

Modernisierung eines Gründerzeitgebäudes unter Anwendung eines Aerogel-Dämmputzes

M. Kreml,
W. Hüttler,
I. Wall

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

26/2019

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

Impressum

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

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

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Modernisierung eines Gründerzeitgebäudes unter Anwendung eines Aerogel-Dämmputzes

Helga Brun, Dipl.-Ing. Harald Brun, MSc
Immobilien Verwaltung und Vermittlung Brun

DI (FH) Manuel Krempl, Dipl.-Ing. Walter Hüttler
e7 Energie Markt Analyse GmbH

DI Isabella Wall, DI Günther Trimmel
Trimmel Wall Architekten ZTGmbH

Bmst. DI Helmut Schöberl
Schöberl & Pöll GmbH

Wien, August 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	9
Abstract.....	11
1 Einleitung.....	13
1.1 Aufgabenstellung	13
Beschreibung des Vorhabens und der Projektziele.....	13
Beschreibung der Ausgangssituation.....	13
1.2 Stand der Technik.....	16
Thermische Sanierung erhaltungswürdiger Fassaden	16
Aerogel- Hochleistungsdämmputz	16
1.3 Verwendete Methoden.....	18
Anwendung des Aerogel- Hochleistungsdämmputzes	18
Wärmestrommessung Fassade	20
Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring.....	22
2 Ergebnisse	23
2.1 Generalsanierung des Gebäudes	23
Sanierung Allgemein.....	23
Beschreibung der haustechnischen Anlagen	25
2.2 Anwendung Aerogel- Hochleistungsdämmputz.....	28
2.3 Wärmestrommessung Fassade	32
Mess- und Auswertezeitraum.....	32
Fehlerabschätzung und Fehlerkorrektur	32
Zusammenfassung der Messergebnisse:.....	34
2.4 Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring.....	37
Darstellung der Ergebnisse.....	41
2.5 Betriebsführung	42
3 Schlussfolgerungen	43
4 Ausblick und Empfehlungen	44
5 Verzeichnisse	46
5.1 Abbildungsverzeichnis	46
5.2 Literaturverzeichnis.....	47

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Die Sanierung von Gebäuden mit historischer Bausubstanz erfordert innovative Konzepte, um sowohl den gestalterischen Anforderungen, als auch einer technisch- wirtschaftlichen Betrachtung zu entsprechen. Der Aerogel- Hochleistungsdämmputzsystem stellt eine neue Alternative für den Anwendungsbereich der Altbausanierung mit erhaltenswürdigen Fassaden zur Verfügung.

Inhalte und Zielsetzungen

Die Demonstration fand im Zuge des Neuaufbaus und Revitalisierung eines, in Folge einer Gasexplosion schwer beschädigten, vor 1872 errichteten Gebäudes statt. Damit wurde exemplarisch gezeigt, wie die Anpassung von gewachsenen städtischen Strukturen an die Anforderung eines modernen energieeffizienten Gebäudebestands gelingen kann. Oberstes Ziel war die Erprobung neuer Technologien in der Sanierung. Dabei sollte zum einen die technische Machbarkeit und Praxistauglichkeit solcher Sanierungslösungen demonstriert werden, zum anderen eine hohe Sichtbarkeit und Multiplikationswirkung transportiert werden. Weiteres Projektziel war die messtechnische Begleitung des Sanierungsvorhabens, um einerseits den Effekt des Putzes festzustellen und andererseits die Gesamtsanierung zu evaluieren.

Methodische Vorgehensweise

Die Anwendung des Aerogelputzes auf dem bestehenden Mauerwerk erfolgte erstmalig auf einer gegliederten Fassade und in engem Zusammenspiel von Architekten, Putzhersteller und ausführendem Unternehmen. Im Projekt wurde eine Schichtstärke von rund 5,5 cm auf ca. 205 m² Fassadenfläche umgesetzt. Dazu mussten zunächst der Altputz abgeschlagen und die Vorspritzarbeiten durchgeführt werden, bevor der Aerogelputz maschinell und in einem Arbeitsgang aufgebracht wurde. Nach Fertigstellung der Zugteile, Gesimse etc. (ebenfalls mit Aerogelputz) erfolgte die Beschichtung.

Im Bestand sowie nach Abschluss der Sanierungsarbeiten wurde an mehreren Stellen eine Wärmestrommessung durchgeführt und der resultierende U-Wert berechnet. Zudem wurde das Gebäude mit einem Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring ausgestattet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Sichtbares Ergebnis ist die erfolgreiche Sanierung eines historischen Gebäudes bei der es gelungen ist, das äußere Erscheinungsbild so herzustellen, dass kein Unterschied zwischen Altbau und Wiederaufbau vorhanden ist. Gleichzeitig konnten die hohen Ansprüche eines energieeffizienten Gebäudes erfüllt werden, wenngleich der messtechnisch bestimmte Wärmedurchgangskoeffizient den rechnerischen Werten nicht zur Gänze entspricht. Die ergänzende Evaluierung mittels Langzeitmonitorings erfolgt in einem separaten Bericht nach ein, bzw. zwei Betriebsjahren.

Ausblick

Der Aerogelputz stellt eine, am Markt verfügbare und in Projekten erprobte Möglichkeit dar, um den Spagat zwischen Erhaltung des äußeren Erscheinungsbildes und gleichzeitiger Erfüllung von Energieeffizienzstandard zu schaffen und sich folglich insbesondere bei der Sanierung von historischen Gebäuden eignet. Als vergleichsweise neue Technologie ist es umso entscheidender, die im Projekt demonstrierte Praxistauglichkeit in den Markt zu transportieren. Im Gegenständigen Projekt konnten die hohen bautechnischen und gestalterischen Anforderungen voll erfüllt werden, allerdings wurde die erwartete wärmetechnische Performance nicht erreicht.

Abstract

Starting point/Motivation

The renovation of buildings with historic structure requires innovative concepts to meet both the design requirements and a technical-economic consideration. The Aerogel high-performance insulation plaster provides a new alternative for the field of historic building renovation which have façade worth preserving.

Contents and Objectives

The demonstration took place in the course of the reconstruction and revitalization of a building constructed before 1872, which was severely damaged due to a gas explosion. It is exemplary for how the adaptation of evolved urban structures can meet the requirements of a modern, energy-efficient building stock. Prime objective was the testing of new technologies in renovation. On the one hand, the technical feasibility and practicability of such renovation solutions should be demonstrated, on the other hand a high visibility and multiplication effect should be transported. Further objective was the metrological monitoring of the renovation project in order to determine the effect of the plaster and to evaluate the overall renovation.

Methods

The application of the aerogel plaster on the existing masonry took place for the first time on a structured façade and in close cooperation of architects, plaster manufacturers and executing companies. In the project, a layer thickness of about 5.5 cm was realized at a facade area of approximately 205 m². As the first steps, the old plaster had to be knocked off and the existing brickwork prepared before the aerogel plaster was applied by machine and in one processing step. After completion of the tensile parts, cornices, etc. (also with aerogel plaster), the coating was carried out.

In the inventory as well as after completion of the renovation work, a heat flow measurement was carried out at several test points and the resulting U-value was calculated in-situ. In addition, the building was equipped with energy consumption and comfort monitoring.

Results

The visible result is the successful renovation of a historic building for which it was managed to restore the external appearance and to achieve a visually unrecognizable transition between old building and the reconstruction. At the same time, the high standards of an energy-efficient building stock could be fulfilled. However, the measured heat transfer coefficient does not fully correspond to the arithmetical requirements / specifications.

The additional evaluation of the long-term monitoring project takes place in a separate report after one, respectively two years of operation.

Prospects / Suggestions for future research

The Aerogel plaster represents a market-ready and tested alternative to meet high energy efficiency standards and to preserve external appearance of historical facades. As a comparatively new technology, it is all the more crucial to transport the practicality demonstrated in the project into the market. The project was able to fully meet the high constructional and design requirements. However, the expected thermal performance was not achieved.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Beschreibung des Vorhabens und der Projektziele

Im Demonstrationsvorhaben wurde am Beispiel der Sanierung eines Gebäudes aus der Gründerzeit die Anwendung des Aerogel- Hochleistungsämmputzes umgesetzt. Damit wurde exemplarisch gezeigt, wie die Anpassung von gewachsenen städtischen Strukturen an die Anforderung eines modernen energieeffizienten Gebäudebestands gelingen kann. Das Gebäude ist somit musterhaft für den großen Bestand gründerzeitlicher Gebäude mit erhaltungswürdigen Fassade.

Oberstes Ziel war die Erprobung neuer Technologien in der Sanierung. Dabei sollte zum einen die technische Machbarkeit und Praxistauglichkeit innovativer Sanierungslösungen demonstriert werden, zum anderen eine hohe Sichtbarkeit und Multiplikationswirkung transportiert werden. Weiteres Projektziel ist die messtechnische Begleitung des Sanierungsvorhabens, um einerseits den Effekt des Putzes festzustellen und andererseits die Gesamtsanierung zu evaluieren.

Beschreibung der Ausgangssituation

Das zu sanierende Demonstrationsobjekt wurde vor 1872 errichtet (Zubauten aus dem Jahr 1891 sind dokumentiert) und befindet sich im 15. Wiener Gemeindebezirk an der Ecke äußere Mariahilfer Straße und Denglgasse. Es grenzt im Süden an das Blocksanierungsgebiet Reindorf Nord, welches in den kommenden Jahren im Zuge einer sanften Stadterneuerung durchgreifend revitalisiert werden soll. Das Gebäude selbst liegt zwar außerhalb einer regionalen Schutzzone, grenzt aber im Süden unmittelbar an eine Schutzzone, die sich entlang der äußeren Mariahilfer Straße von der Dadlergasse im Westen bis hin zur Geibelgasse im Osten spannt.



Abbildung 1 Gebäudezustand im Sommer 2015 (oben: Ansicht Mariahilfer Straße, unten Ansicht Denglergasse)
Quelle Trimmel Wall Architekten

Das Gebäude wurde im April 2014 in Folge einer Gasexplosion in einer Wohnung im, an die Mariahilfer Straße angrenzenden Trakt, im 2. und 3. Obergeschoß schwer beschädigt und behördlich evakuiert. Insbesondere aufgrund dieser Ausgangssituation waren die Architekten mit besonderen Herausforderungen im Projekt konfrontiert.

- Baurechtlich: der Wiederaufbau erfolgte dem Konsens (baurechtlich bewilligter Bestand) entsprechend, entgegen den geltenden Bebauungsbestimmungen, sowie bezüglich der Gestaltung der Dachgaupen
- Förderrechtlich: da der ursprüngliche Bestand an Kategorie D -Wohnungen teilweise abhandengekommen ist
- Bautechnisch betreffend Statik:
 - Fundamentsicherung mit 206 10 m-tiefen Betonpfählen
 - Gebäudeaussteifung mit Stahlbeton- Kern und Stahlbeton-Scheiben
 - Garageneinbau
 - Deckenverstärkungen
 - Stahlrahmeneinbau für Erdbebensicherheit und zeitgemäße Grundrisse
- Bautechnisch betreffend die Wiederherstellung der Bestandsfassade:
 - Fassadengliederungen
 - Fassadenanschlüsse z.B. bei Gesimse
 - Unterschiedliche Mauerstärken von Bestand und Neubau
 - Konzept Wärmedämmung: neues Mauerwerk mit Hanfdämmung, Bestands-Mauerwerk mit Aerogel-Hochleistungsdämmputz
- Gestalterisch betreffend der Wiederherstellung der Altbaufassade sowie der Erhaltung des Altbau- Charakters und gleichzeitiger Neugestaltung, bzw. Modernisierung und Umsetzung von innovativen Maßnahmen. Das Spannungsfeld Altbau und Modernisierung betrifft insbesondere:
 - Neues, zeitgemäßes Stiegenhaus unter Beibehaltung der bestehenden Gebäudeöffnungen und Geschoßhöhen
 - Neue Loggien den bestehenden Balkonen im Innenhof gegenübergesetzt
 - Neues Atrium zur Belichtung des Hauseingangsbereiches im Anschluss an den alten Torbogen des ehemaligen Hoftores
 - Neue Fenster mit deutlich verbessertem Schall- und Wärmeschutz und Beschattungselemente an den Straßenfassaden mit rekonstruiertem Fassadenbild unter Beibehaltung der alten Fassadenöffnungen und Fassadengliederungen
 - Neuerrichtung von Aufzug, Gründächer, DG-Ausbau, Garage

1.2 Stand der Technik

Thermische Sanierung erhaltungswürdiger Fassaden

Laut Statistik Austria befinden sich allein in Wien insgesamt knapp 35.000 Gebäude, die vor 1919 errichtet wurden. Etwa die Hälfte dieses Gebäudebestands ist durch erhaltenswürdige, gegliederte Fassaden gekennzeichnet. Um städtebauliche Ensembles vor Abbruch oder Überformung zu bewahren gibt es unterschiedliche Schutzmechanismen, um diese im Sinne des örtlichen Stadtbildes zu erhalten¹.

Im Falle einer Sanierung dieser Gebäude stellt sich die Herausforderung an innovative Konzepte, sowohl den gestalterischen Anforderungen, als auch einer technisch-wirtschaftlichen Betrachtung zu entsprechen. Im Rahmen des Haus der Zukunft plus Leitprojekts „Gründerzeit mit Zukunft“ wurden innovative technische und organisatorische Lösungen für die ganzheitliche Modernisierung von Gründerzeitgebäuden entwickelt und umgesetzt. Die Wärmedämmung auf der Innenseite wurde beispielsweise am denkmalgeschützten Demonstrationsgebäude in der Kaiserstraße 7 gezeigt. Vielfach ist diese aus technischen oder organisatorischen Gründen nicht möglich oder gewünscht und bringt zudem systembedingte Nachteile gegenüber einer außen ausgeführten Dämmung mit sich [siehe Schöberl, 2011].

Aerogel- Hochleistungsdämmputz

Um dennoch das hohe Effizienzpotential der Wärmedämmung zu nutzen, steht mit dem Aerogel-Hochleistungsdämmputzsystem eine neue Alternative für den Anwendungsbereich der energietechnischen Sanierung von Altbauten mit historischer Bausubstanz zur Verfügung. Der Dämmputz ist mineralisch und diffusionsoffen und somit für die Außenanwendung geeignet. Aerogele sind Festkörper aus amorphem Siliciumdioxid, hochporös mit einem Luftanteil von über 90 Volums-Prozent. Die luftgefüllten Poren sind dabei nur einige Nanometer groß, wodurch der Widerstand für die Übertragung von Wärme (Energie) sehr hoch ist. Das Anwendungsgebiet umfasst neben den Dämmputzen die Verwendung als Granulat (Hohlräume) oder in Form von Vliesplatten, [AGITEC]². Erste Umsetzungserfahrungen wurden sowohl bei der Innenwand-Sanierung, als auch auf Außenwänden gemacht.

¹ Denkmalschutz / Schutzzonen / Regelungen außerhalb Schutzzonen z.B. § 85 WBO Auch außerhalb der Schutzzone ... jedoch kann eine weniger strenge Auslegung praktiziert werden, sodass auch bei gegliederten Fassadenelementen unter Umständen eine originale Nachbildung der Ornamente nach Aufbringung einer Wärmedämmung durchgeführt werden kann. Siehe auch [HÜTTLER, 2010]

² Quelle: <http://www.agitec.ch/page/aerogel/index.php>

Technische Daten:

Im gegenständlichen Sanierungsprojekt wurde das RÖFIX Aerogel-Dämmputzsystem FIXIT 222 verwendet. Die vorgesehene Schichtdicke im Projekt wurde mit 5,5 cm geplant. Lt. Produktdatenblatt weist es folgende bauphysikalischen Eigenschaften auf:

- Trockenrohddichte: ca. 220 kg/m³
- Wasserdampfdiffusion: 4 – 5
- Wärmeleitfähigkeit: ca. 0,028 W/mK
- Spezifische Wärmekapazität: 1 kJ/kgK
- Max. Auftragsdicke 150 mm

Forschungsprojekte

Im Forschungsprojekts AlGeFa (HdZ, 4. Ausschreibung, FFG Projektnummer 840605) wurden oberflächenstrukturierbare Deckputzsysteme für die Anwendung mit Aerogel-Hochleistungswärmedämmputzen entwickelt. Das Projekt zielt auf Komplettsysteme für unterschiedliche gebäudetechnische oder architektonische Anforderungen ab, [Stahl, 2014].

Im Rahmen des Projekts wurde u.a. die Performance unterschiedlicher Kombinationen aus Aerogel- Hochleistungsdämmputz und Deckputzsystemen evaluiert. Der Fokus lag dabei auf der Evaluierung von Feuchte- und Temperaturverhalten der unterschiedlichen Aufbauten. Ergänzend wurden ausgewählte Testflächen hinsichtlich ihrer Wärmedämmeigenschaften und dem Rissbildungsverhalten untersucht. Die Ergebnisse wurden u.a. im Bauphysikkalender 2017 publiziert [BPH, 2017].

Als Bestandsmauerwerk diente ein Mauerwerk aus den 1950er Jahren bestehend aus 250 mm Hohlblockziegel sowie 15 mm Gipsputz auf der Innenseite und 20 mm Kalkzementputz auf der Außenseite. Darauf wurde eine 40 mm dicke Aerogelputzschicht sowie unterschiedliche Deckputzsysteme aufgebracht, wobei der untersuchte Aufbau A4 dem, im vorliegenden Demonstrationsvorhaben verwendeten in etwa entspricht. Im Aufbau wurde die Messinfrastruktur zur Evaluierung von Temperatur und Feuchte in den Bauteilschichten implementiert.

Die Analyse der Wärmedämmeigenschaften erfolgte basierend auf der ISO 9869, wobei der, über die Messwerte ermittelte mittlere Wärmedurchgangskoeffizient von 0,45 W/m²K gut mit der leitwertbasierten eindimensionalen Berechnung (0,44 W/m²K) übereinstimmt. Der Berechnungswert für die unsanierte Bestandswand liegt bei 1,12 W/m²K. Die Abbildung unten zeigt das Langzeitverhalten des Wärmedurchgangskoeffizienten, basierend auf den Messdaten. Der zeitliche Verlauf des Wärmedurchlasskoeffizienten (Abbildung 2) zeigt, dass sich nach rund 2 Monaten ein relativ konstanter Wert einstellt.

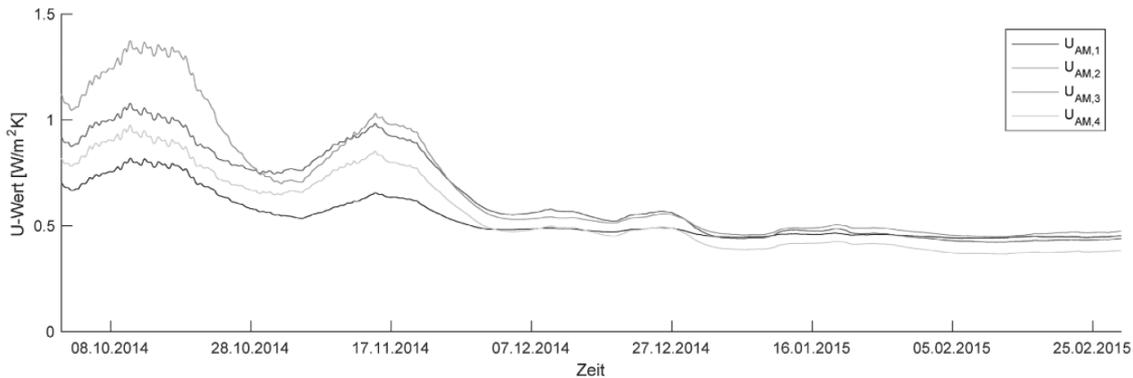


Abbildung 2 Verlauf des Wärmedurchlasskoeffizienten der 4 südseitigen Testfelder im Winter 2014 / 2015
Quelle: [BPH 2017]

1.3 Verwendete Methoden

Anwendung des Aerogel- Hochleistungsdämmputzes

Im Zuge der Ausführung wurde der Aerogelputz auf dem bestehenden Mauerwerk mit einer Schichtstärke von 5,5 – 6 cm auf einer Fläche von rund 205 m² angewendet und somit zum ersten Mal auf einer gegliederten Fassade umgesetzt. Die relevanten bauseitigen Tätigkeiten waren wie folgt:

- Die Ausschreibung der Bauleistung erfolgte am 07/01/2016.
- Im September 2016 wurden detaillierte Fassadenaufnahmen durch einen Restaurator sowie die verantwortlichen Architekten Trimmel und Wall³ durchgeführt.
- Die detaillierten Ausführungsbesprechungen erfolgten im Februar und Mai 2017 gemeinsam mit dem Putzhersteller (Firma Röfix). Konkret wurde der Aufbau des Aerogelputzes (Schichtstärke, Deckputz) auf der gesamten Fläche (Nullfläche) von über 200 m² (in der Denglergasse), die Fassadengliederungen sowie der Zeitplan geklärt. Weiters wurde die Verarbeitung und die daraus resultierenden Trocknungszeiten des Hochleistungsdämmputzes in Abstimmung mit der ausführenden Baufirma fixiert.
- In einem ersten Arbeitsschritt wurde der bestehende Altputz in der Denglergasse abgeschlagen und sämtliche Kordon- und Zwischengesimse wandflächig abgestemmt, um einen den Vorgaben entsprechenden Untergrund des für den neuen Putz zu erhalten.
- Anschließend wurden die Vorspritzarbeiten (100% deckend) durchgeführt. Nach einer Trocknung von 3 Tagen wurde mit dem Aufbringen des Aerogelputzes begonnen. Die vorgesehene Schichtstärke von 55 mm wurde in einem Arbeitsgang maschinell mit einer Putzmaschine aufgebracht.
- Die Oberfläche wurde dabei mit Holzlatten plan abgezogen, um eine homogene Oberfläche zu erhalten. In den darauffolgenden Tagen musste der Aerogelputz

³ Projektpartner Trimmel Wall Architekten ZT GmbH

täglich mehrmals genässt werden um Schwindrisse aufgrund einer zu raschen Austrocknung zu vermeiden. Als Trocknungszeit wurde mit einer Dauer von 3 Tagen je cm Schichtstärke gerechnet.

- Nach abgeschlossener Trocknungszeit konnte der weitere Putzaufbau ausgeführt werden. Zuerst wurde die Oberfläche des Aerogelputzes mit einem Rabbot aufgeraut, um einen entsprechenden Verbund zu erhalten. Die gesamte Fläche des Aerogelputzes wurde danach mit einem Haftvermittler eingelassen. Unmittelbar danach wurde mit dem Auftragen der Spachtelung begonnen. Nach dem Abwarten einer 1-wöchigen Trocknungszeit konnte mit der Herstellung der Zugteile, wie Fensterfaschen und Gesimsen, begonnen werden.
- Hierzu wurde auf die ausgetrocknete Spachtelung ein erneuter Haftgrund aufgebracht und anschließend die Zugteile mit dem Aerogelputz aufgezo-gen. Zur besseren Verarbeitbarkeit wurden dem Aerogelputz 10% Röfix AP 350 zum Anmachwasser beigemischt, wodurch der Putz erhöhte Steifigkeit bekam. Um eine feinere Oberflächenstruktur zu erhalten, wurden sämtliche Fensterleibungen mit einem zusätzlichen Füllputz versehen.
- Nach Beendigung der Trocknungszeit der Zugteile wurden sämtliche horizontalen Fassadenflächen (Fensterparapete, Gesimseoberseiten), vor den Spenglerverblechungen, mit einer Dichtschlemme versehen, um ein Eindringen von Feuchtigkeit in die Fassade dauerhaft zu verhindern. Als letzten Arbeitsschritt wurde die Fassade 2-malig mit der Fassadenfarbe Röfix PE 419 ETICS beschichtet.



Abbildung 3 Links: Aufbringung des Dämmputzes
Rechts: Holzrahmen als Indikator für die Putzdicke,
Quelle Trimmel Wall Architekten

Der Zeitplan der Umsetzung war wie folgt:

- Abschlagen des Bestandsputzes: Ende April 2017
- Aufbringen des Vorspritzers: Ende Mai 2017
- Verputzarbeiten Aerogelputz (Nullfläche): Juni-Juli 2017
- Ziehen der Zugteile und Aufbringen der Zierglieder: Juli – September 2017
- Fassadenverblechung und Beschichtung: Oktober 2017

Wärmestrommessung Fassade

Zur Erbringung des Nachweises des tatsächlichen Effekts des Hochleistungs-Dämmputzes auf den Wärmedurchgangskoeffizienten wurde an mehreren Stellen im Gebäude eine dynamische Messung des Wärmestroms durchgeführt. Ziel der Messungen war der Vorher-Nachher-Vergleich des Wärmedurchlasswiderstands der Außenwand, bzw. eine Analyse des U-Werts. Dazu wurden jeweils der Bestandsaufbau (Mauerwerk inkl. vorhandenen Außenputz) sowie die fertig sanierte Fassade (Mauerwerk und Innenputz inkl. Aerogel-Dämmputz) an insgesamt 8 Messstellen gemessen. Die Positionierung der Messeinrichtung erfolgte im ersten sowie im dritten Obergeschoß (Messung der sanierten Wand); bzw. im ersten und zweiten Obergeschoß (Bestandswand). Aufgrund des Bauablaufs konnten die Vorher/Nachher-Messungen im oberen Stockwerk nicht am selben Pfeiler durchgeführt werden.

Die Messungen und deren Auswertung erfolgten in Anlehnung an ISO 9869-1:2014. Dazu wurden an den gewählten Mauerwerkspfeilern jeweils zwei Wärmestrommessfolien appliziert, sowie je Messstelle zwei Thermoelemente an der Innenoberfläche und insgesamt zwei Thermoelemente an der Außenoberfläche montiert. Aus dem Zusammenhang von Wärmestromdichte und Temperaturdifferenz zwischen innen und außen konnte der Wärmedurchlasswiderstand berechnet gemäß Formel (1) werden.

$$q = -\lambda \cdot \frac{T_{eo} - T_{io}}{d} = -\frac{1}{R_t} \cdot (T_{eo} - T_{io})$$

Formel 1

Durch Umformen des Zusammenhanges und Hinzufügen der Übergangswiderstände Innen und Außen ergeben sich punktuelle, zeitlich begrenzte Werte für einen dynamischen Wärmedurchgangskoeffizienten. So wurde unter Berücksichtigung der Übergangswiderstände gemäß EN ISO 6946 ($R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$) für jeden Messzeitpunkt ein lokaler temporärer U-Wert berechnet

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_t + R_{se}}$$

Formel 2

Durch die Langzeit-Mittelwertbildung ergibt sich der mittlere stationäre U-Wert für die jeweilige gemessene Konstruktion. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient wurde durch Aufsummierung über mehrere Wochen ermittelt.

Die Messung des Bestands wurde im Zeitraum von Dezember 2016 – März 2017 durchgeführt. Voraussetzung für eine erfolgreiche Messung ist ein möglichst großer Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenoberfläche, um einen möglichst großen Wärmestrom zu generieren. Da zum Zeitpunkt der Bestandsmessung keine Fenster eingebaut waren (siehe Abbildung unten) und folglich der Innenraum nicht beheizt werden konnte, wurde um die Messstelle eine beheizbare Box errichtet (Holzständerkonstruktion und OSB-Platten).

Die Messung der fertig sanierten Wand erfolgte im Zeitraum von Dezember 2017 bis Februar 2018⁴.



Abbildung 4 Messung im Bestand: Einhausung zur Herstellung konstanter Innenraumtemperaturen, Quelle: Trimmel Wall Architekten

⁴ Die genauen Montage und Messzeiträume sind im angehängten Messbericht ersichtlich



Abbildung 5 Aufbau der Messung der fertig sanierten Fassade, Quelle e7

Links: Fühler außen; Rechts: Messplatten und Fühler auf der Innenseite

Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring

Das Objekt wurde mit einem Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring ausgestattet. Das Messprogramm umfasst die kontinuierliche Erfassung von Verbrauchszählern als 15-Minuten-Werte sowie von momentanen Istwerten (T, H, CO₂). Ergänzend erfolgt die regelmäßige Ablesung von Abrechnungszählern. Da der Bezug des Gebäudes erst unmittelbar vor Ende der Projektlaufzeit erfolgt ist, werden die Ergebnisse des Monitorings in einem separaten Bericht veröffentlicht. Folgende Auswertungen sind u.a. vorgesehen:

- **Energiebilanz Wärme:**
 - Kontinuierliche Erfassung der erzeugten Wärmemenge (Solaranlage und Gaskessel) sowie des Verbrauchs (Fußbodenheizung, Lüftungsanlage, Warmwasserbereitung)
 - Regelmäßige Ablesung des Gasverbrauchs
- **Energiebilanz Strom:**
 - Kontinuierliche Erfassung von Hilfsenergien für haustechnische Anlagen (Lüftungsanlage, Hilfsstrom Wärmeversorgung)
 - Regelmäßige Ablesung von Allgemeinstrom (Allgemeinstrom, Liftstrom, Garage, Lager) und Haushaltsstrom (gesamt)

- **Wasserverbrauch:**
 - Regelmäßige Ablesung des Kaltwassererbrauchs gesamt (Abrechnungszähler KW) sowie des Kaltwasserverbrauchs zur Warmwasserbereitung (eigener Subzähler)
- **Komfortmonitoring:**
 - Kontinuierliche Erfassung von Raumlufttemperatur, relativer Raumluftfeuchtigkeit und CO₂- Gehalt in 4 Wohneinheiten (7 Räumen)
- **Außenklima:**
 - Kontinuierliche Erfassung der lokalen Außentemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit
- **Wärmestrommessung:**
 - Zeitbegrenzte Messung mittels Wärmestromplatte an insgesamt 8 Messtellen, jeweils im Bestand sowie der fertig sanierten Außenwand

Beschreibung EVM- System

Die Daten aus den installierten Zählern und Sensoren werden zentral im Elektro-Zählerraum im Erdgeschoß zusammengefasst. Als Datenkonzentrator wurde das System BLUAUL der EUDT Energie- u. Umweltdaten Treuhand GmbH gewählt. Von diesem werden sämtliche Daten als 15-minütige Verbrauchs- bzw. momentane Ist-Werte an eine Online-Plattform übermittelt, wo diese in Echtzeit ausgewertet werden können. Damit wird die regelmäßige Kontrolle der Daten, bzw. der Datenqualität ermöglicht. Hintergrund ist die Vermeidung größerer Datenlücken durch schnelle Erkennung von fehlenden oder unplausiblen Werten. Die Datenübertragung erfolgt mittels 4G- Router.

2 Ergebnisse

2.1 Generalsanierung des Gebäudes

Sanierung Allgemein

Die Generalsanierung des Gebäudes erfolgte im Rahmen des Wiederaufbaus der Bauteile und Fassaden im Trakt an der Mariahilfer Straße und wurde im März 2018 abgeschlossen. Die Übergabe an die neuen BewohnerInnen startete bereits Ende Dezember 2017. Insgesamt stehen im Gebäude nach der Sanierung 29 Wohneinheiten zur Verfügung. Davon entfallen 9 Wohnungen und rund 760 m² Wohnnutzfläche auf das neu ausgebaute zweigeschoßige Dachgeschoß. In der Erdgeschoßzone wurden rund 270 m² gewerblich genutzte Lokalfächen sowie eine Garage mit 7 Pflicht-Stellplätzen umgesetzt, wobei der Innenhof im Erdgeschoß überbaut wurde. Durch die Hofüberbauung im Erdgeschoß erhalten die Wohnungen im 1. Obergeschoß im Innenhof eine Grünfläche. Insgesamt erhielten 13 Wohneinheiten eine ihnen zugeordnete Freifläche (Balkon/Terrasse/Loggia). Ein Aufzug wurde innenhofseitig umgesetzt, wodurch alle Wohnungen barrierefrei zu erreichen sind. Die Liegenschaft wurde durch die konzipierten Maßnahmen wie Hofüberbauung mit Gründach,

Garagennutzung, Aufzugs- und Stiegenhauszubau im Innenhof, begrünten Freiflächen in allen Geschossen, aufgewertet. Im Rahmen der Neuorganisation der Wohnungsgrößen und Grundrisse erfolgte eine Anpassung an den Stand der Technik.

Die wieder aufgebauten Außenwände sowie die zum Innenhof orientieren Fassaden wurden mittels Hanf-Dämmung gedämmt, die gegliederten Bestandswände wurden mittels Aerogel-Hochleistungsdämmputz wärmetechnisch optimiert. Der sanierte Bestand erreicht somit einen standortbezogenen, rechnerischen Heizwärmebedarf von knapp unter 25 kWh/m²a. Der Dachgeschoßausbau wurde in Passivhausbauweise umgesetzt.

Die Wärmeversorgung erfolgt nun zentral mittels Gaskessel und Solarthermischer Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung. Die Wärmeübergabe erfolgt über eine Fußbodenheizung. Des Weiteren wurde eine Komfortlüftungsanlage zur kontrollierten Be- und Entlüftung der Wohneinheiten umgesetzt.

Fakten zum Projekt

Baubeginn: Juni 2016

Fundamentsicherung: Herbst 2015

Fertigstellung: März 2018

Gesamtbaukosten: 7,0 Mio. Euro

Förderung MA50: 4,4 Mio. Euro





Abbildung 6 a-d, Impressionen zum Sanierungsvorhaben Mariahilfer Straße 182, Quelle Trimmel Wall Architekten

Beschreibung der haustechnischen Anlagen

Beschreibung Wärmeanlage:

Die gesamte Wärmemenge wird über einen Gas-Brennwertkessel⁵ mit einer Nennleistung von 150 kW sowie einer solarthermischen Anlage (30 m²) bereitgestellt, wobei letztere ausschließlich zur Warmwasserbereitstellung vorgesehen ist. Der Gaskessel versorgt die Regelkreise Fußbodenheizung (Nennleistungsbedarf 70 kW), Lüftungsanlage (Nennleistungsbedarf 10 kW), sowie die beiden 922 Liter Pufferspeicher zur Warmwasserbereitung⁶.

⁵ Hoval Ultra Gas 150: Nennwärmeleistung bei 40/30: 150 kW

⁶ je 144 Watt Verlustleistung (lt. Typenschild)



Abbildung 7 Links: Gaskessel, Rechts: Pufferspeicher; Quelle: e7

Beschreibung Lüftungsanlage

Die kontrollierte Be- und Entlüftung der Wohneinheiten erfolgt über ein zentrales Kompaktlüftungsgerät der Baureihe Systemair TOPVEX SC08 HW. Die Luftmengenregelung in den Wohneinheiten erfolgt mittels Volumenstromreglern.





Abbildung 8 Lüftungsanlage, Quelle: e7

Das Gerät ist mit einer rekuperativen Wärmerückgewinnungseinheit⁷ mit Bypass ausgestattet. Der Auslegungs-Volumenstrom beträgt rund 3.000 m³/h, die spezifische Ventilatorleistung ist lt. Typenblatt mit 0,456 Wh/m³ bei Nennvolumenstrom angegeben.

Beschreibung Solarthermische Anlage

Die Warmwasserbereitung wird durch eine solarthermische Anlage mit einer Aperturfläche von rund 30 m² unterstützt, die sich auf dem Dach befindet (siehe Abbildung 9).

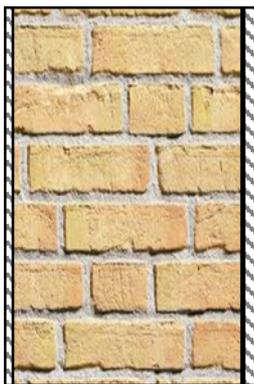
⁷ Rückwärmezahl lt. Typenblatt von 80,4 %.



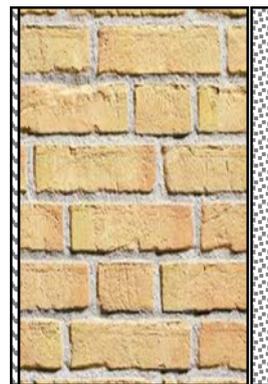
Abbildung 9 Dachdraufsicht und Solarthermische Anlage, Quelle: Trimmel Wall Architekten

2.2 Anwendung Aerogel- Hochleistungs-dämmputz

Der Aerogelputz wurde wie oben beschrieben auf einer Fassadenfläche von rund 205 m² (Westseitig orientiert) angewendet. Die maschinell aufgetragene Putzdicke beträgt ca. 5,5 cm.



Innenputz	1,5 cm
Mauerwerk	45 cm / 62 cm
Außenputz	2 cm



Innenputz	1,5 cm
Mauerwerk	45 cm / 62 cm
Aerogelputz	5,5 cm

Die folgenden Bilder zeigen die Anwendung des Aerogelputzes auf der gegliederten Bestandsfassade:





Abbildung 10 a-k: Impressionen von den Sanierungsarbeiten, Quelle: Trimmel Wall Architekten

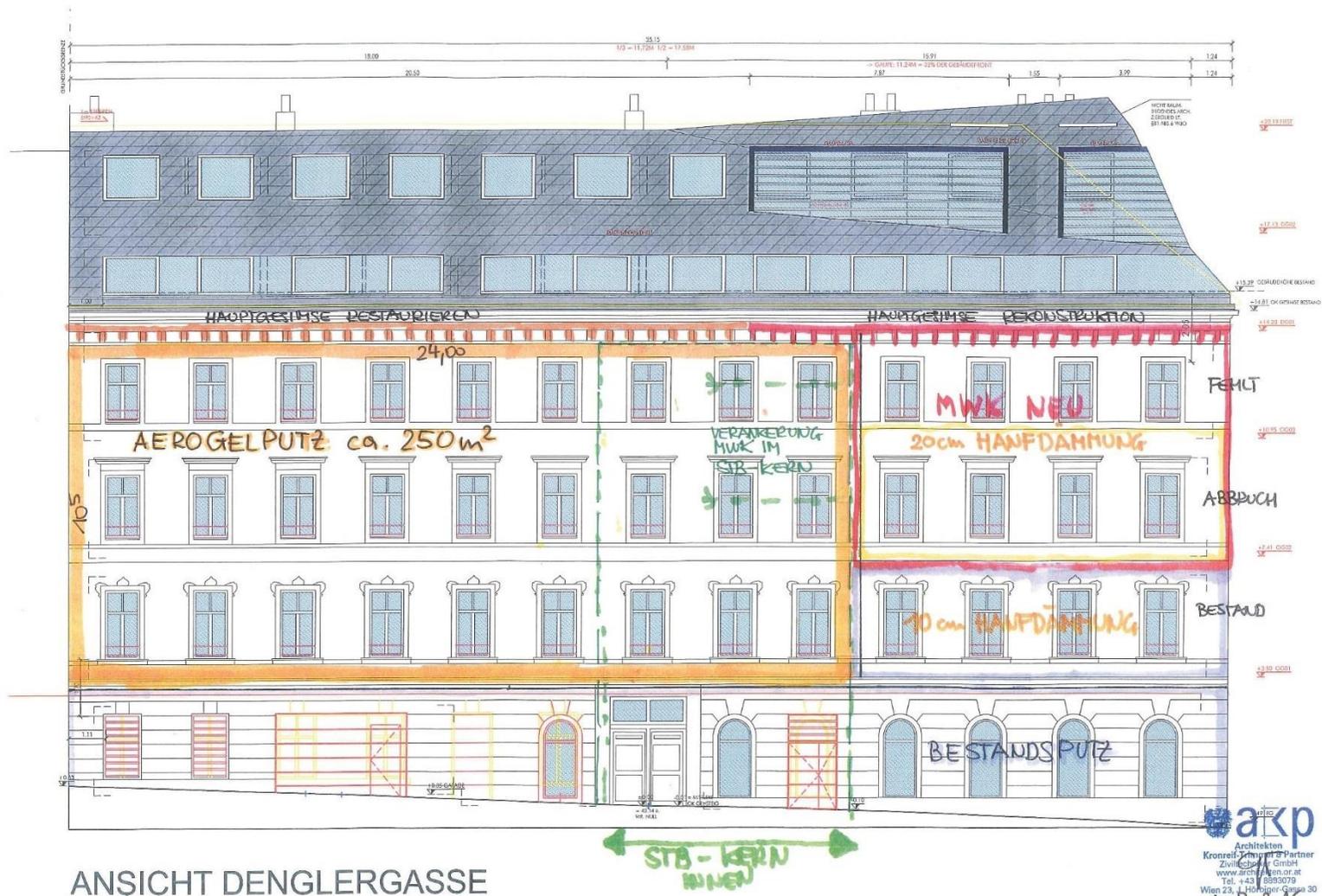


Abbildung 11 Überblick über die Fassadenfläche zur Denglergasse, Quelle Trimmel Wall Architekten

2.3 Wärmestrommessung Fassade

Die im Bericht dargestellten Ergebnisse wurden dem Endbericht „In-Situ Wärmestrommessung Mariahilfer Straße 182“, erstellt durch die Technische Universität Wien, Institut für Hochbau und Technologie, entnommen, die als Subauftragnehmer in das Projekt eingebunden war (siehe Anhang).

Mess- und Auswertezeitraum

Wärmestrommessung Bestandsfassade

Die Messungen an der Bestandswand wurden im 1. und 2. Obergeschoß durchgeführt. Der Messzeitraum je Messort erstreckt sich jeweils über mehrere Wochen. Für die Auswertung wurde ein geeigneter Zeitraum mit möglichst stationären Bedingungen herangezogen.

	Messzeitraum	Auswertezeitraum
1. Obergeschoß	07.12. – 23.12.2016	15.12. – 22.12.2016
2. Obergeschoß	18.01. – 02.03.2017	11.02. – 02.03.2017

Bei den Bestandsmessungen wurde jeweils die Anfangsphase nicht mitberücksichtigt, um der Aufheizphase und den damit verbundenen instationäre Wärmestrom Rechnung zu tragen. Der resultierende U-Wert wurde wie folgt ermittelt:

Wärmestrommessung Sanierte Fassade

Der Messzeitraum umfasst wie angegeben mehrere Wochen, wobei zur Auswertung wiederum nur ein ausgewählter Zeitraum betrachtet wurde. Die Messungen nach der Fertigstellung der Aerogelputzfassade wurden teilweise im bewohnten Zustand durchgeführt (die Übergabe der Wohnungen erfolgte Ende Dezember 2017).

	Messzeitraum	Auswertezeitraum
1. Obergeschoß	28.12.2017 – 01.02.2018	16.01.2017 – 01.02.2018
3. Obergeschoß	12.12.2017 – 28.12.2017	20.12.2017 – 25.12.2017

Fehlerabschätzung und Fehlerkorrektur

Sämtliche Messergebnisse wurden hinsichtlich möglicher Fehler korrigiert. Dies umfasst zum einen die Toleranzen der Messeinrichtung (Sensorik) an sich, die Montage dieser sowie insbesondere die Berücksichtigung der, sich durch den Baufortschritt geänderten Messsituation (Wärmebrückeneffekt).

Wärmebrückeneffekt

Für die Messungen an der Bestandskonstruktion wurden zur Beheizung des Innenbereichs lokale Einhausungen der gewählten Mauerpfeiler hergestellt (siehe 1.3). Aufgrund der fehlenden Fenster war der Laibungsbereich dem Außenklima ausgesetzt. Die dadurch entstehende geometrische Wärmebrücke für diesen Messzustand ist in Abbildung 13 rechts dargestellt.



Abbildung 12 Links: Messsituation im Bestand, Rechts: Messaufbau der sanierten Wand; Quelle: e7

Die Messungen im sanierten Zustand wurden nach Fertigstellung durchgeführt. Dadurch liegen sowohl die Fensterlaibungen als auch das Parapet im warmen Bereich. Aufgrund der geringen Pfeilerbreite von 150 cm bildet sich auch in diesem Zustand eine geometrische Wärmebrücke aus (Abbildung 13 Mitte).

In Abbildung 13 Links ist zum Vergleich der Wandaufbau mit eindimensionalem Wärmestrom abgebildet (Vergleichsbasis der bauphysikalischen Berechnung). Die grüne Randbedingung in den Bauteilmodellen bezeichnet die Wärmestrommessplatte im jeweiligen Versuchsaufbau. Durch den Vergleich der beiden Geometrien mit dem eindimensionalen Wandmodell kann abgeschätzt werden, mit welchen Abweichungen bei den durchgeführten Messungen im Vergleich zum eindimensionalen Wärmedurchgangskoeffizienten zu rechnen ist.

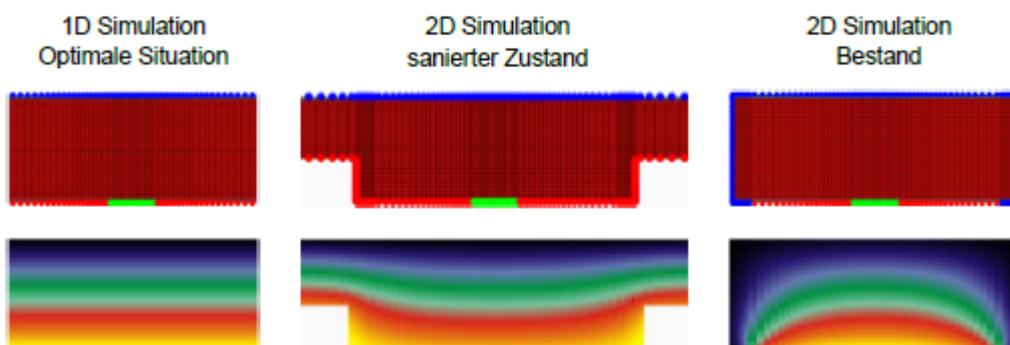


Abbildung 13 Modell (oben) und Temperaturfeld (unten) der geometrischen Wärmebrücke an den Mauerpfeilern; Quelle: TU Wien

Folglich müssen die vor Ort gemessenen Wärmeströme bzw. die daraus berechneten U-Werte (vgl. Seite 20) mit einem Korrekturfaktoren beaufschlagt werden, um diese mit den

Ergebnissen der bauphysikalischen Berechnung vergleichbar zu machen. Die wärmebrückenbedingten Korrekturfaktoren wurden wie folgt ermittelt:

- Bestandsmessung: Reduktion um 12 %
- Sanierte Fassade: Erhöhung um 4 %

Sensorik

Die verwendeten Wärmestrommessplatten wurden nach den Messungen vom Hersteller kalibriert, wobei geringfügige Abweichungen innerhalb der Messtoleranz festgestellt und die Messergebnisse entsprechend bereinigt wurden.

Die Messung der Oberflächentemperaturen erfolgte mit Thermoelementen die in Referenz zu einem geeichten Referenzthermometer überprüft wurden. Die Oberflächentemperaturen wurden mit einer Genauigkeit von 0,1 K gemessen. Somit ergibt sich die Messgenauigkeit der Differenz der Oberflächentemperaturen zwischen innen und außen mit $\pm 0,2$ K.

Montage

Da bei den vorliegenden Messungen immer zwei Wärmestrommessplatten pro Messposition verwendet wurden und diese während der gesamten Messdauer immer nahezu idente Werte lieferten, kann der relative Fehler der Wärmestrommessplatten als ± 0 angenommen werden.

Der absolute Fehler infolge der Wandmontage wird im vorliegenden Fall mit $\pm 3\%$ angenommen⁸.

Resultierender Messfehler

Nach der Bereinigung der Ergebnisse um die Wärmebrückeneffekte und der Berücksichtigung der aktuellen Kalibrierwerte der Wärmestrommessplatten ergibt sich der verbleibende Messfehler aus dem Einfluss von Montageunterschieden der Wärmestrommessplatten. Der Fehler infolge der Temperaturmessungen ist im Endergebnis nicht erkennbar.

Zusammenfassung der Messergebnisse:

Die Endergebnisse der Bestandsmessung unter Berücksichtigung sämtlicher Korrekturwerte sowie eine Gegenüberstellung mit der bauphysikalischen Berechnung basierend auf Literaturangaben für die Leitwerte (Bauteildicken siehe Abschnitt 0) sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

⁸ abweichend von der Norm: gemäß ISO 9869 kann der Messfehler aufgrund der Montagesituation bis zu $\pm 5\%$ betragen

Tabelle 1 Zusammenfassung der ermittelten U-Werte für den Bestand

	Bauphysikalische Berechnung⁹	Messung Fehlerkorrigiert
Bestand 1.Obergeschoß	0,74 W/m ² K	0,53 W/m ² K ± 2,7 %
Bestand 2.Obergeschoß	0,74 W/m ² K	0,68 W/m ² K ± 2,6 %
Bestand 3.Obergeschoß	0,96 W/m ² K	Keine Messung durchgeführt

Die Ergebnisse für die Bestandsfassade zeigen einerseits, dass der gemessene Wärmedurchgangskoeffizient im ersten Obergeschoß deutlich, im Zweiten etwas unter dem Ergebnis der bauphysikalischen Berechnung liegt. Andererseits werden deutliche Abweichungen für den selben Aufbau festgestellt (die Gesamt-Mauerwerksdicke im 1.OG entspricht jener im 2.OG). Dem folgend wurde der resultierende Leitwert für das Ziegelmauerwerk mit 0,38 W/mK für das 1.OG, bzw. 0,51 W/mK für das 2.OG bestimmt.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse für die sanierte Fassade angeführt. Die erste Spalte beinhaltet die bauphysikalische Berechnung basierend auf Literaturwerten für die Leitwerte, äquivalent zu Tabelle 1, und einer Schichtdicke für den Aerogelputz von 5,5 cm. In der zweiten Spalte wurden die korrigierten Leitwerte für das Ziegelmauerwerk verwendet, welche über die Messung des Bestands ermittelt wurden. Für das nicht im Bestand gemessene 3. Obergeschoß ist eine Bandbreite angegeben, entsprechend den unterschiedlich ermittelten Leitwerten für das Ziegelmauerwerk. Diese wirkt sich für das berechnete Ergebnis der sanierten Wand aber nur gering aus ($\Delta \sim 0,03\text{W/m}^2\text{K}$). Die dritte Spalte zeigt das korrigierte Messergebnis der sanierten Außenwand.

Tabelle 2 Zusammenfassung der ermittelten U-Werte für die Sanierung

	Bauphysikalische Berechnung¹⁰	Bauphysikalische Berechnung¹¹	Messung Fehlerkorrigiert
Sanierung 1.Obergeschoß	0,29	0,28 W/m ² K	0,46 W/m ² K ± 2,7 %
Sanierung 3.Obergeschoß	0,32	0,28 - 0,31 W/m ² K	0,45 W/m ² K ± 2,7 %

Die Ergebnisse der Wärmestrommessungen nach der Sanierung entsprechen nicht den vorausgerechneten statischen U-Werten der bauphysikalischen Planung, bzw. der adaptierten Berechnungen auf Basis der Bestandsmessung. Bei den korrigierten Werten liegt die U-Wert-Reduktion im ersten Obergeschoß bei 0,07 W/m²K und damit bei nur einem Viertel der zu erwartenden Verbesserung. Da es sich um die selbe Messstelle handelt sind die Ergebnisse hier direkt vergleichbar. Für das dritte Obergeschoß wurde ein U-Wert nach

⁹ Leitwerte: Innenputz: 0,7 W/mK / Ziegel: 0,55 W/mK / Außenputz: 0,7 W/mK

¹⁰ Leitwerte: Innenputz: 0,7 W/mK / Ziegel: 0,55 W/mK / Außenputz: 0,7 W/mK

¹¹ Leitwerte Innenputz: 0,7 W/mK / Ziegel: 0,38 – 0,51 W/mK / Aerogelputz: 0,028 W/mK

Sanierung von $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht, der somit um rund $0,14 - 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ höher liegt als, basierend auf der Berechnung, zu erwarten. Da an dieser Messstelle keine Bestandsmessung vorliegt, ist hier aber kein direkter Vergleich möglich.

Schlussfolgerungen:

Die, aus der Messung ermittelten Wärmedurchgangskoeffizienten liegen deutlich über den, aus der bauphysikalischen Berechnung erwartbaren Werten. Um Einflüsse durch mögliche Messfehler, bzw. die Messmethodik weitestgehend zu berücksichtigen wurde eine Fehlerabschätzung unter Angabe des Messfehlers durchgeführt.

Die Messungen des dynamischen U-Werts erfolgten über lange Zeiträume, die die Anforderungen der ISO 9869-1:2014 (72 Stunden) bei weitem übertreffen. Massive Auswirkungen durch Speicherphänomene der Bauteile wurden durch die selektive Auswahl geeigneter Auswertungszeiträumen vermieden¹².

Zudem wurden stets zwei Wärmestrommessplatten pro Messstelle parallel verwendet, um den relativen Messfehler bestmöglich zu minimieren, sowie um lokale Inhomogenitäten im Mauerwerk erkennen zu können.

Des Weiteren wurden an der Außenoberfläche insgesamt zwei und an der Innenoberfläche je Messstelle zwei Thermoelemente montiert. In der Auswertung wurden die Messwerte der Oberflächentemperaturen gemittelt, um einen möglichen Messfehler gering zu halten.

Der Messfehler infolge von Inhomogenität des Mauerwerks und von Feuchtigkeitseinfluss während der Bauphase wurde in dieser Fehlerabschätzung nicht berücksichtigt.

Die wahrscheinlichste Ursache liegt in den, der Berechnung zugrunde liegenden Annahmen für die ausgeführte Putzdicke, bzw. der Wärmeleitfähigkeit des Putzes. Folglich lassen sich zusammenfassend folgende Hypothesen für die Ursache der Abweichungen zwischen den vier Messstellen aufstellen:

- Die Putzdicke des Aerogelputzes hat aufgrund der geringen thermischen Wärmeleitfähigkeit einen signifikanten Einfluss auf den thermischen Widerstand des gesamten Wandaufbaus. Folglich wirken sich bereits kleine Abweichungen der Schichtdicke bedeutend auf die Ergebnisse der U- Wertberechnung aus.
- Analog hat die Wärmeleitfähigkeit des Aerogelputzes einen großen Einfluss auf den resultierenden U-Wert.

Eine Parametervariation der Putzdicke und der Wärmeleitfähigkeit des Aerogelputzes zeigt die Auswirkungen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der gesamten Wandkonstruktion, dargestellt in den folgenden Diagrammen:

¹² Eine detailliertere Darstellung ist dem angehängten Messbericht zu entnehmen

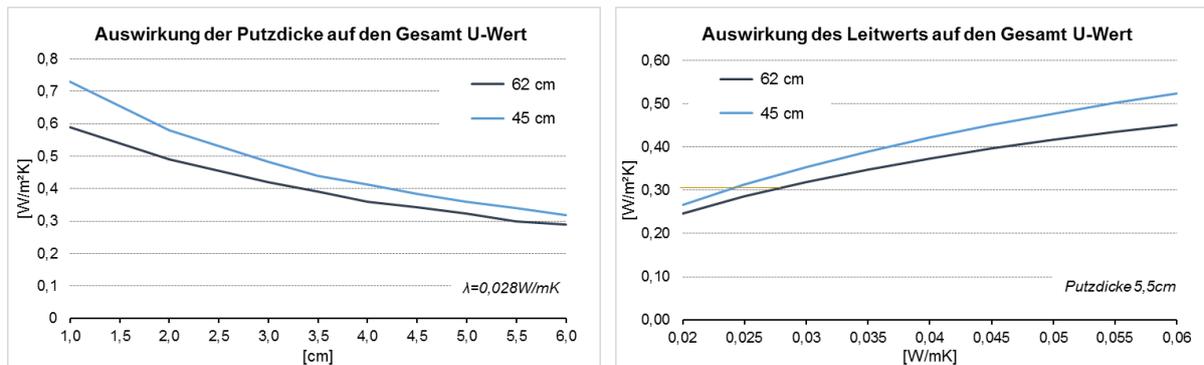


Abbildung 14 Links: Rechnerischer Zusammenhang zwischen Putzdicke und U-Wert des Wandaufbaus
 Rechts: Rechnerischer Zusammenhang zwischen Leitwert des Aerogelputzes und U-Wert des Wandaufbaus, eigene Darstellung e7

2.4 Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring

Im Projekt wurde ein begleitendes Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring umgesetzt, welches über einen Zeitraum von 2 Jahren ausgewertet wird. Die Übergabe der Wohnungen startete am 22. Dezember 2017, wobei in den ersten Wochen noch kein vollständiger Bezug erfolgt ist. Um einen Hinweis über den Zeitraum des tatsächlichen Bezugs der Wohneinheiten zu erhalten wurden in den ersten Wochen die Wohnungsstromzähler engmaschig abgelesen.

Als Beginn der Auswertungsperiode wurde der 01. Februar 2018 festgelegt.

Dementsprechend liegen zum Berichtszeitpunkt noch keine umfassenden Daten vor, die eine Interpretation der Gebäudeperformance zulassen. Die Ergebnisse des Monitorings werden nach dem ersten, bzw. zweiten Betriebsjahr in einem eigenständigen Bericht präsentiert.

Das technische Monitoring im Objekt besteht aus der Erfassung von Komfortparametern in 4 repräsentativen Wohneinheiten, mehreren Wärmemengenzählern sowie Substromzählern zur Darstellung der Energieflüsse im Gebäude. Ergänzend wurden Temperatur- und Feuchtefühler in der Lüftungsanlage sowie zur Erfassung des Außenklimas implementiert. Darüber hinaus werden vorhandene Abrechnungszähler für Wasser-, Gas- und Stromverbrauch des Gebäudes periodisch abgelesen.

Der Datensammler ist über einen angeschlossenen GSM-Router ständig mit dem Internet verbunden. Die aufgezeichneten Sensor- und Zählerdaten können somit regelmäßig hochgeladen und hinsichtlich Datenvollständigkeit und Plausibilität geprüft werden. Ziel ist die Vermeidung längerer Datenlücken durch die Möglichkeit der regelmäßigen Kontrolle. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Abbildung 15 zeigt links die verwendete Smartbox inkl. angeschlossenen GSM-Router sowie rechts den Blick in die Box.



Abbildung 15 Links: Datensammler and GSM- Router an der Wand montiert; Rechts: Innenleben Datensammler, Quelle: e7

Im Folgenden wird das umgesetzte Monitoring-Konzept vorgestellt und ein Ausblick auf die geplanten Auswertungen gegeben:

Abbildung 16 zeigt jene Zähler, die periodisch vor-Ort abgelesen und dokumentiert werden:

Kaltwasser

- Kaltwasser Gesamt
- Kaltwasser zur Warmwasserbereitung



Stromzähler

- Haushaltsstrom Gesamt
- Allgemeinstrom Gesamt
- Liftstrom
- Hilfsstrom



Gaszähler

- Gasverbrauch Gesamt

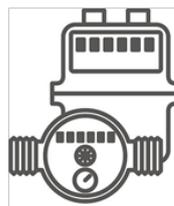
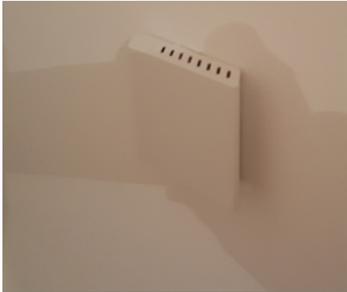


Abbildung 16 Auflistung jener Zähler, die periodisch abgelesen werden, eigene Darstellung e7

In Abbildung 17 ist das kontinuierliche Monitoring dargestellt:

Komfortmessung in 4 Wohneinheiten

- Raumlufttemperatur und relative Feuchte im Wohnraum
- Raumlufttemperatur und CO₂-Konzentration im Schlafzimmer



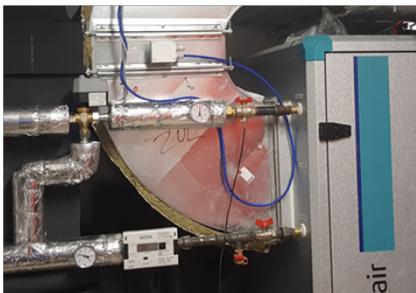
Klimadaten

- Außentemperatur
- Außenluftfeuchte



Lüftungsanlage

- Zulufttemperatur und Feuchte
- Ablufttemperatur und Feuchte



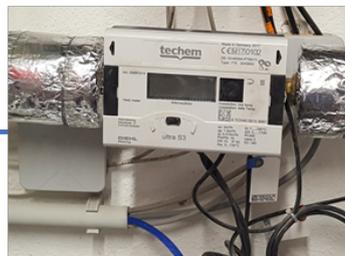
Wärmemengenzähler

- Gastherme gesamt
- Solarthermie gesamt
- Raumwärme Fußbodenheizung
- Nachheizregister Lüftungsanlage
- Wärmemenge für Warmwasser



Substromzähler

- Haustechnikraum Gesamt
- Lüftungsanlage



Datensammlung

- Aufzeichnung von 15-Minuten Trendwerten
- Online- Übermittlung



Abbildung 17 Schema für die kontinuierliche Erfassung von 15-Minuten-Werten, eigene Darstellung e7

Komfortmessung

Zur Messung von Parametern zur Auswertung der Raumkomfortbedingungen wurden 4 Wohnungen¹³ ausgewählt:

1.OG	TOP A	Schlafzimmer	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperatur▪ Relative Feuchte▪ CO2- Konzentration
		Wohnzimmer	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperatur▪ Rel. Feuchte
2.OG	TOP B	Schlafzimmer	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperatur▪ Relative Feuchte▪ CO2- Konzentration
		Wohnzimmer	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperatur▪ Rel. Feuchte
2.OG	TOP C	Wohn-/ Schlafräum	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperatur▪ Rel. Feuchte▪ CO2- Konzentration
3.OG	TOP D	Schlafzimmer	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperatur▪ Relative Feuchte▪ CO2- Konzentration
		Wohnzimmer	<ul style="list-style-type: none">▪ Temperatur▪ Rel. Feuchte

Wärmemengenzähler

Zur Erfassung der Wärmeströme als 15-Minütige Messwerte wurden an folgenden Stellen Zähler installiert:

- Gaskessel Gesamt: Gesamte, vom Gaskessel erzeugte Wärmemenge. Der Zähler ist in der Rücklaufleitung unmittelbar vor Eintritt in den Kessel positioniert.
- Solarthermie Gesamt: Gesamte, von der Solarthermie erzeugte Wärmemenge. Der Zähler ist unmittelbar vor dem Eintritt in den Pufferspeicher positioniert.
- Heizregister Lüftungsanlage: Wärmemenge zur Nachheizung der Zuluft. Der Zähler ist unmittelbar vor dem Eintritt ins Heizregister positioniert
- Warmwasser Gaskessel: Wärmemenge zur Warmwassererwärmung im Pufferspeicher. Der Zähler ist unmittelbar vor dem Eintritt in den Pufferspeicher positioniert.

Folgende Wärmemengenzähler wurden installiert:

¹³ Die TOP- Nummern wurden anonymisiert



Abbildung 18: Wärmemengenzähler Techem Ultra S3
Quelle: Techem

Zur Wärmemengenzählung wurden Kompakt-Ultraschallwärmemesszähler (Techem ultra S3) eingesetzt. Diese bestehen aus einem Volumenmessteil, Rechenwerk und dem Temperaturfühlerpaar. Die Volumenerfassung erfolgt nach dem Ultraschall-Freistrahprinzip und wird in den Rücklauf des Heizkreises montiert. Zur Messung der Vorlauftemperatur wird der Vorlauffühler in eine fest montierte Vorlauftauchhülse geschraubt und plombiert.

Stromzähler

Mittels separatem Sub-Stromzähler wird der gesamte Stromverbrauch für die Haustechnik als 15-Minuten-Werte erfasst. Dazu zählen die Lüftungsanlage sowie sämtliche Pumpen zur Wärme- und Wasserversorgung.

Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring werden in zwei separaten Jahresberichten dargestellt. Folgende Auswertungen werden jedenfalls dargestellt:

- Energiebilanz Wärme: die gesamte bereitgestellte Wärme aus Gaskessel und Solarthermischer Anlage wird dem Verbrauch (Fußbodenheizung, Lüftungsanlage, Warmwasser) gegenübergestellt
- Die, im Gaskessel erzeugte Wärme wird dem Gasverbrauch gegenübergestellt und ein Gesamtnutzungsgrad ermittelt
- Gegenüberstellung des tatsächlichen Wärmeverbrauchs mit der berechneten Verbrauchsprognose
- Lastprofilanalyse des Hilfsenergieverbrauchs sowie des Wärmeverbrauchs
- Darstellung des Stromverbrauchs von Allgemeinflächen und Haushalten
- Darstellung des gesamten Wasserverbrauchs sowie des Anteils zur Warmwasserbereitung
- Analyse der CO₂- Konzentrationen in den Referenzräumen
- Analyse von Raumlufttemperatur und Feuchte in den Referenzwohnungen im Behaglichkeitsdiagramm

Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs abgeleitet und mit der Hausverwaltung, bzw. der technischen Betriebsführung abgestimmt.

2.5 Betriebsführung

Auch wenn ein Gebäude nachhaltig und energieeffizient geplant wurde, bedeutet das nicht zwangsläufig, dass es auch energieeffizient betrieben wird. Aus der Evaluierung zahlreicher Praxisbeispiele ist bekannt, dass insbesondere innovative Gebäude die, in der Planung angestrebte Performance in der Realität nicht erreichen. Dies betrifft sowohl den prognostizierten Energieverbrauch als auch den angestrebten Wohnkomfort. Konkrete Aussagen zum tatsächlichen Verbrauch sowie zur Behaglichkeit können in der Regel erst nach mehrjähriger Datenerhebung (Abrechnungen, Monitoring, Befragungen, etc.) gemacht werden. In dieser Zeit bleiben jedoch zu erwartende Potenziale ungenutzt.

Der optimale Betrieb der haustechnischen Anlagen ist ein wesentlicher Faktor dafür, um die energietechnischen Ziele der Planung zu erreichen. Für das Demonstrationsgebäude ist daher vorgesehen, den bestimmungsgemäßen Betrieb der haustechnischen Anlagen durch einen entsprechend lautenden Wartungsvertrag zu gewährleisten. Dazu wurden vom Projektteam Kriterien erarbeitet, die über die üblichen Wartungstätigkeiten hinaus, Leistungen zur Betriebsführung definieren. Damit soll sichergestellt werden, dass einerseits Anlagen wie geplant funktionieren sowie andererseits auf fehlerhafte Betriebszustände reagiert werden kann, noch bevor es zu NutzerInnenbeschwerden kommt. Des Weiteren werden die im gegenständigen Projekt erfassten Monitoring- Daten bereits frühzeitig auch dazu genutzt, um Effizienzpotentiale zu erkennen und daraus konkrete Optimierungsmaßnahmen abzuleiten. Dazu wird dem beauftragten Unternehmen der Zugang zur Energie- und Komfort-Monitoringplattform zur Verfügung gestellt.

Konkret wurden folgende Tätigkeiten als Teil der regulären Betriebsführung definiert:

Regelmäßige Kontrolle der Regelkreise

- Vorlauftemperatur: Einhaltung der eingestellten Kennlinie
- Spreizung VL_RL: Einhaltung der eingestellten Kennlinie
- Wärmemenge: Plausibilitätsprüfung (Heizung/Warmwasser)

Gaskessel

- Rücklauftemperatur: Prüfen Temperaturniveau gegenüber Sollwert für Brennwertnutzung
- Betriebsstunden: Anzahl Betriebsstunden pro Tag / Verteilung
- Betriebsstarts: Anzahl Betriebsstarts pro Tag

Solarthermische Anlage:

- Speicherladetemperatur: Einhaltung des erforderlichen Temperaturniveaus ST VL
- Wärmemenge: Plausibilitätsprüfung

Lüftungsanlage

- Prüfung Zulufttemperatur gegenüber dem Sollwert
- Durch die Integration der oben genannten Leistungen erfolgt eine Qualitätssicherung des Betriebs der technischen Anlagen, womit ein wesentlicher Beitrag dazu geleistet wird, dass die Prognosen zum Energieverbrauch in der Praxis auch eingehalten werden woraus wiederum eine höhere NutzerInnenzufriedenheit resultiert.

3 Schlussfolgerungen

In diesem Projekt wurde die Anwendung des Aerogel- Hochleistungsdämmputzes auf der gegliederten Fassade erfolgreich demonstriert. Der Putz stellt dabei ein wesentliches Element der energietechnischen Sanierung eines historischen Gebäudes dar. Neben den bautechnischen Herausforderungen bei der Wiederherstellung der Fassadengliederung sowie der Zierelemente mit dem Putz wurden auch gestalterisch-technische Anforderungen gemeistert. Neben zahlreichen Presseartikeln hat das Projekt v.a. durch den Gewinn des 33. Wiener Stadterneuerungspreises der Landesinnung Bau sehr hohe Sichtbarkeit und positive Wahrnehmung in der Fachwelt erlangt¹⁴.

Hinsichtlich der wärmetechnischen Performance der mit dem Hochleistungsdämmputz gedämmten Fassade wurden die ursprünglichen Erwartungen in der Praxis nicht in vollem

¹⁴ <http://www.stadterneuerungspreis.wien/index.php/1-platz-2016>

Umfang bestätigt. Der Wärmedurchlasswiderstand durch die Putzschicht ist nur rund halb so groß wie aufgrund der bauphysikalischen Baustoffeigenschaften berechnet war.

Die Projektergebnisse sind insbesondere für die Sanierung und Revitalisierung von historischen Gebäuden relevant, um energietechnische Optimierung und Erhaltung des bestehenden Erscheinungsbildes in Einklang zu bringen.

Durch die vielfältigen Verbreitungs- und Folgeaktivitäten ist eine hohe Sichtbarkeit bei nationalen und internationalen Zielgruppen gewährleistet. Auf der praktischen Ebene fließen die gewonnenen Erkenntnisse in die Planung von Folgeprojekten durch die Hausverwaltung Brun, die Architekten Trimmel und Wall sowie bei e7 ein. Darüber hinaus werden durch e7 die Ergebnisse in weiterführende Forschungs- und Disseminationstätigkeiten eingebracht und national wie international verbreitet.¹⁵

Veröffentlichungen in Bezug auf das Sanierungsprojekt:

- Stadterneuerungspreis 2018 der Landesinnung Bau Wien
 - https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20180613_OT0082/33-wiener-stadterneuerungspreis-das-sind-die-sieger-auf-die-wien-baut-bild, 13.06.2018
- Pressepublikationen zur Sanierung (Auszug):
 - https://diepresse.com/home/immobilien/immobiliennews/5393935/Haus-Mariahilfer-Strasse-182_Vom-Truemmerhaufen-zum-Vorzeigeprojekt, am 23.03.2018
 - <https://derstandard.at/2000076564087/2014-in-Wien-explodiertes-Wohnhaus-wurde-wiederaufgebaut>, am 22.03.2018
 - <https://www.meinbezirk.at/rudolfsheim-fuenfhaus/lokales/mariahilfer-strasse-182-erste-bewohner-leben-wieder-im-gasexplosionshaus-d2445094.html>, am 21.03.2018
 - <http://wien.orf.at/news/stories/2902368/>, am 21.03.2018

4 Ausblick und Empfehlungen

Die Baufertigstellung sowie der Bezug der sanierten und neu errichteten Wohneinheiten erfolgte im Winter 2017/2018. Die geplanten innovativen Maßnahmen (Anwendung Aerogelputz) sowie die Installation und die Inbetriebnahme des Projektmonitorings wurden umgesetzt. Aufgrund der besonderen Ausgangssituation, der exponierten Lage an der äußeren Mariahilfer Straße sowie der Auszeichnung mit dem Wiener Stadterneuerungspreis

¹⁵ Beispielsweise ist e7 am IEA Task 59 Deep Renovation of Historic Buildings Towards Lowest Possible Energy Demand and CO₂ Emission (NZEB) beteiligt.

wurde in den ersten Monaten nach Fertigstellung bereits eine sehr hohe Sichtbarkeit und positive Wahrnehmung in Fachkreisen erzielt.

Das Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring wird über die Projektlaufzeit hinaus noch mindestens bis ins Frühjahr 2020 betrieben. Dies umfasst einerseits den Betrieb der Monitoringplattform, die seitens der Hausverwaltung, der Anlagenbetreiber und der Gebäudeeigentümer genutzt werden kann. Die regelmäßige Auswertung der erhobenen Daten und Darstellung der Ergebnisse in zwei Monitoringberichten erfolgt durch den Projektpartner e7.

Hinsichtlich der Anwendung des Aerogel-Hochleistungsputzes konnten die bautechnischen und gestalterischen Anforderungen des Sanierungsvorhabens erfüllt werden, wodurch sich die Anwendung für weitere Projekte mit gegliederten Fassaden empfiehlt.

Die vorliegenden Messergebnisse zeigen jedoch, dass die berechneten Werte hinsichtlich der Gesamtpformance des Wandaufbaus in der Praxis nicht zur Gänze erfüllen konnten. Als mögliche Ursachen wurden die Materialeigenschaften sowie die tatsächliche Putzdicke als am Wahrscheinlichsten identifiziert. In mehreren Besprechungsrunden unter Teilnahme einzelner Projektpartner (Trimmel Wall Architekten, e7), der TU Wien als Subauftragnehmer für die durchgeführten Wärmestrommessungen, der ausführenden Firma sowie des Putzherstellers wurden die Ergebnisse besprochen und ein Maßnahmenplan für eine mögliche detailliertere Untersuchung erarbeitet. Kernelemente sind:

- Die Bestimmung der tatsächlichen Dicke des Aerogelputzes:
Gezielte Kontrolle der, für die rechnerischen Vergleichswerte herangezogenen Putzdicken durch gezielte Putzdickenmessungen bei einer ausreichend großen Stichprobengröße
- Die Bestimmung der tatsächlichen Wärmeleitfähigkeit des Aerogelputzes:
Messtechnische Bestimmung der, für die rechnerischen Vergleichswerte herangezogenen Wärmeleitfähigkeit des Aerogelputzes durch gezielte Messproben bei einer ausreichend großen Stichprobengröße

Die Gesamtergebnisse fließen laufend in nationale und internationale Projekte und Konferenzen ein, u.a. im Rahmen des IEA Task 59 sowie bei der International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings 2018 in Visby/Schweden.

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gebäudezustand im Sommer 2015 (oben: Ansicht Mariahilfer Straße, unten Ansicht Denglergasse) Quelle Trimmel Wall Architekten	14
Abbildung 2 Verlauf des Wärmedurchlasskoeffizienten der 4 südseitigen Testfelder im Winter 2014 / 2015 Quelle: [BPH 2017]	18
Abbildung 3 Links: Aufbringung des Dämmputzes Rechts: Holzrahmen als Indikator für die Putzdicke, Quelle Trimmel Wall Architekten	19
Abbildung 4 Messung im Bestand: Einhausung zur Herstellung konstanter Innenraumtemperaturen, Quelle: Trimmel Wall Architekten.....	21
Abbildung 5 Aufbau der Messung der fertig sanierten Fassade, Quelle e7	22
Abbildung 6 a-d, Impressionen zum Sanierungsvorhaben Mariahilfer Straße 182, Quelle Trimmel Wall Architekten.....	25
Abbildung 7 Links: Gaskessel, Rechts: Pufferspeicher; Quelle: e7	26
Abbildung 8 Lüftungsanlage, Quelle: e7	27
Abbildung 9 Dachdraufsicht und Solarthermische Anlage, Quelle: Trimmel Wall Architekten	28
Abbildung 10 a-k: Impressionen von den Sanierungsarbeiten, Quelle: Trimmel Wall Architekten	30
Abbildung 11 Überblick über die Fassadenfläche zur Denglergasse, Quelle Trimmel Wall Architekten	31
Abbildung 12 Links: Messsituation im Bestand, Rechts: Messaufbau der sanierten Wand; Quelle: e7.....	33
Abbildung 13 Modell (oben) und Temperaturfeld (unten) der geometrischen Wärmebrücke an den Mauerpfeilern; Quelle: TU Wien.....	33
Abbildung 14 Links: Rechnerischer Zusammenhang zwischen Putzdicke und U-Wert des Wandaufbaus Rechts: Rechnerischer Zusammenhang zwischen Leitwert des Aerogelputzes und U-Wert des Wandaufbaus, eigene Darstellung e7	37
Abbildung 15 Links: Datensammler and GSM- Router an der Wand montiert; Rechts: Innenleben Datensammler, Quelle: e7	38
Abbildung 16 Auflistung jener Zähler, die periodisch abgelesen werden, eigene Darstellung e7	38
Abbildung 17 Schema für die kontinuierliche Erfassung von 15-Minuten-Werten, eigene Darstellung e7	39
Abbildung 18: Wärmemengenzähler Techem Ultra S3 Quelle: Techem	41

5.2 Literaturverzeichnis

[Hüttler, 2010] Hüttler, W.; Sammer, K.: „Innovative Sanierung von Gründerzeitgebäuden – Technische Optionen und rechtliche Fragen“, immoLEX 2010-09

[Schöberl, 2011] Schöberl, H. et al.: „Thermische Sanierung von Gründerzeitgebäuden – Innendämmung“, Haus der Zukunft, 2011

[AGITEC] <http://www.agitec.ch/page/aerogel/index.php>, (abgerufen am 10.01.2017)

[Stahl, 2014] . Stahl Th. et al.: “High performance aerogel containing plaster for historic buildings with structured façades”, Herausgegeben von Elsevier Ltd, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015

[BPH, 2017] Fouad, Nabil A.. Schwerpunkt - Gebäudehülle und Fassaden: Gebäudehülle und Fassaden, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und Technische, 2017



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)