

# Gründerzeit mit Zukunft

Subprojekt 2: Grundlagen und Machbarkeitsstudien

## Thermische Sanierung von Gründerzeitgebäuden – Innendämmung

Machbarkeitsstudie

H. Schöberl, C. Lang, R. Hofer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

# 1f/2013

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Gründerzeit mit Zukunft

Subprojekt 2: Grundlagen und Machbarkeitsstudien

## Thermische Sanierung von Gründerzeitgebäuden – Innendämmung

Machbarkeitsstudie

DI Helmut Schöberl, DI Christoph Lang, DI Richard Hofer  
Schöberl & Pöll GmbH

Wien, Dezember 2011

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



### **Haftungsausschluss:**

Die Inhalte des Dokumentes wurden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt, es kann jedoch seitens der Verfasser keine Haftung für die Richtigkeit der Angaben übernommen werden.

### **Geschlechtsneutrale Formulierung:**

Es sei darauf hingewiesen, dass der Inhalt dieser Studie geschlechtsneutral zu verstehen ist. Sollten einzelne Begriffe in männlicher oder weiblicher Form auftreten, so sind darunter selbstverständlich beide Geschlechter zu verstehen.

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Problemdefinition .....</b>	<b>3</b>
1.1	Was sind die Herausforderungen bei der Planung und Ausführung von Innendämmung? .....	3
1.2	Welche bauphysikalischen Probleme sind zu bewältigen? .....	3
1.3	Was sind die wesentlichen Einflussfaktoren? .....	6
1.4	Was sind die bauphysikalischen Auswirkungen von Innendämmungen? .....	8
1.5	Was ist bei der Bestandsaufnahme zu beachten? .....	11
1.6	Wie kann die Funktionstüchtigkeit der gebauten Innendämmung erkannt werden? .	12
<b>2</b>	<b>Lösungen allgemein .....</b>	<b>14</b>
2.1	Verfügbare Lösungen .....	14
2.1.1	Dampfdiffusionsdichte Systeme .....	14
2.1.2	Dampfdiffusionsoffene und kapillaraktive Systeme .....	14
2.2	Zusatzmaßnahmen .....	19
2.2.1	Wärmebrückenvermeidung .....	19
2.2.2	Schadensfreie Holzbalkenköpfe .....	25
2.3	Was hat sich in der Praxis bewährt? .....	28
2.4	Fehler in der Praxis .....	29
<b>3</b>	<b>Lösungen Demoprojekt Kaiserstraße 7 .....</b>	<b>31</b>
3.1	Festlegung des Nachweisverfahrens .....	31
3.2	Detailanalyse von zwei typischen Details des Demoprojekts Kaiserstraße 7 .....	35
3.2.1	Beurteilung der Fassade .....	40
3.2.2	Ergebnisse Tramtraversendecke (Innenklima 1) .....	42
3.2.3	Ergebnisse Dippelbaumdecke im DG (Innenklima 1) .....	45
3.2.4	Ergebnisse Innendämmung (Innenklima 2) .....	48
3.3	Hydrophobierung .....	50
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>Quellen .....</b>	<b>58</b>

# 1 Problemdefinition

---

## 1.1 Was sind die Herausforderungen bei der Planung und Ausführung von Innendämmung?

Aufgrund des steigenden Bewusstseins für Energieeffizienz und der Notwendigkeit auch den Gebäudebestand in thermischer Hinsicht zu verbessern, gibt es einen wachsenden Bedarf an Dämmungssystemen für die Sanierungen.

Dabei ist, wenn möglich, eine Außendämmung der Innendämmung vorzuziehen. Die Gründe sind hinlänglich bekannt und werden Kapitel 1.2 angeführt.

Insbesondere in Städten wie Wien mit einer sehr beträchtlichen Anzahl an historischen, vielfach dem Denkmalschutz unterliegenden Gebäuden ist, neben dem Fenstertausch, eine Innendämmung die einzige Möglichkeit für eine nennenswerte Verminderung des Heizenergieverbrauchs.

Die Erfahrung zeigt jedoch, dass das Thema Innendämmung von vielen PlanerInnen und Ausführenden, v.a. mangels detaillierten Fachkenntnissen der Problemstellungen, nicht mit der notwendigen Sorgfalt behandelt wird.

In dieser Arbeit sollen die wesentlichen Problemstellungen, Lösungsansätze und häufigsten Fehler bei Planung und Ausführung von Innendämmungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Problematik der Schadensvermeidung bei Holzbalkenköpfen in historischen Gebäuden (v.a. Gründerzeithäuser) erläutert werden.

## 1.2 Welche bauphysikalischen Probleme sind zu bewältigen?

### Außendämmung versus Innendämmung:

In unseren Breiten bildet sich im Winter aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen dem Innenraum und der Außenluft ein Dampfdiffusionsstrom von innen nach außen aus.

Je niedriger die Außentemperatur ist, desto größer ist der Dampfdruckgradient, also das Dampfdruckgefälle, das sich über die gesamte Konstruktion einstellt. Für das Feuchteverhalten der Wandkonstruktion ist entscheidend, wie groß die Temperaturdifferenz in den verschiedenen Schichten ist. In Abbildung 1 ist dies anhand einer außen und einer innen gedämmten Wandkonstruktion erläutert.

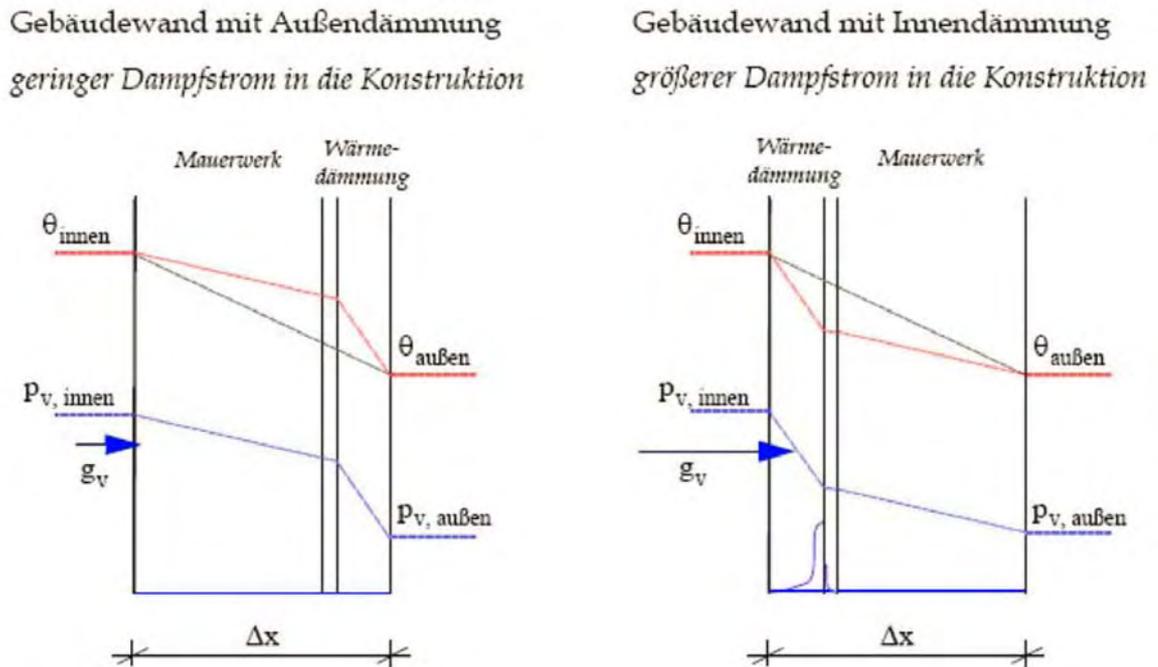


Abbildung 1: Feuchteverhalten von Außenwandkonstruktionen im Winter, wobei  $p_v$  dem Dampfdruck in der Konstruktion entspricht. Die Größe des Pfeils  $g_v$  repräsentiert die gesamte Menge an Wasserdampf, die in die Konstruktion wandert. [PLA08, S.3]

Im Fall einer Innendämmung ist der Temperaturabfall (die Temperaturdifferenz) an den raumseitigen Wandschichten sehr groß. Analog dazu entsteht in diesem Bereich auch ein starker Dampfdruckabfall, der wiederum einen entsprechend großen Dampfdiffusionsstrom in die Wand zur Folge hat.

An der kalten Seite der Wärmedämmung kann es daher bei einer gewissen Temperatur- und damit Dampfdruckdifferenz zu Kondensation kommen. Bei außen gedämmten Konstruktionen stellt sich ein viel kleinerer Dampfdiffusionsstrom in die Wand ein. Auch weist der tragende Wandaufbau eine, im Vergleich zur innen gedämmten Variante, höhere Temperatur auf, wodurch der Dampfdiffusionsstrom bis zur kalten Seite einen viel größeren Widerstand (die gesamte Konstruktion) überwinden muss.

[PLA08, S.3]

Weiters kann bei Außendämmung das an der Grenzschicht zwischen Wandbildner und Dämmung oder in der Dämmung anfallende Kondensat rasch und ohne hohen Widerstand vorwiegend nach außen abtrocknen.

Nachfolgend sind die Vor- und Nachteile von Innendämmungen aufgelistet (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

### **Vorteile bei Innendämmung:**

- Schnellere Aufheizung (v.a. bei gelegentlich beheizten Räumen relevant);
- Möglichkeit für schrittweise Sanierung ohne Zusatzkosten (z.B. Gerüst);  
[WTA09, S. 5]
- Sanierung bei denkmalgeschützten Fassaden möglich.

### **Nachteile bei Innendämmung:**

- Verminderung der Wohnnutzfläche;
- Verzögerter Beitrag der Außenbauteile zum sommerlichen Wärmeschutz (Verringerung der speicherwirksamen Masse);
- Eingeschränkte Möglichkeit der Leitungsführung an den Außenwänden;
- Aufwändigere Befestigung von Einrichtungsgegenständen an den Außenwänden;
- Gefahr der Verschlechterung des Schallschutzes der Außenwände durch Resonanzfrequenzverschiebungen in den hörbaren Bereich;
- Verlagerung des Taupunktes vom äußeren in den inneren Bereich der Außenwand;
- Veränderung der hygrothermischen Zustände in der Außenwand:
  - Das ist insbesondere im Bereich eines Balkenkopfs (Tramdecke) von besonderer Relevanz!
  - Je nach Dämmdicke und Ausführung, teils deutlich beschleunigte Alterung der Außenwandkonstruktion zufolge vermindertem Wärmeintrag und damit zusammenhängender deutlich geringerer Temperatur und erhöhtem Feuchtegehalt.
- Wärmebrücken:
  - Der Wärmeverlust über Wärmebrücken ist bei Innendämmung grundsätzlich höher als bei Außendämmung (Anschluss Wände und Decken);
  - Schimmel und Kondensat an Innenoberflächen zufolge unzureichend gedämmter Wärmebrücken;
  - Schimmel und Kondensat innerhalb der Außenwandkonstruktionen zufolge mangelhaft hergestellter Innendämmungen.
- Reduzierung des Trocknungspotenzials der Außenwände aufgrund des verminderten Wärmeeintrags zufolge der Innendämmung.

[WTA09, S. 5]

### 1.3 Was sind die wesentlichen Einflussfaktoren?

Aufgrund der Komplexität des Themenkreises Innendämmung ist die Kenntnis der hygrothermischen Einflussfaktoren Grundvoraussetzung einer ordnungsgemäßen Planung. Diese werden im Folgenden erläutert.

#### **Wärmedurchlasswiderstand R:**

Die Kenntnis des Wärmedurchlasswiderstandes „R“ und des daraus abgeleiteten Wärmedurchgangskoeffizienten „U“ ist die Grundlage zur Bestimmung des Bestandswärmedämmniveaus. Auf Basis des Bestandes kann dann ein Zielwert für das Dämmniveau und daraus die erforderliche Dämmdicke ermittelt werden.

[WTA09, S. 5]

Wie später im Detail erläutert wird, ist die Dämmdicke bzw. die Verbesserung des Wärmedurchlasswiderstandes ein Schlüsselkriterium hinsichtlich des Risikos von Schäden zufolge Innendämmung. Je nach Gebäude und Bauweise können bereits einige wenige cm Innendämmung, durch Verschiebung der hygrothermischen Zustände in der Konstruktion (z.B. am Holzbalkenkopf), ein hohes Schadenspotenzial aufweisen.

Im Zweifelsfall sollte der Wärmedurchlasswiderstand tendenziell geringer angenommen werden (bzw. der U-Wert höher), da dadurch die feuchtphysikalischen Effekte zufolge der Innendämmung stärker berücksichtigt werden.

[WTA09, S. 5]

#### **Schlagregen:**

Jede Konstruktion die mit einer Innendämmung ausgestattet wird, sollte im Vorfeld im Zuge einer Bestandsanalyse bezüglich Ihrer Schlagregenbelastung untersucht werden. Genauere Hinweise können z.B. auch sinngemäß dem WTA-Merkblatt 8-1 [WTA04] entnommen werden.

[WTA09, S. 6]

#### **Strahlung auf die Außenoberflächen:**

Je nach Intensität der Sonneneinstrahlung, Farbgebung der Oberfläche und Bauteilaufbau kann eine Erwärmung des Bauteils zu einer rascheren Trocknung feuchter Außenbauteile führen. Bei diffusionshemmenden Innendämmungssystemen kann die durch verursachte Diffusion von außen nach innen (Umkehrdiffusion) zu einer zeitweisen Kondensatbildung im Bauteil führen.

Bei feuchten und regenbelasteten Bauteilen sollte die Umkehrdiffusion im Zuge der ausführlichen Simulationsrechnung mit überprüft werden.

[WTA09, S. 6]

### **Innenraumklima:**

Der Feuchtegehalt in den Außenbauteilen wird nicht nur durch den Feuchteeintrag von außen (z.B. Schlagregen) und die Solareinstrahlung, sondern natürlich auch maßgeblich vom Innenraumklima beeinflusst. Hierbei ist die Nutzung und v.a. die Beheizung in die Betrachtungen einzubeziehen. Ein ausreichend beheiztes Zimmer ist aus bauphysikalischer Sicht anders zu betrachten als ein kaum temperierter Raum.

Hinsichtlich des Dampftransportes durch die Außenbauteile ist eine Unterteilung in die drei Belastungsgruppen gemäß WTA-Merkblatt 6-2 [WTA02] ausreichend.

[WTA09, S. 6]

### **Wasserdampfdiffusion:**

Die Kenntnis der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke  $s_d$ -Wert ist relevant zur Beurteilung des Austrocknungspotenzials und der entstehenden Kondensationsmenge im Bauteil.

[WTA09, S. 6]

### **Kapillarer Feuchtetransport:**

Das eingedrungene Wasser wird je nach kapillarer Leitfähigkeit des Materials im Bauteil verteilt. Dieser Effekt wird mit dem Wasseraufnahmekoeffizienten ( $w$ -Wert) beschrieben. Die kapillare Leitfähigkeit beeinflusst den Schlagregenschutz und ist relevant für die Beurteilung der Tauwassergefährdung des Bauteils.

Insbesondere bei Innendämmungssystemen, deren Wirkungsweise auf der kapillaren Weiterleitungen von Wasser basieren, (z. B. Kalziumsilicat (CaSi)) ist diese Eigenschaft von besonderer Bedeutung. Es ist zu beachten, dass Baustoffgrenzschichten vielfach kapillarbrechende Eigenschaften aufweisen.

[WTA09, S. 6]

Bei Innendämmungen mit kapillaren Wasserweiterleitung (z.B. CaSi-Platten) ist darauf zu achten, dass die kapillare Wirkungsweise v.a. zwischen Bestands-Innenputz und CaSi-Platten nicht unterbrochen wird.

### **Wassergehalt des Bauteils:**

Sofern der Wassergehalt in Baustoffen die üblichen Werte nicht überschreitet, ist dies unbedenklich. Nachfolgende charakteristische Werte beschreiben das feuchtetechnische Verhalten von Baustoffen:

- U80: Wassergehalt des Baustoffs bei einer Gleichgewichtsfeuchte von 80 % r.F. des Außenklimas (relevant für Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit).
- U95: Wassergehalt des Baustoffs bei einer Gleichgewichtsfeuchte von 95 % r.F. des Außenklimas (darüber mit flüssigem Wasser in Baustoffporen zu rechnen).
- Uf: Wassergehalt des Baustoffs bei kapillarer Sättigung (relevant für Ermittlung des w-Wertes).

[WTA09, S. 6]

## **1.4 Was sind die bauphysikalischen Auswirkungen von Innendämmungen?**

Nachfolgend werden die bauphysikalischen Auswirkungen auf die Außenbauteile zufolge des Einbaus von Innendämmungen erläutert:

### **Temperatur- und Feuchtewirkungen im Bauteil:**

Durch die zusätzliche Dämmschicht innerhalb des Wandbildners (z.B. Ziegel-Mauerwerk) findet der Großteil der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur bereits in der Dämmebene statt. Daher ergeben sich in den Schichten außerhalb der Dämmung größere Temperaturschwankungen als vor Applizierung der Innendämmung.

[WTA09, S. 7]

Es ist zu überprüfen, ob die größeren Temperaturschwankungen und die damit einhergehenden größeren Längenänderungen und Temperaturspannungen die zulässigen Belastungen des Wandbildners und der Putze überschreiten. Hierfür ist es jedenfalls anzuraten eine detaillierte Untersuchung der Tragfähigkeit des Mauerwerks und der zulässigen Spannungen im Bauteil vorzunehmen. Andernfalls ist zu erwarten, dass durch die sich bildenden Risse und Fugen vermehrt Wasser eindringt und es in Folge von Frost zu einer deutlich beschleunigten Alterung der Außenwand und insbesondere der Fassade kommt.

Da dadurch auch der Taupunkt weiter innen liegt, ist zu überprüfen ob frostgefährdete haustechnische Leitungen in diesem Bereich liegen. Ist ein gebrauchstauglicher Schlagregenschutz vorhanden oder ist das Material des Wandbildners und die Putze im

frostgefährdeten Bereich aus frostbeständigen Materialien, sind Schäden durch Frostsprengungen nicht zu erwarten.

[WTA09, S. 7]

Ist dies nicht gegeben, ist die Schlagregeneinwirkung und das damit einhergehende Eindringen von Feuchtigkeit mittels geeigneter Maßnahmen zu minimieren (z.B. Hydrophobierung).

Positiv zu bemerken ist, dass bei längeren trockenen und warmen Perioden die Temperatur im Außenbauteil höher als zuvor ist und dadurch die Austrocknung verbessert wird.

[WTA09, S. 7]

### **Tauwasser:**

Durch die Anbringung einer Innendämmung kann es je nach System bzw. Qualität der Ausführung zu einer erhöhten Feuchtelast in der Grenzfläche zwischen bestehender Wandkonstruktion und der aufgetragenen Innendämmung kommen.

Im Zweifelsfall sollten feuchteempfindliche Materialien, wie beispielsweise Gipsputze, Holzverkleidungen, etc. vor dem Aufbringen der Innendämmung entfernt werden.

[WTA09, S. 7]

Wie zuvor erwähnt, ist bei kapillar leitenden Innendämmungssystemen jedenfalls darauf zu achten, dass die kapillare Leitungsfähigkeit bis zur Innenwandoberfläche erhalten bleibt.

D.h. Die Platten sind vollflächig zu verkleben (kein Luftraum!) und es sind dampfdichte Anstriche, Tapeten oder Putze an der Innenwandoberfläche unbedingt zu vermeiden.

### **Tauwasser zufolge Diffusion:**

Eine etwaige Feuchteanreicherung zufolge Wasserdampfdiffusion durch das Außenbauteil hängt maßgeblich von den thermischen Verhältnissen in der Gesamtkonstruktion und dem Diffusionswiderstand des Innendämmsystems ab.

Bei Verwendung diffusionsoffener Dämmstoffe und Bekleidungen kann die Wasserdampfdiffusion durch Verwendung einer Dampfbremse sichergestellt werden. Es ist auf eine fehlerfreie Planung und Ausführung zu achten.

[WTA09, S. 7]

Dabei ist besonderes Augenmerk auf die Stoßstellen und den dauerhaften, fach- und sachgerechten Anschluss an die angrenzenden Bauteile zu achten (vgl. „Tauwasser zufolge Konvektion“).

### Tauwasser zufolge Konvektion:

Die Hinterströmung der Innendämmung ist unbedingt zu vermeiden. Gelangt feuchtwarme Raumluft zwischen Innendämmung und der früheren Innenoberfläche, die nunmehr im kalten Bereich liegt, kommt es zu Tauwasserausfall zufolge Unterschreitung der Taupunkttemperatur. Das verursacht eine ständige Feuchtigkeitsanreicherung in dieser Zone.

Dieses Problem ist insbesondere bei Installationsdurchdringungen und An- und Abschlüssen zu beachten.

[WTA09, S. 7]

Werden Innendämmungssysteme mit Dampfbremsen eingesetzt, ist jedenfalls anzuraten eine Installationsebene vorzusehen, da ansonsten nicht dauerhaft sichergestellt werden kann, dass die Luft- und somit die Dampfdichtheit im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes in der notwendigen Qualität erhalten bleibt (z.B. Nutzerverhalten: Nachrüstung von Installationen, Durchdringung mit Befestigungsmitteln, etc.)

Zusätzlich ist zu beachten, dass durch das Aufbringen einer Dampfbremsschicht die Austrocknung nach innen sehr reduziert, bis gänzlich verhindert wird, wodurch ein erhöhtes Risiko für eine Feuchteanreicherung im Außenbauteil besteht.

Aufgrund der signifikanten Nachteile von Innendämmungssystemen mit Dampfbremsen, wird diese Ausführung von den Verfassern dieses Forschungsvorhabens nicht empfohlen und aus diesem Grunde im Weiteren nicht erläutert.

### Wärmebrücken:

Wärmebrücken sind Bereiche an der thermischen Hülle mit erhöhten Wärmeströmen und dadurch verminderten Innentemperaturen. Es wird zwischen stoff- und geometriebedingten Wärmebrücken unterschieden.

Ein typisches Beispiel für eine stoffbedingte Wärmebrücke wäre ein Thermokorbanschluss. Eine typische geometriebedingte Wärmebrücke wäre beispielsweise eine Gebäudeecke.

Durch das Aufbringen von Innendämmung können sich vorher unkritische Knotenpunkte derart verändern, dass zufolge Absinken der Innenoberflächentemperatur Schimmelbildung auftritt.

[WTA09, S. 7]

Ein Beispiel hierfür ist der Anschluss einer tragenden Innenwand an die innengedämmte Außenwand. Während dieser Detailknoten bei gewöhnlicher Beheizung im Bestand durch den ausreichenden Wärmeeintrag völlig unkritisch ist, tritt im Falle einer zu geringen oder fehlenden „Kragendämmung“ („Halsdämmung“) der Innenwand der Effekt auf, dass nicht

mehr ausreichend Wärme an die kritischen Eckpunkte gelangt und somit die Innenecktemperatur unter das zulässige Maß absinkt.

Weiters benötigen komplexe Knotenpunkte wie ungedämmte oder nicht ausreichend gedämmte Leibungen sowie Balkenköpfe, usw. besondere Aufmerksamkeit bei der Planung und Ausführung.

[WTA09, S. 7]

### **Trocknungspotenzial:**

Bei der ungedämmten Bestands-Außenwand kann die von innen oder außen eingedrungene Feuchte in beide Richtungen abtrocknen. Wird aber ein Innendämmungssystem gewählt bei dem der Dämmstoff selbst oder die Dampfbremse diffusionshemmend wirkt, ist die Austrocknung nach innen erschwert bzw. gänzlich unterbunden.

Durch die im Jahresmittel betrachtete, geringere Temperatur des Außenwand-Mauerwerks wird die Trocknung zusätzlich vermindert.

Auf ein ausreichendes Trocknungspotenzial ist insbesondere bei vermindertem Schlagregenschutz der Fassade zu achten. Diffusionsoffene Konstruktionen sollten gegenüber diffusionshemmenden Ausführungen bevorzugt werden.

[WTA09, S. 7, 8]

## **1.5 Was ist bei der Bestandsaufnahme zu beachten?**

Vor Planung oder Ausführung einer Innendämmung steht die Bestandsaufnahme. Dabei ist zwischen zwei Fällen zu unterscheiden:

- Das Ziel der Innendämmmaßnahme ergibt sich aus der erfolgten Bestandsaufnahme in Abstimmung mit den Anforderungen aus der Nutzung und dem Denkmalschutz (z.B. hygienischer Mindestwärmeschutz).
- Das Ziel der Dämmmaßnahme wird vom Bauherrn vorgegeben. Auch in diesem Fall hat eine Bestandsaufnahme zu erfolgen um Folgeschäden durch die Veränderungen durch die wärmetechnischen Verbesserungen auszuschließen.

Im Zuge der Bestandsaufnahme ist v.a. eine Begehung vor Ort durchzuführen um sich ein Bild von der bauphysikalischen Gesamtsituation machen zu können.

Folgende Punkte sind zu erfassen und zu protokollieren:

- Allgemeine Gebäudedaten inkl. Denkmalschutzanforderungen.
- Vorhandene Baustoffschichten, Abmessungen und Oberflächenbeschaffenheiten.

- Allgemeiner Zustand des Bauteils / der Bestandskonstruktion.
- Feuchtezustand des Bauteils (Schlagregenbelastung, Schlagregenschutz, weitere Feuchtebelastungen (z.B. aufsteigende Feuchte, ...)).
- Raumklimatische Belastungen
- Wärmebrücken

[WTA09, S. 8]

Sind Balkenköpfe oder ähnliche feuchtetechnisch kritische Punkte vorhanden oder zu erwarten, sollte jedenfalls auch eine, zumindest stichprobenartige, Öffnung und Überprüfung dieser Stellen erfolgen. Nur so kann eine Aussage über den Ist-Zustand getroffen werden auf Basis derer die Innendämmungs-Maßnahmen festgesetzt und gegebenenfalls evaluiert werden.

## **1.6 Wie kann die Funktionstüchtigkeit der gebauten Innendämmung erkannt werden?**

Bei nicht ordnungsgemäß hergestellten Innendämmungen ist es vielfach so, dass sich erst nach einigen Jahren bis gegebenenfalls Jahrzehnten ein Schadensbild, wie beispielsweise Feuchteflecken, einstellt. Das hängt damit zusammen, dass sich die Feuchtigkeitsverhältnisse in den Außenbauteilen in einzelnen Fällen so verändern, dass es nur zu einer geringfügig und allmählichen Feuchteakumulation kommt. Verfügt das Bauteil über ausreichend Feuchtespeichervermögen und kann nach außen und innen ausreichend viel Feuchte abdampfen stellt sich unter Umständen über Jahre hinweg kein Schaden ein.

Ein denkbare Szenario wäre die unsachgemäße Innendämmung einer Außenwand ohne Fenstertausch. Somit wäre durch den hohen Luftwechsel im Raum zufolge der undichten Bestandsfenster ein hohes Abtrocknungspotenzial nach innen vorhanden.

Nach dem zeitlich versetzten Tausch der Fenster würde die relative Luftfeuchte in den Räumen typischerweise deutlich ansteigen, da die Gebäudehülle wesentlich dichter wäre. Dadurch könnte das System kippen.

In der homogenen Wandfläche wird es in aller Regel nur bei beträchtlichen Fehlern zu einem Schadensbild kommen. Dies betrifft üblicherweise Systeme mit Dampfbremse /-sperre bei sehr mangelhafter Stoßverklebung oder Fehlstellen zufolge Durchdringungen.

Weiters gilt es zu bedenken, dass die besonders kritischen Stellen, wie beispielsweise in der Außenwand aufgelagerte Tramköpfe, nicht direkt ersichtlich sind und ein allmählicher Vermorschungsprozess nicht erkannt wird. Da dieses Phänomen bis zum Versagen der Decke führen kann, kommt diesem Thema eine derartig hohe Bedeutung zu.

Es ist grundsätzlich anzuraten, dass bei Bauvorhaben mit Innendämmung der Bauaufsicht besondere Bedeutung beigemessen wird.

Weist ein Bauvorhaben eine große Anzahl von kritischen Stellen (z.B. Tramköpfe) auf, kann ein Monitoring mit Überwachung der Temperatur und Feuchtezustände an den entscheidenden Punkten empfohlen werden. Dies wird umso bedeutender, je höher die Dämmdicke und je höher die Anzahl der kritischen Detailknotenpunkte ist.

## 2 Lösungen allgemein

---

### 2.1 Verfügbare Lösungen

Wie eingangs erwähnt, haben sich im Laufe der Zeit diverse Innendämmungssysteme entwickelt. Es wird dabei zwischen den nachfolgenden Systemen unterschieden:

- Dampfdiffusionsdichte Systeme;
- Dämmsysteme mit Dampfbremse/feuchteadaptiver Dampfbremse;
- Dampfdiffusionsoffene und kapillaraktive Systeme.

[GET05] in [WEG10, S. 15]

Da sich aus Erfahrung der Verfasser in der Sanierung von Bestandsgebäuden v.a. kapillaraktive Systeme als praxistauglich herausgestellt haben, wird im Folgenden nur auf diese Systeme detailliert eingegangen.

#### 2.1.1 Dampfdiffusionsdichte Systeme

Darunter werden z.B. Innendämmungssysteme aus Schaumglasplatten, Polyurethan-Hartschaumplatten oder Vakuum-Isolations-Paneelen verstanden. Dabei wird die luft- und dampfdichte Ebene in der homogenen Fläche durch die Dämmplatten selbst hergestellt.

[GET05] in [WEG10, S. 15]

An den Stoßstellen ist eine ordnungsgemäße Verklebung sowie an den An- und Abschlüssen eine dauerhafte Verbindung zu den angrenzenden Bauteilen erforderlich.

Polyurethan-Hartschaumplatten sind hierbei nur mit entsprechenden Kaschierungen als dampfdiffusionsdicht zu betrachten.

#### 2.1.2 Dampfdiffusionsoffene und kapillaraktive Systeme

Zu den dampfdiffusionsoffenen Systemen zählen z.B. Kalziumsilikatplatten, Dämmputze und Schilfrohrplatten mit Lehmputz. [GET05] in [WEG10, S. 15]

Weiters werden Mineraldämm-, Holzfaser- und Korkdämmplatten hinzugerechnet. [OSW11]

Dampfdiffusionsoffene Systeme können in der Tauperiode Feuchtigkeit aufnehmen und speichern. Bei den kapillaraktiven Systemen wird das Tauwasser in die Verdunstungszonen transportiert und somit zu hohe Feuchtigkeitsgehalte vermieden.

[GET05] in [WEG10, S. 15]

Im Nachfolgenden werden die kapillaraktiven Innendämmsysteme Kalciumsilikat (CaSi) und Mineraldämmplatten detaillierter beschrieben:

### ***Kalciumsilikat (CaSi):***

#### **Allgemeines zu CaSi-Platten:**

Kalciumsilikat ist ein synthetisch hergestellter Dämmstoff auf mineralischer Basis. Die Hauptbestandteile sind:

- Kalk (CaO),
- Quarz oder amorphe Kieselsäure (SiO<sub>2</sub>),
- Wasser und
- Armierungsfasern.

Durch das feine und mikroporöse Porengefüge erhält das Material seine geringe Rohdichte. Das Material zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- nicht brennbar (A1),
- kapillaraktiv (kapillar leitend),
- nicht wasserlöslich,
- wärmedämmend,
- formstabil,
- alkalisch bei einem pH- Wert von ca. 10 (dadurch schimmelhemmend),
- diffusionsoffen und
- gesundheitlich unbedenklich

Die Anwendungen reichen von Schmelzwannen-Dämmungen in der Glasindustrie, Hinterdämmung von Brennöfen, bis zu Anwendungen im Bereich des Brandschutzes. Dämmplatten aus Kalciumsilikat werden im Baubereich bereits seit einigen Jahren

erfolgreich als klassische Innendämmungen sowie als Sonderlösung in Form von sogenannten Sanierplatten eingesetzt.

Letztere vereinen die Fähigkeiten einer Dämmschicht mit der eines Sanierputzes.

[HEC01] in [LAN07, S. 54f.]

Für Innendämm-Materialien sind die Diffusionsoffenheit und insbesondere die kapillare Leitfähigkeit von größter Bedeutung. Somit kann Feuchtigkeit, die einerseits durch Regenbelastung und unzureichenden Witterungsschutz der äußeren Putzschichten und andererseits durch Kondensation an der Trennschicht von Innendämmung und Wandbildner auftritt, rasch abgeleitet werden.

Durch die beiden genannten Eigenschaften kann die in die Konstruktion eingedrungene Feuchte nicht nur nach außen, sondern auch nach innen transportiert werden, ohne durch eine Dampfbremse oder -sperre behindert zu werden. Zusätzlich verringert die Feuchtebewegung den Wasserdampfdruck und somit auch die Wahrscheinlichkeit von Kondensation.

[HEC01] in [LAN07, S. 55]

**Bauphysikalische Eigenschaften von CaSi-Platten:**

Grundsätzlich wird zwischen zwei Arten von CaSi-Platten, die sich durch eine geringe Abweichung bei der Herstellung auszeichnen, unterschieden. Die folgende Tabelle zeigt einige bauphysikalische Kenngrößen dieser Platten. [HEC01] in [LAN07, S. 56]

	$\rho$	$u_{45}$	$u_{75}$	$U_F$	$\mu$	w
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	-	kg/m <sup>2</sup> h <sup>0.5</sup>
CaSiL	260	2.3	4.2	900	3.2	100
CaSiW	220	3.5	7.0	900	3.0	75

- $\rho$  Trockendichte
- $u_{45}$  Sorptionsfeuchtegehalt bei 45 % relativer Luftfeuchte und Raumtemperatur
- $u_{75}$  Sorptionsfeuchtegehalt bei 75 % relativer Luftfeuchte und Raumtemperatur
- $U_F$  Sättigungsfeuchtegehalt
- $\mu$  Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
- w Wasseraufnahmekoeffizient

Tabelle 1: Kenndaten von CaSi aus zwei Herstellungsprozessen [DRE99] in [HEC01]

Beim Herstellungsprozess von Sorte CaSiW wird das Rohmaterial einer Pressung unterzogen, somit ist der Wasseraufnahmekoeffizient geringer, da bei waagerechter Messung einige Schichten kapillarbrechend wirken. [HEC01]

Die Wärmeleitfähigkeit von Kalziumsilikat-Dämmplatten liegt ca. zwischen 0,050 - 0,065 W/(mK), die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  ca. zwischen 5 - 20. Hinsichtlich des Brandverhaltens ist CaSi als nicht brennbar (A1) einzustufen.

[PRO07], [WAE02] in [LAN07, S. 56]

### ***Mineraldämmplatten:***

#### **Allgemeines zu Mineraldämmplatten:**

Mineraldämmplatten werden aus mineralischen Rohstoffen (Kalk, Sand, Zement) und Wasser unter Dampfdruck hergestellt.

[XEL12, S. 6]

Mineraldämmplatten sind ebenso wie CaSi-Platten kapillar leitfähig und haben eine grundsätzlich sehr ähnliche Wirkungsweise.

Mineraldämmplatten sind ein silikatischer Dämmstoff. Die Dämmplatten sind als nichtbrennbar (A1) einzustufen. Hinsichtlich der ökologischen Eigenschaften kann positiv angeführt werden, dass die Dämmung, ebenso wie die CaSi-Platten, aufgrund Ihrer mineralischen Rohstoffe nicht als Sondermüll entsorgt werden muss. Ebenso sind die Dämmplatten vollständig recycelbar.

[XEL12, S. 5, 6]

Hinsichtlich der Wirkungsweise als Innendämmungssystem wird auf die Ausführungen des Kapitels „Kalziumsilikat (CaSi)“ verwiesen.

#### **Bauphysikalische Eigenschaften von Mineraldämmplatten:**

Nachfolgend sind die technischen Daten von Mineraldämmplatten (beispielhaft für das Produkt „Ytong Multipor Mineraldämmplatte“) aufgelistet [XEL12 S. 6]:

Technische Daten		
	YTONG Multipor Mineraldämmplatte	YTONG Multipor Leichtmörtel
Zulassung	Europäische Techn. Zulassung ETA-05/0093 Allg. bauaufsichtliche Zulassung Z-23.11-1501	
Anwendungsgebiete	Innendämmung von Wänden und Decken (WI, WTR in Anlehnung an DIN E 4108-10)	
Rohdichte	ca. 115 kg/m <sup>3</sup>	
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$	$\lambda_{10, \text{dry}} = 0,18 \text{ W/mK}$
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl	$\mu = 3/5$ diffusionsoffen	$\mu = \leq 10$
Baustoffklasse	A1 – nicht brennbar	A2 – nicht brennbar
Druckfestigkeit	im Mittel $\geq 350 \text{ kPa}$	CS II – 1,5 – 5,0 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	$\geq 80 \text{ kPa}$	

Tabelle 2: Kenndaten von Mineraldämmplatten [XEL12, S. 6]

Wärmedurchlasswiderstand R (m <sup>2</sup> K)/W	
Dicke	(m <sup>2</sup> K)/W
50 mm	1,11
60 mm	1,33
80 mm	1,78
100 mm	2,22
120 mm	2,67
140 mm	3,11
160 mm	3,56

Tabelle 3: Wärmedurchlasswiderstand von Mineraldämmplatten bei verschiedenen Dämmdicken [XEL12, S. 8]

Beim Herstellungsprozess von Sorte CaSiW wird das Rohmaterial einer Pressung unterzogen, somit ist der Wasseraufnahmekoeffizient geringer, da bei waagerechter Messung einige Schichten kapillarbrechend wirken. [HEC01]

Die Wärmeleitfähigkeit von Kalziumsilikat-Dämmplatten liegt ca. zwischen 0,050 - 0,065 W/(mK), die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$  ca. zwischen 5 - 20. Hinsichtlich des Brandverhaltens ist CaSi als nicht brennbar (A1) einzustufen.

[PRO07], [WAE02] in [LAN07, S. 56]

## 2.2 Zusatzmaßnahmen

### 2.2.1 Wärmebrückenvermeidung

Bei der thermischen Sanierung mit Innendämmung ist es notwendig die vorhandenen und durch die neu aufgebrachte Innendämmung in der Regel hinsichtlich Ihrer Wirkung verstärkten Wärmebrücken durch entsprechende „Kragen-/Halsdämmungen“ abzuschwächen. Siehe auch Kapitel 1.4.

#### Innenwandanschluss:

Bei Betrachtung eines ungedämmten Bestands-Innenwandanschlusses ist festzustellen, dass die Oberflächentemperaturen an den Kanten höher als in der Regelfläche der Außenwand ist. Die Innenwand leitet Wärme in die Außenwand ein und hebt dadurch die Ecktemperaturen an. Das Risiko für Schimmel und Kondensat ist daher als sehr gering einzustufen.

Durch das Anbringen einer Innendämmung ändert sich jedoch diese Situation. Die Oberflächentemperatur in der Fläche erhöht sich je nach Dämmstärke deutlich. An der Kante ändert sich die Temperatur hingegen kaum. Bei geringen Dämmstärken kann es sogar vorkommen, dass die Kantentemperatur gegenüber dem ungedämmten Zustand etwas absinkt. Dies hängt neben der Dämmdicke auch von der Wärmeleitfähigkeit der anschließenden Innenwand ab. Hat diese eine bessere Wärmeleitung als das Außenwandmauerwerk, muss die Dämmdicke, ohne zusätzliche Flankendämmung, höher sein, um Schimmelpilzbildung zu vermeiden.

Weisen Außenwand und Innenwand etwa dieselbe Wärmeleitfähigkeit auf, genügen geringe Dämmstärken, um die Oberflächentemperatur anzuheben. [KEH06], [KEH07a] in [WEG10, S. 36]

Die nachfolgende Tabelle stellt die Oberflächentemperaturen der Wandfläche und der Kante bei drei verschiedenen Innenwandanschlüssen und zwei unterschiedlichen Wandbildnern dar. In der linken Spalte ist ein ungedämmter Bestands-Anschluss abgebildet.

In der Mitte und rechts sind unterschiedlich stark gedämmte Innenwandanschlüsse aufgelistet.

	Ungedämmt		Innendämmung 40 mm		Innendämmung 80 mm	
	<b>Oberflächentemperatur</b>					
	in der Fläche	an der Kante	in der Fläche	an der Kante	in der Fläche	an der Kante
Vollziegel-Außenwand (d = 300 mm; $\lambda = 0,81 \text{ W/mK}$ )	11,2 °C	12,5 °C	16,5 °C	12,7 °C	17,8 °C	13,3 °C
Hochlochziegel-Außenwand (d = 300 mm; $\lambda = 0,581 \text{ W/mK}$ )	12,7 °C	13,7 °C	16,8 °C	13,6 °C	17,9 °C	14,1 °C

Tabelle 4: Oberflächentemperaturen an innengedämmten Außenwänden mit Innenwandanschluss [KEH06] in [WEG10, S. 37]

Zur Vermeidung von Schimmelbildung und hohen Wärmeverlusten ist eine Flankendämmung grundsätzlich anzuraten.

Eine weitere zu beachtende Situation ist der Anschluss einer Innenwand, wenn nur eine Seite der Außenwand innen gedämmt wird. Je nach Dicke der Innenwand und Dämmung können sich an der ungedämmten Wandanschlusskante geringere Oberflächentemperaturen als vor der Applikation der Dämmung einstellen (siehe nachfolgende Abbildung).

[WEG10, S. 37]

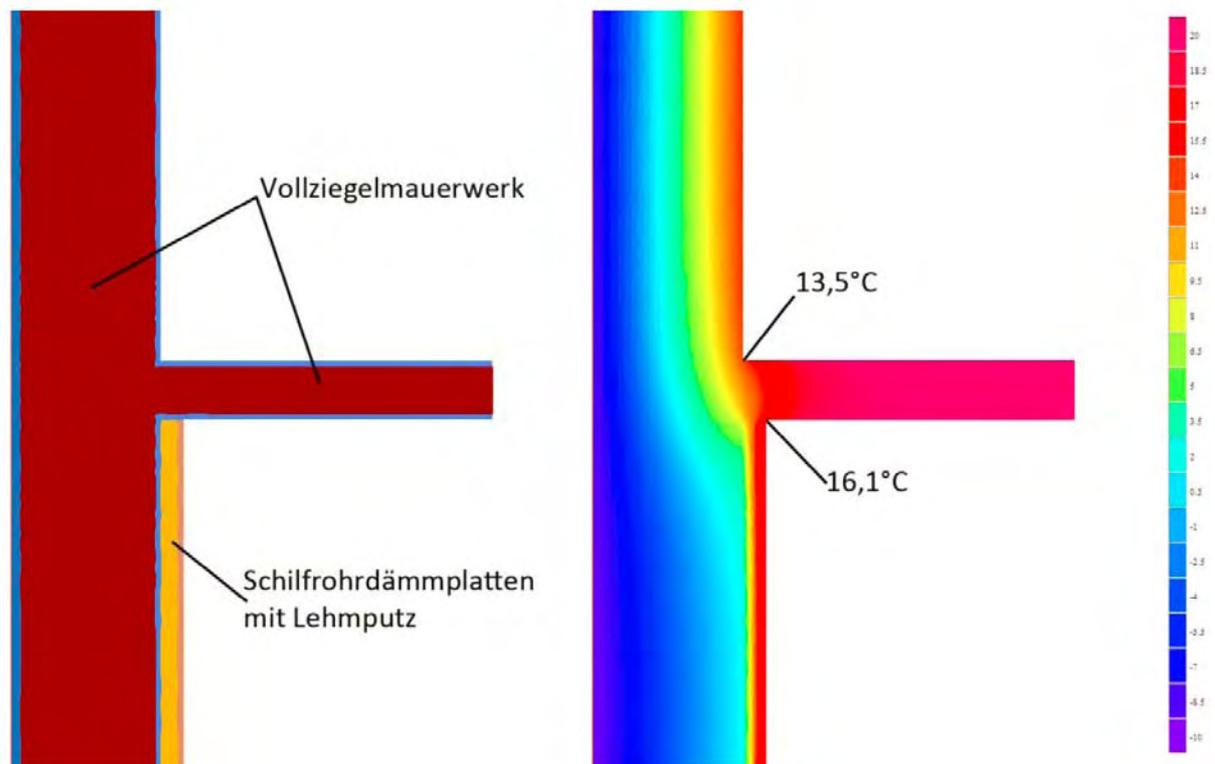


Abbildung 2: Einseitig gedämmter Innenwandanschluss aus Vollziegelmauerwerk und 5 cm Schilfrohrdämmung ( $\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$ ) mit 2 cm Lehmputz ( $\lambda = 0,65 \text{ W/mK}$ ); Außenwand ungedämmt:  $d = 52 \text{ cm}$ ;  $U = 0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $fR_{si} = 0,78$  Außenwand gedämmt mit 5 cm Schilfdämmplatten:  $d = 59 \text{ cm}$ ;  $U = 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $fR_{si} = 0,87$  in [WEG10, S. 37]

### **Fensterlaibung:**

Während bei einer Außendämmung das Fenster möglichst weit außen im Mauerwerk positioniert und von der Dämmung möglichst überdeckt werden sollte um die Einbauwärmebrücke so gering als möglich zu halten, kann bei einer innen gedämmten Wand das Fenster weiter innen positioniert werden. Idealerweise sollte die Innenseite des Fensterstockes im Bereich der 10,5 bis 12,6 °C-Isothermen liegen. Die Überprüfung der gewählten/möglichen Position erfolgt anhand eines Wärmebrückenprogramms.

Aufgrund der hohen Luftdichtheit neuer Isolierglasfenster wird nach einem Fenstertausch das Feuchteproblem in den Fensternischen verstärkt. Durch zu geringe Konvektion kann es an den Laibungsflächen in Fensterstocknähe zufolge feuchter Raumluft zu Schimmelpilzbildung kommen. Aus diesem Grunde ist ein Fenstertausch ohne begleitende bauliche Veränderungen eine sehr riskante Sanierungsmethode. In [KEH06] wird ein Beispiel eines ungedämmten Hochlochziegelmauerwerks, das nach dem Einbau von neuen Isolierglasfenstern in der Laibung einen 5 cm breiten kritischen Bereich aufweist, dargestellt. Die Oberflächentemperatur liegt in diesem Bereich unter der Taupunkttemperatur (siehe nachfolgende Abbildung, links):

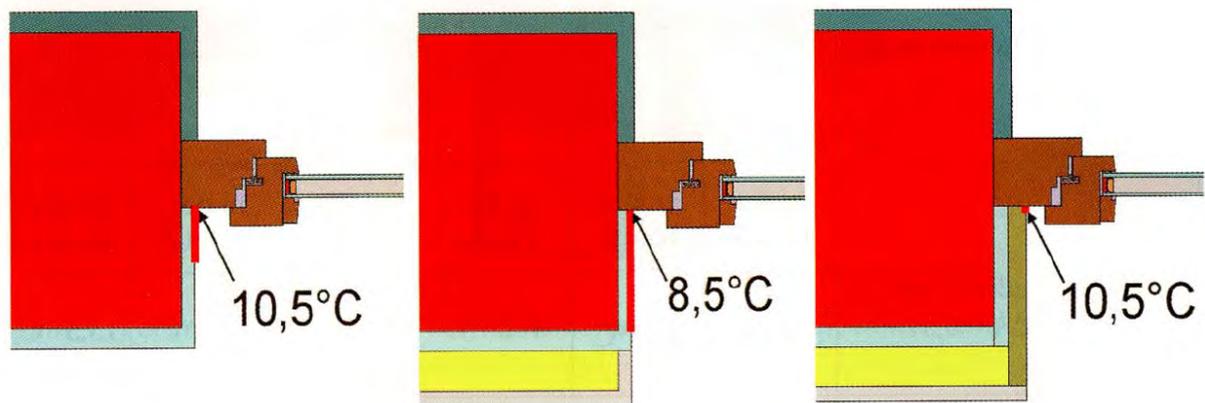


Abbildung 3: Veränderung der Oberflächentemperaturen an Fensterlaibungen nach Anbringung einer Innendämmung bzw. einer Laibungsdämmung [KEH06] in [WEG10, S. 41]

Wird im Zuge der Innendämmungsmaßnahmen keine Laibungsdämmung ausgeführt, verschärft sich die Lage noch zusätzlich und die Gefahr für Schimmelbildung steigt beträchtlich an (siehe Abbildung 3, Mitte). Hingegen genügt bereits eine 20 mm dicke Laibungsdämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  von 0,035 W/mK um die Oberflächentemperatur so weit anzuheben, dass der kritische Bereich für Schimmelpilzbildung auf wenige Millimeter begrenzt wird (siehe Abbildung 3, rechts). [KEH06] in [WEG10, S. 41]

### **Versatz von Innen- zu Außendämmung:**

Bei Gründerzeitgebäuden ist es vielfach so, dass nur die Straßenfassade aufwendig verziert ist und daher nur diese Seite dem Denkmalschutz unterliegt. [WEG10, S. 42f.]

In diesen Fällen ist es natürlich nach dem eingangs angeführten Grundsatz anzuraten, wo möglich Außendämmung anzubringen. Dies führt dazu, dass sich an den Eckbereichen Innen- und Außendämmungen überschneiden. Hinsichtlich der Dämmung von Feuermauern sei auf zwei Punkte aufmerksam gemacht:

- An Feuermauern dürfen gemäß gültigen Brandschutzvorschriften nur nichtbrennbare Dämmstoffe eingesetzt werden (z.B. MW-PT).
- Da die Dämmung der Feuermauer in aller Regel eine Überschreitung der Grundstücksgrenze bedeutet, ist mit den Eigentümern der Nachbarliegenschaft eine schriftliche Übereinkunft zu treffen, dass dies gestattet wird, die Dämmung jedoch im Falle der (weiteren) Bebauung des Nachbargrundstückes, wo notwendig, wieder zu entfernen um den Bauplatz optimal ausnutzen zu können. Dies ist bauphysikalisch unproblematisch, da in diesem Fall kein Wärmeverlust zum Nachbarn eintritt („warm zu warm“).

Durch den Versatz der Innen- und der Außendämmungen wird zwar im Vergleich zum ungedämmten Bestandszustand die Oberflächentemperatur an der Innenseite der Ecke deutlich erhöht, die Temperatur verbleibt jedoch in einer Größenordnung, die noch nicht den Anforderungen des Mindestwärmeschutzes genügt. Daher ist die Ausführung einer, wenn auch vergleichsweise dünnen, Flankendämmung an der Innenseite der Feuermauer erforderlich. Die Innendämmung muss also um die Ecke geführt werden, um die Wärmebrücke zu entschärfen. [KEH06] in [WEG10, S. 43] (siehe nächste Abbildung; links ohne Flankendämmung, rechts mit weitergeführter Innendämmung).

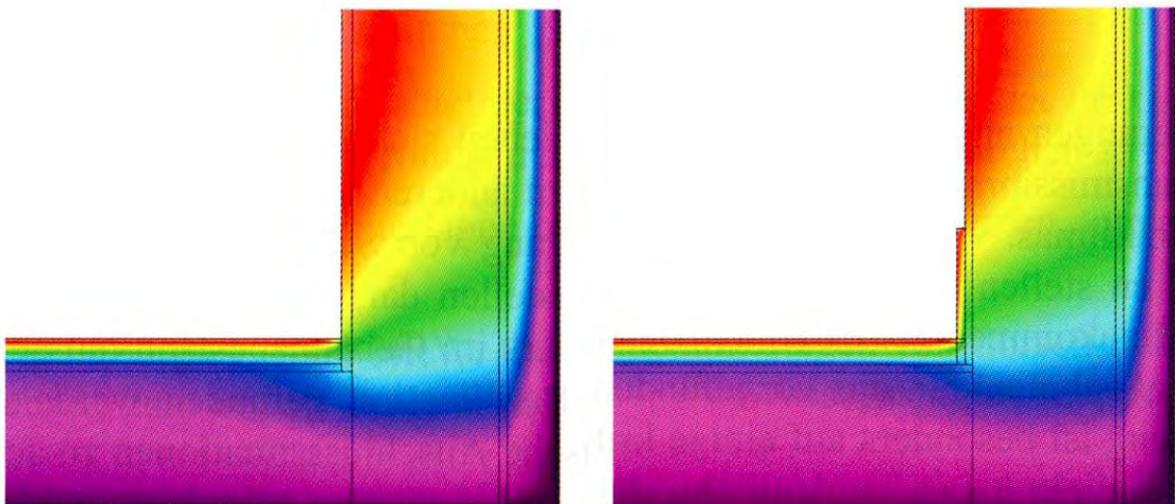


Abbildung 4: Isothermenbilder von versetzten Innen- und Außendämmungen; links ohne, rechts mit Flankendämmung [KEH06] in [WEG10, S. 43]

Um dieses Detail optisch unauffälliger zu gestalten, können beispielsweise Dämmkeile eingesetzt werden. Diese werden von den verschiedenen Herstellern inzwischen standardmäßig angeboten.

[WEG10, S. 43f.]

Ein weiterer zu überprüfender Fall ist eine Außenecke bei einem Anschluss einer Wand mit Innendämmung an eine Wand ohne außenliegender Dämmung.

Wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, kommt es bei einseitiger Dämmung der Wand in der Ecke zu einem starken Wärmeverlust, wodurch die Oberflächentemperatur im Bereich des stumpfen Anschlusses der Dämmung an die Wand abgesenkt wird. Die Abbildung ganz rechts zeigt eine Variante mit Flankendämmung aus 2 cm dickem Wärmedämmputz. Die Anhebung der Oberflächentemperatur fällt nur gering aus.

[WEG10, S. 44]

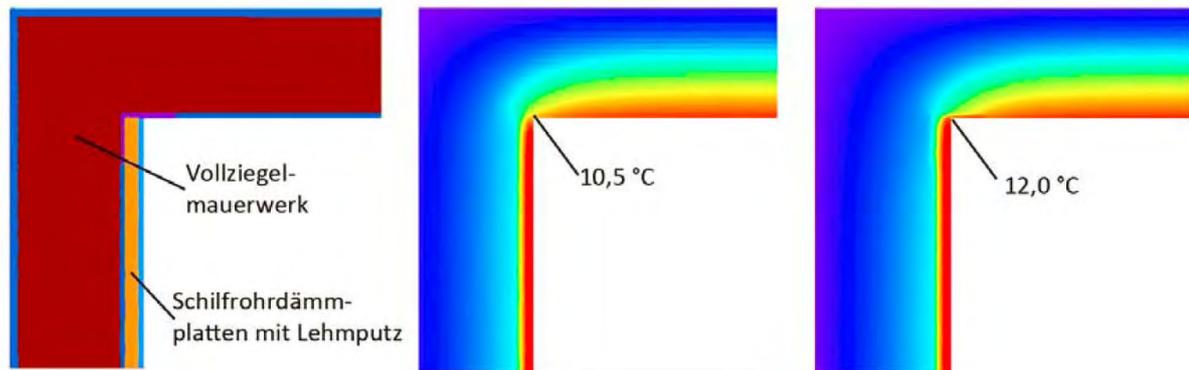


Abbildung 5: Außenecke mit 5 cm „einseitiger“ Innendämmung; diese ist nur an einer Wandfläche angebracht und führt nicht um die Ecke. Außenwand ungedämmt:  $d = 52 \text{ cm}$ ;  $U = 0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $fR_{si} = 0,8$  Außenwand gedämmt mit 5 cm Schilfdämmplatten:  $d = 59 \text{ cm}$ ;  $U = 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $fR_{si} = 0,73$  [WEG10, S. 44]

### **Anschluss von Holztramdecken:**

Im Gegensatz zur linienförmigen Wärmebrücke (z.B. Doppelbaumdecke, Massivdecke) tritt beim Anschluss einer Holzbalkendecke (Tramdecke) an die Außenwand eine punktförmige Wärmebrücke auf. Unter Einhaltung der im folgenden Kapitel beschriebenen Punkte ist zur Vermeidung der Transmissionswärmeverluste grundsätzlich anzustreben, die Innendämmung stockwerksübergreifend auszuführen. Dabei wird die Dämmung von unten und von oben an die Deckenträume herangeführt. Der im Fall einer generellen Sanierung neu herzustellende Fußbodenaufbau wird thermisch von der Außenwand getrennt.

Dabei werden:

- die Innendämmung im Deckenhohlraum fortgeführt,
- die Luftdichtung bzw. die Dampfbremse des oberen Geschoßes (sofern systembedingt vorhanden) bis an die unterseitige Deckenverkleidung herangeführt und
- die Balkendurchdringungen mit Klebebandmanschetten an ein ausgeklinktes Stellbrett angeschlossen.

[BOR05] in [WEG10, S. 39f.]

Vor dem Anbringen einer Innendämmung im Tramdeckenbereich müssen die Balkenköpfe genau untersucht und auf bestehende Schäden überprüft werden. Dies gilt v.a. in Nassräumen. Weiters sind auch Streichbalken detailliert zu untersuchen, da auch diese durch oftmalige Schwankungen des Wassergehaltes im Holz infolge einer unsachgemäßen Innendämmmaßnahme zu Schadensfällen werden können. In diesem Fall kann eine Bauteiltemperierung in Form von heizrohrgestützter Wärmeenergiezufuhr Abhilfe schaffen (siehe nachfolgendes Kapitel). [STOPP10]

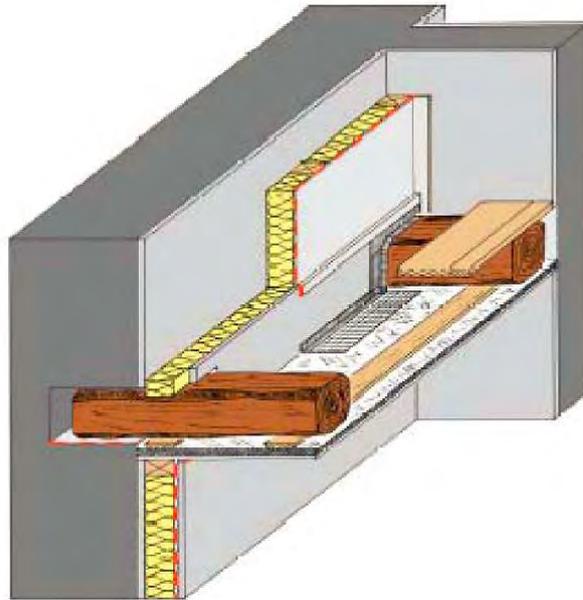


Abbildung 6: Ideale Ausführung einer Innendämmung beim Wandanschluss einer Holztramdecke [BOR05] in [WEG10, S. 40]

Die spezielle Thematik bzgl. des Feuchtigkeitszustandes der damit zusammenhängenden dauerhaften Schadensfreiheit der Holzbalkenköpfe wird im nachfolgenden, separaten Kapitel erläutert.

## 2.2.2 Schadensfreie Holzbalkenköpfe

Im Nachfolgenden werden einige Erfolg versprechende Zusatzmaßnahmen für schadensfreie Holzbalkenköpfe vorgestellt. Diese wurden im Rahmen der Studie [STOPP10] messtechnisch untersucht. Bei Dippelbaumdecken oder ähnlichen Bauweisen, die im Vergleich zu Holzbalkendecken linienförmige Wärmebrücken darstellen, gelten folgenden Ausführungen sinngemäß.

Da es sich bei der Analyse der Schadensfreiheit von Holzbalkenköpfen um ein sehr komplexes Thema handelt, ist es zur Zeit nicht möglich grundsätzlich gültige Lösungsvorschläge auszuarbeiten. Unabhängig von den Empfehlungen ist im Einzelfall zu prüfen ob und in welchem Umfang eine Maßnahme zielführend ist.

### **Gezielte Wärmeenergiezufuhr:**

Eine nachträgliche Innendämmung reduziert den Wärmetransport zum Balkenkopf gegenüber dem Bestandszustand. Daher ist eine gezielte Heranführung der notwendigen und gleichzeitig hinreichenden Wärmeenergie in diese Zone erforderlich.

Alle Arten von elektrisch betriebenen „Begleitheizungen“, wie beispielsweise Heizbänder o. ä. mit und ohne Steuerung sollten aufgrund des Umweltschutzgedankens und der Ressourcenschonung ausscheiden.

Durch Verwendung passiver Maßnahmen kann ein selbstregulierender, zeitweiliger gewollter Wärmeenergieverlust zur Erwärmung der Balkenköpfe, basierend auf vorhandenen Temperaturgradienten zwischen Bauwerk und Außenluft erreicht werden. Hierfür existieren die folgenden Möglichkeiten:

#### **Heizrohrgestützte Wärmeenergiezufuhr:**

Eine Möglichkeit des gezielten Wärmeeintrags zu den Balkenköpfen ist die Nutzung von Vor- und Rücklauf der Heizungsanlage. Dabei kann die Wärmedämmung ausgeklinkt werden und ein dadurch geschaffener, ggf. nur optisch verkleideter, Heizkanal für den Wärmeeintrag sorgen. Bei Fußbodenheizung kann die Verlegung des Rohrregisters entsprechend angepasst werden. Ebenso kann bei vorhandenen Streichbalken sinngemäß verfahren werden.

Gemäß der im Zuge der Studie [STOPP10] durchgeführter, numerischer Simulation unter mitteleuropäischen Klimarandbedingungen bei 3 m Geschosshöhe, ergibt sich ein zusätzlicher Wärmeverlust gegenüber einer vollflächig belegten, lückenlosen Innendämmung von ca. 10 %. Die Wirkungen der Energiezufuhr auf den Holzfeuchteverlauf können rechnerisch abgeschätzt werden, bedürfen aber der messtechnischen Kontrolle.

Für dieses Verfahren liegen ermutigende Messergebnisse vor.

[STOPP10, S. 63f.]

#### **Einsatz von Wärmestäben:**

Metallische Verbindungen zwischen dem Heizungsvorlauf und dem Balkenkopf sorgen für eine direktere und intensivere Wärmeenergiezufuhr als indirekt über die Vor- und Rücklaufleitungen [STOPP08]. Ob massive zylindrische Stabformen oder Verblechungen eingesetzt werden, ist von untergeordneter Bedeutung. Wesentlicher ist die Verteilung der Wärmeenergie.

[STOPP10, S. 64]

#### **Einsatz von Wärmerohren (Heatpipe):**

Eine weitere Variante und sehr effektive Lösung für den Wärmeenergietransport mit wesentlich höherer, scheinbarer Wärmeleitfähigkeit sind Heatpipes (Wärmerohre). Das Heatpipe-Prinzip beruht auf der Nutzung von Phasenumwandlungsenergie des

Arbeitsmediums. Somit kann die transportierte Wärmeenergiemenge um den Faktor 100 und mehr gegenüber den vorgenannten Ausführungen angehoben werden. Demnach lassen sich hiermit wesentlich stärkere Effekte als mit massiven Metallteilen erzielen.

Es ist zu beachten, dass Heatpipe-Varianten gewählt werden, die im geeigneten Temperaturarbeitsbereich wirken. Mittlerweile sind am Markt entsprechende Systeme mit unterschiedlichen Materialien, Längen und Durchmessern preiswert erhältlich. Damit beschränkt sich die Leistung auf die Bemessung, Formgebung und Anordnung der Wärmeenergieleiter sowie einen sachgerechten Einbau.

Es ist zu beachten, dass das Wirkprinzip des Heatpipe-Systems eine ausreichend große Temperaturdifferenz zwischen dem Verdunstungsort (Wärmeaufnahme) und der Kondensatstelle (Wärmeabgabe) voraussetzt, die vom Arbeitsmedium und Arbeitsdruck abhängig ist. Durch seine günstigen thermodynamischen Kennwerten kann auch Wasser bei entsprechend niedrigen Arbeitsdrücken als Energieträger eingesetzt werden. Neben den in-situ-Untersuchungen und -Messungen müssen vorab Fragestellungen labortechnisch bearbeitet werden.

[STOPP10, S. 64]

#### Künstlich geschaffene, konstruktive Wärmebrücken durch Materialwahl:

Eine mögliche und übliche Ausführung ist die Schaffung materialbedingter Wärmebrücken im Holzbalkenbereich. Dabei wird die Wärmedämmung um den Balken herum in einer ausreichenden, zu berechnenden Breite durch leitendes Baumaterial ersetzt.

STOPP10, S. 64]

Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in Summe ein erhöhter Wärmeverlust auftritt und die Energieeinsparung durch die Sanierungsmaßnahme geringer als bei anderen Varianten ist.

#### Maßnahmen ohne Wärmeenergiezufuhr:

##### Örtlich begrenzte Außendämmung:

Durch eine lokale Außendämmung kann thermisch betrachtet etwa die gleiche Wirkung wie durch eine begrenzte Wärmeenergiezufuhr erzielt werden. Hinsichtlich feuchteschutztechnischer Auswirkungen sind die hygrischen Materialeigenschaften der Wärmedämmung, wie Wasserdampfdiffusionswiderstand und ggf. die Kapillaraktivität sowie die sorptive Speicherfähigkeit zu beachten.

Im Falle von eingebrachten Schüttstoffen in den Balkenkopfzwischenraum kommt v.a. der Kapillaraktivität und der sorptiven Speicherfähigkeit eine gewisse Bedeutung zu.

Ein Nachteil dieser Ausführung ist die mögliche Bildung von Kondensat auf der kalten Seite des Luftzwischenraumes, d. h. an der Außenseite der eingebrachten Wärmedämmung. Wird

die Kondensatmenge nicht durch das den Luftraum begrenzende Material gebunden, kommt es zur Anreicherung von Feuchte am Balkenaufleger. Bei ungenügender Austrocknung im Sommerhalbjahr ist mit entsprechenden schadensträchtigen Folgereaktionen zufolge Aufschaukelung zu rechnen. Untersuchungen zu diesem Thema laufen noch.

[STOPP10, S. 64]

#### Sorptive Speicher:

Ein sorptiver Speicher hat als Feuchtepuffer die Aufgabe, die Luftfeuchte im Balkenkopfwischenraum zu begrenzen. Die Wirkung und der Erfolg dieser Maßnahme hängt nicht nur von den individuellen Randbedingungen, sondern auch von den verfügbaren und eingesetzten Materialien ab. Auch zu dieser Variante sind die Überprüfungen noch in Arbeit.

[STOPP10, S. 64f.]

## **2.3 Was hat sich in der Praxis bewährt?**

Wie in den vorangegangenen Abschnitten dieses Berichtes erläutert, hat sich v.a. der Einsatz von kapillaraktiven Innendämmungssystemen (CaSi, Mineraleisplatten) unter Berücksichtigung der notwendigen Zusatzmaßnahmen (z.B. Hydrophobierung, Wärmeenergiezufuhr zum Balkenkopf, ...) als vielversprechend erwiesen. Dies hängt maßgeblich damit zusammen, dass diese Systeme die Abtrocknung der Feuchtigkeit nach außen und innen zulassen und somit weniger zu einem Aufschaukeln des Feuchtegehalts in der Konstruktion neigen.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass o.g. kapillaraktive Innendämmungen nicht grundsätzlich als tauglich anzusehen sind, sondern deren Einsatzmöglichkeit immer anhand des konkreten Bauvorhaben untersucht werden muss. In [HOF09] wurde gezeigt, dass bei einem historischen Gebäude dessen Außenwände aus Natursteinmauerwerk mit, im Vergleich zu Ziegelmauerwerk, sehr hoher Wärmeleitfähigkeit bestehen, eine Innendämmung mit Kalziumsilicat-Dämmplatten selbst bei nur 5 cm Dicke zu einer unzulässig hohen Feuchtemenge an der Grenzschicht zwischen Innendämmung und Bestandsmauerwerk geführt hätte. Die Variante CaSi wäre nur bei zusätzlichem Aufbringen eines Dämmputzes oder einer Außendämmung möglich gewesen.

In diesem Fall hat sich demnach eine Ausführung mit quasi dampfdichter Innendämmung (z.B. Schaumglas, Vorsatzschale mit Dampfsperre, Vakuumdämmung, etc.), trotz Ihrer Nachteile, als sinnvollste Ausführungsvariante herausgestellt.

[HOF09, S. 109]

Wie in [STOPP10, S. 63f.] beschrieben wird, lassen sich mit Maßnahmen der gezielten, heizröhrgestützten Wärmeenergiezufuhr messtechnisch nachgewiesene ermutigende Ergebnisse verzeichnen.

Bei Außenwänden mit Innendämmung und eingebundenen Holzbalkenköpfen können Systeme mit örtlich und zeitlich begrenzten, sich selbst regulierenden Wärmeenergieeinträgen, ggf. in Kombination mit wärmedämmenden Schüttstoffen in den Balkenkopfwahlraum, als Methode der Wahl bezeichnet werden.

[STOPP10, S. 72]

## 2.4 Fehler in der Praxis

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die typischen Fehler im Zusammenhang mit der Nachrüstung von Innendämmungen bereits eingehend erläutert. Die folgende Auflistung soll die wesentlichsten Punkte zusammenfassen:

- Fehler bei der Planung der Innendämmung:
  - Keine Untersuchung der kritischen Stellen, wie beispielsweise Balkenköpfe.
  - Keine Erhebung/Bestimmung der zufolge der hygrothermischen Randbedingungen maximal zulässigen Dämmdicke und Festlegung der notwendigen Begleitmaßnahmen (z.B. Wärmeeinleitung zu den Balkenköpfen, etc.)
  - Keine oder unzureichende Dämmung der Wärmebrücken (in Außenwand einbindende Innenwände, etc.)
  - Keine Erhebung der Tragfähigkeit/maximal zulässigen Spannungen des Bestandsmauerwerks und der Putze (Mauerwerksgutachten); keine Ermittlung/Abschätzung der zufolge der Innendämmung vergrößerten Temperaturspitzen, der daraus ergebenden vergrößerten Längenänderungen und Spannungen im Mauerwerk und den Putzen.
  - Frostempfindliche Haustechnikleitungen im frostgefährdeten Bereich der Außenwände (betrifft neue und bestehende Leitungen).
  - Installationen (v.a. E-Dosen) in der Innendämmungsebene (Wärmebrücken).
  - Innenraumklima und erwartete Raumlufffeuchtezustände nicht bei der Beurteilung berücksichtigt.
- Fehler bei der Voruntersuchung:
  - Keine Begehung und Besichtigung der kritischen Stellen.

- Keine Erfassung des Schlagregenschutzes der Fassade (z.B. Zustand Putz, Sichtmauerwerk, w-Wert,...)
- Fehler bei den Vorbereitungsarbeiten:
  - Keine Verhinderung von aufsteigender Feuchte aus dem Boden oder Sockelbereich durch geeignete Sperrmaßnahmen.
- Fehler bei der Herstellung der Innendämmung: Hinterströmung der Innendämmung nicht verhindert:
  - Dampfbremsen/ -sperrern sind nicht ordnungsgemäß an die anschließenden Bauteile angeschlossen, Stöße sind nicht verklebt.
  - Kapillaraktive Innendämmungen sind nicht vollflächig und hohlraumfrei mit der Bestandswand verbunden (Kapillarleitung unterbrochen).
  - Feuchteempfindliche Untergründe wurden nicht entfernt.
- Fehler bei der Hydrophobierung:
  - Keine Hydrophobierung trotz Notwendigkeit vorgesehen.
  - Verwendung einer Hydrophobierung mit zu geringer Imprägnierungswirkung (w-Wert).
  - Eindringtiefe in die Bestandskonstruktion nicht ausreichend (zu wenige Arbeitsgänge).
  - Untergrund nicht ausreichend vorbereitet.
  - Verarbeitung bei falscher Witterung.
  - Fugen (größer als Haarrisse) und mürbe Stellen nicht vor Hydrophobierung saniert.
  - Hydrophobierung nicht vollflächig (erhöhte Belastung von Teilbereichen).
  - Innendämmung vor Hydrophobierung aufgebracht.
  - Keine Erneuerung der Hydrophobierung nach Ende der Lebensdauer; keine Überprüfung der Funktionstauglichkeit nach Ablauf der prognostizierten Lebensdauer.

## 3 Lösungen Demoprojekt Kaiserstraße 7

---

### 3.1 Festlegung des Nachweisverfahrens

Da die Gefahr einer Schädigung im Bereich der Innendämmung, des Auflagerbereichs der Dippelbaumdecke und des Streichtrams bei der Tramtraversendecke mit steigender Dämmdicke zunimmt, ist das Hauptziel des Nachweisverfahrens die Ermittlung der maximal zulässigen Innendämmdicke sowie der erforderlichen Zusatzmaßnahmen (Wärmebrückendämmung, Hydrophobierung, etwaiger Wärmeenergieeintrag zu Balkenköpfen, ...) ohne eine Schädigung zufolge kumulierender Feuchte befürchten zu müssen.

Die hygrothermischen Simulationsberechnungen wurden mit der Software HAM4D\_VIE, das am Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz der TU Wien entwickelt wurde, durchgeführt.

Dieses Programm löst numerisch, unter Berücksichtigung vorgegebener Randbedingungen, die Gleichungen des gekoppelten Wärme-, Feuchte- und Lufttransports in porösen Baustoffen. [WEG10, S. 88f.]

Die Gleichungssysteme beruhen im Wesentlichen auf den Vorgaben der ÖNORM EN 15026 [OEN07].

Als Randbedingungen können in HAM4D\_VIE Klimadaten für innen und außen angesetzt werden. Für die Simulation werden Klimadaten von Wien und ein sinusförmiges Innenklima angesetzt. Die Klimadatensätze wurden von der TU Wien zur Verfügung gestellt. Die dargestellten Klimadaten für innen und außen reichen vom 1. Jänner bis 31. Dezember eines Jahres. Das Innenklima basiert auf der ÖNORM B 8110-2 [OEN03], welche eine relative Luftfeuchte von 55 % im Winter angibt. Es ist zwar aufgrund der kontrollierten Lüftungsanlage davon auszugehen, dass die relative Luftfeuchte im Realbetrieb geringer ist. In den dynamischen Simulationsberechnungen hat sich aber gezeigt, dass die relative Luftfeuchte einen sehr hohen Einfluss auf die Tauglichkeit der Konstruktion hat. Aus diesem Grund wird unter Berücksichtigung von etwaigen Nutzungsänderungen oder Nutzerfehlerverhalten ein auf der sicheren Seite liegendes Innenklima gewählt.

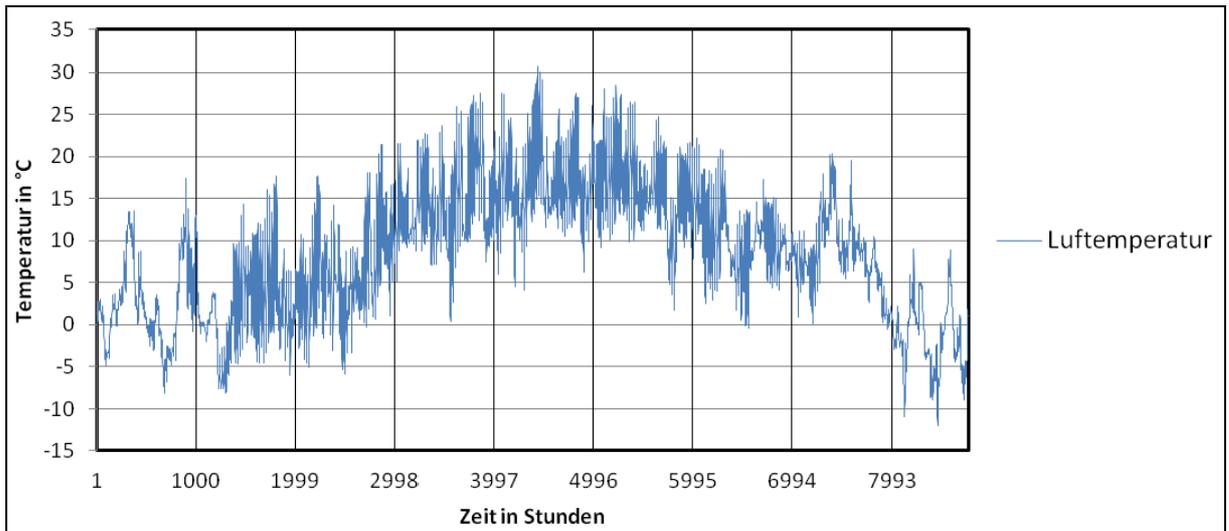


Abbildung 7: Außenklima Wien – Lufttemperatur

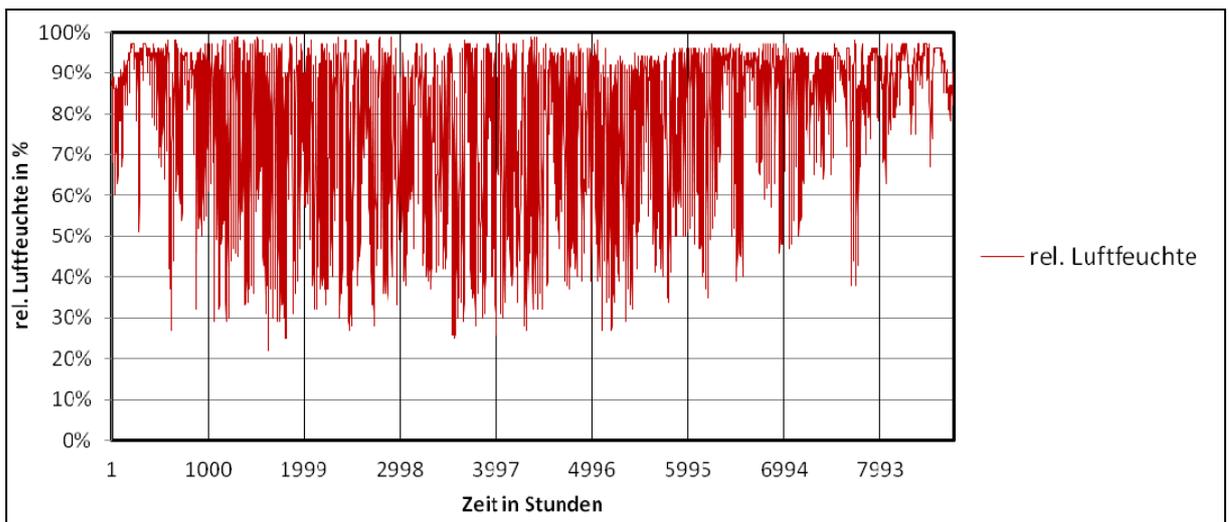


Abbildung 8: Außenklima Wien – relative Luftfeuchte

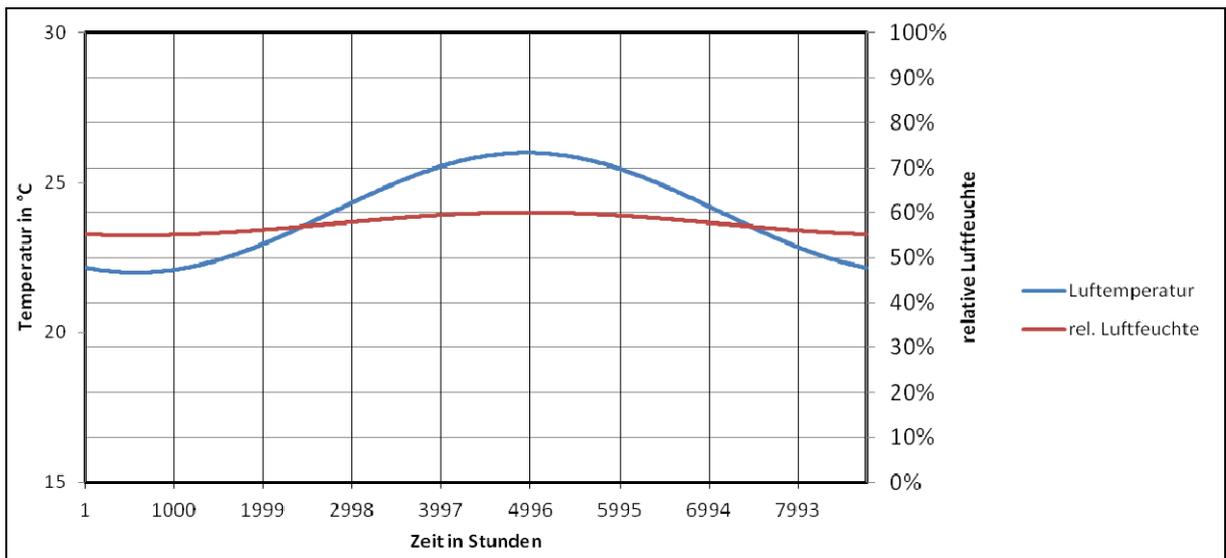


Abbildung 9: Innenraumklima 1 (55 % rel. LF im Winter, basierend auf [OEN03]) – Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Um im Vergleich den Einfluss der relativen Luftfeuchte im Innenraum zu zeigen, wird in einer einfachen Variante mit folgendem Innenklima gerechnet (40 % relative Luftfeuchte im Winter):

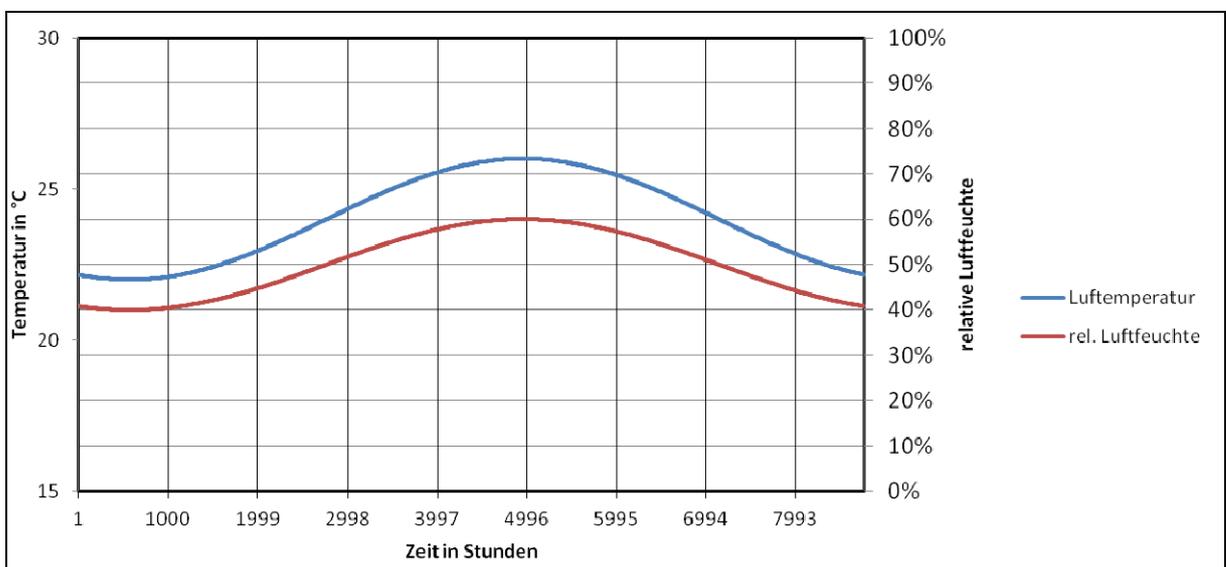


Abbildung 10: Innenraumklima 2 (40 % rel. LF im Winter) – Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Zur Berechnung müssen jeder Schicht Materialdaten mit den thermischen und hygrischen Eigenschaften zugewiesen werden. Sie wurden hauptsächlich aus der MASEA Datenbank [MAS11] entnommen, einer Materialdatensammlung für die energetische Altbausanierung,

zur Verfügung gestellt vom Fraunhofer Institut. In der folgenden Tabelle werden die Materialdaten aufgelistet und Quellen angegeben.

Folgende Abkürzungen wurden verwendet:

$\lambda$ - Wärmeleitfähigkeit

$\rho$  - Rohdichte

$c$  – spezifische Wärmekapazität

$\mu$  - Dampfdiffusionswiderstand

<b>Bezeichnung</b>	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\mu$ trocken [-]
Beton (unbewehrt) <sup>1</sup>	1,94	2104	776	76
Kalciumpulver <sup>2</sup>	0,07	270	1162	4
Dampfbremse (sd=120m) <sup>5</sup>	-	-	-	48.000
Eisen <sup>3</sup>	75	7900	450	$\infty$
Gipskartonbauplatte <sup>1</sup>	0,3	717	1000	7,4
Gipskartonfeuerschutzplatte <sup>1</sup>	0,25	800	960	7,4
Fichtenholz - longitudinal <sup>1</sup>	0,23	455	1500	4,3
Fichtenholz - radial <sup>1</sup>	0,23	455	1500	50
Gipsputz <sup>1</sup>	0,3	850	1000	10
Innenputz <sup>2</sup>	0,2	850	850	18
Luft <sup>4</sup>	0,03	1	1000	1
Polystyrolbeton (leichte Schüttung) <sup>6</sup>	0,07	300	1380	2
Mauerwerk <sup>2</sup>	0,7	1800	890	19
Mauerwerk - hydrophobiert <sup>2</sup>	0,7	1800	890	24
Mineralwolle MW-WL <sup>3</sup>	0,04	100	800	10
OSB-Platten <sup>1</sup>	0,13	595	1700	165
PE-Folie <sup>5</sup> , 0,1 mm, sd ~ 10 m	-	-	-	10.000
Bitumenbahn (sd=350m) <sup>5</sup>	-	-	-	65.000
Stahlbeton <sup>3</sup>	2,3	2300	1080	80

Kiesschüttung <sup>3</sup>	0,7	1800	1000	2
Trittschalldämmung MW-T <sup>3</sup>	0,035	115	1030	1
Zementestrich <sup>2</sup>	1,7	1800	1080	200

<sup>1</sup> entnommen aus [MAS11], erweitert durch TU Wien Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

<sup>2</sup> Daten übergeben von TU Wien Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

<sup>3</sup> entnommen aus [ONV01], Ergänzungen durch TU Wien Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz und Schöberl & Pöll GmbH

<sup>4</sup> entnommen aus [ONV01], angepasst zur Erhöhung der Rechengeschwindigkeit

<sup>5</sup> Vorgabe durch Bauphysik, Schöberl & Pöll GmbH

<sup>6</sup> Quelle: Prüfbericht MA 39, Lafarge Beton GmbH, Ergänzungen durch TU Wien Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz und Schöberl & Pöll GmbH

Tabelle 5: Materialdaten

### 3.2 Detailanalyse von zwei typischen Details des Demoprojekts Kaiserstraße 7

Das Objekt Kaiserstraße 7 unterliegt dem Denkmalschutz und wird zukünftig für die Schaffung von Heimplätzen verschiedener sozialer Einrichtungen und teilweise als Verwaltungsgebäude der Kongregation der Mission vom heiligen Vinzenz von Paul (Lazaristen) genutzt.



Abbildung 11: Kaiserstraße 7 – denkmalgeschützte Fassade, Ostseite (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

In jenen Bereichen, wo im Zuge der thermischen Sanierung eine Innendämmung ausgeführt wird, gibt es zwei Deckentypen: Dippelbaumdecke und Tramtraversendecke.

Die **Dippelbaumdecke** kommt nur als oberste Geschoßdecke vor. Sie ist über ihre gesamte Länge im Mauerwerk aufgelagert und stellt somit eine linienförmige Wärmebrücke dar. Die Auflagertiefe beträgt 15 - 20 cm.



Abbildung 12: Dippelbaumdecke – Auflagerbereich (Foto: Schöberl & Pöll GmbH)

Der Dachraum wird saniert und durch einen hochgedämmten, in üblicher Leichtbauweise ausgeführten, Dachgeschoßausbau bewohnbar gemacht. Im Bereich des Drepfels/Kniestocks erfolgt eine konventionelle Innendämmung mit Mineralwolle und Dampfsperre mit Installationsebene. Diese Ausführung wurde gewählt, um einen aufwendigen Konstruktionswechsel am Übergang zu den Dachschrägen zu verhindern. Das Konstruktionsdetail für den Anschluss der Dippelbaumdecke ist in folgender Abbildung ersichtlich:

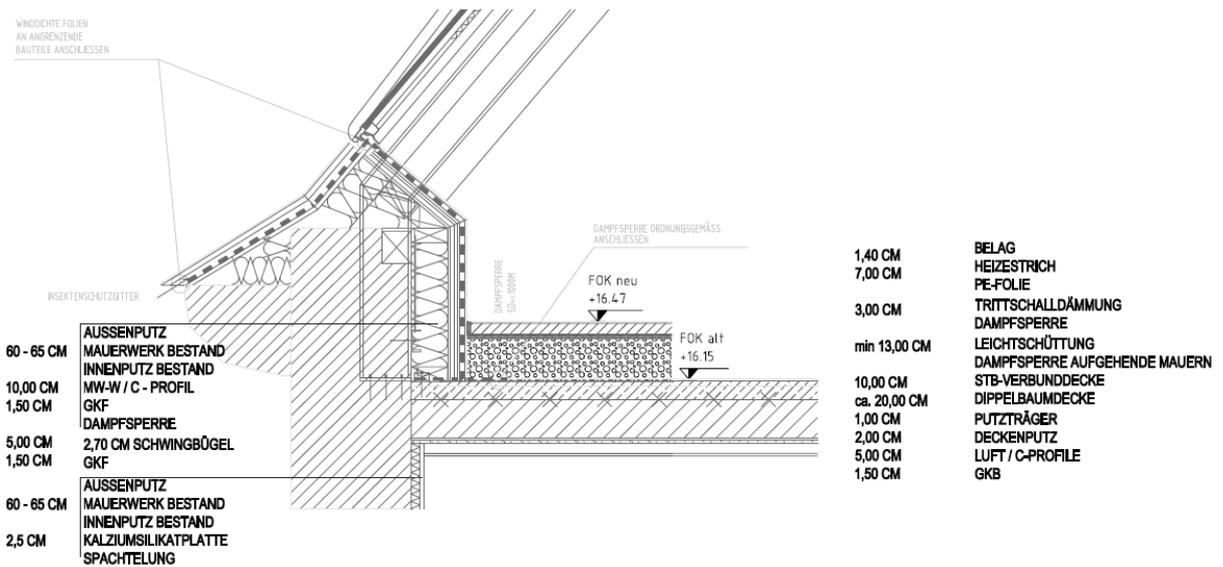


Abbildung 14: Dippelbaumdecke – Konstruktionsdetail im Dachgeschoß (Quelle: Architekten Kronreif\_Trimmel & Partner, angepasst durch Schöberl & Pöll GmbH)

Die Konstruktionsdetails für den Anschluss der Tramtraversendecke im Bereich des Dachgeschoßes und des Regelgeschoßes sind in folgenden Abbildung ersichtlich.

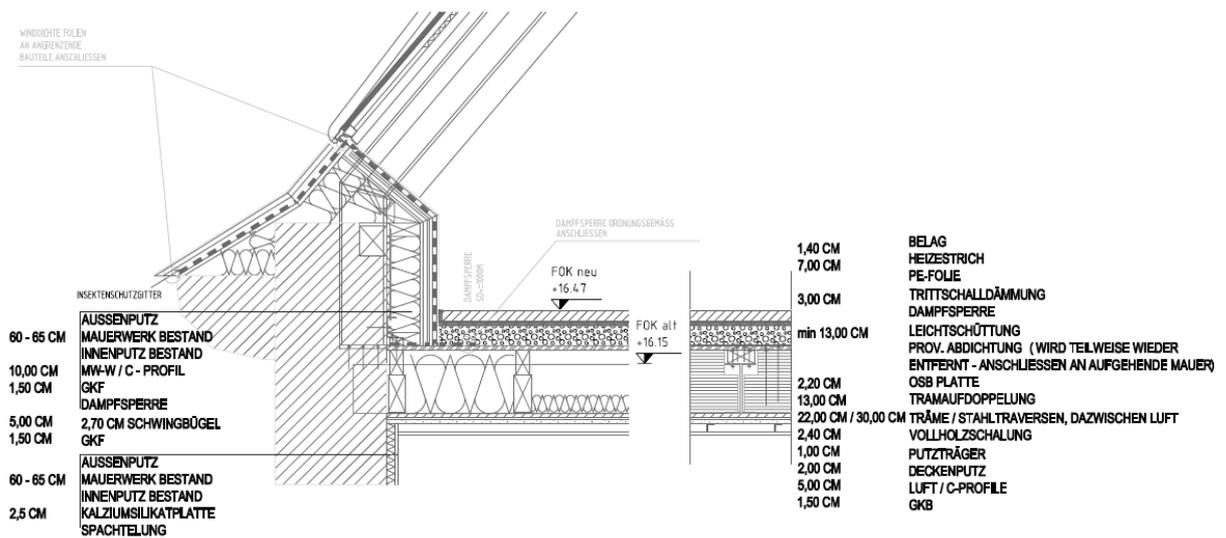


Abbildung 15: Tramtraversendecke – Konstruktionsdetail im Dachgeschoß (Quelle: Architekten Kronreif\_Trimmel & Partner, angepasst durch Schöberl & Pöll GmbH)

Die Ausführung der Innendämmung im Bereich des Dämpfungsmauerwerks erfolgt analog den Bereichen mit Dippelbaumdecke mit raumseitiger Mineralwollämmung, Dampfsperre und Installationsebene. Zwischen den Eisen-Traversen wird Mineralwolle eingelegt.

Nachfolgend sei erläutert, warum beim Dachgeschoß-Ausbau im Bereich des Drempels/Kniestocks eine vergleichsweise deutlich dickere Dämmdicke als in den Bestandgeschoßen möglich ist und warum dieser Bereich mit einer Dämmung aus Mineralwolle mit Dampfsperre ausgeführt werden kann:

- Da sich im Bereich des Kniestocks das verblechte Dachgesimse befindet, besteht in aller Regel keine nennenswerte Schlagregenbelastung. Daher kann bei Ausführung einer raumseitigen Dampfsperre auch eine Dämmung aus Mineralwolle mit vertreten werden.
- Solange nur der Kniestock im Dachgeschoß und nicht die Außenwand im Geschoß unter der obersten Geschoßdecke mit Innendämmung versehen wird, bewirkt auch eine vergleichsweise hohe Innendämmung am Kniestock keine erhebliche Veränderung der hygrothermischen Situation der Balkenköpfe der obersten Decke. Dies ist dadurch zu begründen, dass vor dem DG-Ausbau der Dachraum kalt war und somit von oben auch im Bestandszustand keine Wärme zum Balkenkopf geleitet wurde. Wird jedoch auch die Wand im Geschoß unter dem DG innen gedämmt, ist eine detaillierte Untersuchung unerlässlich. Eine zu hohe Dämmdicke würde zwangsläufig zu einer Schädigung führen.

Grundvoraussetzung hierfür ist jedoch jedenfalls eine fachgerechte Ausführung, insbesondere im Hinblick auf den Anschluss der Dampfsperre und der Führung sämtlicher Installationen in einer Installationsebene.

Die Fassade, welche Bereiche mit Riemchen und Außenputz aufweist, wird saniert und anschließend mit einer flächendeckenden Hydrophobierung versehen. Die Innendämmung wird direkt auf den im Bestand vorhandenen Innenputz aufgebracht.

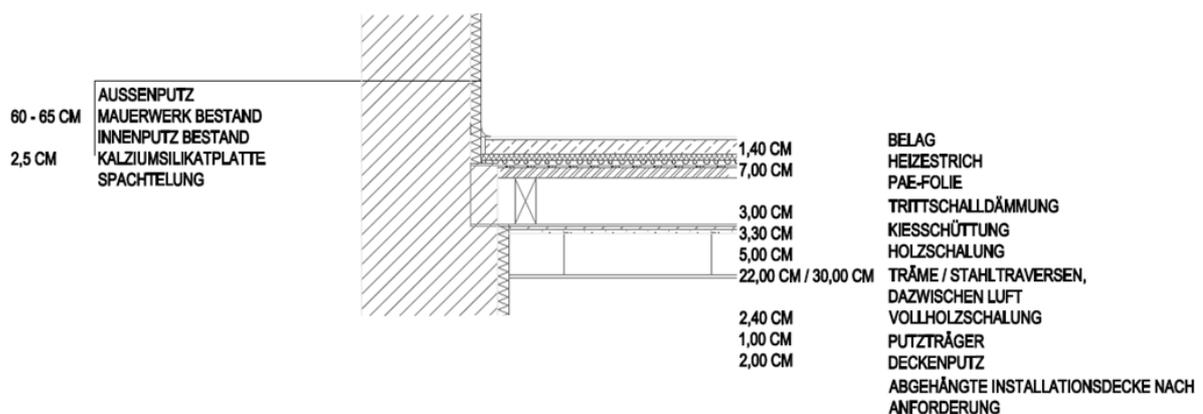


Abbildung 16: Tramtraversendecke – Konstruktionsdetail im Regelgeschoß (Quelle: Architekten Kronreif\_Trimmel & Partner, angepasst durch Schöberl & Pöll GmbH)

Im Bereich der Regelgeschoßdecken werden alle Schichten bis zur Bestandsschalung abgetragen. Die Tramtraversendecke bleibt bestehen und es wird ein üblicher Bodenaufbau aufgebracht. Der Mauerwerkssprung, wie in Abbildung 16 ersichtlich, wurde zum derzeitigen Stand noch nicht vorgefunden.

Die Innendämmung wird direkt auf den im Bestand vorhandenen Innenputz aufgebracht, eventuell vorhandene Tapeten o.Ä. werden entfernt, da sie den Flüssigkeitstransport unterbrechen würden und keinen ausreichenden Haftgrund für die vollflächig mit Ansetzbinder applizierte Innendämmung darstellen würden. Die Innendämmung wird von unten und oben an die bestehende Holzschalung herangeführt. Im Bereich der Decke und zwischen den Traversen wird somit keine Innendämmung ausgeführt. Dies hat einerseits den Vorteil, dass aufwendige Arbeiten für Öffnung, Dämmung und erneuten Verschluss der Decke entfallen. Zum anderen stellt der Entfall der Dämmung in der Deckenebene eine bewusste Wärmebrücke dar, die dazu beiträgt eine ausreichend hohe Wärmemenge zu den kritischen Deckenauflagerpunkten und den direkt an Außenwand befindlichen Streichbalken zu leiten.

Wie bereits erwähnt, wurden die hygrothermischen Simulationsberechnungen mit der Software HAM4D\_VIE, das am Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz der TU Wien entwickelt wurde, durchgeführt. Für die Simulation wurden die Details in Form einer Eingabe-Datei geometrisch definiert und den einzelnen Schichten Materialien zugewiesen. Dies ist in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich.

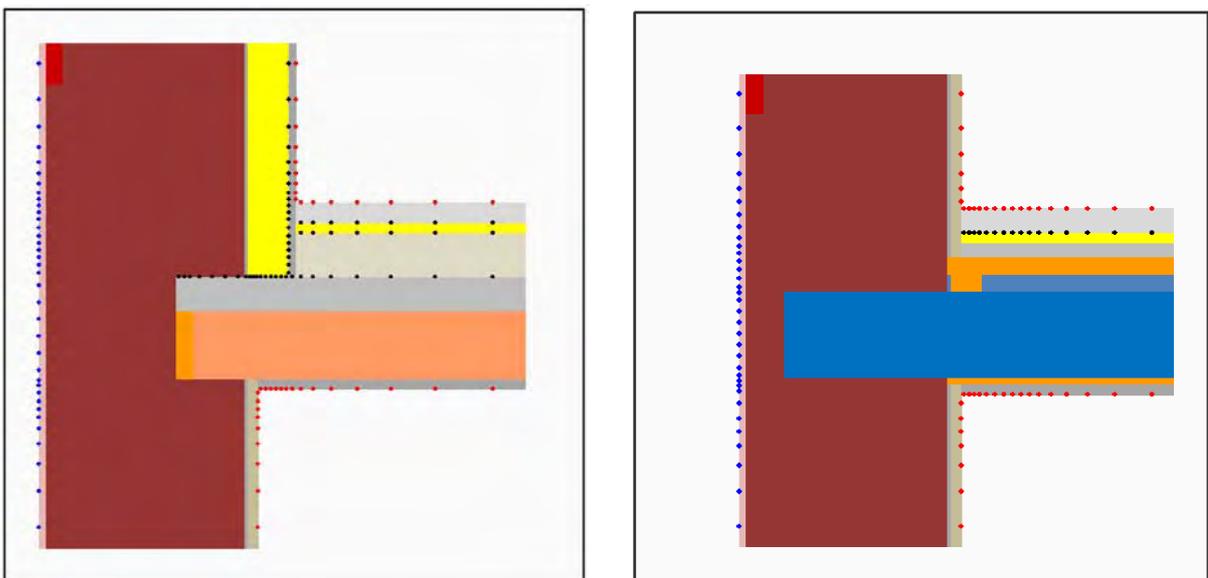


Abbildung 17: Ansicht der Details im dynamischen Simulationstool HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Der Transport von Flüssigwasser konnte zum Zeitpunkt der Berichtslegung softwarebedingt noch nicht korrekt abgebildet werden. Da die Zielvorgabe jedoch so definiert wurde, dass relative Luftfeuchten von 95 % an den maßgeblichen Punkten in der Konstruktion nicht überschritten werden sollen, es also nicht zu Kondensation kommt, ist dies für die Ergebnisse nicht von Bedeutung. Der Feuchtetransport durch Dampfdiffusion wurde in der Simulation berücksichtigt.

Durch eine Sanierung und flächendeckende Hydrophobierung der Fassade wird sichergestellt, dass kein oder nur ein stark verminderter Wassertransport durch Regen von der Fassadenoberfläche in die Außenwand stattfindet. Dies ist eine wesentliche Randbedingung aller durchgeführten Simulationsberechnungen.

Im nächsten Schritt wurden Varianten berechnet und die Temperaturen, relativen Luftfeuchten und Wassergehalte an maßgeblichen Stellen ausgewertet. Auf diese Art konnte sich der maximal möglichen Innendämmdicke angenähert werden. Die Ergebnisse für die Tramtraversendecke und die Dippelbaumdecke werden in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

Bei den Berechnungen wurde ein Startwert der relativen Luftfeuchte von 80 % in allen Materialschichten, außer bei Polystyrolbeton (95 % relative Luftfeuchte), zugrunde gelegt.

### **3.2.1 Beurteilung der Fassade**

Die Tauglichkeit der Fassade für eine Hydrophobierung wurde untersucht. Zur Beurteilung wurde eine Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten (w-Wert) am 05.03.2012 anhand von drei Messstellen vorgenommen.

#### **Messstelle 1:**

Lage: Südfassade

Geschoß: EG

Material: Bestandsputz

Aufgrund der unebenen und stark absandenden Oberfläche konnte der w-Wert nicht ordnungsgemäß ermittelt werden. Es war jedoch augenscheinlich zu erkennen, dass, auch aufgrund von zahlreichen Fehlstellen und Abplatzungen, die Wasseraufnahme so hoch ist, dass eine Sanierung der Putzflächen samt Hydrophobierung erfolgen muss.

#### **Messstelle 2:**

Lage: Westfassade

Geschoß: 3.OG

Material: Riemchen

Beim Regelbereich der Riemchen-Fassade war im Messzeitraum von 15 min keine nennenswerte Wassereindringung festzustellen (w-Wert  $< 0,10 \text{ l/m}^2\sqrt{\text{h}}$   $< 0,10 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ ).

Da die Fugen der Riemchen-Fassade ca. 1 cm tiefer als die Oberfläche der Riemchen liegen, konnten an diesen Flächen systembedingt keine Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten vorgenommen werden.

Es war jedoch augenscheinlich zu erkennen, dass die Fugen teilweise große Fehlstellen und Risse aufweisen. Auch konnte ein starkes Absanden festgestellt werden. Demnach muss davon ausgegangen werden, dass über die Fugen eine unzulässig hohe Wassermenge aufgenommen werden würde. Daher ist eine Sanierung der Fugen samt Hydrophobierung erforderlich.



Abbildung 18: Messstelle 2 – Westfassade, 3.OG, Riemchen (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

### **Messstelle 3:**

Lage: Westfassade

Geschoß: 3.OG

Material: Bestandsputz

Die Messung der Bestandsputzflächen hat im Messzeitraum von 15 min eine Wassereindringung von 0,35 ergeben. Demnach beträgt der w-Wert  $0,70 \text{ l/m}^2\sqrt{\text{h}}$   $= 0,70 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ .

Da augenscheinlich zu erkennen war, dass die Putzflächen zahlreiche Fehlstellen und Abplatzungen aufweisen und der o.g. Wert als deutlich zu hoch anzusehen ist, ist eine Sanierung der Putzflächen samt Hydrophobierung erforderlich.

Auf das Thema „Hydrophobierung“ wird im Kapitel 3.3 genauer eingegangen.

### 3.2.2 Ergebnisse Tramtraversendecke (Innenklima 1)

Für die Analysen wurde, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, HAM4D\_VIE verwendet.

Für die Innendämmung wird sowohl oberhalb als auch unterhalb der Regelgeschoßdecke Kalziumsilikat verwendet. Die Ziegelwand ist außen teilweise mit Riemchen und teilweise mit Kalkzementputz und einer Hydrophobierung und innen mit 1 cm Gipsputz versehen. Durch die Hydrophobierung wird die Schlagregenbelastung minimiert.

Die Innendämmung (CaSi; 2,5 cm) wird auf den bestehenden Gipsputz aufgebracht.

Gerechnet wird mit Innenklima 1 (Abbildung 9) und Außenklima in Wien (Abbildung 7, Abbildung 8). Die Simulationsdauer beträgt für dieses Details 4 Jahre (1. Juli bis 30. Juni).

An 10 maßgeblichen Punkten wurden Lufttemperatur und relative Luftfeuchte ausgewertet. Sie sind in der folgenden Grafik im Detail eingezeichnet:

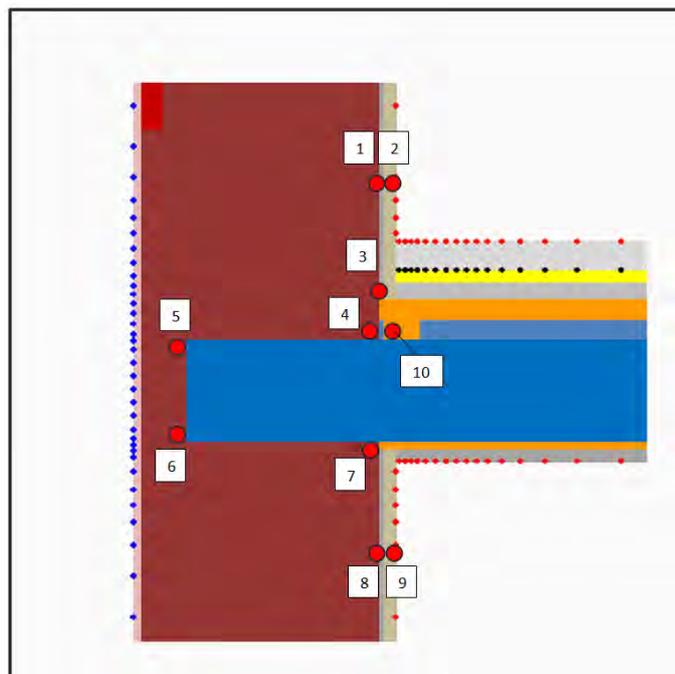


Abbildung 19: Tramtraversenanschluss, Schnitt durch den Steg des I-Trägers in HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Die Auswirkung der Innendämmung, der Verlauf der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte in den 10 Auswertungspunkten stellen die folgenden Grafiken dar.

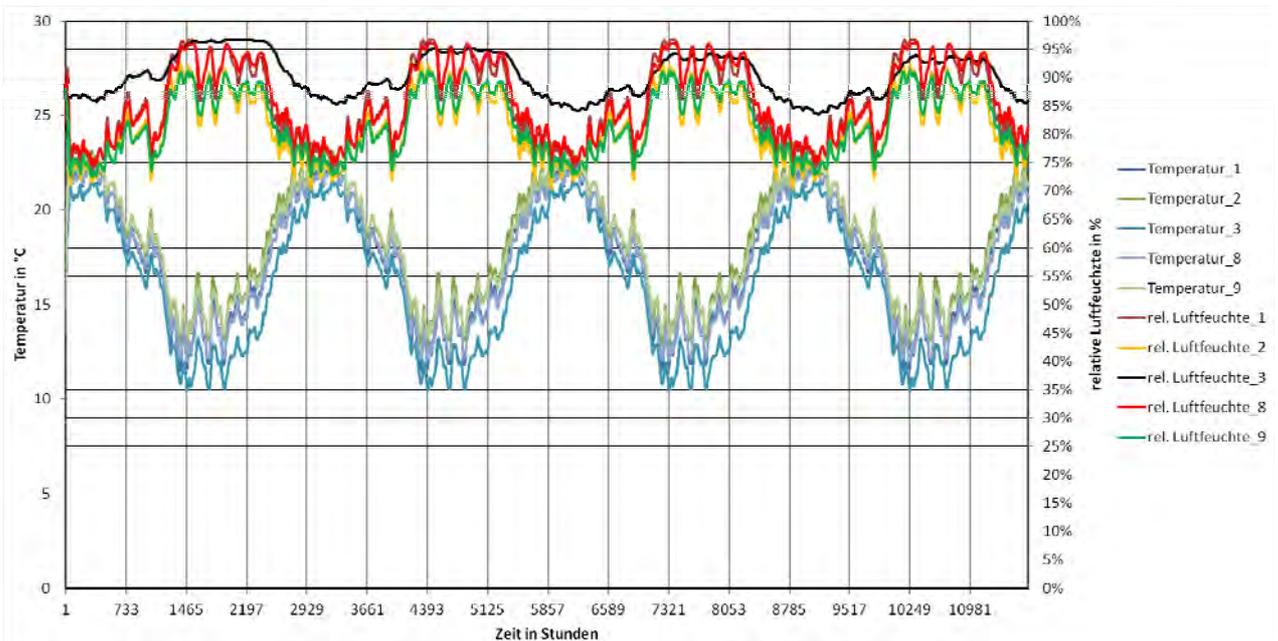


Abbildung 20: Tramtraversenanschluss, Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der Punkte 1, 2, 3, 8 und 9 berechnet mit HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

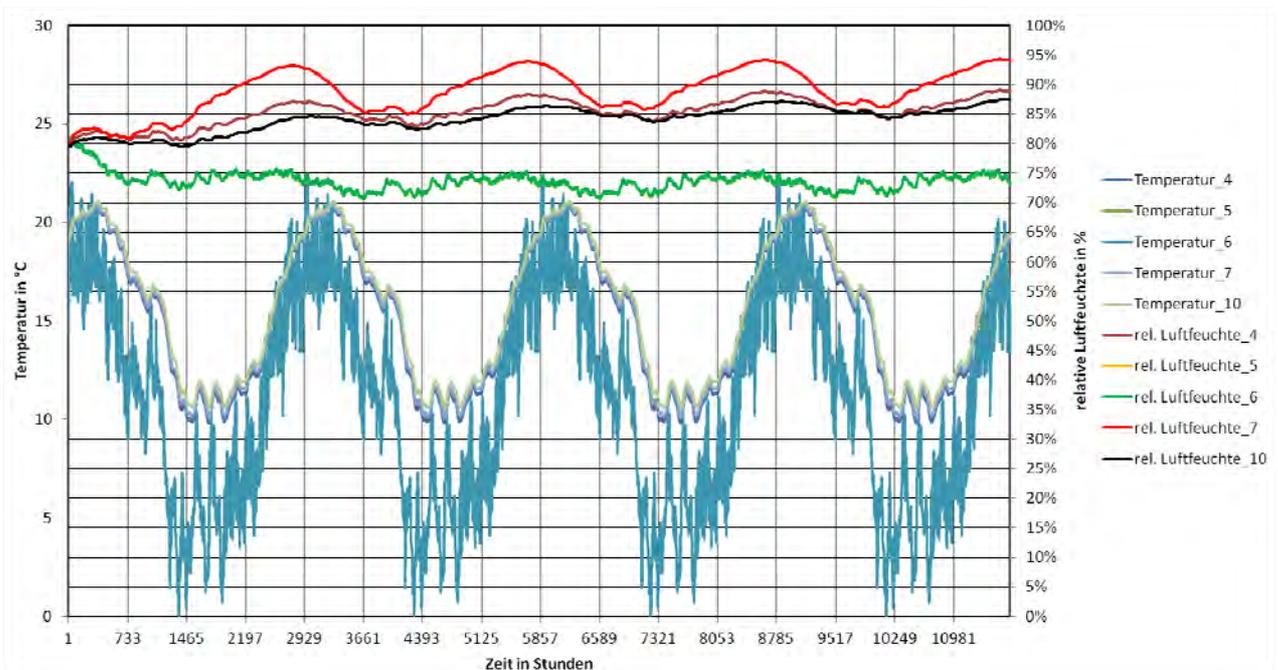


Abbildung 21: Tramtraversenanschluss, Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der Punkte 4, 5, 6, 7 und 10 berechnet mit HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Im Folgenden wird auf jeden der Punkte kurz eingegangen:

- **Punkte 1, 3, 8:** Die Punkte 1, 3 und 8 liegen im Gipsputz und stellen die kritischsten Punkte dar. In der kalten Jahreszeit wird die relative Luftfeuchte von 95 % in einigen Tagen überschritten. Da das Kalziumsilikat kapillarleitfähig ist, wird das bereits teilweise anfallende Kondensat in den Innenraum transportiert. Im Punkte 3 ist im ersten Jahr noch die größte relative Luftfeuchte vorzufinden. In den folgenden Jahren sinkt diese immer weiter ab. Die kurzzeitige Überschreitung von 95 % relativer Luftfeuchte stellt die obere Toleranzgrenze dar, die maximale Dämmstärke wird daher auf 2,5 cm begrenzt. Die Temperaturschwankung in diesem Punkt beträgt 11,7 °C.
- **Punkte 2, 9:** Die Punkte 2 und 9 liegen auf der kalten Seite der Innendämmung und weisen niedrigere rel. Luftfeuchten (maximal 91 %) als der Gipsputz auf. Diese Spitzen treten nur kurzzeitig auf. Falls Kondensat auftritt, wird dieses an den Innenraum abgegeben.
- **Punkte 4, 5, 6, 7:** Diese Punkte liegen alle im Bereich des Ziegelmauerwerks an den jeweiligen Ecken der Eisentraverse. Die Punkte 5 und 6 liegen sehr nahe an der Außenoberfläche und sind von Innenraumklima nahezu unbeeinflusst. Ihre Temperatur folgt stark der Außentemperatur, die relative Luftfeuchte in diesen Punkten ist unproblematisch. Die Punkte 4 und 7 liegen weiter im warmen Bereich und folgen stärker dem Innenklima. Im 3. und 4. Jahr steigt die Feuchte nicht mehr an und es herrscht ein nahezu stationärer Zustand. Die auftretenden hohen relativen Luftfeuchten sind als unproblematisch zu bewerten. Zusätzlich wird in diesem Bereich, entgegen der Abbildung 19, die Dämmung aufgrund der vorhandenen Ausrundung am Übergang des Innenputzes von Wand und Deckenuntersicht nicht bis ganz an die Schalung herangeführt, was die Luftfeuchte im Punkte 7 in Realität weniger kritisch erscheinen lässt.
- **Punkt 10:** Dieser Punkte liegt auf der kalten Seite des Holz-Streichtrams. Zwischen Tram und Gipsputz befindet sich ein Luftspalt von ca. 1 bis 2 cm. Im 3. und 4. Jahr steigt die Feuchte nicht mehr an und es herrscht ein nahezu stationärer Zustand. Die maximale kurzzeitige relative Luftfeuchte beträgt 87 %. Die Austrocknung nach innen und außen ist nicht behindert. Der Tram liegt im Bereich der Wärmebrücke, das heißt die Temperatur sinkt nicht unter 10 °C, der Tram ist hinsichtlich Vermorschung nicht gefährdet. Die höheren Luftfeuchten sind als unproblematisch zu bewerten.

Für keinen der Punkte besteht Schimmelgefahr nach der Auswertung von HAM4D\_VIE.

### 3.2.3 Ergebnisse Dippelbaumdecke im DG (Innenklima 1)

Für die Analysen wurde, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, HAM4D\_VIE verwendet.

Für die Innendämmung wurde unterhalb der obersten Geschoßdecke Kalziumsilikat verwendet. Für einen hinsichtlich Dampfdiffusion sicheren Aufbau oberhalb der letzten Geschoßdecke wurde raumseitig vor der Mineralwolle eine Dampfsperre verwendet.

Die Ziegelwand ist außen teilweise mit Riemchen und teilweise mit Kalkzementputz und einer Hydrophobierung und innen mit 1 cm Gipsputz innen versehen. Durch die Hydrophobierung wird die Schlagregenbelastung minimiert.

Die Innendämmung (CaSi 2,5 cm; Mineralwolle 12 cm) wird auf den bestehenden Gipsputz aufgebracht.

Gerechnet wird mit Innenklima 1 (Abbildung 9) und Außenklima in Wien (Abbildung 7, Abbildung 8). Die Simulationsdauer beträgt für dieses Details 4 Jahre (1. Juli bis 30. Juni).

An 12 maßgeblichen Punkten wurden Lufttemperatur und relative Luftfeuchte ausgewertet. Sie sind in der folgenden Grafik im Detail eingezeichnet:

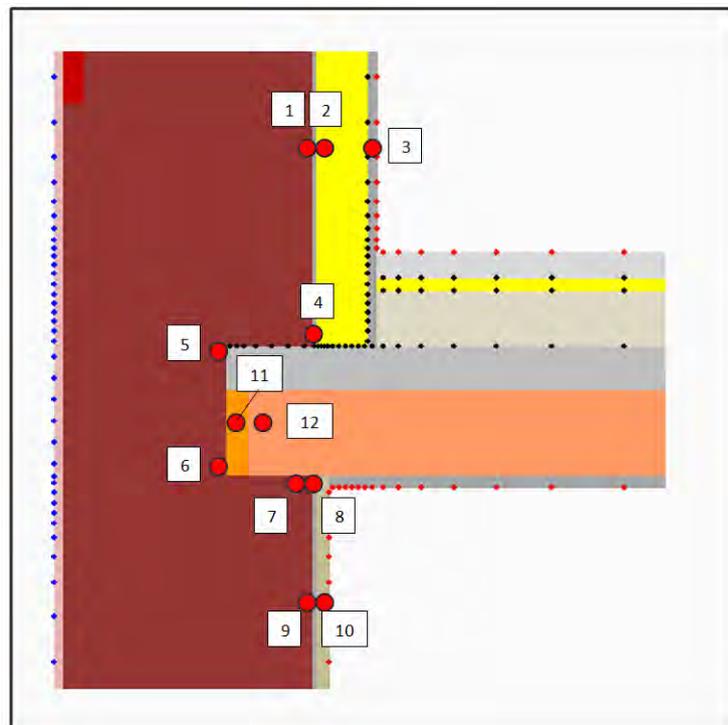


Abbildung 22: Dippelbaumdeckenanschluss in HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Die Auswirkung der Innendämmung, der Verlauf der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte in den 10 Auswertungspunkten stellen die folgenden Grafiken dar:

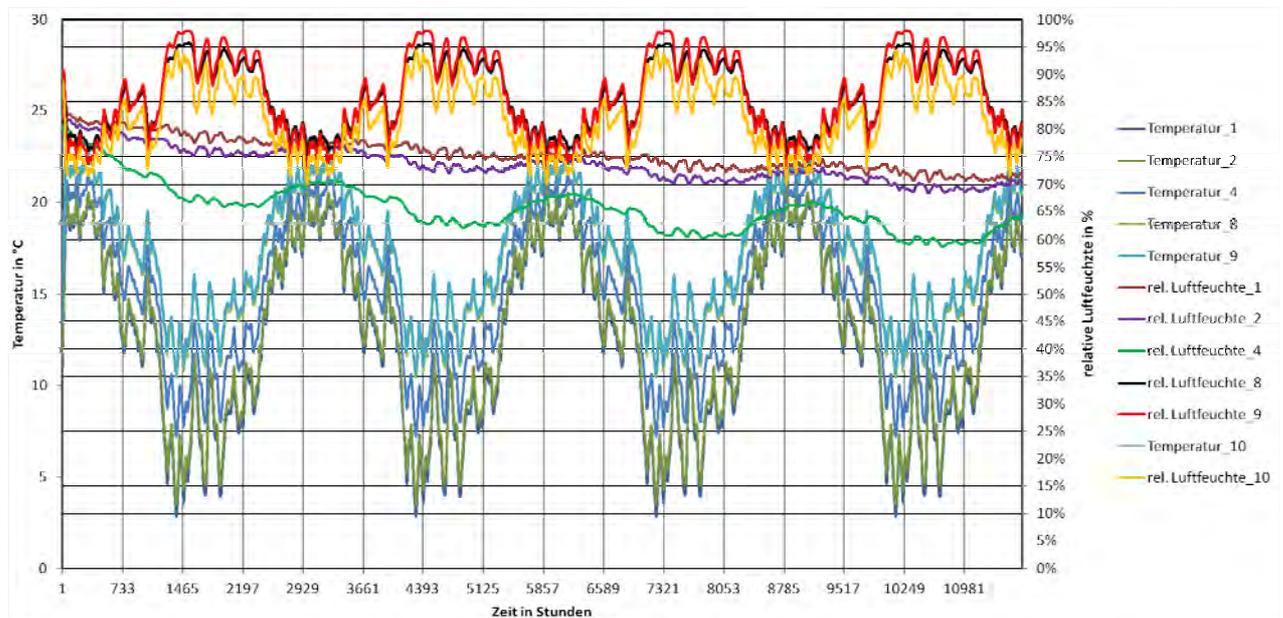


Abbildung 23: Dippelbaumdeckenanschluss, Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der Punkte 1, 2, 4, 8, 9 und 10 berechnet mit HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

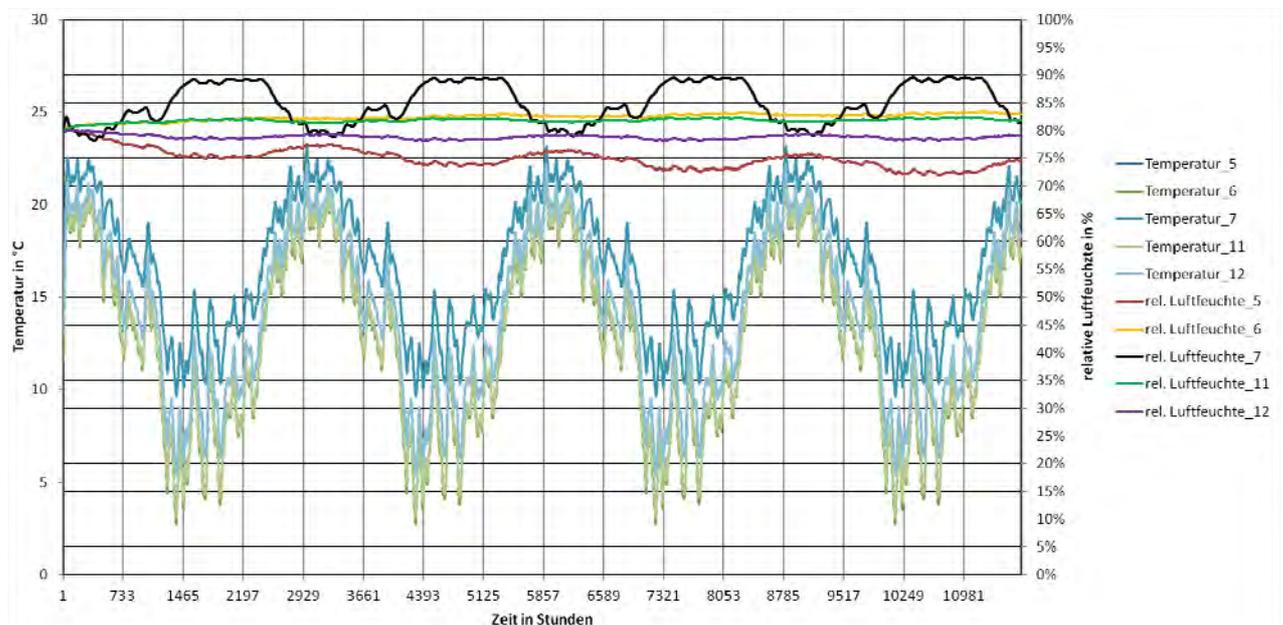


Abbildung 24: Dippelbaumdeckenanschluss, Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der Punkte 5, 6, 7, 11 und 12 berechnet mit HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Im Folgenden wird auf jeden der Punkte kurz eingegangen:

- **Punkte 1, 4, 8, 9:** Die Punkte 1, 4, 8 und 9 liegen im Gipsputz und stellen die kritischsten Punkte dar. In der kalten Jahreszeit wird die relative Luftfeuchte von 95 % an einigen Tagen im Punkt 9 überschritten. Da das Kalziumsilikat kapillarleitfähig

ist, wird das bereits teilweise anfallende Kondensat in den Innenraum transportiert. Die kurzzeitige Überschreitung von 95 % relativer Luftfeuchte stellt die obere Toleranzgrenze dar, die maximale Dämmstärke wird daher auf 2,5 cm begrenzt. Der Punkt 1, welcher außenseitig der Mineralwolle mit der Dampfbremse im Gipsputz liegt, ist unkritisch, da die relative Luftfeuchte sinkt und unter 80 % bleibt. Auch im Punkte 4 sinkt die relative Luftfeuchte über die Simulationsdauer ab. Die Temperaturschwankung in Punkt 1 beträgt 18,5 °C, in Punkt 9 beträgt sie 12,8 °C.

- **Punkte 2, 10:** Die Punkte 2 und 10 liegen auf der kalten Seite der Mineralwolle bzw. Kalziumsilikatdämmung. Punkt 2 in der Mineralwolle ist mit Luftfeuchten unter 80 % unkritisch. In Punkt 10 im Kalziumsilikat gibt es kurzzeitige maximale relative Luftfeuchten von 94 %. Falls Kondensat auftritt, wird dieses durch die Kapillarleitfähigkeit der Dämmung an den Innenraum abgegeben.
- **Punkte 5, 6, 7:** Diese Punkte liegen alle im Bereich des Ziegelmauerwerks an den jeweiligen Ecken der Dippelbaumdecke. Die Punkte 5 und 6 sind 40 cm von der Außenoberfläche entfernt, die Temperatur folgt damit stärker der Außentemperatur. Die Punkte 5 und 6 sind vom Verlauf der relative Luftfeuchte sehr unterschiedlich, was auf die unterschiedliche Art der Dämmung ober und unterhalb der Decke zurückzuführen ist. Die relative Luftfeuchte in Punkt 5 (oben) ist geringer als im Punkt 6 (unten). Der Punkt 7 liegt im warmen Bereich und folgt stärker dem Innenklima, die relative Luftfeuchte erreicht Werte bis zu 90 %. Im 3. und 4. Jahr steigt die Feuchte nicht mehr an und es herrscht ein nahezu stationärer Zustand. Die auftretenden hohen relativen Luftfeuchten sind als unproblematisch zu bewerten. Zusätzlich wird im Bereich von Punkt 7 entgegen der Abbildung 22 die Dämmung aufgrund der vorhandenen Ausrundung am Übergang des Innenputzes von Wand und Deckenuntersicht nicht bis ganz an die Schalung herangeführt werden kn, was die Luftfeuchten im Punkte 7 in Realität weniger kritisch erscheinen lässt.
- **Punkte 11, 12:** Diese Punkte liegen auf der kalten Stirnseite bzw. 5 cm im Inneren des Holzdippelbaums. Punkt 11 ist weiter im kalten Bereich, der Verlauf der relativen Luftfeuchte ist höher als im Punkt 12. Die maximale relative Luftfeuchte in Punkte 11 beträgt 82,4 %, in Punkt 12 beträgt sie 80 %. Im 3. und 4. Jahr steigt die Feuchte nicht mehr an und es herrscht ein nahezu stationärer Zustand. Die maximale kurzzeitige relative Luftfeuchte beträgt 87 %. Die minimale Temperatur an der Stirnseite beträgt 3 °C. Die relativen Luftfeuchten sind als unproblematisch zu bewerten.
- **Punkt 3:** Zur besseren Lesbarkeit der restlichen Punkte wurde Punkte 3 nicht in die Abbildung 23 und Abbildung 24 eingetragen. Der Punkte folgt weitestgehend dem Innenraumklima und stellt keine kritische Stelle dar.

Für keinen der Punkte besteht Schimmelgefahr nach der Auswertung von HAM4D\_VIE.

### 3.2.4 Ergebnisse Innendämmung (Innenklima 2)

Für die Analysen wurde, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, HAM4D\_VIE verwendet.

Um im Vergleich den Einfluss der relativen Luftfeuchte im Innenraum zu zeigen, werden zwei homogene Wandaufbauten ohne Wärmebrücke mit dem Innenklima 2 aus Abbildung 10 (40 % relative Luftfeuchte im Winter) berechnet. Eine kontrollierte Lüftungsanlage, wie sie auch bei Bauvorhaben Kaiserstraße eingebaut wird, ist Voraussetzung für das Innenklima 2.

Für die Innendämmung werden zwei Varianten 2,5 und 5 cm Kalziumsilikat betrachtet.

Gerechnet wird mit Innenklima 2 (Abbildung 9) und Außenklima in Wien (Abbildung 7, Abbildung 8). Die Simulationsdauer beträgt für dieses Details 4 Jahre (1. Juli bis 30. Juni).

An 2 maßgeblichen Punkten wurden Lufttemperatur und relative Luftfeuchte ausgewertet. Sie sind in der folgenden Grafik im Detail eingezeichnet:

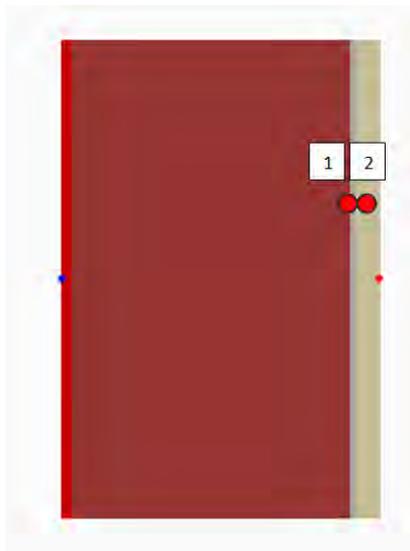


Abbildung 25: Homogener Wandaufbau mit hydrophobierter Ziegelwand und Innendämmung in HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Die folgenden Grafiken stellen die Auswirkung von Innenklima 2 und den unterschiedlichen Dämmdicken, den Verlauf der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchten in den 2 Auswertungspunkten dar:

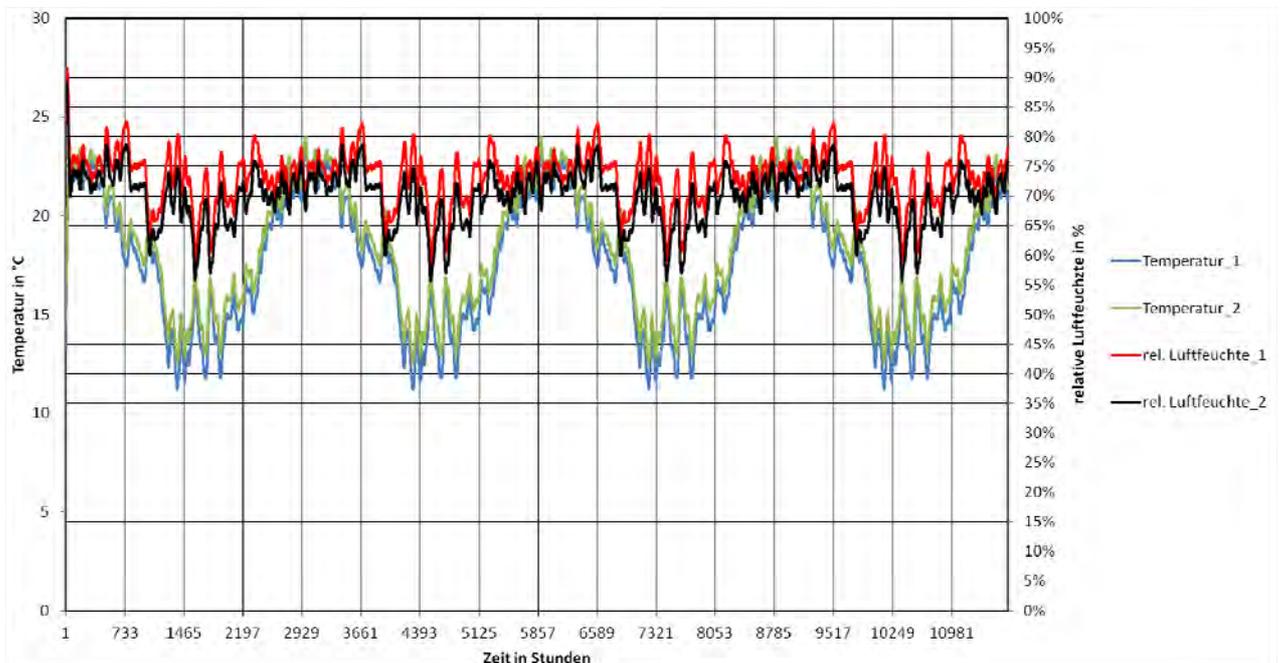


Abbildung 26: Homogener Wandaufbau, 2,5 cm Kalziumsilikat, Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der Punkte 1 und 2 berechnet mit HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

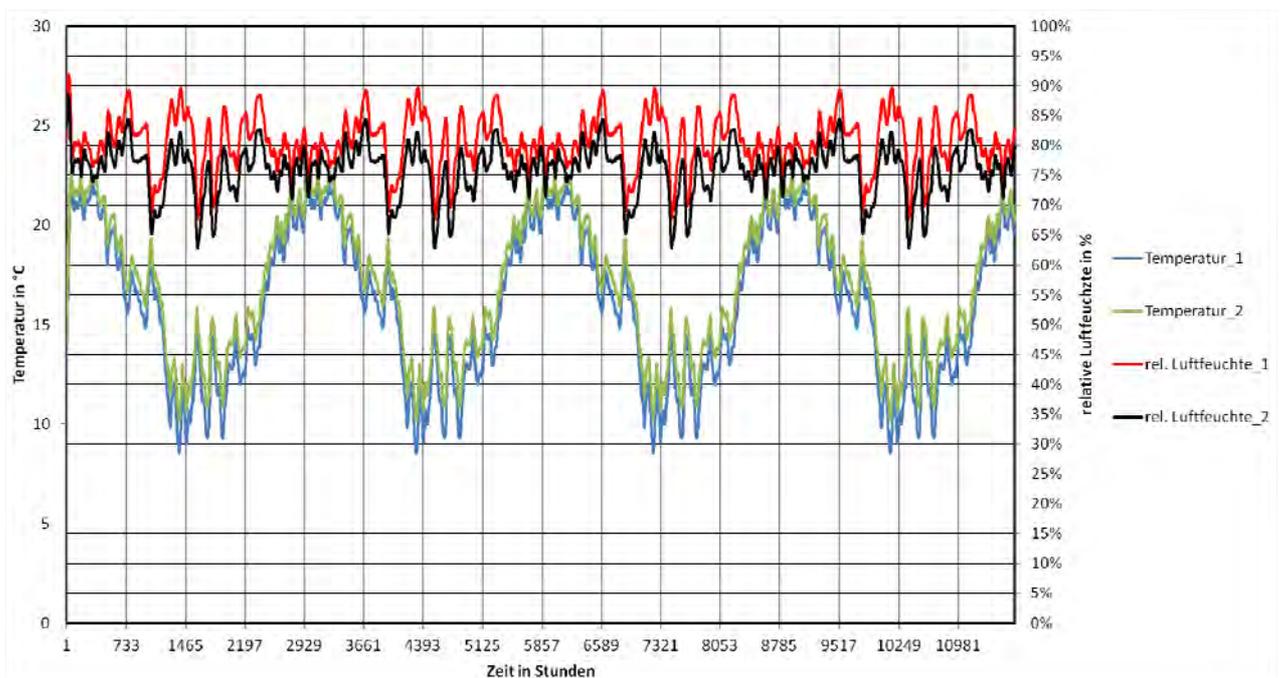


Abbildung 27: Homogener Wandaufbau, 5 cm Kalziumsilikat, Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der Punkte 1 und 2 berechnet mit HAM4D\_VIE (Quelle: Schöberl & Pöll GmbH)

Im Folgenden wird auf jeden der Punkte kurz eingegangen:

### **2,5 cm Innendämmung**

- **Punkt 1:** Punkt 1 liegt im Gipsputz und stellt somit den kritischsten Punkt dar. Im Gegensatz zu den Auswertungen in den Kapiteln 3.2.2 und 3.2.3 liegen die relativen Luftfeuchten deutlich niedriger. Dies zeigt den großen Einfluss der Nutzung und des Innenraumklimas auf die Zustände in der Innendämmung. Das Außenklima hat aufgrund der Hydrophobierung einen deutlich geringeren Einfluss als das Innenklima. Die relative Luftfeuchte beträgt kurzzeitig maximal 82,3 %.
- **Punkt 2:** Punkt 2 liegt auf der kalten Seite der Kalziumsilikatdämmung. Im Gegensatz zu den Auswertungen in den Kapiteln 3.2.2 und 3.2.3 liegen die relativen Luftfeuchten deutlich niedriger. Die relative Luftfeuchte beträgt kurzzeitig maximal 78,6 %.

### **5 cm Innendämmung**

- **Punkt 1:** Punkt 1 liegt im Gipsputz und stellt somit den kritischsten Punkt dar. Aufgrund der höheren Dämmdicke von 5 cm liegt der Verlauf der relativen Luftfeuchte höher als bei 2,5 cm. Im Gegensatz zu den Auswertungen in den Kapiteln 3.2.2 und 3.2.3 liegen die relativen Luftfeuchten jedoch deutlich niedriger. Dies zeigt den großen Einfluss der Nutzung und des Innenraumklimas auf die Zustände in der Innendämmung. Das Außenklima hat aufgrund der Hydrophobierung einen deutlich geringeren Einfluss. Die relative Luftfeuchte beträgt kurzzeitig maximal 89,6 %.
- **Punkt 2:** Punkt 2 liegt auf der kalten Seite der Kalziumsilikatdämmung. Im Gegensatz zu den Auswertungen in den Kapiteln 3.2.2 und 3.2.3 liegen die relativen Luftfeuchten deutlich niedriger. Die relative Luftfeuchte beträgt kurzzeitig maximal 84,3 %.

Für keinen der Punkte besteht Schimmelgefahr nach der Auswertung von HAM4D\_VIE.

## **3.3 Hydrophobierung**

### **Allgemeines:**

Die Anbringung einer Innendämmung ohne einer Verminderung des Feuchteintrags von außen kann durch die langfristige Feuchteerhöhung zu Folgeschäden führen.

Eine Maßnahme zur Minimierung des Feuchteintrag von außen (Schlagregen) zu unterbinden, ist die „Imprägnierung“ der Fassade mittels Hydrophobierungsmitteln. Diese Maßnahme ist v.a. bei Sichtziegelmauerwerk und Konstruktionen mit hoher Wasseraufnahme jedenfalls zu empfehlen.

Voraussetzung für die Planung einer Hydrophobierung ist zunächst die positive Beantwortung folgender Fragen. Festgestellte Mängel sind vorab zu beseitigen [WTA10]:

- Ist das vorhandene Fugennetz intakt?
- Ist die Wasserführung intakt? (Dachrinnen, Fallrohre, Eindeckung, Stauwasser, Spritzwasser, etc.)
- Ist aufsteigende Feuchte und Feuchtehinterwanderung auszuschließen?
- Sind vorhandene Drainagen oder Abdichtungen intakt?
- Sind Leckagen im Wasser- und Abwassersystem auszuschließen?
- Sind Hohlräume oder größere Risse auszuschließen?
- Ist der Einfluss einer Nutzungsänderung berücksichtigt (z.B. Tauwasserproblematik)?
- Ist sichergestellt, dass alle anderen erforderlichen Restaurierungs-/Konservierungsschritte an der Fassade vor der Hydrophobierung vollständig abgeschlossen werden können?

Die Hydrophobierung sollte möglichst tief in die Außenwandkonstruktion eindringen. Sie dient zur Minimierung des Risikos von Fehlstellen und auch der Übergang zwischen hydrophobem Bereich und der Originalbaubsubstanz wird mit zunehmender Eindringtiefe weicher. Grundsätzlich sollte für eine Hydrophobierung ein Mindestsaugvermögen ( $w > 1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ ) der Oberfläche gegeben sein. Eine tiefe Eindringungen der Hydrophobierung in das Mauerwerk hat den Vorteil, dass hygrothermische Spannungsspitzen vermindert werden und der Unterschied des Ausdehnungsverhältnisses zwischen hydrophobiertem und unbehandeltem Material verläuft gleitend. Wird die Hydrophobierung nicht ausreichend tief ausgeführt, können hygrothermische Spannungen das Abplatzen der imprägnierten Schicht bewirken.

Aus Erfahrungswerten ergibt sich der in folgender Abbildung dargestellte Zusammenhang zwischen dem Wasseraufnahmekoeffizienten  $w$  des Untergrundes und der erforderlichen Eindringtiefe. Vgl. [WTA10]

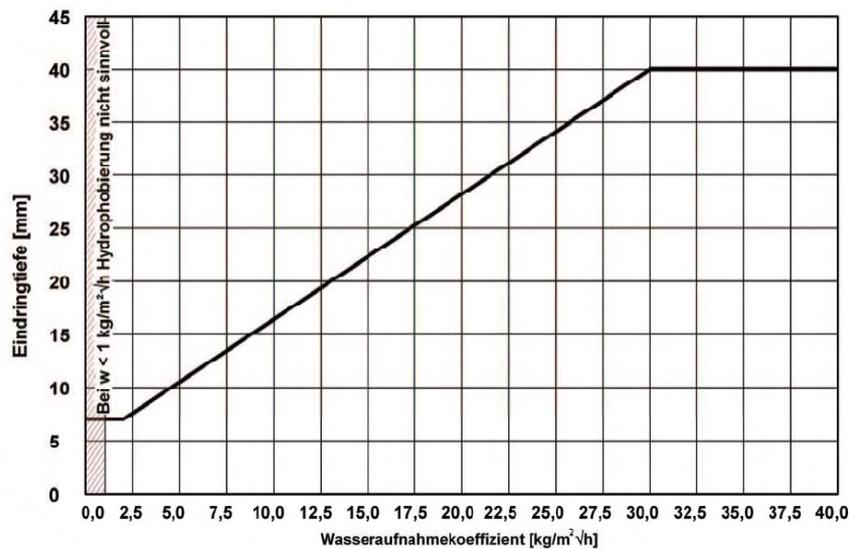


Abbildung 28: Erforderliche Eindringtiefe in Abhängigkeit vom Wasseraufnahmekoeffizienten (w-Wert) des Untergrundes [WTA10]

Probleme treten v.a. bei Rissen, Fugen (insbesondere Lagerfugen) und Materialübergänge auf. An diesen Stellen kann Regenwasser durch Kapillarleitung hinter die imprägnierte Zone eindringen, was zumeist eine, bezogen auf den Flächenanteil, überproportionale Feuchtezunahme des Mauerwerks zur Folge hat. Das Risiko für Frostschäden ist in diesen Bereichen sehr hoch, da der Feuchtegehalt im Material auf über 95 % des freien Wassergehalts ansteigen kann. Weiters problematisch ist der Anschluss von Gesimseverblechungen an den Außenputz. Hier besteht die Gefahr des Eindringens von Spritzwasser und nicht abfließendem Regenwasser.

[KRU04] in [WEG10, S. 21]

In einzelnen Fällen kann es erforderlich sein bei Sichtmauerwerk Lagerfugen oder einzelne Ziegel zu erneuern. Weiters ist es notwendig, dass Fassaden an ihrer gesamten Fläche imprägniert werden. Eine abschnittsweise Hydrophobierung kann bewirken, dass die nicht hydrophobierten Zonen einer erhöhten Feuchtemenge ausgesetzt sind, da das Regenwasser an den hydrophobierten Zonen nicht aufgenommen wird.

[KRU04] in [WEG10, S. 21, 22]

In [WTA10] ist ein Fragenkatalog enthalten, welcher in der Praxis eine Entscheidungsfindung erleichtert und eine Aussage liefert, ob eine hydrophobierende Imprägnierung notwendig, anzuraten, überflüssig oder sogar gefährdend ist:

Eine Untersuchung zum Feuchteverhalten von Fassaden nach Hydrophobierungsmaßnahmen [KRU04] zeigt Messergebnisse von Fassaden mit und ohne Hydrophobierung. Bei sachgerechter Anwendung kann der Wassereintrag durch Schlagregen maßgeblich reduziert werden.

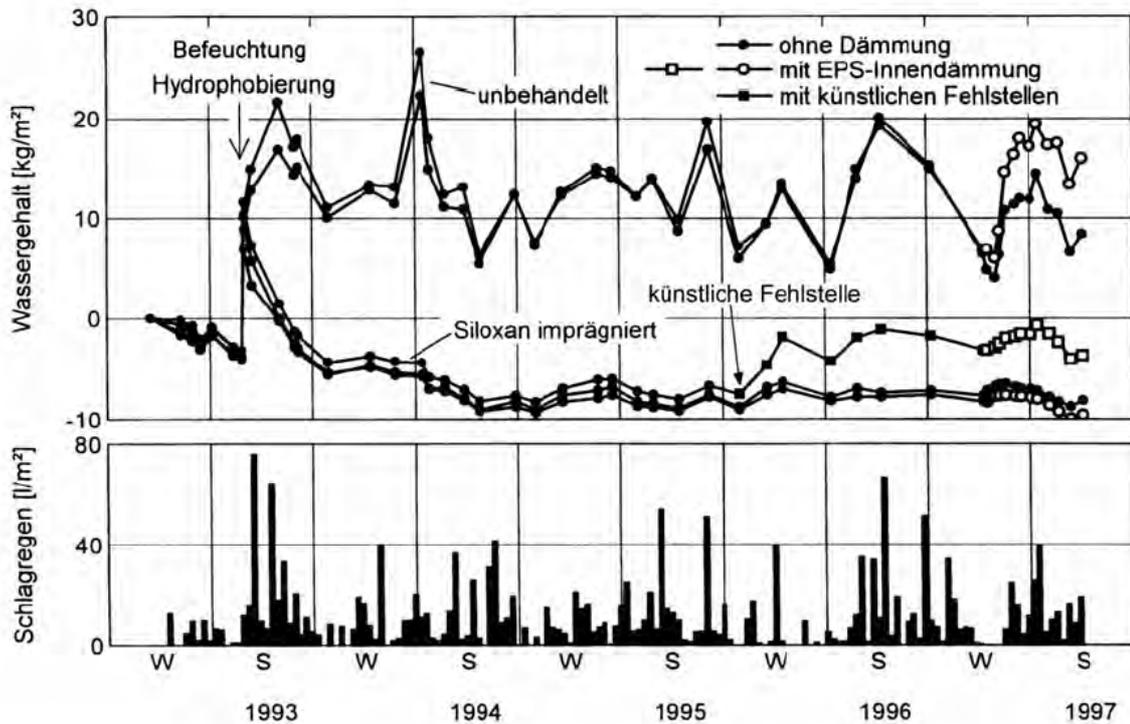


Abbildung 29: Gemessene Feuchteverläufe der nach Westen orientierten Elemente aus Ziegel-Sichtmauerwerk über einen Zeitraum von fast 5 Jahren mit Angabe der Schlagregenbelastung in Dekadensummen [KRU04]

### Zeitpunkt der Hydrophobierung bei Innendämmung im Bestand:

Dabei ist es entscheidend die Innendämmung erst nach vollständigem Austrocknen des Mauerwerks aufzubringen, da ansonsten das noch in der Außenwand enthaltene Wasser nur erschwert abtrocknen kann. [KRU04] in [WEG10, S. 21] Dadurch kann es zu Schäden kommen.

### Dauerhaftigkeit der Hydrophobierung:

Die Hydrophobierung ist in der Regel und abhängig vom Produkt nach ca. 10 Jahren zu erneuern. Um Unverträglichkeiten zu vermeiden, sollte immer dasselbe Mittel wie bei der Erstbehandlung verwendet werden. [GLI02, S. 104]

Einzelne Hersteller geben eine Langzeitwirkung von mehr als 10 Jahren an. [REM12, S. 2]

In [WTA10] wird empfohlen, die behandelten Flächen im 5-jährigen Abstand zu begutachten. Bei kritischen Gesteinen oder Oberflächen kann ein kürzeres Intervall erforderlich sein.

Da die tatsächliche Haltbarkeit und der Zeitraum bis zur Erneuerung vom jeweiligen Projekt abhängt, ist es empfehlenswert den Garantzeitraum bereits in der Ausschreibung zu verankern und den zu erreichenden Kennwert (z.B. Wasseraufnahmekoeffizienten ( $w$ -Wert)) nach Ablauf der vereinbarten Dauer vertraglich zu vereinbaren.

Da die Durchfeuchtung des Mauerwerks einen wesentlichen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit der schadensfreien Innendämmung hat, ist im Zuge der Planung zu fixieren welcher w-Wert, oder welche vergleichbare Kenngröße zumindest eingehalten sein muss, bevor eine erneute Hydrophobierung erforderlich ist.

### **Anforderungen an den Untergrund / Vorbereitungsarbeiten:**

Vor Auftrag der Hydrophobierung ist der Untergrund entsprechend vorzubehandeln. Der Untergrund muss fest, sauber, tragfähig, trocken sein. Weiters dürfen keine Ausblühungen, Algen, Moose, Pilzbefall, Mehlkornschichten, Sinterschichten oder Trennmittel vorhanden sein. Siehe auch Abbildung 28.

Auch eine Hinterfeuchtung durch Risse, Fugen, grobe Poren, etc. muss ausgeschlossen werden können. Hydrophobierungsmittel bewirken i.d.R. keine Verfestigung mürber oder angewitterter Oberflächen. Diese sind, wie bereits erläutert, im Vorfeld zu sanieren.

[AKZ09, S. 2]

### **Verarbeitung:**

Das Aufbringen der Hydrophobierung soll nicht bei starkem Wind, direkter Sonneneinstrahlung und auf aufgeheizten Flächen erfolgen. Keinesfalls soll ein Auftrag bei Regen oder sehr hoher Luftfeuchte (Nebelnässe) vorgenommen werden. [AKZ09, S. 2]

Hinsichtlich der Temperatur wird auf die Verarbeitungsrichtlinien der einzelnen Hersteller verwiesen.

Typische Werte für Verarbeitungstemperaturen liegen zwischen +5 °C und +30 °C, wobei jedenfalls darauf zu achten ist, dass es zu keinem Frost bis zur völligen Trocknung der Hydrophobierung kommt. Die Durchtrocknung ist üblicherweise nach 2-3 Tagen abgeschlossen.

[AKZ09, S. 2]

Hydrophobierungsmittel werden meist in zwei bis drei Arbeitsgängen bis zur völligen Sättigung des Untergrundes aufgetragen. Dabei werden die einzelnen Schichten nass in nass aufgebracht. Manche Hersteller geben Empfehlungen für den Auftrag des Materials an Fassaden von unten nach oben an.

[AKZ09, S. 3]

Die Verbrauchsmenge hängt von der Saugfähigkeit, dem Zustand und der Art des Untergrundes ab. Übliche Verbrauchsmengen bewegen sich zw. 0,2-1,0 l/m<sup>2</sup> und Beschichtungsgang. I.d.R. ist von einer Gesamtverbrauchsmenge von 0,5-0,8 l/m<sup>2</sup>

auszugehen, wobei der größere Wert bei rauhen und der kleinere bei glatten Oberflächen zu erwarten ist.

[GLI02, S. 104], [AKZ09, S. 2]

## 4 Zusammenfassung

---

Die dynamischen Simulationen haben für die Konstruktionsdetails des Bauvorhabens Kaiserstraße 7, mit Ausnahme des in üblicher Bauweise ausgebauten Dachgeschoßes, in den Bereichen mit Innendämmung eine maximale Dämmstoffdicke von 2,5 cm ergeben. Es können nachfolgende Dämmstoffe als Innendämmung zur Anwendung kommen:

- Kalziumsilikat (CaSi) und
- Xella/Ytong „Multipor“ Mineraldämmplatt.

Bei Innendämmung aus CaSi- oder Mineraldämmplatten hat sich bei höheren als der o.g. Dämmdicke, trotz Voraussetzung einer vollständig hydrophoben (wasserabweisenden) aber dennoch diffusionsoffenen Außenoberfläche, in den kritischen Bauteilschichten eine unzulässig hohe Feuchtigkeit eingestellt.

Eine Bewertung des Fassadenzustands wurde durchgeführt. Da die Putzfassade in einem sehr schlechten Zustand ist, ist sie zu erneuern und nach ausreichender Trocknung in Abstimmung mit einer Fachfirma zu hydrophobieren. Es ist ein Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert) von  $\leq 0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$  anzustreben. Das betrifft insbesondere auch die Fugen an den Fassadenbereichen mit Riemchen. Im Bereich der Riemchen wird vorgeschlagen, die losen, absandenden und schadhafte Fugenbereiche zu entfernen und anschließend die Fugen mit geeignetem, zum System passenden Fugenmörtel zu verschließen und nach ausreichender Trocknung zu hydrophobieren.

Es wird dringend empfohlen die behandelten Flächen im 5-jährigen Abstand zu begutachten. Es ist davon auszugehen, dass eine Hydrophobierung in der Regel und abhängig vom Produkt nach ca. 10 Jahren zu erneuern ist. Da eine hydrophobe (wasserabweisende) Oberfläche essentiell für die Tauglichkeit der Gesamtkonstruktion ist, ist auf die ordnungsgemäße Ausführung und kontinuierliche Kontrolle besonders Bedacht zu nehmen. Da die tatsächliche Haltbarkeit und der Zeitraum bis zur Erneuerung vom jeweiligen Hydrophobierungsprodukt und den Gegebenheiten des jeweiligen Bauvorhabens abhängt, ist es empfehlenswert den Garantzeitraum für die Wirksamkeit der Hydrophobierung bereits bei der Beauftragung des Fachunternehmens zu verankern. Es wird weiters empfohlen, dass die Wirksamkeit der Hydrophobierung regelmäßig durch eine w-Wert-Bestimmung überprüft wird. Mit den gemessenen w-Werten soll die hygrothermische Tauglichkeit der Gesamtkonstruktion in regelmäßigen Abständen rechnerisch überprüft werden.

Weitere wichtige Punkte werden wie folgt zusammengefasst:

- Bei der Sanierung der Bereiche mit Außenputz und Fugen zwischen den Riemchen ist auf eine besonders sorgfältige Ausführung zu achten. Rissbildungen sind zu vermeiden, da dadurch Feuchtigkeit hinter die hydrophobierte Oberfläche eindringen und zu Feuchteansammlungen und Frostabplatzungen führen kann.
- Bei Fassaden mit Hydrophobierungen ist insbesondere auch im Anschlussbereich an Bleche usw. darauf zu achten, dass die Fugen dicht geschlossen sind und das Hydrophobierungsmittel bis zum Anschlussbereich ordnungsgemäß aufgetragen wird.
- Es ist darauf zu achten, dass die Hydrophobierung diffusionsoffen ist.
- Bei der Hydrophobierung sind die Herstellerangaben und die Regeln der Technik (z.B. wta-Merkblätter, etc.) zu berücksichtigen. Hierbei ist insbesondere auf die Witterung und die Untergrundvorbehandlung Bedacht zu nehmen.
- Die Hydrophobierung hat mit ausreichendem Zeitabstand vor dem Aufbringen der Innendämmung zu erfolgen.
- Die Räume müssen, sofern die Bauarbeiten in die Heizperiode fallen, zumindest ab dem Zeitpunkt der Hydrophobierung, beheizt und gelüftet werden! Die nach innen abtrocknende Feuchte muss durch Lüften abgeführt werden.
- Die Innendämmung ist gemäß den Herstellervorgaben satt und hohlraumfrei an den Untergrund zu applizieren, da ansonsten die kapillare Leitfähigkeit nach innen unterbunden wäre.
- Es wird darauf hingewiesen, dass durch Innendämmungen die Temperaturzustände im Bauteil verändert werden. Da der Wandbildner (i.d.R. Ziegel-Mauerwerk) und der Außenputz eine geringere Temperatur als im Bestandszustand aufweist, kann es zu einer schneller Alterung des Wandbildners und des Außenputzes kommen.
- Bestehende frostempfindliche Haustechnikleitungen in der innen gedämmten Außenwand sind ins Gebäude innerhalb der Innendämmung zu verlegen. Neue frostempfindliche Haustechnikleitungen sind nicht in der Außenwand zu führen.
- In der Innendämmung dürfen keine E-Dosen, Haustechnikleitungen und dgl. angeordnet sein.
- Malerarbeiten, Tapeten, großformatige Bilder etc. auf der Innendämmung dürfen zu keiner Verhinderung der Austrocknung nach innen führen.
- In Bereichen mit Innendämmung mit aufsteigender Feuchtigkeit aus dem Untergrund sind geeignete horizontale Sperrmaßnahmen zu ergreifen.
- Die beteiligten Personen (v.a. auch die Arbeiter) sollen auf die o.g. Punkte hingewiesen werden.

## 5 Quellen

---

- [AKZ09] Akzo Nobel Deco GmbH, Technisches Merkblatt für das Produkt: „Herbol-Aqua-Fassaden-Imprägnierung“, Stand: Februar 2009
- [BOR05] Borsch-Laaks, R.: „Innendämmung – Risikokonstruktion oder Stand der Technik“, In: Bauen im Bestand – eine perspektivische Aufgabe, 6. Leipziger Bauschadenstag 27. September 2005. Erkennen, Analysieren, Bewerten, Vermeiden – Beiträge aus Praxis und Wissenschaft, Selbstverlag 2005, S. 93-111.
- [DRE99] Dreyer, J., Hecht, C.: „Entwicklung einer Innendämmplatte für salz- und nässegeschädigte Bauteile“, WTA-Schriftenreihe, Heft 20 „Nachhaltige Instandsetzung“, S. 187-197, 1999
- [HOF09] Hofbauer, W., Mühling, F., et al.: „Ökologische Sanierung eines denkmalgeschützten Gebäudes mit Passivhaustechnologien - Gebäudesanierung im Spannungsfeld zwischen Denkmalschutz und neuesten Passivhaustechnologien“, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 25/2009, Projektbericht im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2009
- [GET05] Getz, M.: „Innendämmung von Außenwandmauerwerk“, Diplomarbeit, TU Wien, 2005
- [GLI02] Glitza, H.: „Handbuch Sichtmauerwerk, Bautechnik im Detail“, Kapitel 7 „Pflege und Unterhaltung“, MBI Beton, Wuppertal, 2002
- [HEC01] Hecht, C.: „Bauphysikalische Bewertung ausgewählter Sanierungsverfahren unter besonderer Berücksichtigung von Paraffinen und kapillar leitfähigen Dämmstoffen“, Institut für Hoch- und Industriebau – Fachbereich Hochbau, TU Wien, Mai 2001

- [KEH06] Kehl, D.: „Wärmebrücken im Bestand. Was gibt es bei der Innendämmung zu beachten?“ In: WTA-Journal 1/2006, S. 55-72.
- [KEH07a] Kehl, D.: „Wärmebrücken im Bestand. Teil 2: Der Schimmel steckt im Detail.“ In: Holzbau 6/2007, S. 42-44.
- [KRU04] Krus, M.; Künzel, H. M.: „Untersuchungen zum Feuchteverhalten von Fassaden nach Hydrophobierungsmaßnahmen“, WTA-Journal 2/2003, S. 149-166.
- [LAN07] Lang, C.: „Entwicklung eines Außenwandziegels mit integriertem Vakuum-Isolations-Paneel“, Diplomarbeit am Institut für Hochbau und Technologie, Zentrum für Bauphysik und Bauakustik, TU Wien, Mai 2007
- [MAS11] MASEA Datenbank, Homepage: <http://153.96.181.7/> aufgerufen am: 6.2.2012
- [OEN07] ÖNORM EN 15026: „Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2007
- [OEN03] ÖNORM B 8110-2: „Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2003
- [ONV01] ON V 31. Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2001
- [OSW11] Oswald, R., Zöller, M., Liebert, G., Sous, S.: „Energetisch optimierte – Baupraktische Detaillösungen für Innendämmungen unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen der Energieeinsparverordnung von April 2009“, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 2011
- [PLA08] Plagge, R.: „Bauphysikalische Grundlagen in der energetischen Sanierung - Problemstellung Innenliegende Wärmedämmung“, Skript zum Vortrag beim

KEIM-Symposium „Energetisches Sanieren in Theorie und Praxis“, Denkmal – Europäische Messe für Denkmalpflege, Leipzig, 2008

- [PRO07] Promat GmbH, Homepage: <http://members.inode.at/promat/masterclima/masterclima.htm>; Stand: März 2007
- [REM12] Remmers Baustofftechnik, Technisches Merkblatt Artikelnummer 0602 für das Produkt: „Funcosil SNL“, Stand: Jänner 2011
- [STOPP08] Stopp, H., Strangfeld, P., Toepel, T.: „Hygrothermische Wirkungen von Raum- und Außenoberflächen“, Schriftenreihe „Bauphysik 30“, Heft 1, S. 1-14, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2008
- [STOPP10] Stopp, H., Strangfeld, P., Toepel, T., Anlauff, E.: „Messergebnisse und bauphysikalische Lösungsansätze zur Problematik der Holzbalkenköpfe in Außenwänden mit Innendämmung“, Schriftenreihe „Bauphysik 32“, Heft 2, S. 61-72, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2010
- [WAE02] Homepage: <http://www.waermedaemmstoffe.com/htm/kalziumsilikat.htm>; Stand: 2002
- [WEG10] Wegerer, P.: „Beurteilung von Innendämmsystemen - Langzeitmessung und hygrothermische Simulation am Beispiel einer Innendämmung aus Schilfdämmplatten“, Diplomarbeit am Institut für Hochbau und Technologie, Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz, TU Wien, Juni 2010
- [WTA02] WTA Merkblatt 6-2-01/D: „Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse“, WTA e.V., Ausgabe: 05.2002/D

- [WTA04] WTA Merkblatt 8-1-03/D: „Fachwerkinstandsetzung nach WTA - Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkgebäude“, WTA e.V., Ausgabe: 06.2004/D
- [WTA09] WTA Merkblatt 6-4: „Innendämmung nach WTA - Planungsleitfaden“, Fraunhofer IRB-Verlag, Ausgabe: 05.2009/D
- [WTA10] WTA Merkblatt 3-17: „Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen“, Fraunhofer IRB-Verlag, Ausgabe: 06.2010/D
- [XEL12] Xella International GmbH, Homepage: [http://www.ytong.at/de/docs/Innendaemmung\\_mit\\_YTONG\\_Multipor.pdf](http://www.ytong.at/de/docs/Innendaemmung_mit_YTONG_Multipor.pdf); Stand: Jänner 2012