

Whole House In-Situ Carbon & Emission Reduction Solution

WHISCERS

J. Nackler,
K. Saleh Pascha,
A. Fadai,
W. Winter

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

28/2015

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>

Whole House In-Situ Carbon & Emission Reduction Solution

WHISCERS

Univ.Ass. DI DI(FH) Joachim Nackler,
Univ.Ass. DI Dr. Khaled Saleh Pascha,
Assistant Prof. DI Dr.techn. Alireza Fadai,
O.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter
TU Wien, Institut für Architekturwissenschaften
Abteilung Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

Wien, Mai 2015

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 www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

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

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	9
Abstract	13
1 Einleitung.....	16
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	17
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	17
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	17
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)	18
2.4 Verwendete Methoden	19
2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung.....	20
3 Ergebnisse des Projektes.....	21
3.1 Bauphysikalische und konstruktive Entscheidungen.....	21
3.2 Materialwahl und Varianten	23
3.3 Ökologische Aspekte.....	26
3.4 Hygrothermische Simulation	27
3.5 Prozesskette thermische Sanierung.....	30
3.6 Hygrothermische Messungen.....	31
3.6.1 Ergebnisse Demo-Raum Makart Villa.....	31
3.6.2 Ergebnisse Demo-Raum Arbeiterwohnheim.....	33
3.6.3 Untersuchung Schimmelpilzpotential.....	34
4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms	36
4.1 Einpassung in das Programm	36
4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms	36
4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt	36
4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse	37
5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	37
6 Ausblick und Empfehlungen	39
7 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis	41

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Whiscers™ (Whole House In-Situ Carbon and Energy Reduction Solution) ist ein System für die Installation von Innenwanddämmung mit möglichst geringem Aufwand und geringer Beeinträchtigung für den Nutzer.

Der Grundgedanke des bestehenden Systems ist eine schnelle, wirtschaftliche und effektive thermische Sanierung von Räumlichkeiten. Um eine effektive und schnelle Ausführung sicher zu stellen, wird die Gebäudegeometrie der betroffenen Außenwände im Innenraum mit einem Laser-Distanzmessgerät aufgenommen. Diese Geometriedaten werden anschließend von einem computerbasierten CAD/CAM-System an eine automatisierte CNC-gestützte Werkstattfertigung weitergeleitet, die passgenaue Innenwanddämmungssegmente erstellt. Diese Elemente werden vor Ort am Objekt verlegt und gewährleisten eine saubere und vor allem schnelle Montage, ohne dass der Nutzer für den Sanierungszeitraum die Wohnung verlassen muss.

Das Patent wurde bei der Sanierung eines dreistöckigen, viktorianischen Reihenhauses (Sozialbau) in Bertram Street, Camden im November 2010 vorgestellt. Die Energieeffizienz als auch die Treibhausgasemissionen haben sich in den Wohnungen, in denen die Innendämmung installiert wurde, deutlich verbessert. Heizkosten reduzierten sich um ca. 600£ pro Jahr, die Kohlenstoff-Emissionen konnten um 77% gesenkt werden.

Inhalte und Zielsetzungen

Wien verfügt über ein großes Potenzial hinsichtlich der Sanierung im Gebäudebestand. Denn gerade Altbauten verlieren viel Wärmeenergie über undichte und ungedämmte Außenwände. Der Wärmeschutz dieser Wände erreicht bei weitem nicht die heutigen Standards der OIB-Richtlinie 6:2015. Es stellt sich die Frage, wie man die reich verzierten Fassaden, ein wichtiges kulturelles Erbe und Spiegelbilder der baugeschichtlichen Entwicklung der Gründerzeitbebauung ohne Beschädigung sanieren kann, ohne ihr architektonisches Erscheinungsbild zu verlieren.

Für Österreich soll das Whiscers™ System adaptiert und an die hiesigen Bedingungen angepasst werden. Insbesondere soll der Ersatz des in England verwendeten Hartschaummaterials überprüft werden. Vorgesehen ist, dass nachwachsende Ressourcen, insbesondere Holz und Holzprodukte, aber auch mineralische Alternativen, die die innere Dämmschale ausbilden, untersucht werden. Ziel ist zudem die Verbesserung des hygrothermischen Verhaltens durch Auswahl geeigneter Materialien und Konstruktionen, sowie eine weitere Optimierung des Sanierungsprozesses - um eine nachhaltigeres ID-System zu entwickeln. In einem holistischen Ansatz werden außerdem Wärmebrückenprobleme, verursacht durch geometrische Bedingungen und anschließende Bauteile untersucht. Die Problematik der Balkenköpfe im Wandaufleger wird hier nicht näher behandelt, da bereits weitere aktuelle Forschungsarbeiten sich speziell dieser Thematik widmen [1] [2] [3] [4].

Entwickelte Varianten werden durch hygrothermische Simulationen bewertet und optimiert und endgültige Varianten im Wiener Altbau angebracht und in situ einem hygrothermischen Monitoring unterzogen.

Ein umfangreicher Endbericht liegt vor, wichtigste Erkenntnisse sollen jedoch in diesem Ergebnisbericht zusammengefasst werden.

Methodische Vorgehensweise

1. Erstellung eines State-of-the-Art Berichtes, welcher jegliche bauphysikalischen Grundlagen, Stand der Forschung zum Thema Innenwanddämmungssystemen, Untersuchung geeigneter Dämmmaterialien und Technologien der Installation von Innenwanddämmungssystemen in Altbauten beinhaltet.
2. Kritische Überprüfung der bestehenden Whiscers™ Lösung mit dem Ziel, neue Lösungen für die Kompensation von Wandverformungen in bestehenden Altbestandgebäuden zu entwickeln.
3. Entwicklung von Systemlösungen, mit Verwendung von Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen, insbesondere aus Holzfaserstoffen. Ermittlung bauphysikalischer Kennwerte und Festlegung möglicher Grenzbereiche ihrer Anwendung. Computergestützte hygrothermische Simulation mit Wufi Pro (V 5.2), einem Programm zur realitätsnahen instationären Berechnung des gekoppelten ein- und zweidimensionalen Wärme- und Feuchtetransports in mehrschichtigen Bauteilen. Überprüfung der Varianten in Kleinteilversuchen.
4. Modifikation der Varianten auf Basis der Erkenntnisse aus Versuchen und Simulationen. Entwicklung von vier finalen Prototypen als Machbarkeitsstudie und zur Überprüfung der grundlegenden technischen Anforderungen: Eine geklebte/gemörtelte Variante, stark an die original Whiscers™ Lösung angelehnt, sowie drei Varianten mit Holzweichfaserplatten verschiedener Dichte, auf Druckpressung durch verschiedene raumseitige Anpressplatten.
5. Einbau der vier Lösungsvarianten in zwei Wiener Altbauten und Überprüfung der Applikationsmethode.
6. Monitoring der eingebauten Systeme, um Performance und bauphysikalische Probleme zu detektieren und die Simulationsergebnisse aus dem Computermodell zu validieren.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Whiscers™ Verfahren für Österreich zu adaptieren und Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe einzusetzen, ist als Ziel des Forschungsprojektes mit den entwickelten vier Varianten erreicht.

Eine der Varianten, V2-G (vgl. Abb. 3) zum Beispiel, umgesetzt als eine dreischichtige, Innendämm-Verbundplatte, wirkt durch Materialwahl und Konstruktion bekannten Problempunkten hinsichtlich Innendämmung entgegen. Entwickelt auf Basis verschieden

dichter Holzfaserplatten, um eine bestmögliche Anpassung des ID-Systems auf die Unebenheiten der Bestandswände zu ermöglichen, schließt das diffusionsoffene System mit einer als Trockenputz angesehenen Gipsfaserplatte zur Anpressung raumseitig ab. Dies ermöglicht eine komplette Ausführung in Trockenbauweise, was Vorteile gegenüber einer Klebevariante aufzeigt, die im selben Untersuchungsraum etwa 2,5 Monate benötigt um den Feuchteeintrag durch den Klebemörtel auszutrocknen. Der Kleber stellt ungewollt eine langfristige Feuchtebelastung für das Dämmmaterial dar. Die Verwendung der bestandswandseitigen, flexiblen Schicht bringt zudem eine Optimierung des Sanierungsprozesses mit sich, in dem das Aufbringen einer Ausgleichsschicht (weiterer Feuchteeintrag) der Unebenheiten wegfallen kann. Die ID-Verbundplatte V2-G verbessert die thermischen Eigenschaften von typischen Wiener Altbau-Bestandswänden bei Wärmedurchgangskoeffizienten von bspw. $1,55\text{W/m}^2\text{K}$ auf Werte $< 0,35\text{W/m}^2\text{K}$ und verringert die Transmissionswärmeverluste über die Außenwand somit um mehr als das Vierfache. Ökologisch wird mit der Wahl von Holzfaser ein geeigneter nachwachsender Baustoff als Wärmedämmung eingesetzt.

Variante V1-H (vgl. Abb. 3) wurde als direkte Übersetzung des Whiscers™ Systems (2-schichtiges Paneel), jedoch mit ökologischen Materialien umgesetzt. Als Raumabschlussplatte besitzt sie als Prototyp eine unverputzte Holzwoleplatte und soll so als schallabsorbierende Oberfläche speziell in schallmäßig belasteten Räumen Anwendung finden. Im Prüfraum, der als Seminar- und Schulungsraum genützt wird, ergibt sich ein positiver Effekt auf die Akustik des Raumes.

Mit den Varianten V2-G und V2-P (vgl. Abb. 3) wurde beabsichtigt, sich speziell die Vorteile des Baustoffes Lehm zu Nutze zu machen, somit gute Wärmespeicherfähigkeit als auch den Feuchtespeichereffekt zu erhalten. Lehm kann Feuchtigkeit sehr gut aufzunehmen (bis zu neunmal mehr als Gips), so bildet sich ein Klimapuffer an der Wand, der Feuchte aufnimmt und sie bei geringer Luftfeuchtigkeit wieder abgibt.

Anhand hygrothermischer Simulationen als auch anhand hygrothermischen Monitorings wird das instationäre Verhalten der Dämmung auf typischen Bestandswänden überprüft und über das Kondensationsverhalten auch Schimmelpilzbildung und Verrottung der verwendeten organischen Baustoffe untersucht. Sowohl Simulation als auch Monitoring weisen die Tauglichkeit der auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Varianten als Innendämmsystem nach, wobei im Vergleich Variante V1-H durch das Aufbringen des feuchten Klebers temporär das höchste Schimmelpilzpotential aufweist.

Ausblick

Durch das Forschungsprojekt konnte die Tauglichkeit von auf Holzfaser basierenden Innendämm-Verbundelementen und auch die Praktikabilität von vorgefertigten Elementen an vier Beispielen nachgewiesen werden. Der Vorteil der schnellen und sauberen Applikation gegenüber herkömmlichen Innendämmsystemen bei gleichzeitiger Anwendung ökologischer Materialien für eine thermische Sanierung erscheint gesamtheitlich sinnvoll.

Das Messequipment wurde trotz Erreichung des Projektziels weiterhin in den Messräumen behalten, die Prototypen können demnach weitere Daten, evtl. auch über kritischere Winter (Heizperioden) und mit höheren Innenraumlufffeuchteverhältnissen liefern.

Nicht Teil des Projektes, aber dennoch vorgesehen sind materialtechnische Untersuchungen im Labor, sobald der Messstand auf entsprechende Größe umgebaut wurde. Darauf folgen die Erstellung der Feuchtespeicherfunktion der einzelnen Varianten, als auch die Bestimmung des Diffusionswiderstands.

Weiterer Forschungsbedarf würde sich in der Entwicklung eines hinterfüllten Systems basierend auf Holzwerkstoffen bzw. Zellulose ergeben, sowie ein spezieller Umgang mit Wärmebrücken wie Fensterlaibungen, evtl. mit Überlegungen von Verglasungen in der Innendämmebene, um so Wärmebrücken-Laibungsprobleme zu umgehen. Auch die statische Ertüchtigung von Bestandsgebäuden durch die Dämmelemente, und eine ökologische Betrachtung über die Produktionsphase hinaus (Wiederverwertung und Separierung der Schichten), welche in diesem Kontext nicht mehr ausgearbeitet werden konnte, stellt eines von vielen möglichen folgenden Untersuchungsfeldern dar.

Es ist jedoch auch im aktuellen Stand des Projektes ökonomisches Potential bei Vermarktung möglich – wie es auch United House mit dem Originalsystem in England beweist. Die Erstellung einer detaillierten Marktvision stellt den ersten Schritt dar. Eine weitere Zusammenarbeit und Produktvermarktung mit Fa. Pavatex wäre anzudenken.

Abstract

Starting point/Motivation

Whiscers™ (Whole House In-Situ Carbon and Energy Reduction Solution) is a process for installing Internal Wall Insulation (IWI) with the least possible effort and less interference on the residents.

The basic idea of the existing system is a fast, economical and effective thermal renovation of premises. In order to provide an effective and fast execution the building geometry of the affected outer walls inside surface is measured with a laser device. This geometry data are then transmitted into a computer-based CAD / CAM system to an automated CNC-supported milling machine, creating custom-fit inner wall insulation segments. These elements are accurately placed on site at the existing outer wall and ensure a clean and above all fast installation without the user having to leave the house for the renovation period.

The patented process was unveiled at an award-winning low-carbon retrofit of a three-story council owned Victorian terraced house in Bertram Street, Camden in November 2010. The eco measures installed in the home, including IWI, have greatly improved energy efficiency and reduced fuel bills by nearly £600 a year. Carbon emissions have been cut by 77%.

Contents and Objectives

Vienna shows a big potential for Refurbishment in its building stock. Old buildings lose a lot of heat energy through leaky and non-insulated exterior walls. The thermal protection therefore is far from the demanded values of the standards - of current OIB Directive 6:2015. This raises the question of how to thermally refurbish the richly decorated facades, an important cultural heritage of the “Gründerzeit” (founding period) without damage, without losing its architectural appearance.

For Austria the Whiscers™ system should be customized and adapted to its local conditions. In particular, the replacement of the rigid foam material used in England is to be checked. Intention is that renewable resources, particularly wood and wood products, but also mineral alternatives forming the inner cladding, are investigated. The further aim is to improve the hygrothermal behavior by selecting appropriate materials and structures, as well as a further optimization of the application process - to develop a sustainable IWI system. In a holistic approach also be thermal bridge problems caused by geometric constraints and subsequent components are studied. The problem of beam heads in the wall support is not treated here in detail because other current research projects specifically address this issue [1] [2] [3] [4].

Developed variants are evaluated by hygrothermal simulations and optimized and final variants are mounted in situ in two Viennese buildings and subjected to hygrothermal monitoring.

A detailed final report is available, but important results should be summarized within this report.

Methods

1. Provision of an state-of-the-art report, state of research on the subject of internal wall insulation systems, the variety of used insulation materials, existing technologies on internal insulation systems
2. Critical review and modification of the existing Whiscers™ solution with the aim to develop new solutions for deformation compensation of wall deformations in existing old building.
3. Development of system solutions based on Whiscers™, with the use of insulating materials made from renewable resources, particularly from wood fibre. Using computational simulation tools to evaluate and simulate building physics performance of developed solutions, using Wufi Pro (V 5.2) which allows realistic calculation of the transient coupled one and two dimensional heat and moisture transport in multi-layer building components. Developing functional and testing of dummies of different variants of proposed solutions to test basic requirements and feasibilities.
4. Modification of variants due to findings from testing and simulations. Development of four final testing solutions. One glued / mortared variant, closely based on original Whiscers™ solution, and three different variants with wood fibre soft boards of different densities, connected to pressure stress with room-side boards of variant materials.
5. Installation of developed prototype insulation systems in two case study buildings in Vienna.
6. Monitoring built prototypes to detect performance and building physics problems and to validate the results of the computer simulation model.

Results

To adapt the Whiscers™ Process for Austria and to use insulation materials based on renewable resources is achieved as the target of the research project with the developed four variants.

One of the variants V2-G, for example, implemented as a three-layer, interior insulation composite panel, by material selection and design counteracts known problems with regard to internal insulation. Designed using wood fibre boards of different density to enable optimum adaptation of the IWI system to the unevenness of the existing walls, the diffusion-open system finishes the room side with a gypsum fibre board for pressing the flexible wood fibre to the existing wall and is also seen as a dry plaster. This allows a complete execution in dry construction, which shows advantages over an adhesive variant that in the same testing room took about 2.5 months for the moisture entry through the adhesive mortar to dry out. The adhesive represents an unwanted long-term moisture stress for the insulation material. The use of the flexible layer also brings an optimization of the refurbishment process with it, because the application of a levelling layer (additional moisture entry) can be omitted. When using adhesive mortar as fixation for IW systems, an application before the summer can be given as a planning recommendation to allow the construction a secure dehydration. The IWI-

composite panel V2-G improves the thermal properties of typical Viennese building-existing walls with heat transfer coefficients for example. $1,55\text{W} / \text{m}^2\text{K}$ to values $<0,35\text{W} / \text{m}^2\text{K}$ and reduces heat transmission losses through the outer wall thus more than four times. Ecologically, a suitable sustainable building material, is used as thermal insulation with the choice of wood fibre.

Variant V1-H was, however, implemented as a direct translation of the Whiscers™ system (2-layer panel) but with ecological materials. The prototype comes with an interior room side finish plate as a non-plastered wool panel and so acts as a sound-absorbing surface, especially in rooms with high sound impact. For test room 1, which is later utilized as a seminar room, there will be a positive effect on the acoustics.

With the variants V2 and V2 G-P intention was to identify specifically the benefits of the building material clay, thus obtaining good heat storage capacity and moisture retention. Clay can absorb moisture very well (up to nine times more than gypsum), acting as a climate buffer on the wall absorbs the moisture and releases it at low humidity.

Using hygrothermal simulations as well as hygrothermal monitoring the transient behaviour of the interior insulation is examined and additionally to the condensation behaviour rotting and mould potential of the organic materials is investigated. Both - simulation and monitoring - proof the suitability of the developed interior insulation systems based on renewable raw materials, while variant V1-H by applying the wet adhesive, temporarily shows the highest potential of mould growing.

Prospects / Suggestions for future research

The measuring equipment has been retained in the measurement rooms despite achieving the project goal. The prototypes can therefore provide more measurement data, possibly at an even more critical winter climate (heating period) and higher indoor air humidity conditions.

With regard to further processing of Whiscers™, the ecological study further to the production phase, also with regard to re-use, especially the separation of the individual layers of the composite element shows further research potential. Although not part of the project, material technical laboratory studies are planned once the measuring device is converted to corresponding size to get the moisture storage function, as well as the diffusion resistance. Further research could result in the development of a backfilled system based on wood materials or cellulose, and a special handling of thermal bridges like window reveals, possibly with glass elements in the interior insulation layer. The static retrofitting of existing buildings through the insulation elements would be another point of following research question, which could not be elaborated in this context.

Anyways, also at current state, there is an economical potential – as demonstrated by United House using the original System in England. A detailed marketing vision would mean the first step into this direction. A further cooperation with Pavatex would be reasonable.

1 Einleitung

In Wien wurden ca. 300.000 Gebäude vor 1919 errichtet. Bis 2009 sind allerdings erst 16% von ihnen saniert worden. Das zeigt wie hoch das Potenzial für die Sanierung im Wiener Gebäudebestand ist. Denn gerade Altbauten verlieren viel Wärmeenergie über undichte und ungedämmte Außenwände. Bei den hier betrachteten Altbauten geht man von einem U-Wert der Außenwände von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aus. Dieser Wert erreicht bei weitem nicht die heutigen Standards der OIB-Richtlinie 6:2015. Sie definiert den U-Wert für größere Renovierungen mit $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Es stellt sich die Frage, wie man die reich verzierten Fassaden, ein wichtiges kulturelles Erbe und Spiegelbilder der baugeschichtlichen Entwicklung der Gründerzeitbebauung ohne Beschädigung sanieren kann, ohne ihr architektonisches Erscheinungsbild zu verlieren.

Wenn Außendämmung - meist im Sanierungsbereich - nicht möglich ist, kann Innendämmung (ID) zum Einsatz kommen, um Wärmeverluste über die Gebäudehülle zu verringern. Das Anbringen einer Innendämmung ist im Vergleich eine kostengünstige Methode der thermischen Sanierung und spart Zeit, denn das Aufstellen eines Baugerüsts entfällt. Da außerdem die Wärmedämmung nicht den starken Schwankungen des Aussenklimas (Temperatur- und Feuchtigkeitswechsel, Schlagregen, Frost, UV-Strahlung und hohe sommerliche Oberflächentemperaturen) ausgesetzt ist, kann sie weitaus einfacher und damit wesentlich kostengünstiger ausgeführt werden. Vor allem aber erreicht man durch Innendämmung die Verringerung der Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle, ohne die profilierte und ornamentierte Außenfassade, Kennzeichen der meisten, vor dem 20. Jahrhundert erstellten Gebäude, durch Dämmmaßnahmen zu beeinträchtigen oder sogar zu zerstören.

Bei richtiger Anwendung kann eine Innendämmung Wohnkomfort anheben und Heizkosten senken. Eine Innendämmung ist jedoch bauphysikalisch komplexer als eine Außendämmung und ist bei mitteleuropäischen Klimaverhältnissen in den meisten Fällen dieser gegenüber nachteilig. Nachträglich angebrachte Innendämmungen bei Außenwänden beeinflussen in besonderer Weise das bauphysikalische Verhalten der bestehenden Konstruktion [5]. Durch die innengelegenen Dämmelemente entsteht eine „thermische Barriere“ der tragenden Konstruktion von den beheizten Innenräumen. Es können so durch Kondensation, Schlagregen oder Frost Risiken auftreten, die die Konstruktion schädigen können. Eine genaue Betrachtung konkreter Anwendungsfälle ist wichtig, da die Funktionstüchtigkeit von vielen Parametern abhängig ist. Durch Kenntnis der Risiken kommen jedoch zunehmend Systeme zum Einsatz, die die Risiken durch geeignete Materialeigenschaften minimieren sollen. So sind dies beispielsweise kapillaraktive Dämmungen, die anfallendes Tauwasser aufnehmen und zurück an die raumseitige Oberfläche leiten sollen, oder auch variable Dampfbremsen, die die Bilanz aus Befeuchten im Winter und Trocknen im Sommer durch unterschiedliche Diffusionswiderstände (feuchteabhängig) optimieren [6].

Durch das Whiscers™ System sollen die Vorteile der Vorfertigung auch im Innendämmbereich genutzt werden und durch weitere Prozessoptimierungen im Zuge dieses Projektes die

thermische Sanierung durch ein Innendämmsystem schnell, einfach, dauerhaft und ökologisch erfolgen.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Für die thermische Sanierung von erhaltungswürdigen gegliederten Fassaden verbleibt nach derzeitigem Stand der Technik nur eine Wärmedämmung auf der Innenseite. Die bauphysikalischen Nachteile einer Innendämmung sind jedoch weitgehend bekannt, nämlich v.a. durch Verschiebung des Temperaturfeldes in der Konstruktion die negative Beeinflussung des Feuchtehaushalts (erhöhtes Kondensat) sowie der komplexere Umgang mit Wärmebrücken.

Die Ausführung wird nach derzeitigem Stand der Technik mit konventionellen Dämmstoffen wie beispielsweise Mineralwolle in Kombination mit Dampfbremse, welche im Idealfall feuchteadaptiv agieren, oder Hartschaumplatten durchgeführt - allmählich werden vermehrt auch mineralische kapillaraktive und diffusionsoffene Materialien wie Calciumsilikat verwendet, die mit relativ hohen pH-Werten der Problematik von Schimmelwachstum entgegenwirken. Als ökologischer Dämmstoff im Bereich der diffusionsoffenen und kapillaraktiven Materialien können u.a. Holzweichfaserplatten zum Einsatz kommen.

Die Anpassung der Dämmplatten an die Raumgeometrie erfolgt vor Ort, verbunden mit Schmutz- und Lärmaufkommen. Die Fixierung der Dämmplatten an der Bestandswand erfolgt in der Regel punktuell durch Mörtel (Wulst-Punkt-Methode). Oft werden auch Holz- oder Aluminium Unterkonstruktionen gefertigt. Beide Methoden verursachen Lufträume hinter den Dämmplatten, die potentiell Risiko einer Hinterlüftung bergen, was in weiterer Folge wiederum zu Feuchteschäden führen kann. Diesem Problem wird in der Praxis oft durch einen weiteren temporären Feuchteeintrag, einer Ausgleichsschicht, entgegnet.

Als Problematik in der Baupraxis erweist sich in jedem Fall, dass für eine dauerhaft schadensfreie Ausführung einer Innendämmung detaillierte Fachkenntnisse bei Planung und Ausführung erforderlich sind. Dies basiert auf der Fülle von Einflussfaktoren, wie natürlich dem Dämmstoff selbst, den klimatischen Randbedingungen, Feuchtebelastungen, unterschiedlichen Bestandskonstruktionen, Wärmebrücken etc., weshalb in der Regel eine bauphysikalische Untersuchung im gegebenen Kontext erforderlich wird.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Federführend wird das Projekt von internationaler Seite durch drei englische Partner geleitet: die Firma United House ist Branchenführer im Bereich der Gebäudesanierung in London und Südostengland mit mehr als 250.000 bereits sanierten Objekten. Die Sustainable Energy Academy (SEA) eine nationale Einrichtung, die die Verbesserung der Klimabilanz von

Gebäuden zum Ziel hat. SEA sind die Eigentümer des Patents für die Installation von Whiscers™. Einen Großteil der bisherigen Entwicklungsarbeit für Whiscers™ wurde in Partnerschaft mit United House von englischer Seite unternommen. Schließlich ist das London Borough of Camden zu nennen, das die bisher realisierten Whiscers™-Prototypen in London (Bertram Street) unterstützte und das in ihrer Kommunalpolitik sich sehr zu einer energiesparenden Politik verpflichtet sieht.

Als griechischer Partner ist die Universität Athen mit dem Institut für Building Environmental Research (GRBES) vertreten, angeordnet in der Abteilung für Angewandte Physik im Fachbereich Physik der Universität Athen. Es führt spezifische Forschungs- und Entwicklungsprogramme auf dem Gebiet der Umweltqualität der gebauten Umwelt und auf dem Gebiet der ökologischen Materialien aus.

Der Lehrstuhl für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau (ITI) des Institutes für Architekturwissenschaften steht in der Tradition der materialübergreifenden Forschung und Lehre an Tragwerken des Hochbaus. Dabei geht es um Verständnis und Vorhersage des Tragverhaltens, außerdem um konzeptionelle Fragen der Wahl und der Optimierung von Tragsystemen und deren Einsatz im Kontext städtebaulicher, funktionaler und gestalterischer Anforderungen an der Schnittstelle zwischen Architektur und konstruktivem Bauingenieurwesen. Kernachsen sind die Suche nach effizienten Tragwerken für nachhaltige Bauwerke, Verbesserung von Vorfertigung und Flexibilität durch Optimierung von Herstellungs- und Montageverfahren, sind innovative und effiziente baukonstruktive Problemlösungen zur Erhöhung von Sicherheit, Lebensdauer, Rückbaubarkeit und Wiederverwendbarkeit von Gebäuden. Anwendungsschwerpunkte sind das verdichtete urbane Bauen, aber auch Sanierung und Revitalisierung bestehender Bausubstanz. Bezüglich der verwendeten Materialien liegen naturgemäß Schwerpunkte bei den „trockenen und leichten“ Bauweisen des Holzbaus. Es besteht eine umfangreiche Wissensbasis hinsichtlich Verwendung von ökologischen Materialien und Naturbaustoffen.

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Die Vorteile der Vorfertigung haben vor allem im Holzbau, aber auch im Beton- und Stahlbau Einzug gefunden. Diese gewährt die Produktion unter kontrollierten Bedingungen. Improvisation auf der Baustelle entfällt, es führt zu hoher Produktqualität, schnellen Montagezeiten, Unfallprävention, Abläufe und Zeit sind exakt planbar, etc. In der thermischen Sanierung, vor allem im Innendämmbereich gab es bisher keine Modelle zur Vorfertigung. Whiscers™ bringt die Vorteile der Vorfertigung auch in diesen Bereich.

Vor allem die Prozessoptimierung und die damit verbundenen hohen Applikationsgeschwindigkeit erweisen sich in ökonomischer aber auch ökologischer Hinsicht sinnvoll. In [7] werden die Dauer und die Kosten von thermischer Sanierung durch Innendämmung und Außendämmung verglichen. Für die Applikationsfläche von 20-30m² wird dabei eine Dauer von 10 Tagen für Innendämmung und 19 Tagen für die Außendämmung

geschätzt – bei Kostenaufkommen von 55-75 EUR/m² für die Innendämmung und 70-95 EUR/m² (79-110 EUR/m² inkl. Gerüst) für die Außendämmung. Mit dem Whiscers™ System kann diese Flächenabdeckung in zwei Tagen Arbeitszeit erreicht werden – wie es exemplarisch auch bei den Prototypen nachgewiesen wurde. Auch bei Verwendung qualitativer, ökologischer Materialien lassen sich Gesamtkosten durch die Reduktion der Arbeitszeit verringern. So ergeben sich folgende Vorteile zu herkömmlicher Innendämmung:

- Prozessoptimierung und damit hohe Applikationsgeschwindigkeit.
- Vorfertigung und damit Qualitätserhöhung.
- Geringe und kurzzeitige Beeinträchtigung der Bewohner.
- Ökologisches Dämmsystem auf Holzfaser basierend.
- Verwendung von Materialien, welche der positiven Regulierung des Raumklimas dienen (diffusionsoffen, hygroskopisch, kapillaraktiv, etc.). Dies führt u.a. zu einer Feuchtepufferung und somit zu komfortableren Raumklima im Vergleich zu diffusionsdichten Raumabschlüssen.
- Im Vergleich zu anderen Innendämmungen höhere wirksame Wärmespeicherfähigkeit und somit Reduzierung von Temperaturspitzen der sommerlichen operativen Raumtemperaturen im Vergleich zu herkömmlichen Innendämmsystemen.

2.4 Verwendete Methoden

Nach kritischer Überprüfung des bestehenden Whiscers™ Dämmpaneels in Kombination mit den aus der Praxis empirisch ermittelten und in zahlreichen Veröffentlichungen zusammengetragenen Problempunkten von Innendämmsystemen entstand ein Anforderungskatalog mit bauphysikalischen (Wärmedämmwirkung, Belastbarkeit, Feuchteverhalten, Wärmespeicherfähigkeit, Brandverhalten, etc.), konstruktiven (Schichtdicken, Anwendung, Beständigkeit, Verarbeitung, etc.) aber auch ökologischen (Primärenergie, Treibhauspotenzial, etc.) Zielkriterien, die ein ideales Innendämmsystem zu erfüllen hat. Ein weiterer Anforderungskatalog wurde hinsichtlich nationalspezifischen Anforderungen zusammengestellt und umfasst Vorgaben hinsichtlich Energieeinsparung und Wärmeschutz, Feuchteschutz, Brandschutz, Denkmalschutz, etc. Weitere Anforderungen liefern der Whiscers™ Prozessablauf und die Vorfertigung, beispielsweise die Möglichkeit, die Verbundplatte mit einer CNC Fräse konfektionieren zu können, leichte Handhabung und Applikation, Größe der Masterboards, Gewicht, etc. Auf Basis dieser Anforderungen ergab sich eine Vielzahl an Parametern, die gewichtet wurden. Gezielt konnten geeignete Varianten detektiert werden. Anhand quantitativer Methoden wurden Dämmstoffe und Raumabschlussmaterialien in Matrizen verglichen, und geeignetste Materialien gewählt.

Hinsichtlich der Ökologie der einzelnen Materialien als auch der gesamten Verbundelemente wurden Lebenszyklusanalysen der Phasen A1-A3 gemäß EN 15804 erstellt. Die Daten wurden

auf Basis der Baustoffdatenbank Ökobau.dat [8] und herstellerspezifischen Umwelt-Produkt-Deklarationen (EPD) zusammengestellt.

Um die theoretische Tauglichkeit der entwickelten Varianten vor der Erstellung von Prototypen abschätzen zu können, wurde die Methode einer computergestützten Simulation gewählt. Mit der instationären hygrothermischen Simulationssoftware Wufi Pro konnten Varianten optimiert und Tauglichkeit vorhergesagt werden.

Um Ergebnisse der Simulation zu validieren, vor allem aber um die Tauglichkeit auch anhand von Prototypen in der Praxis nachweisen zu können wurden Elemente der entsprechenden Varianten gefertigt und bei Applizierung Feuchte- und Temperatursensoren zwischen Dämmelement und Bestandswand positioniert um mit Datenloggern 15 minütige Messdaten zu sichern und auswerten zu können.

2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung

Die Projektbearbeitung durchlief verschiedene Phasen, die gleichsam die Methodologie des Projektes widerspiegeln:

In der ersten Phase wurde eine Erhebung zum State-of-the-Art zum Thema von Innenwanddämmsystemen ausgeführt, in der die bauphysikalischen Grundlagen, eine Untersuchung geeigneter Dämmmaterialien und die verschiedenen im Markt befindlichen Technologien der Installation von Innenwanddämmsystemen in Altbauten behandelt werden.

Als dann wurde eine kritische Überprüfung der bestehenden, von unseren englischen Partnern fertigungstechnisch bereits entwickelten Whiscers™ Lösung ausgeführt. Hierbei stand insbesondere der Fokus in der Findung von Lösungen für die Kompensation von Wandverformungen in bestehenden Altbestandgebäuden.

Zentraler Punkt der Projektdurchführung war die Entwicklung von Systemlösungen für neuartige Innenwanddämmsysteme, mit Verwendung von Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen, wobei insbesondere Holzfaserstoffen untersucht wurden. Augenmerk wurde auf die Ermittlung bauphysikalische Kennwerte und Festlegung möglicher Grenzbereiche ihrer Anwendung gelegt. Mit Hilfe von computergestützten hygrothermischen Simulationen, durchgeführt mit dem Programm Wufi Pro (V 5.2), welches die realitätsnahe, instationäre Berechnung des gekoppelten ein- und zweidimensionalen Wärme- und Feuchtetransports in mehrschichtigen Bauteilen erlaubt, wurden die vorgeschlagenen Varianten numerisch überprüft. In Kleinteilversuchen wurden dann ausgewählte Varianten auf Tauglichkeit getestet.

In einem weiteren Schritt wurden die in der vorhergehenden Phase ausgewählten Varianten auf Basis der Erkenntnisse aus Versuchen und Simulationen modifiziert und schließlich vier finale Prototypen für die Machbarkeitsstudie und zur Überprüfung der grundlegenden technischen Anforderungen ausgewählt: Eine geklebt/gemörtelt Variante, stark an original

Whiscers™ Lösung angelehnt, sowie drei Varianten mit Holzweichfaserplatten verschiedener Dichte, auf Druckpressung durch verschiedene raumseitige Anpressplatten.

In der Prototypentwicklung stand der Einbau der vier Lösungsvarianten in zwei Wiener Altbauten und die Überprüfung der für die Installation angewandten Technologie im Vordergrund.

Schließlich fand ein Monitoring der eingebauten Systeme statt, um Performance und bauphysikalische Probleme zu detektieren und die Simulationsergebnisse aus dem Computermodell zu validieren. Die Erhebung der Daten erfolgte über Temperatur- und Feuchtefühler zwischen Bestandswand und Dämmelemente. Hierfür wurden Datenlogger und Fühler von T&D der RTR-5 Serie (RTR-53A) und Datenlogger der Fa. Hobo der Onset Serie verwendet.

3 Ergebnisse des Projektes

Das Whiscers™ Verfahren für Österreich zu adaptieren und Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe einzusetzen, ist als Ziel des Forschungsprojektes mit den entwickelten vier Varianten erreicht. Folgend sollen Ergebnisse und wegweisende Entscheidungen hinsichtlich der Entwicklung der ökologischen Innendämmverbundelemente vorgestellt werden.

3.1 Bauphysikalische und konstruktive Entscheidungen

Ein wichtiger Indikator für die thermische Qualität eines Bauteils ist bei eindimensionaler Betrachtung der Wärmedurchlasswiderstand R oder der daraus bestimmte Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert). Für erste Abschätzung der Dicke der Dämmelemente zur Erreichung eines normgemäßen Wärmedurchlasswiderstandes des gesamten Bauteils, bei angenommener Wärmeleitfähigkeitsstufe (WLS) des Dämmelements von 040 und vorgegebenen U-Werten der Bestandswand, ergeben sich:

Tabelle 1: Abschätzung der Dicke der Dämmschicht.

U_{Reg} [W/(m ² ·K)]	U_{Def} [W/(m ² ·K)]	λ_{Ins} [W/(m·K)]	d_{Ins} [cm]
0,35	1,50 (1900-1945 MFH)	0,04	8,76
0,35	1,55 (vor 1900 MFH)	0,04	8,85
0,35	2,00 (1900-1945 EFH)	0,04	9,43

Legende: U_{Reg} : Anforderung an Bauteil, U_{Def} : Bestandswand, λ_{Ins} : Wärmeleitfähigkeit Dämmung, d_{Ins} : erforderliche Dicke Dämmung, MFH: Mehrfamilienhaus, EFH: Einfamilienhaus

Um die Anforderungen lt. OIB-RL 6:2015 für typische Bestandswände vor 1945 zu erreichen, bedarf es einer Dämmstoffdicke von etwa 10cm. Eine massive Außenwand weist sehr gute

Wärmespeicherfähigkeit auf. Diese Fähigkeit wird jedoch durch Entkoppeln der Außenwand vom Innenraum durch die Innendämmschicht unterbunden. Eine Möglichkeit entgegen zu wirken, ist die Ausführung der inneren Schale mit vergleichsweise großer Wärmespeicherfähigkeit. Die entwickelten Varianten sollten demnach möglichst hohe wirksame innere Wärmespeicherkapazität aufweisen, wobei das Material so gewählt werden muss, dass der Dichte-Parameter dennoch eine einfache Handhabung und Montage der Elemente erlaubt.

Speziell bei Innendämmung kann es zur Erhöhung des Feuchtegehalts der Außenwand kommen, weshalb dem Feuchteschutz eine wesentliche Rolle zuzuschreiben ist. Um dem Whiscers™ Grundsatz – einem schnell und einfach anzubringenden Innendämm-System - gerecht zu werden, wird auf eine Dampfbremse in der Konstruktion verzichtet und ein diffusionsoffener Aufbau verwendet. Das gewählte System übt so auch positive Wirkung auf das Raumklima aus und erlaubt gegenüber diffusionshemmenden Systemen höhere Toleranz bei Ausführungsfehlern.

Historische Gebäude weisen oft unebene Wände auf, wodurch Lufträume zwischen Innendämmplatten und Bestandswänden entstehen. Dies birgt hohes Risiko hinsichtlich Kondensatbildung durch Hinterströmung der Dämmung mit (warm-feuchter) Raumluft. In der Regel wird dieser Problematik durch einen zusätzlichen Arbeitsprozess, dem Aufbringen einer Ausgleichsschicht, entgegengewirkt. Sowohl Ausgleichsschicht als auch Klebemörtel führen zu ungewolltem Feuchteintrag.

Durch Aufbringen von Innendämmung und der damit verbundenen Abkühlung der Innenoberfläche der Bestandsaußenwand bei winterlichen Randbedingungen muss auch besonderes Augenmerk auf Wärmebrücken gelegt werden. Innere Bauteiloberflächen müssen lt. ÖN B 8110-2:2003 bei Norm-Randbedingungen einen Temperaturfaktor $f_{Rsi} \geq 0,71$ aufweisen um Schimmelpilzbildung zu vermeiden. Bereiche, die bei Applikation einer Innendämmung üblicherweise genauerer Betrachtung bedürfen, sind Laibung, Brüstung, Sturz und einbindende Flankenbauteile. Die Konstruktion ist hinsichtlich kritischen Oberflächentemperaturen zu untersuchen. In diesem Bericht wird nicht detaillierter auf Wärmebrücken eingegangen, es sei jedoch erwähnt, dass bei den untersuchten Objekten die Schimmel- und Kondensationsschutzkriterien durch Laibungs- und Brüstungsdämmung erfüllt sind und – vorausgesetzt sachgemäßer Ausführung – keine Flankendämmung notwendig ist. Dies wird durch Simulationen mit dem instationären 3D Wärmebrückenprogramm AnTherm® nachgewiesen (vgl. Abb. 1).

Als raumseitigen Abschluss des Verbundelements werden in einer Matrix Innenputz, Kraftpapier, Gipskarton-, Gipsfaser-, Holzwolle-, OSB-, MDF-, Lehmputz, Lehmholzfaser und Holzzementplatten hinsichtlich hygrothermischen Verhalten, speziell auch hinsichtlich dem Wärmespeicherverhalten, Festigkeit, und Anwendbarkeit untersucht. So weist nach dem vereinfachten Verfahren der ÖN EN ISO 13786:2008 berechnet die in den Prototypen verwendete Holzwolleplatte Heraklith M bei einer Dicke von 8mm eine flächenbezogene Wärmekapazität von 8091, die Gipsfaserplatte Fermacell Greenline bei einer Dicke von 12,5mm 15813 und der Claytec Lehmputz bei einer Dicke von 3mm 5400 J/(m²·K) auf. Im Vergleich nach dem „detaillierten Verfahren“ über Berechnung der Schichtmatrizen (24h Periode) inkl. Wärmeübergangswiderstände ergibt sich für Heraklith M eine flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen $\chi_1 = 8053$, für Gipsfaser $\chi_1 = 15602$ und für Lehmputz $\chi_1 = 5393$ J/(m²·K). Das vereinfachte Verfahren zeigt demnach gute Näherung bei dünnen Schichten. Da grundsätzlich die Eindringtiefe bei einer 24h Periode mehrere Zentimeter beträgt und somit auch hinter der Abschlussplatte liegende Schichten wirksam werden, ist eine Betrachtung der gesamten Konstruktion aussagekräftiger. Im konkreten Fall schließt aber die Dämmschicht direkt an, was den Vergleich plausibel macht. Abb. 1 zeigt nun die Auswirkungen verschiedener Innendämmung Systeme auf die wirksame Wärmespeicherkapazität der gesamten Wandkonstruktion an der Innenseite im Vergleich zu der Bestandswand.

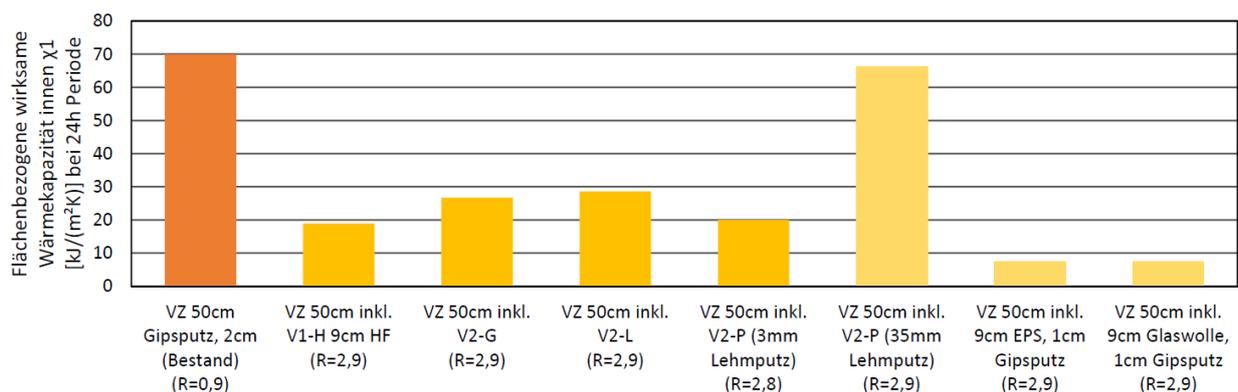


Abb. 2: Wirksame Wärmespeicherkapazität innen - Bestandswand im Vergleich mit ID-Sanierungsmaßnahmen.

Erst durch den Anpressdruck einer Platte entsprechender Festigkeit werden die Unebenheiten der Bestandswand durch die flexible Schicht ausgeglichen. Die in Variante V2-G verwendete Fermacell Greenline Platte ist diffusionsoffen ($\mu=13$) und bietet durch ihre Oberflächenhärte (Brinell) von 30N/mm² die Möglichkeit die Innendämm-Verbundplatte direkt an der Bestandswand durch Verschraubung zu fixieren, ohne eine erhöhte Gefahr des Durchstanzens durch Schraubköpfe einzugehen. Die Biegesteifigkeit der Platte ist ausreichend um die Durchbiegung durch die punktweise Fixierung unmerklich zu halten. Gipsfaserplatten wirken zudem klimaregulierend und besitzen eine gute Brandschutzwirkung (A2 – nicht brennbar). Die GF-Platte wird hier neben ihrem Nutzen als Anpressplatte als Trockenputz angesehen und erlaubt es, lediglich eine diffusionsoffene Farbe für gewünschte Gestaltung aufzubringen, es ist demnach kein Putz notwendig. Abb. 5 zeigt das Detail Falz und Ausfräsung. Variante V2-G kann vollständig in Trockenbauweise aufgebracht werden. Die

passgenau zugeschnittenen Elemente werden durch Verschraubung am Bestandsmauerwerk fixiert. Um diesen Arbeitsschritt zu optimieren werden dübellose Beton- oder Mauerwerksschrauben verwendet, wobei das Gewinde das Mauerwerk beim Einschrauben hinterschneidet und so eine formschlüssige und sichere Verbindung erzeugt.

Variante V1-H wird als direkte Übersetzung des Whiscers™ Systems (2-schichtiges Panel) verstanden, jedoch mit ökologischen Materialien umgesetzt. Als Raumabschlussplatte besitzt sie als Prototyp eine unverputzte Holzwolleplatte (Heraklith M) und soll so als schallabsorbierende Oberfläche speziell in schallmäßig belasteten Räumen Anwendung finden. Im Prüfraum, der als Seminar- und Schulungsraum genützt wird, ergibt sich ein positiver Effekt auf die Akustik des Raumes.

Mit den Varianten V2-G und V2-P wird beabsichtigt, sich speziell die Vorteile des Baustoffes Lehm zu Nutze zu machen, somit gute Wärmespeicherfähigkeit als auch den Feuchtespeichereffekt zu erhalten. Lehm kann Feuchtigkeit sehr gut aufzunehmen (bis zu neunmal mehr als Gips), so bildet sich ein Klimapuffer an der Wand, der Feuchte aufnimmt und sie bei geringer Luftfeuchtigkeit wieder abgibt.

Folgend eine Übersicht der vier entwickelten Varianten.

V1-H (Klebevariante)

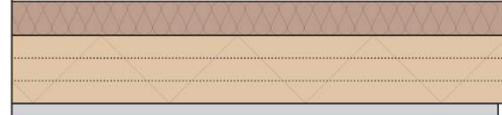
CLAY-ADHESIVE	12.0mm
PAVADENTRO	60.0mm
PU-ADHESIVE	-
HERAKLITH M	8.0mm
TOTAL	68.0mm



Wärmedurchgangswiderstand: 1.5 m²K/W
Wirks. Wärmekapazität innen: 20.0 kJ/(m²K)

V2-G (Trockenbauvariante)

PAVAFLEX	30.0mm
PU-ADHESIVE	-
PAVADENTRO	60.0mm
SCREED ADHESIVE GREENLINE	-
FERMACELL GREENLINE	12.5mm
TOTAL	102.5mm



Wärmedurchgangswiderstand: 2.2 m²K/W
Wirks. Wärmekapazität innen: 26.3 kJ/(m²K)

V2-L (Trockenbauvariante)

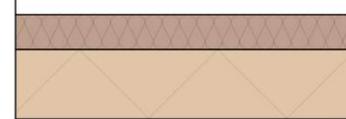
PAVAFLEX	30.0mm
PU-ADHESIVE	-
PAVADENTRO	60.0mm
PU-ADHESIVE OR CLAY-ADHESIVE	-
EIWA CLAY BOARD	14.0mm
TOTAL	104.0mm



Wärmedurchgangswiderstand: 2.2 m²K/W
Wirks. Wärmekapazität innen: 29.3 kJ/(m²K) *
*1.1kJ/(kgK) für c Lehmplatte angenommen

V2-P (Trockenbauvariante + Lehmputz)

PAVAFLEX	30.0mm
PU ADHESIVE	-
PAVABOARD	60.0mm
CLAY PLASTER	3.0mm
TOTAL	93.0mm



Wärmedurchgangswiderstand: 2.1 m²K/W
Wirks. Wärmekapazität innen: 19.5 kJ/(m²K)
χ₁ mit 25mm Lehmputz: 49.6 kJ/(m²K)

Abb. 3: Entwickelte Prototypen



Abb. 4: Demonstration Anpassung flexibler Schicht an unebene Bestandwand.

Abb. 5: Variante V2-G mit GF-Falz und Ausfräsung für Stoß-Armierungsband

3.3 Ökologische Aspekte

Die vorgestellten Ökobilanz-Daten adressieren die Lebenszyklusstadien A1 – A3 der Produktionsphase gemäß EN 15804. Die Daten werden auf Basis einer Baustoffdatenbank [8] und herstellerepezifischen Umwelt-Produkt-Deklarationen (EPD) zusammengestellt. In Abb. 6 wird das globale Erwärmungspotential (GWP) verschiedener Dämmstoffe gegenübergestellt, in Abb. 8 der Gesamtprimärenergiebedarf der Produktionsphase jener Dämmstoffe. Hinsichtlich GWP sticht die Holzfaserdämmplatte positiv hervor, im Vergleich der benötigten Primärenergie der Produktionsphase scheint es im Mittelfeld auf. Werden jedoch alle Zyklen, einschließlich einer Wieder- oder thermischen Verwertung bilanziert, so treten Holz und Holzwerkstoffe wesentlich besser hervor, was exemplarisch an der verwendeten flexiblen Holzfaserdämmung in Tabelle 2 verdeutlicht werden soll. In Tabelle 3 werden die Umweltindikatoren des gesamten Verbundelements V2-G für die Produktionsphase (A1-A3) vorgestellt. Die Ergebnisse verdeutlichen die Entscheidung zur Holzfaser als Dämmmaterial.

Tabelle 2: Primärenergie: Vgl. Produktion - End of Life, flex. Holzfaserdämmung

	Produktion [MJ]	End of Life [MJ]	Σ [MJ]
Primärenergie nicht erneuerbar	918	-915	3,15
Primärenergie erneuerbar	980	-10,16	970,00

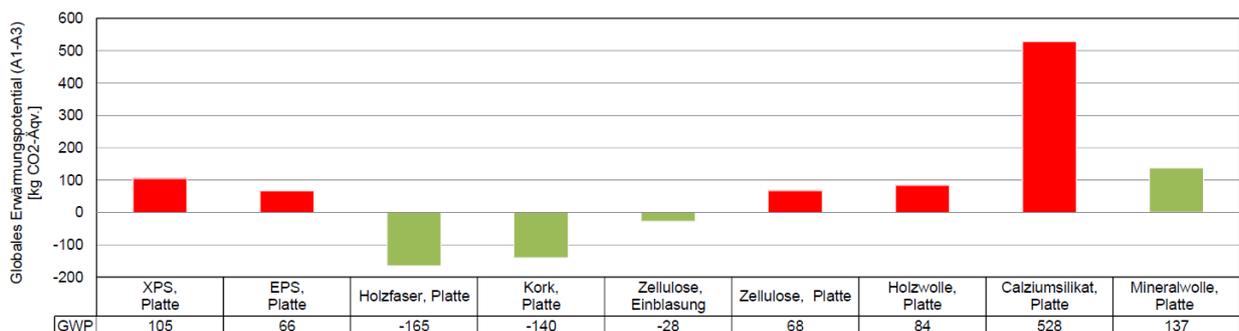


Abb. 6: Globales Erwärmungspotential (GWP) versch. Dämmstoffe, (A1-A3).

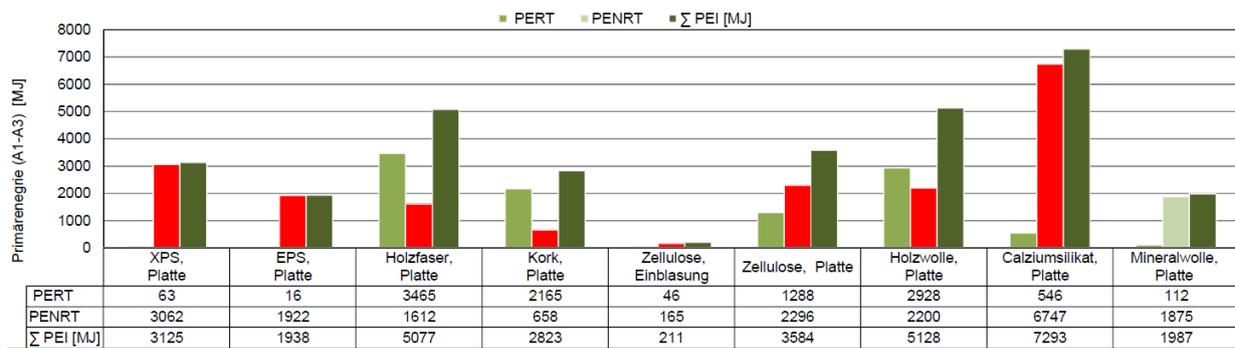


Abb. 7: Primärenergiebedarf versch. Dämmstoffe für die Produktionsphase (A1-A3).

PERT= Total Primärenergie Erneuerbar, PENRT = Total Primärenergie Nicht Erneuerbar.

Tabelle 3: Umweltindikatoren der Variante V2-G für die Produktionsphase (A1-A3).

Indikator	Fermacell	Kleber	Pavadentro	Kleber	Pavaflex	Σ
Primärenergie nicht regenerierbar [MJ]	2,5	0,05	138,6	0,05	27,5	168,7
Primärenergie regenerierbar [MJ]	78,9	0,17	64,5	0,17	29,4	173,1
Σ PEI [MJ]	81,4	0,18	203,1	0,18	56,9	341,8
Treibhausgase (GWP) [kg CO ₂ -Äqv.]	5,1	0,01	-6,6	0,01	-0,5	-1,9

3.4 Hygrothermische Simulation

Da die Summe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken (Sd-Werte) der Einzelschichten des Innendämm-Element weniger als zwei Meter beträgt (z.B. V2-G: 0,52m), ist lt. ÖN B 8110-2:2003 ein rechnerischer Nachweis nötig. Die Norm bietet das Glaserverfahren zur Berechnung der Kondensation im Bauteil. Es ist ein Verfahren, welches den Feuchtetransport rein über Dampfdiffusion betrachtet und wesentliche Parameter außer Acht lässt: kapillare Saugwirkung, hygroskopische Eigenschaften, veränderliche Materialeigenschaften, veränderliche Randbedingungen, Konvektion, Schlagregen, solare Strahlung, etc.

Demnach wird eine Untersuchung mittels instationärer, numerischer Berechnungssoftware notwendig [9]. Aufgrund existierender Materialdatensätzen wird das Simulationsprogramm Wufi Pro (V 5.2) verwendet. Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf eine typische 50cm Vollziegel-Bestandswand. Die Simulation erfolgt 1D. Zur Beurteilung wird der Wassergehalt des äußersten Abschnittes (5mm) der flexiblen Holzfaserdämmung hin zur Bestandswand untersucht, welcher bei winterlichen Randbedingungen der kälteste Bereich der

Innendämmung ist und somit kritisch hinsichtlich Kondensat. Für Holz und Holzwerkstoffe wird oft 20 M.-% als kritischer Wert der Obergrenze des Wassergehalts angegeben - für tatsächliche Gefährdung von Holz sind jedoch auch Dauer der Überschreitung sowie Temperatur entscheidend. Die Tauglichkeit wird anhand einer Methode nach Kehl [10], welche auf einem Modell nach Saarinnen et al. beruht, überprüft. Der simulierte Verlauf des Wassergehaltes der äußersten 5mm Schicht der flexiblen Holzfaser ist in Abb. 9 dargestellt. Für Entstehen von Fäulnis bei Holz beträgt die Umgebungsfeuchte des Mikroklimas zwischen 80 und 95%. Der simulierte Verlauf der Temperatur und der relativen Luftfeuchte in der Ebene Innendämmung/Bestandswand ist in Abb. 8 dargestellt. Für das Außenklima werden halbsynthetische Klimadaten [11] angewendet, für das Innenklima ein allgemeiner Ansatz nach ÖN EN 15026. Es wird die nördliche (geringer solarer Eintrag) und die westliche (größte Schlagregensumme) Ausrichtung der Wand untersucht. Schlagregen stellt v.a. bei Altbauten oft sehr hohe Feuchtebelastung für die Konstruktion dar. Das Maximum des Jahresverlaufs der relativen Luftfeuchte in der Grenzschicht Innendämmung/Bestandswand wird im Januar erreicht und beträgt etwa 80% bei einer maximalen Temperatur von ca. 12°C (Abb. 8). Holzabbau findet anhand der Überprüfung der relativen Feuchte und Temperatur nach dem angewandten Modell [10] bei vorherrschender Temperatur erst ab ca. 92% statt. Der maximale Wassergehalt im letzten 5mm Abschnitt der Holzfaserdämmung hin zur Bestandswand beträgt zu diesem Zeitpunkt bei der nach Norden gerichteten Außenwand etwa 14M.-%, bei der durch Schlagregen stärker belasteten Westwand etwa 19%. Kritische Obergrenze bei der Überprüfung würde nach dem Modell etwa 23M.% darstellen. Die Konstruktion inkl. V2-G ist hinsichtlich Schimmelpilzwachstum und Holzabbau nicht gefährdet. Ein Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit sowie des Temperaturverlaufs der Varianten V1-H, V2-G und V2-P wird in Abb. 10 und Abb. 11 dargestellt. Variante V2-L ist hier nicht angeführt, da vom Hersteller Eiwa keine detaillierten bauphysikalischen Kennwerte der Lehmbauplatte zur Verfügung standen. Es ist vorgesehen, die Platte im Labor Feuchtespeicherungs- und Diffusionswiderstandsmessungen zu unterziehen.

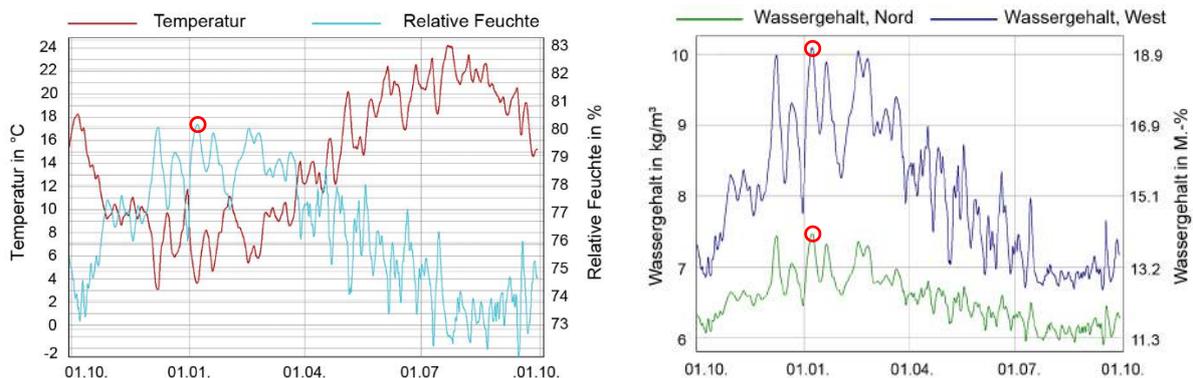


Abb. 8: V2-G: Jahresverlauf Temperatur, relative Feuchte zw. ID und Bestandswand

Abb. 9: V2-G: Jahresverlauf Wassergehalt (letzte 5mm) flexible Holzfaserdämmung

Weitere Erkenntnisse aus den Untersuchungen werden folgend erläutert. Der Einfluss des Schlagregens und in weiterer Folge die hygrischen Eigenschaften des Außenputzes Schutz gegenüber diesem Feuchteintrag zu bieten, wirken sich auf die Funktionstüchtigkeit der

Innendämmung maßgeblich aus. Sichtmauerwerk oder saugende Außenputze sind als sehr kritisch einzustufen. Auf solche Außenoberflächen muss in der Regel mit Maßnahmen wie Hydrophobierung reagiert werden, um den Feuchteintrag durch Schlagregen zu reduzieren. Je geringer die Dicke der Innendämmung ausfällt, desto weniger Kondensat tritt im Bauteil auf, was jedoch im Konflikt mit einem geeigneten Wärmeschutz steht. Je diffusionsdichter die Bestandswand ist, desto mehr Kondensat fällt an und auch eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit der Bestandswand führt zu höherem Kondensataufkommen. Je diffusionsdichter die raumseitige Schicht ist, desto weniger Kondensat fällt an. Die Problematik bei stark diffusionshemmenden Schichten ist aber in jedem Fall das reduzierte Trocknungspotential des Bauteils zum Innenraum hin, mit Gefahr hinsichtlich Feuchteakkumulation, als auch die niedrige Fehlertoleranz bei der Ausführung und in späterer Nutzungsphase hinsichtlich Unterbrechungen dieser Schicht (Konvektion). Die Übergangsschicht von Bestandswand zum ID-Verbundelement oder ggf. die Klebeschicht sollte möglichst kapillaraktiv und diffusionsoffen sein. Natürlich führt auch der Feuchteintrag durch interne Lasten zu starken Änderungen des Feuchtehaushalts des ID-Verbundelements, jedoch wird für diese Simulation ein typisches Innenraumklima vorausgesetzt.

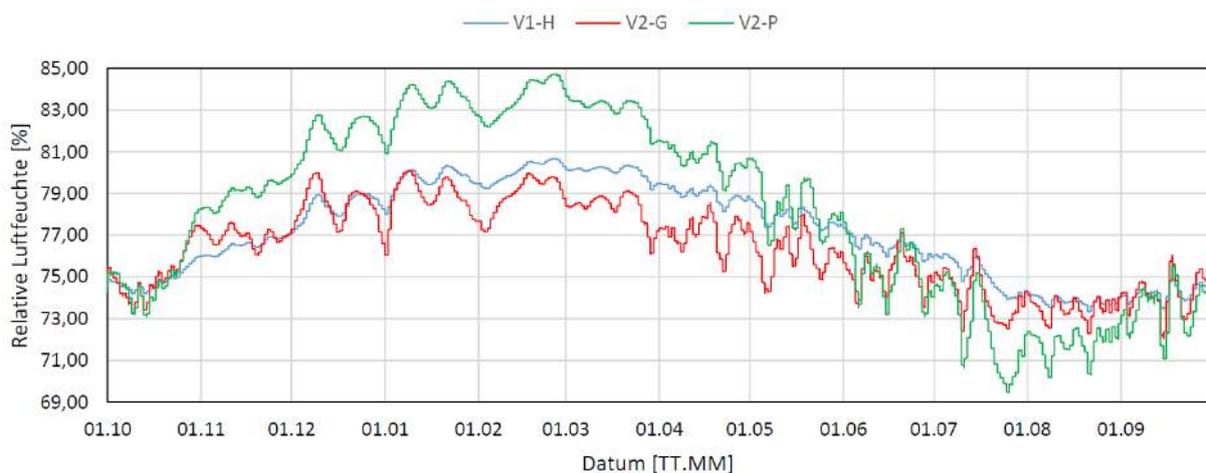


Abb. 10: V1-H, V2-G, V2-P: Jahresverlauf relative Luftfeuchte zw. ID und Bestandswand

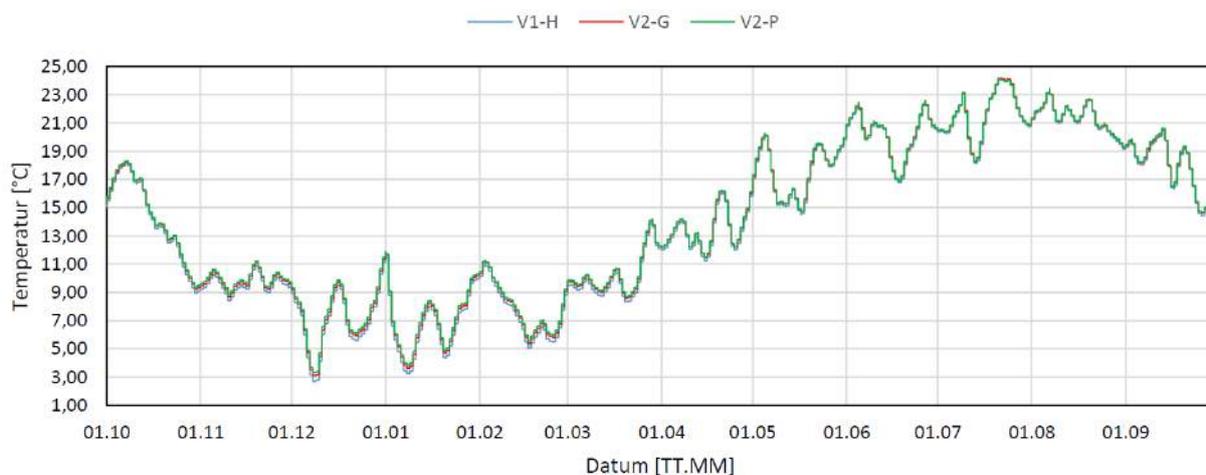


Abb. 11: V1-H, V2-G, V2-P: Jahresverlauf Temperatur zw. ID und Bestandswand

3.5 Prozesskette thermische Sanierung

Der dreiteilige Ablauf erstreckt sich über zwei Tage. Arbeitsschritte 1 und 2 werden am ersten Tag, die Anbringung am zweiten Tag durchgeführt. Exemplarisch wird die thermische Sanierung mittels Variante V2-G vorgestellt:

1. Vermessung des Raumes: Mit einer Totalstation Leica TS06 wird die innenraumseitige Dimension der westseitigen Außenwand vermessen. Aus den nativen Messdaten werden 2D Wandansichten generiert und im .dxf Format einer Nachbearbeitung in einem CAD Programm zugänglich gemacht. Die vereinfachte Darstellung von United House, dass die Daten der Messung direkt an eine Software zur automatisierten Generierung von Verschnitt-effizienten Element-Geometrien übergeben werden, muss widerlegt werden. Die Plattenanpassung an die Raumgeometrie erfolgt demnach manuell.
2. CNC-Zuschnitt der Dämmelemente: Die Suche nach einer geeigneten Fräse erweist sich anfänglich als schwierig, da typische (Bau-)Tischlereibetriebe nicht für Fräsarbeiten bei Bearbeitungshöhen von >10cm ausgelegt sind und zudem ein erhöhtes Staubaufkommen und Verschleiß durch das Fräsen der Gipsfaser befürchtet wird. Durch eine 5-achsige CNC Fräse (Homag BOF 211) werden die Elemente aus dem Masterboard geschnitten. Mit einem Falzfräskopf wird im Stoßbereich der Elemente ein 3mm tiefer und 30mm breiter Falz gefräst. In diesem Bereich wird bei späterer Montage ein Armierungsgewebeband eingelegt, sodass die Stöße bündig verspachtelt werden können. Das Fräsen der flexiblen Schicht, als auch der Gipsfaserplatte im Verbund erfolgt unproblematisch. Das Fixieren der Verbundplatte am Frästisch über das Vakuum-System wird durch die GF-Platte ermöglicht – sowohl die flexible Holzfaser, als auch die Holzfaserplatte eignen sich nicht zum Ansaugen. Die Elemente werden mit einem Offset von 5mm zugeschnitten um toleranter gegenüber welligen Kanten der Bestandswände aufzutreten.
3. Anbringen der Dämmelemente: Von Variante V2-G werden größere Masterboards produziert, um eine schnellere Aufbringung zu überprüfen. Durch die Höhe von 2,6m kann die gesamte Raumhöhe mit einem Element abgedeckt werden. So sind nur 5 Elemente (exkl. Laibung) nötig um die Westwand abzudecken. Diese werden punktweise mit 6mm Bohrer bis in das Bestandsmauerwerk durchbohrt und mit dübellosen Mauerwerksschrauben fixiert. Die zugeschnittenen Elemente überragen die Laibungskante um 4cm, um die Laibungsdämmung bündig anschließen zu können. Der dreischichtige Aufbau erweist sich in der Laibung als zu dick, um die bestehenden Fenster weiterhin nutzen zu können - es werden 30mm Holzfaserdämmplatten mit Lehmkleber aufgebracht, sowie eine Gipsfaserplatte als Raumabschluss, um das Gesamtbild zu erhalten und von einem Innenputz absehen zu können. Im Stoßbereich werden Armierungsgewebebänder eingelegt und bündig verspachtelt. Fugen im Randbereich werden mit Acrylmasse abgedichtet.



Abb. 12: Ablauf Sanierung in drei Schritten. Vermessung, CNC-Zuschnitt, Anbringung.

3.6 Hygrothermische Messungen

Die Innendämm-Systeme werden an zwei Testobjekten einer längerfristigen in-situ Messung unterzogen. Die Ergebnisse werden im Folgenden aus dem Monitoring-Endbericht [12] zusammengefasst. Die Untersuchungen starteten im Oktober 2013 und laufen bis heute. Die hier vorgestellten Messdaten beziehen sich auf Winter 2013/14. Bei den Testwänden wurden Sensoren zur Messung der Temperatur und relativen Luftfeuchte zwischen Bestandswand und Innendämmung installiert.

3.6.1 Ergebnisse Demo-Raum Makart Villa

Dieser Souterrain Versuchsraum wurde bewusst gewählt, um den Einfluss der Feuchtigkeit der Bestandswand auf die Holzfaserdämmung zu untersuchen. Die Fußbodenoberkante liegt etwa 70cm unter der Erdreichoberkante. An der Außenfassade sind Feuchteschäden (Abb. 14), im Innenraum jedoch keine Schäden erkennbar. Es werden Messungen hinsichtlich der Mauerfeuchte durch Probebohrungen durchgeführt um die Möglichkeit einer ID bewerten zu können.

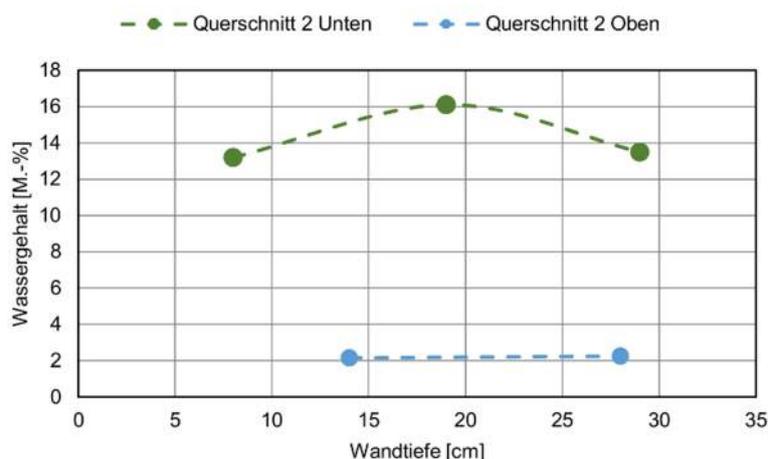


Abb. 13: Feuchtegehalt des Bestandsmauerwerks in Querschnitt 2

Erhöhte Feuchte würde sich negativ auf die Funktionstüchtigkeit der ID auswirken. Zur Bestimmung der Feuchtebelastung des Bestandsmauerwerks werden Bohrmehlproben in verschiedenen Querschnitten und Höhen entnommen, wobei deutliche

Feuchtigkeitsunterschiede zwischen erdberührt und freistehendem Mauerwerk festgestellt werden. Exemplarisch wird Messquerschnitt 2 mit Probestellen auf 31cm und 160cm über Fußbodenoberkante in Abb. 13 dargestellt.



Abb. 14 Außenfassade Demo-Raum Makart

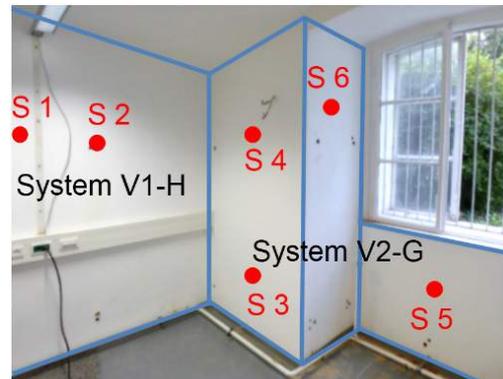


Abb. 15 Zwei Testwände im Souterrain Testraum.

Abhängig von der Tiefe der Probenentnahme wurden verschiedene Feuchtigkeitsgehalte gemessen, wobei niedrigere Werte von 2-8 M.-% in oberflächennahen Proben und Werte bis zu 16 M.-% in tieferen Schichten gemessen wurden. Diese Feuchtigkeitsverteilung zeigt geringe aufsteigende Feuchte oder Feuchtebelastung von außen. Ein Kondensations-Problem, wie oft in Souterrain Wohnung oder bodenberührenden Kellern zu beobachten ist, kann in diesem Raum wegen der geringen Luftfeuchtigkeit aufgrund Büronutzung ausgeschlossen werden. Die Messdaten und errechnete Durchfeuchtungsgrade deuten darauf hin, dass ein Austrocknen in den Raum möglich ist.

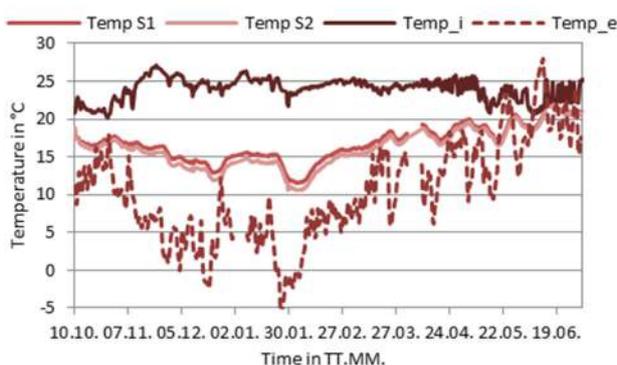


Abb. 16 Temperaturverlauf bei Messpunkten S1, S2, im Raum und Außen.

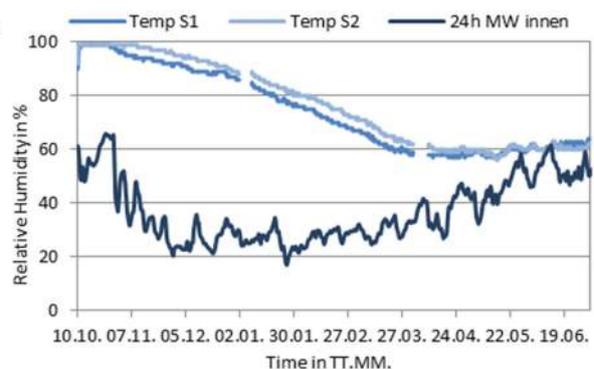


Abb. 17 Verlauf der relativen Feuchte bei Messpunkten S1, S2 und im Raum.

System V1-H wurde mit Lehmkleber an die Bestandswand fixiert. Sensorpositionen S1 und S2 sind im Lehmörtel zwischen Bestandswand und ID angeordnet. Die Messdaten spiegeln das Trocknungsverhalten des Lehmörtels wider. Erst sieben Monate nach Installation erreicht die relative Feuchte hinter dem Dämmelement ein konstantes Niveau (vgl. Abb. 17). Während dieser Zeit ist die Raumluftfeuchte konstant unter 40%. Das Temperaturprofil zwischen Innendämmung und Bestandswand (vgl. Abb. 16) folgt der Außentemperatur mit leichter

Verzögerung. Dies ist auf das massive Mauerwerk als auch das umgebende Erdreich, welche als Speichermassen zur Trägheit der Temperatur und Feuchtigkeitsschwankungen beitragen, zurückzuführen.

Variante V2-G kann durch die Verschraubung vollständig in Trockenbau appliziert werden. Die Messergebnisse zeigen hier noch deutlicher den Einfluss des wärmespeichernden Erdreichs (vgl. Abb. 18 und Abb. 19). Während sich Sensor S3 im Bereich des erdberührten Mauerwerks befindet, ist S4 klar ersichtlich im Wandbereich der an das Außenklima grenzt.

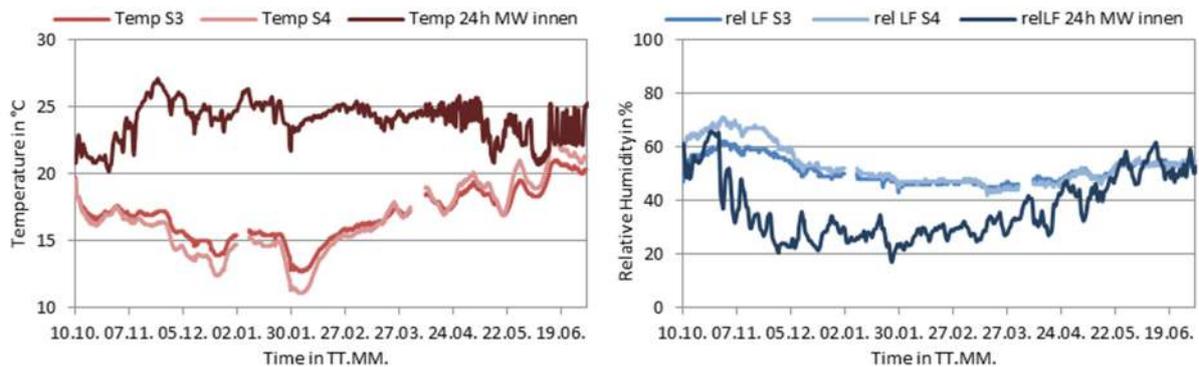


Abb. 18 Temperaturverlauf bei Messpunkten S3, S4 und im Raum.

Abb. 19 Verlauf der relativen Feuchte bei Messpunkten S3, S4 und im Raum.

Trotz geringer Feuchtigkeitsbelastung der Außenwand, stellt sich die relative Feuchte zwischen Innendämmung und Bestandswand bei etwa 50% ein. Eine Verbindung mit der niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit im Raum und der diffusionsoffenen Innendämmung liegt nahe und kann nur durch eine genauere Untersuchung von Materialparametern nachgewiesen werden.

3.6.2 Ergebnisse Demo-Raum Arbeiterwohnheim

Das zweite Untersuchungsobjekt stellt ein Raum eines Arbeiterwohnheimes der Fa. Sedlak dar. Das Gebäude ist ein typischer Vorkriegsbau mit massiven Vollziegel-Außenwänden und Holzbalken-Geschoßdecken. Es dient Bauarbeitern während der Woche als Unterkunft. Das Klima in den Räumen ist relativ trocken, mit einzelnen Feuchtespitzen durch unregelmäßigen Feuchteintrag (hauptsächlich Nachtnutzung, willkürliche Fensterlüftung, etc.). Die beiden ID-Systeme V2-L und V2-P wurden nebeneinander an einer Außenwand im ungestörten Wandbereich (Wandstärke ca. 45 cm) sowie im Brüstungsbereich (Wandstärke ca. 30 cm) installiert, weshalb ein direkter Vergleich möglich ist.

Abb. 22 zeigt die Temperaturdifferenz zwischen Wand und Brüstungsbereich der Variante V2-L. Die relative Luftfeuchtigkeit bleibt an beiden Messstellen im unkritischen Bereich. Begünstigt wird die Situation im Brüstungsbereich durch den dort angeordneten Heizkörper.



Abb. 20: Außenfassade Demo-Raum Arbeiterwohnheim

Abb. 21: Testwand Demo-Raum Arbeiterwohnheim vor Applikation von V2-L und V2-P.

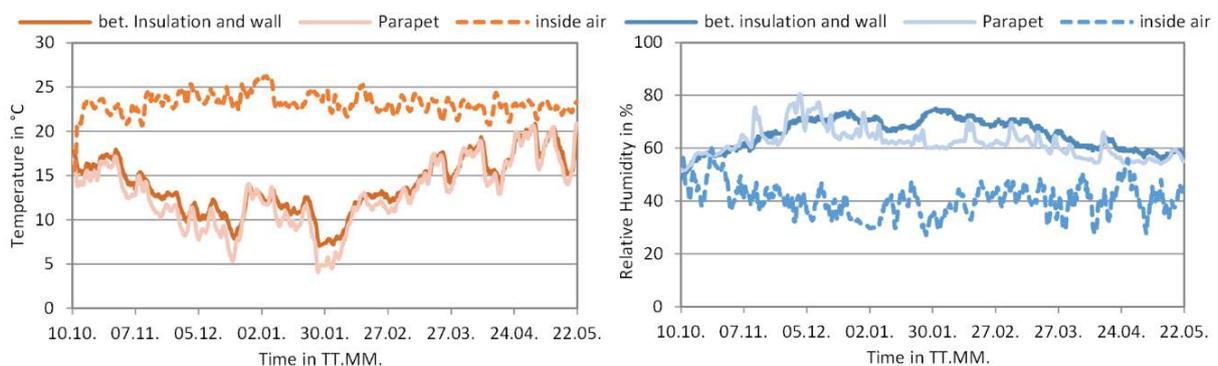


Abb. 22 Temperaturverlauf zw. Bestandswand und ID und im Raum. S25 + S24.

Abb. 23 Verlauf der rel. Luftfeuchte zw. Bestandswand und ID und im Raum. S25 + S24.

3.6.3 Untersuchung Schimmelpilzpotential

Die durch Applikation von Innendämmung ggf. erhöhte Feuchteanreicherung in der Konstruktion führt auch zu erhöhtem Risiko hinsichtlich Schimmelpilzbildung. In folgenden Ausführungen wird speziell auf die Ergebnisse des Demoobjekts Makart Villa eingegangen, da in diesem Fall mehrere Faktoren bezüglich Schimmelpilzbildung zu beachten sind. Zum einen liegt der Testraum teilweise unterhalb des umgebenden Terrains. Die erdanliegenden Mauerwerksteile weisen aufgrund fehlender Abdichtungen eine geringfügig erhöhte Feuchtebelastung auf, die jedoch keine sichtbaren Schäden an der Bestandskonstruktion hervorgerufen hat. Dennoch ist ein ausreichendes Rückrocknungspotential der Konstruktion nach der Applikation der Innendämmung zu beachten. Zum anderen weist die Holzfaserdämmung aufgrund ihrer organischen Struktur ein erhöhtes Schimmelpilzrisiko auf. Außerdem wird Innendämm-Paneel V1-H mit Lehmkleber aufgebracht, was zu einem beträchtlichen Feuchteeintrag während der Ausführungsarbeiten führt. Allerdings weist Lehm eine geringe Ausgleichsfeuchte auf, wodurch die Holzfaser nach Austrocknen der Einbaufeuchte trocken gehalten werden kann. Im beschriebenen Testraum werden zwei Innendämmsysteme appliziert: Im ersten Fall werden die Holzfaserdämmplatten mit Lehm an die Bestandswand geklebt (V1-H), im zweiten Fall werden die Platten trocken mit der

Bestandswand verschraubt (V2-G). Die Messergebnisse zeigen deutlich, dass das nicht geklebte System keinerlei Anzeichen eines Schimmelrisikos aufweist. Das mit Mörtel geklebte Dämmsystem ist hingegen einer Feuchtebelastung ausgesetzt - durch die Verklebung besteht nach der Einbauphase ein beträchtliches Schimmelpilzrisiko, das mit zunehmender Austrocknung abklingt. Dies wird in den folgenden beiden Abbildungen deutlich, wo der Austrocknungsvorgang anhand der relativen Luftfeuchtigkeit zu erkennen ist. Das Schimmelpilzrisiko wird nach dem Kriterium von Viitanen [13] [14] ausgewertet.

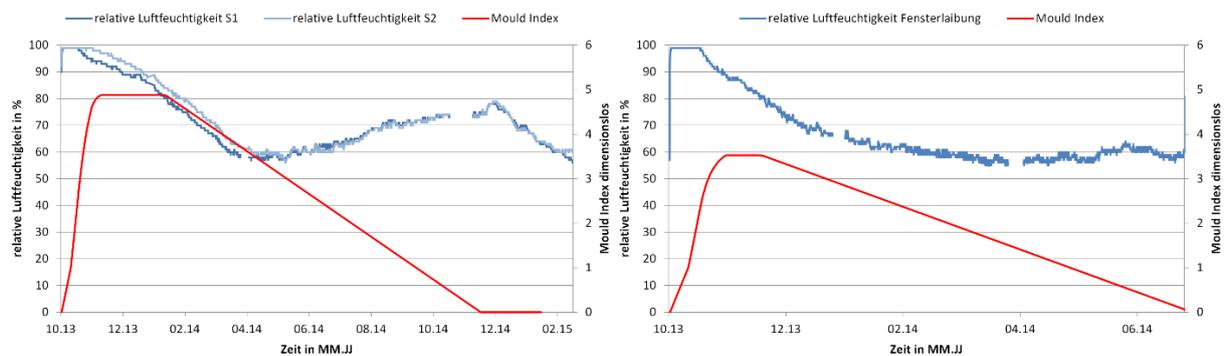


Abb. 24: Verlauf der rel. Luftfeuchtigkeit zw. Innendämmung und Bestandswand nach Applikation der ID und dazugehöriger Mould Index nach Viitanen Pos. S1, S2.

Abb. 25: Pos. S6

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass nach dem Austrocknen der Innendämmung kein neuerliches Schimmelpilzrisiko auftritt. Somit ist die Austrocknungsdauer bei geklebten Konstruktionen von großer Relevanz. Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit der Holzfasernendämmung ist die Auswertung des Verrottungsrisikos. Kehl [15] hat aufbauend auf den Forschungsarbeiten von Viitanen ein Kriterium für die Holzverrottung entwickelt. Dieses sieht vor, dass in einer bestimmten Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit Holzabbau stattfinden kann. Vergleicht man die Messergebnisse beider Dämmsysteme, kann man erkennen, dass während des Messzeitraumes an drei Messstellen kritische hygrothermische Zustände auftreten, die eine Holzverrottung begünstigen (vgl. Abb. 26).

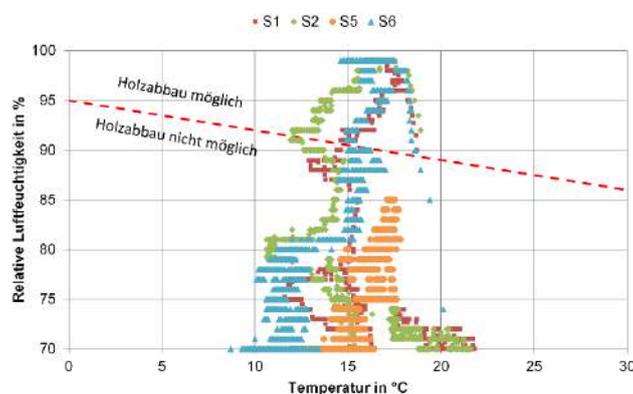


Abb. 26: Verrottungsrisiko nach Kehl an den vier Messstellen

Wie die Temperatur- und Feuchteverläufe der Messdaten aber zeigen (vgl. Abb. 16 und Abb. 17), ist die jeweilige Einwirkungsdauer der kritischen Holzfeuchte gering. Das resultierende Schadensrisiko für Holzverrottung ist daher ebenfalls als gering einzustufen. Die Messstellen mit temporär erhöhtem Risiko beziehen sich zudem lediglich auf die mit Mörtel aufgetragenen Innendämm-Elemente.

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

4.1 Einpassung in das Programm

Das Projekt ist im Aufgabenschwerpunkt 2 „Advanced building components“ zugeordnet. Insbesondere die Frage nach der Verbesserung der Gebäudehülle durch Innovationen im Bereich der Innenwanddämmung ist wesentliches Anliegen des Forschungsprojektes.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Zweck des gemeinsamen Forschungsprojektes mit Partner aus England und Griechenland war es, durch die multilaterale Zusammenarbeit im Bereich der Entwicklung eines innovativen Innenwandwärmesystems die nachhaltige Sanierung der bestehenden baulichen Umwelt voranzutreiben. Das Ziel des Projektes ist die Sanierung von Gründerzeit- und anderen historischen Gebäuden, deren Außenfassaden aufgrund von denkmalpflegerischen Gesichtspunkten kein Anbringen einer externen Wärmedämmung zulassen. Durch Einbringen eines internen Wärmesystems auf Basis nachwachsender Rohstoffe soll die thermisch-energetische Qualität von Altbauten deutlich verbessert und gleichzeitig, aufgrund der Verwendung von holzbasierten Rohstoffen, ein Beitrag zu einer signifikanten CO₂-Einsparung im Gebäudesektor geleistet werden.

4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Die Holzindustrie, eine maßgebliche Zielgruppe, ist ein wichtiger Wirtschaftszweig in Österreich. Ein neues innovatives Dämmsystem könnten neue Märkte öffnen. Dies eröffnet die Möglichkeit, die Effizienz der in der Gesamtkonstruktion verwendeten Holzwerkstoffe zu verbessern. Der Schwerpunkt der österreichischen Studie ist jedoch nicht nur die Produktentwicklung, sondern auch die eine optimale Anpassung des Systems an den vorhandenen Bestand, was als weitere Zielgruppen den planenden Architekten und andere, im Bauwesen vertretende Planungsinstanzen einbezieht (öffentliche und private Bauträger, staatliche Institutionen im Planungs- und Bausektor).

4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse

Das Marktpotenzial ökologischer Wärmedämmsysteme ist aufgrund der sich verändernden Anforderungen in Bezug auf die Umweltaspekte und Kriterien der Nachhaltigkeit sehr groß. Der gesamte Prozess in der Kette der materiellen Produktion, Fertigung, Logistik und Montage wurde analysiert und kritisch bewertet. Eine wirtschaftliche Analyse der gewonnenen Ergebnisse ermöglicht die ökonomische Bewertung des vorgeschlagenen Innendämmsystems und öffnet Wege zur weiteren Optimierung hinsichtlich der Fertigung, Logistik und des technologischen Prozess.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Im Zuge des Life Cycle Assessments (LCA) wurden die ökologischen Kennwerte von Holzfaser mit jenen von anderen in der Baubranche verwendeten Dämmstoffen (mineralische und kunststoffbasierte) verglichen. Hierbei konnte beispielsweise festgestellt werden, dass hinsichtlich des Treibhausgaspotentials (GWP) ein m³ einer Calciumsilikatdämmung 528kg CO₂-Äqu. aufweist, während die Holzfaserdämmung einen negativen Wert von -309kg CO₂-Äqu. zeigt und somit sogar CO₂ bindet (bezogen auf die Produktionsphase A1-A3).

Die entwickelte Systemvariante V1-H wurde als direkte Übersetzung des Whiscers™ Systems (2-schichtiges Paneel), jedoch mit ökologischen Materialien umgesetzt. Als Raumabschlussplatte besitzt sie als Prototyp eine unverputzte Holzwolleplatte und soll so als schallabsorbierende Oberfläche speziell in schallmäßig belasteten Räumen Anwendung finden. Mit den Varianten V2-G und V2-P wurde beabsichtigt, sich speziell die Vorteile des Baustoffes Lehm zu Nutze zu machen, somit gute Wärmespeicherfähigkeit als auch den Feuchtespeichereffekt zu erhalten. Die Varianten, V2-G, umgesetzt als eine dreischichtige, Innendämm-Verbundplatte, wirkt durch Materialwahl und Konstruktion bekannten Problempunkten hinsichtlich Innendämmung entgegen. Entwickelt wurde sie auf Basis verschieden dichter Holzfaserplatten, um eine bestmögliche Anpassung des ID-Systems auf die Unebenheiten der Bestandswände zu ermöglichen. Sie schließt als diffusionsoffenes System mit einer als Trockenputz angesehenen Gipsfaserplatte zur Anpressung raumseitig ab. Dies ermöglicht eine komplette Ausführung in Trockenbauweise, was Vorteile gegenüber einer Klebevariante aufzeigt, die im selben Untersuchungsraum etwa 2,5 Monate benötigt, um den Feuchteintrag durch den Klebemörtel auszutrocknen.

Die Verwendung der bestandswandseitigen, flexiblen Schicht bringt zudem eine Optimierung des Sanierungsprozesses mit sich, in dem das Aufbringen einer Ausgleichsschicht (weiterer Feuchteintrag) der Unebenheiten wegfallen kann. Die Adaption der Installationstechnologie des Whiscers™-Systems an die neuentwickelten Dämmsysteme auf Holzfaser-Basis war problemlos möglich. Die anfängliche Sorge, die weitaus dichteren Bestandteile des neu entwickelten Sandwich-Elements oder auch die flexiblen Matten ließen sich nicht auf

modernen CNC-gestützten Fräsen konfektionieren, hat sich nicht bestätigt. Der eigentliche Installationsprozess der vorkonfektionierten Elemente folgte der patentierten Systemtechnologie von Whiscers™ und erwies sich ebenfalls als unproblematisch.

Die ID-Verbundplatte V2-G verbessert die thermischen Eigenschaften von typischen Wiener Altbau-Bestandswänden bei Wärmedurchgangskoeffizienten von bspw. $1,55\text{W/m}^2\text{K}$ auf Werte $< 0,35\text{W/m}^2\text{K}$ und verringert die Transmissionswärmeverluste über die Außenwand somit um mehr als das Vierfache. Ökologisch wird mit der Wahl von Holzfasern ein geeigneter nachwachsender Baustoff als Wärmedämmung eingesetzt.

Sowohl Simulation als auch Monitoring weisen die Tauglichkeit der auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Varianten als Innendämmsystem nach, wobei im Vergleich Variante V1-H durch das Aufbringen des feuchten Klebers temporär das höchste Schimmelpilzpotential aufweist. Die bislang gewonnenen Messdaten zeigen deutliche Unterschiede zwischen den beiden Innendämmsystemen V1-H und V2-G. Während das erste System aufgrund der Verklebung mit der Bestandswand mit Lehmkleber eine Trocknungsdauer von mehreren Monaten erfordert und somit über einen längeren Zeitraum kritische Feuchtwerte aufweist, ist das zweite Innendämmsystem mit mechanischer Schraubfixierung von Beginn an als unkritisch einzustufen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei beiden Innendämmsystemen unter den vorliegenden Randbedingungen keine kritischen Feuchtezustände erreicht wurden bzw. die Zeitdauer einzelner Feuchtespitzen sehr kurz war. Im bislang gemessenen Zeitabschnitt zeigt die Konstruktion keine nachhaltige Anfeuchtung. Auch der durch Feuchtigkeitsmessungen ermittelte Schimmelbildungs-Index (mould growth index, MI) kann in beiden ausgeführten Varianten als unkritisch angesehen werden. Nichtsdestotrotz muss in diesem Zusammenhang jedoch beachtet werden, dass bei den vorliegenden Messungen und Ergebnissen ausschließlich Wandfläche untersucht wurden. Es sollten aber auch Wärmebrücken – vor allem der Fußbodenanschluss in der Fensternische und die Außenecke – genauer untersucht werden, um eine umfassende Beurteilung des Dämmsystems bei diesem speziellen Bestandsobjekt abgeben zu können.

Eine andere Randbedingung, die für die Bewertung der vorliegenden Ergebnisse berücksichtigt werden muss, ist das ausgesprochen trockene Innenklima des Demo-Raumes Makart Villa. Mit einer durchschnittlichen Raumluftfeuchte von unter 30% während der kalten Jahreszeit wirkt dieses Klima positiv auf die Ergebnisse der untersuchten Innendämmsysteme aus. Schlussendlich ist auch zu beachten, und der Temperaturverlauf zeigt dies deutlich, dass der Messzeitraum der untersuchten Prototypen keinen typischen, sondern vielmehr einen milden Winter widerspiegelt. Dies muss in den Schlussfolgerungen berücksichtigt werden.

Für eine detaillierte Untersuchung ist aus diesem Grunde eine längere Datenerfassung erforderlich, um verschiedene Temperatur und Feuchteniveaus bei unterschiedlichen Klimarandbedingungen vergleichen zu können. Auch wenn alle gewonnenen Messwerte der relativen Luftfeuchte an allen Messstellen außerhalb des kritischen Bereichs liegen, sollte die Messung über zumindest zwei Winterperioden geführt werden, um mehr Messdaten für eine

fundierte Interpretation erhalten zu können. Die Datenaufzeichnung ist nun auch nach offiziellem Projektende weiterhin installiert um dies zu ermöglichen.

Es ist vorgesehen, durch weitere Nachfolgeprojekte sich des Themas der weiteren Optimierung der entwickelten Varianten anzunehmen. Insbesondere das Thema der Wärmebrücken in Bauteilanschlüssen (Fußbodenanschluss, Fensternische, Außenecke), das generell eine kritische Fragestellung in der Bewertung von Systemlösungen von Innenwanddämmsystemen darstellt und in diesem Projekt nicht weiter behandelt werden konnte, soll im Rahmen von Anschlussprojekten weiter verfolgt werden.

Die Ergebnisse des Projektes sind für Architekten, Bauingenieure und andere im Bauprozess beteiligte Berufsgruppen interessant, die sich mit der thermischen Sanierung von denkmalgeschützten Bauten mit stark ornamentierten und Stuck-verzierten Außenfassaden beschäftigen. Für die heimische Holzindustrie bedeutet der Einsatz von Innenwanddämmsystemen auf Basis von Holzprodukten die Ausweitung des Produktfeldes auf die eben genannte Produktkategorie. Was die noch ausstehenden weiteren Forschungsarbeiten auf diesem Feld angeht, so sind Architekten und Bauingenieure gefordert, die Fertigungstechnologie weiter zu verbessern, Lösungen für die Beseitigung von Wärmebrücken in den Bauteilanschlüssen zu entwickeln und praktisch in Lösungen umzusetzen. Auf dem Gebiet der Bauphysik sind weitergehende Messungen und etwaige notwendige Maßnahme zur Verbesserung der bauphysikalischen Qualität der Systeme zu entwickeln. Die Hersteller von Wärmedämmsystemen sind angehalten, die logistischen und fertigungstechnischen Fragestellungen in einer weiteren Phase anzugehen und mögliche ökonomische Rationalisierungen im Fertigungsprozess und im Materialeinsatz zu prüfen.

6 Ausblick und Empfehlungen

Hinsichtlich einer Weiterbearbeitung des Whiscers™ Systems auf ökologischer Basis steht noch die ökologische Untersuchung über den gesamten Lebenszyklus aus, der bisher rein über die Produktionsphase (A1-A3) abgehandelt wurde. Es besteht weiteres Forschungspotential hinsichtlich Nachnutzung/Recycling des eingesetzten Materials, speziell die Trennung der Einzelschichten des Verbundelements.

Weiterer Forschungsbedarf würde sich in der Entwicklung eines hinterfüllten Systems basierend auf Holzwerkstoffen bzw. Zellulose ergeben, sowie ein spezieller Umgang mit Wärmebrücken wie Fensterlaibungen, evtl. mit Überlegungen von Verglasungen in der Innendämmebene, um Wärmebrücken-Laibungsprobleme zu umgehen.

Die statische Ertüchtigung von Bestandsgebäuden durch die Dämmelemente wäre ein weiterer Punkt einer folgenden Forschungsfrage, welche in diesem Kontext nicht mehr ausgearbeitet werden konnte.

Ein ökologisches Außendämmelement, auf Holzwerkstoffen basierend, ggf. mit Hinterlüftungsebene wäre eine interessante weitere Anwendung und Forschungsfrage, die

sich basierend aus dem Whiscers™ System und ihres Anwendungspotential bei Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen als Dämmmaterial ergeben.

An dieser Stelle sei auch auf die erfolgten Konferenzteilnahmen und erstellten Veröffentlichungen hingewiesen:

Tabelle 4: Konferenzteilnahmen und Veröffentlichungen

Konferenz/Tagung	Titel	Typ	Ort	Datum
SET 2014 HES-SO 13th International Conference on Sustainable Energy Technologies	Developing of an Internal Insulation System made of wood-fibre boards for energy-efficient retrofitting of heritage building in Vienna.	Präsentation	Genf (CH)	25.-28.09. 2014
Brenet Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt 18. Status-Seminar	Konstruktive und ökologische Aspekte bei der Entwicklung eines Innendämm- Verbundelementes für den Altbau	Poster	Zürich (CH)	4.-5.09. 2014
Bauen + Modernisieren 6. Effizienz Tagung	Entwicklung und Monitoring holzfaserbasierter Innendämm- Verbundelemente zur thermischen Sanierung von Altbau	Präsentation	Hannover (DE)	28.-29.11 2014
IBPC 15 6th International Building Physics Conference	Measuring the hygrothermal performance of an interior insulation made of wood fibre boards	Präsentation	Turin (IT)	14.-17.06 2015
Ökosan 15 Internationale Konferenz für Hochwertige Sanierung und Nachverdichtung mit Holzbausystemen	Entwicklung von Innendämm- Verbundelementen basierend auf Holzfaser – in situ Messung hygrothermischer Performance	Präsentation	Graz (AT)	17.-19.06 2015

7 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

Quellenverzeichnis

- [1] D. Kehl, U. Ruisinger, R. Plagge und J. Grunewald, „Holzbalkenköpfe bei innengedämmten Mauerwerk - Ursachen der Holzzerstörung und Beurteilung von Holz zerstörten Pilzen,“ in *Internationaler Innendämmkongress 2013*, TU Dresden, 2013.
- [2] W. Zelger, „PH-Sanierungsbauteilkatalog, Zweite Ausbaustufe, PH-SanPlus,“ Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2012.
- [3] K. R. Hegensberger, „Fünf diffusionsoffene ökologische Innendämmsysteme,“ Technische Universität Graz, Institut für Hochbau, Graz.
- [4] WTA - Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. Referat 8, „WTA Merkblatt E 8-14,“ Fraunhofer, München, 2014.
- [5] WTA - Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., „Innendämmung nach WTA1 - Planungsleitfaden,“ 2009.
- [6] B. Schafaczek und D. Zirkelbach, „Feuchtetechnische Beurteilung von Innendämmsystemen mit Faserdämmstoffen,“ *WKSB - Zeitschrift für Wärme-, Kälte-, Schall und Brandschutz*, Nr. 67, pp. 51-57, 2012.
- [7] O. Paproth, „Dämmkosten im Vergleich, Aufwand und Nutzen,“ Claytec Symposium Innendämmung, Viersen, 2012.
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Ökobaudat,“ [Online]. Available: <http://oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>. [Zugriff am 07 07 2014].
- [9] WTA - Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. Referat 6, „WTA Merkblätter 6.1-6.5,“ München, 2009.
- [10] D. Kehl, R. Plagge und G. J., „Wann geht Holz kaputt - Nachweistechische Beurteilung von Holz zerstörenden Pilzen.,“ in *Forum Altbausanierung 7*, Ostseebad Heringsdorf/Usedom, 2012.
- [11] K. Kreč, „Halbsynthetische Klimadatensätze (HSKD),“ <http://www.krec.at>, Wien, 2014.
- [12] P. Wegerer, „Innendämmung aus Holzwerkstoffen - Auswertung der Messergebnisse,“ Wien, 2014.
- [13] H. Viitanen, „Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure

time,“ Dissertation, Swedish Univ. of Agricultural Science Dept. of Forest Products, Uppsala., 1996.

[14] H. Viitanen, T. Toratti, L. Makkonen, R. Peukhuri, T. Ojanen und L. Ruokolainen, „Towards modelling of decay risk of wooden materials,“ *European Journal of Wood and Wood Products*, 2010.

[15] D. Kehl, „Feuchtetechnische Bemessung von Holzkonstruktionen nach WTA – Hygrothermische Auswertung der anderen Art,“ *Holzbau – die neue quadriga*, 2013.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Untersuchung Wärmebrücken Flankenbereich inkl. ID. ($\theta_i=20^\circ\text{C}$, $\theta_e=-10^\circ\text{C}$), Schimmelgrenzfeuchte, Abb. 2: Temperaturverlauf	23
Abb. 2: Wirksame Wärmespeicherkapazität innen - Bestandswand im Vergleich mit ID-Sanierungsmaßnahmen.	24
Abb. 3: Entwickelte Prototypen	25
Abb. 4: Demonstration Anpassung flexibler Schicht an unebene Bestandswand.....	26
Abb. 5: Variante V2-G mit GF-Falz und Ausfräsung für Stoß-Armierungsband.....	26
Abb. 6: Globales Erwärmungspotential (GWP) versch. Dämmstoffe, (A1-A3).....	26
Abb. 7: Primärenergiebedarf versch. Dämmstoffe für die Produktionsphase (A1-A3).	27
Abb. 8: V2-G: Jahresverlauf Temperatur, relative Feuchte zw. ID und Bestandswand	28
Abb. 9: V2-G: Jahresverlauf Wassergehalt (letzte 5mm) flexible Holzfaserdämmung.....	28
Abb. 10: V1-H, V2-G, V2-P: Jahresverlauf relative Luftfeuchte zw. ID und Bestandswand...	29
Abb. 11: V1-H, V2-G, V2-P: Jahresverlauf Temperatur zw. ID und Bestandswand.....	29
Abb. 12: Ablauf Sanierung in drei Schritten. Vermessung, CNC-Zuschnitt, Anbringung.	31
Abb. 13: Feuchtegehalt des Bestandsmauerwerks in Querschnitt 2.....	31
Abb. 14 Außenfassade Demo-Raum Makart	32
Abb. 15 Zwei Testwände im Souterrain Testraum.	32
Abb. 16 Temperaturverlauf bei Messpunkten S1, S2, im Raum und Außen.....	32
Abb. 17 Verlauf der relativen Feuchte bei Messpunkten S1, S2 und im Raum.	32
Abb. 18 Temperaturverlauf bei Messpunkten S3, S4 und im Raum.	33
Abb. 19 Verlauf der relativen Feuchte bei Messpunkten S3, S4 und im Raum.	33
Abb. 20: Außenfassade Demo-Raum Arbeiterwohnheim	34
Abb. 21: Testwand Demo-Raum Arbeiterwohnheim vor Applikation von V2-L und V2-P.	34
Abb. 22 Temperaturverlauf zw. Bestandswand und ID und im Raum. S25 + S24.....	34
Abb. 23 Verlauf der rel. Luftfeuchte zw. Bestandswand und ID und im Raum. S25 + S24....	34
Abb. 24: Verlauf der rel. Luftfeuchtigkeit zw. Innendämmung und Bestandswand nach Applikation der ID und dazugehöriger Mould Index nach Viitanen Pos. S1, S2.....	35
Abb. 25: Pos. S6	35
Abb. 26: Verrottungsrisiko nach Kehl an den vier Messstellen	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abschätzung der Dicke der Dämmschicht.....	21
Tabelle 2: Primärenergie: Vgl. Produktion - End of Life, flex. Holzfaserdämmung.....	26
Tabelle 3: Umweltindikatoren der Variante V2-G für die Produktionsphase (A1-A3).....	27
Tabelle 4: Konferenzteilnahmen und Veröffentlichungen.....	40