absorber Probleme mit unzulässiger Wasserdampfkondensation hervorrufen können: an der Außenwand-Innenseite. Das neue und kostengünstige Verbundsystem kann zudem auf unebenem oder gekrümmtem Untergrund appliziert werden.

So wurde bei diesem Absorbersystem das Prinzip des sogenannten Schlitzabsorbers weiterentwickelt, indem ein zweischichtiges Putzsystem auf eine 5 bis 6 cm dicke, vor Ort aufgespritzte, strömungstechnisch optimierte Zello-seschicht aufgebracht wird. Dabei werden die schallharten Flächen durch einen speziellen weitgehend diffusionsoffenen Innenputz gebildet und die dazwischen liegenden Schlitz in einem zweiten Arbeitsgang zusammen mit den schallharten Bereichen mit einer dünnen schalloffenen Beschichtung versehen. Dadurch wird – als Innovation bei Schlitzabsorbern – eine fugenlose Oberfläche gebildet und dem Bedarf vieler Planer nach „Unsichtbarkeit“ der akustischen Maßnahmen bei gleichzeitiger Bedämpfung tiefer Frequenzen Rechnung getragen.

Durch Modifikation der Endbeschichtung besteht in gewissem Rahmen die Möglichkeit, das Absorptionsverhalten des Systems breitbandiger zu gestalten, während das Absorptionsmaximum durch Variation der Breite und Dicke der Putzabdeckung sowie durch die Breite der Schlitz auf den jeweiligen Bedarf abgestimmt werden kann (siehe Abbildung 7).

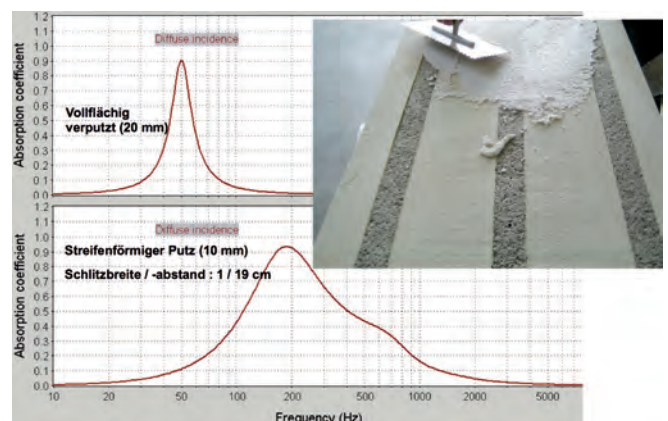


Abbildung 7: Absorptionsverhalten Plattenabsorber (oben links) bzw. Kompaktabsorber (unten und Foto)

Der neu entwickelte Kompaktabsorber wurde vor Ort in einem 9 x 7 x 4,2 m großen Klassenzimmer in Graz getestet (siehe Abbildung 8). Dabei wurden die 5 cm breiten Zello-seschlitze der unteren zirka 27 m² großen Wandfläche mit einem Hutprofil aus Lochblech und die obere zirka 29 m² große Wandfläche vollflächig mit einem Spezial-Einkornputz abgedeckt. An der Decke wurde eine zirka 30 m² große Fläche mit 10 cm dicker, freiliegender Zellulose

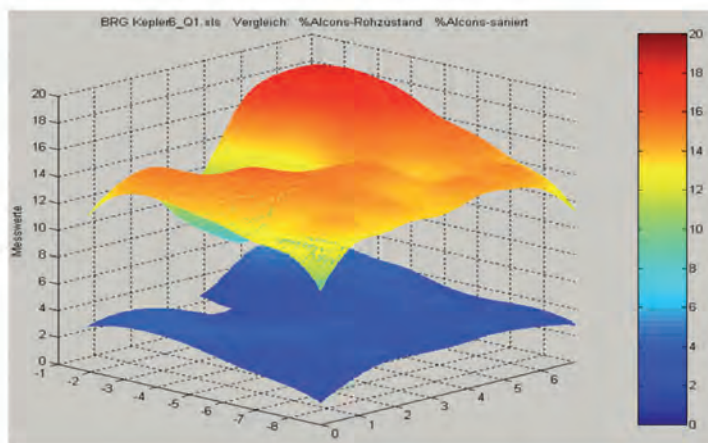
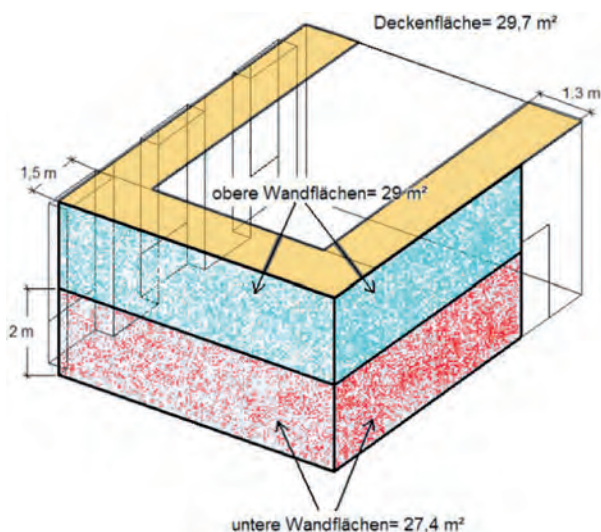


Abbildung 8: Klassenraum – Absorptionsflächenverteilung (links) und Al_{cons} -Verbesserung vor und nach der Sanierung (rechts oben bzw. unten) bei Frontalunterricht

ausgestattet. Die optimale mittlere Nachhallzeit beträgt für den 264 m^3 großen Unterrichtsraum laut ÖNORM B 8115-3³⁶ 0,6 Sekunden und konnte neben dieser Nachhallzeit (von zuvor zirka 1,45 Sekunden) eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit (*articulation loss of consonants* – Al_{cons}) von durchschnittlich 14,5 % auf 3,5 % erzielt werden. Abhängig von Geometrie, Signalpegel-Störpegel-Abstand und Nachhallzeit ist ein Al_{cons} -Wert bis 2 % als ideal, bis 7 % als gut und über 7 % als befriedigend anzusehen.³⁷

Abschließend wurde die Eignung des Systems als Außenwand-Innendämmung mittels hygrothermischen Simulationsberechnungen untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die aus akustischer Sicht notwendigen Schlitzte die Anwendung an der Außenwand etwas kritischer erscheinen lassen, als im Falle einer ununterbrochenen Innenputzschicht, da diese als moderate Dampfbremse wirkt. Bei Vorhandensein oder neuerlicher Herstellung eines Bestandputzes kommt es zwar im Gegensatz zu dessen Fehlen zu einer Erhöhung des Feuchtegehalts in der Zelluloseschicht, die Gesamtwassermenge der Konstruktion bleibt im vorliegenden Fall mit seinen etwa 50 cm dicken Ziegelwänden aber weitgehend unkritisch. Dennoch bedarf die Applikation des Absorbersystems an der Innenseite der Außenwand der Untersuchung im jeweiligen Anwendungsfall.

Bauteilschallschutz – Resonanzfrequenz: Ein guter Schallschutz eines zwei- bzw. mehrschaligen Bauteils zeichnet sich durch den steil ansteigenden Verlauf der Schalldämm-Kurve oberhalb der Resonanzfrequenz aus, um schließlich höhere Werte zu erlangen, als ein einschaliger Bauteil mit gleicher flächenbezogener Masse.

Hängt die, auf möglichst niedrige Werte abzustimmende Resonanzfrequenz einerseits von den flächenbezogenen Massen der Einzelschalen ab, wird sie insbesondere auch von der Zusammendrückbarkeit der Zwischenschicht (Luftpolster oder Dämmstoff) beeinflusst. Je geringer die dynamische Steifigkeit ist, umso niedriger, das heißt günstiger ist die Resonanzfrequenz des Gesamtsystems.

Anmerkungen:

- ¹ Schuster/Szeider/Wölfl, Wärmeschutzmaßnahmen an Wohngebäuden (1999).
- ² Eicke-Hennig, Kleine Geschichte der Dämmstoffe, wksb 66/2011, 6.
- ³ Fechner, Altbaumodernisierung (2002).
- ⁴ WTA Merkblatt 8-5-08/D: Fachwerkinstandsetzung nach WTA V, Innendämmsysteme (Ausgabe: Mai 2008).
- ⁵ Siehe auch WTA Merkblatt 6-4-16/D: Innendämmung nach WTA I – Planungseleitfaden (Ausgabe: Oktober 2016).
- ⁶ Kautsch ua, Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre (2006).
- ⁷ Kautsch/Hengsberger/Ruisinger, OEKO-ID – Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung (2013).
- ⁸ Hengsberger/Kautsch/Ruisinger, Innendämmung ohne Dampfsperre – aufgespritzte und verputzte Altpapierzellulose auf dem Prüfstand, Bauphysik 2016, 98.
- ⁹ Siehe Anmerkung 5.
- ¹⁰ Zur feuchtetechnischen Bewertung von Holzbauteilen siehe auch WTA Merkblatt 6-8-16/D: Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simulation (Ausgabe: August 2016).
- ¹¹ Ettenauer ua, Microbes on building materials – Evaluation of DNA extraction protocols as common basis for molecular analysis, Science of The Total Environment 439 (2012), 44.
- ¹² Österreichischer Bundesverband für Schimmelsanierung und technische Bauteiltrocknung, Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelfall in Gebäuden (geplant Mai 2018).
- ¹³ WTA Merkblatt 6-3-05/D: Rechnerische Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos (Ausgabe: April 2006).
- ¹⁴ WTA Merkblatt 8-14-14/D: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden (Ausgabe: September 2014).
- ¹⁵ ÖNORM EN ISO 13793: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmetechnische Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebung (Ausgabe: 1. 8. 2001).
- ¹⁶ Siehe zur WTA <http://wta-international.org>.
- ¹⁷ Fachverband WärmedämmVerbundsysteme, Technische Richtlinie zur Planung und Ausführung von Innendämm-Systemen (2015).
- ¹⁸ OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz (Ausgabe: März 2015).
- ¹⁹ Punkte 4.1 und 4.2.1 der OIB-Richtlinie 6.
- ²⁰ Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energiesparverordnung), dBGBI I 2007, 1519 idF dBGBI I 2015, 1789.

- ²¹ Referentenentwurf des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit betreffend ein Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 23. 1. 2017.
- ²² Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz – EEWärmeG), dBGBl I 2008, 1658 idF dBGBl I 2015, 1732.
- ²³ Scheffler, Regelwerkübersicht zum Wärme- und Feuchteschutz im Kontext der Innendämmung, in *Technische Universität Dresden*, 4. Innendämmkongress (2017) 15.
- ²⁴ ÖNORM B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz (Ausgabe: 1. 7. 2003).
- ²⁵ ÖNORM B 2213: Steinmetz- und Kunststeinarbeiten – Werkvertragsnorm (Ausgabe: 1. 3. 2017).
- ²⁶ Punkte 10.3 bis 10.5 der ÖNORM B 2213.
- ²⁷ DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung (Ausgabe: November 2014).
- ²⁸ Punkt 5.3.2.2 der DIN 4108-3.
- ²⁹ ÖNORM EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren (Ausgabe: 1. 4. 2013).
- ³⁰ ÖNORM EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation (Ausgabe: 1. 6. 2007).
- ³¹ WTA Merkblatt 6-1-01/D: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen (Ausgabe: Mai 2002).
- ³² WTA Merkblatt 6-2-14/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse (Ausgabe: Dezember 2014).
- ³³ Punkt 6.2.2 der DIN 4108-3.
- ³⁴ WTA Merkblatt 6-5-14/D: Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren (Ausgabe: April 2014).
- ³⁵ Kautsch ua, Aufgespritzte und verputzte Zellulose-Kompaktabsorber (2006); Hengsberger/Lackner, Anordnung eines an der Innenseite einer Gebäudeaußenwand angeordneten Elements und Verfahren zu seiner Herstellung (2005).
- ³⁶ ÖNORM B 8115-3: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 3: Raumakustik (Ausgabe: 1. 11. 2005).
- ³⁷ Ahnert/Steffen, Beschallungstechnik (1993); DIN 18041: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung (Ausgabe: März 2016).

Korrespondenz:

*Univ.-Prof. DDr. Peter Kautsch
Professur für Hochbau und Bauphysik und
Vorstand des Instituts für Hochbau,
Technische Universität Graz
Zivilingenieur für Bauwesen
Gerichtlich zertifizierter Sachverständiger
E-Mail: kautsch@tugraz.at*