

Christoph Schmidt
 Horst Altgeld
 Bodo Groß
 Gerhard Luther
 Stefan Maas
 Frank Scholzen

„Außenliegende Wandtemperierung“

Praktische Umsetzung anhand eines Demonstrationsgebäudes und Ermittlung der Systemkosten

Im Rahmen der Forschungsprojekte „LEXU“ und „LEXU II“ der IZES gGmbH wurde eine außenliegende Wandtemperierung (aWT) entwickelt und erprobt. Bei der außenliegenden Wandtemperierung handelt es sich um eine niederexergetische Flächen-temperierung, die zwischen Bestandswand und neuem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgebracht wird. Es ist somit ein Sonderfall eines thermoaktiven Bauteilsystems (TABS), mit Fokus auf dem niederexergetischen Ansatz und mit der Möglichkeit einer minimalinvasiven thermischen Sanierung „von außen“. Erweitert man den Wandaufbau um einen Luftspalt zwischen dem Temperierungssystem und dem WDVS, so kann die aWT zu einer außenliegenden Lufttemperierung (aLT) erweitert werden. Neben der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und von Simulationsmöglichkeiten, werden beide Systeme aktuell anhand eines Demonstrationsobjektes umgesetzt. Der Fokus der Veröffentlichung liegt auf der Umsetzung der Feldtestfläche für die aWT. Inhaltlich baut diese Veröffentlichung auf den theoretischen Betrachtungen und den Kennwerten aus dem ersten Teil zu der Thematik in der Ausgabe Bauphysik 4/2017 auf.

Stichworte: TABS; Feldtest; LowEx; Kosten; Energetische Sanierung; WDVS

1 Einleitung

Seit 2002 beschäftigt sich die IZES gGmbH in mehreren Forschungsprojekten mit der Thematik der außenliegenden Wandtemperierung (aWT). Die Idee der aWT wurde von Luther und Altgeld im Jahr 2002 [1] veröffentlicht und basiert auf der Idee und dem Ansatz der thermischen Bauteilaktivierung. Stellvertretend wird hier auf die grundlegenden und umfangreichen Arbeiten von Glück [2, 3], Koschenz und Lehmann [4] und Pfafferott et al. [5, 6] verwiesen. Bei der aWT dient eine fluidbasierte Flächentemperierung, eingebettet in einer Putzschicht unter einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS), als niederexergetisches Heiz- und Kühlsystem. Aufbauend auf dieser Idee wurde in dem Projekt „Energieeinspar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außenliegenden Wandheizungssystemen (aWH) für Niedertemperaturanwendungen“, kurz „LEXU“ (Fkz. 0327370T) von 2006 bis 2009 die aWT in verschiedenen Varianten (Rohrsysteme und Rohrabstände) und Anbringungsarten untersucht – und zwar theoretisch, in Form von Musterplanungen und praktisch anhand einer Laborwand, siehe Altgeld et al.

Outlying wall tempering – LowEx-Utilisation for building refurbishment and thermal activation of the existing wall: Practical application based on a demonstration building and determination of system costs:

As part of the research projects “LEXU” and “LEXU II” of IZES gGmbH, an outlying wall tempering (aWT) was developed and tested. The aWT is a low-exergy panel heating system that is installed between the existing wall and the new thermal insulation composite system (ETICS). It is therefore a special case of a thermoactive building component system (TABS), with a focus on the low-exergy approach and with the possibility of minimally invasive thermal renovation “from the outside”. If an air gap is added to the wall structure between the temperature control system and the ETICS, the aWT can be expanded to an outlying air tempering (aLT). In addition to the development of theoretical principles and simulation possibilities, both systems are currently being implemented on the basis of a demonstration object. The focus of the publication is on the implementation of the field test area for aWT. The content of this publication is based on the theoretical considerations and the characteristic values from the first publication to this topic in issue 4/2017.

Keywords: TABS; Field test; LowEx; Costs; Energy saving renovation; ETICS

2010 [7]. Das Folgeprojekt „Low Exergy Utilisation – Einsatz von außenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung“, kurz „LEXU II“ (Fkz. 0327370Y), mit einer Laufzeit von 2012 bis 2018, beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung der aWT und der praxisnahen Erprobung an einem Demonstrationsobjekt. In einem Arbeitspaket des Projektes wurde als Weiterentwicklung der aWT eine aLT entwickelt, siehe Luther [8, 9]. Bei der aLT wird zwischen Flächentemperierung und WDVS ein Luftspalt geschaffen. Durch diesen Luftspalt wird Außenluft unter Einsatz eines Ventilators dem Innenraum zugeführt und als temperierte Frischluft zur Verfügung gestellt. Der schematische Wandaufbau der aWT ist in Bild 1 dargestellt, die Erweiterung zur aLT in Bild 2. Der aktuelle Beitrag konzentriert sich auf die praktische Umsetzung der aWT an einem Demonstrationsgebäude bzw. einer Feldtestfassade.

2 Demonstrationsgebäude

Bei dem ausgewählten Demonstrationsgebäude handelt es sich um ein Gebäude auf dem Campus der Universität des Saarlandes. Das Gebäude wurde 1969 als Verfügungsge-

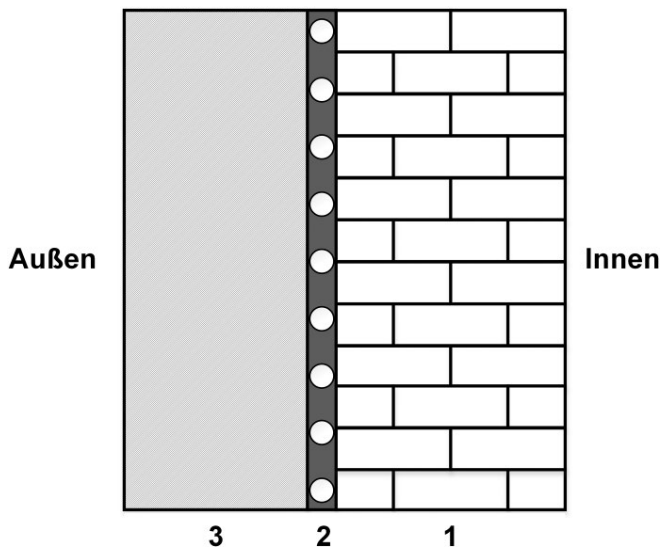


Bild 1. Vereinfachter schematischer Wandaufbau der aWT, mit Bestandswand (1), thermisch aktiver Schicht (2) und WDVS (3)

Fig. 1. Simplified schematic wall structure of the aWT: Existing wall (1), thermally activated layer (2) and ETICS (3)

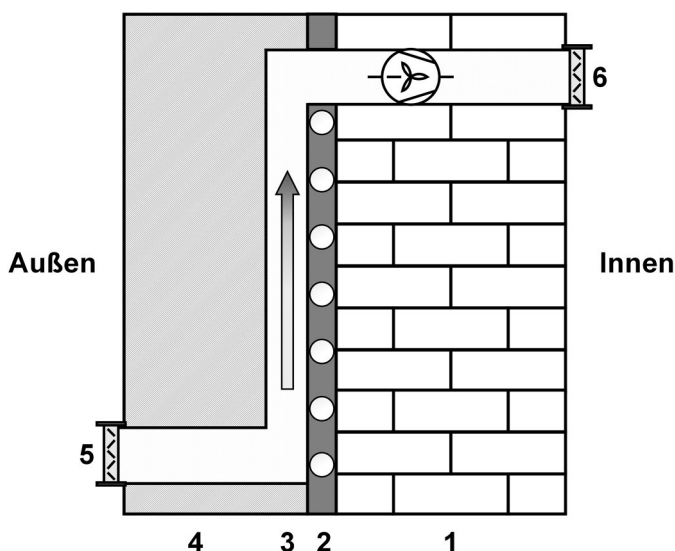


Bild 2. Vereinfachter schematischer Wandaufbau der aLT, mit Bestandswand (1), thermisch aktiver Schicht (2), Luftspalt (3), WDVS (4), Lufteinlass (5) und Luftauslass (6) jeweils mit elektrischer Klappe

Fig. 2. Simplified schematic wall structure of the aLT: Existing wall (1), thermally activated layer (2), air gap (3), ETICS (4), air inlet (5) and air outlet (6), each with flap

bäude mit Stahlbeton-Skelettbauteilen errichtet und bereits 1971 im West- und Nordbereich aufgestockt. Die Außenwände des Gebäudes wurden nicht verputzt. Das Gebäude wird derzeit vorrangig als Bürogebäude mit vereinzelt kleinen Seminarräumen genutzt. Im Rahmen des Projektes wird die Westfassade des Gebäudes als Feldtestfassade für die Wand- und Lufttemperierung genutzt (Bild 3).

Neben der Westfassade wurde eine Dachfläche des Gebäudes mit PVT-Hybridkollektoren belegt. Diese dienen zur Regeneration eines Eisspeichers im Erdreich neben

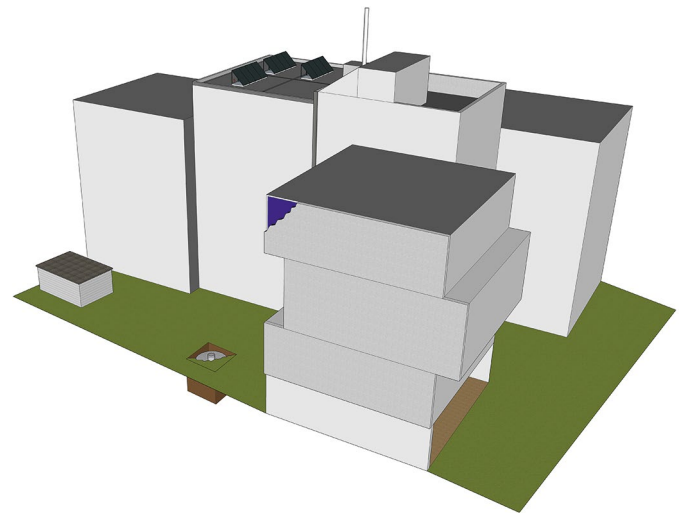


Bild 3. 3D-Skizze des Gebäudes: West-Ansicht mit Blick auf die Feldtest-Fassade (grau dargestellt, vorne rechts)

Fig. 3. 3D sketch of the building: West view with the field test façade (grey, front right)

dem Gebäude und/oder als Wärmequelle für die Wärmepumpe in einem Container hinter dem Gebäude. Der Container ist die Technikzentrale für die Anlage und beinhaltet die Hydraulikverteilung und die Messdatenerfassung. Die Wärmepumpe versorgt die Wandtemperierung. Zusätzlich können jedoch auch die PVT-Kollektoren je nach Temperaturniveau direkt in die Wand einspeisen. Auch der Betriebsmodus „Natürliches Kühlen“ wurde für den Sommerfall ermöglicht. Der erzeugte Strom der PVT-Hybridkollektoren wird primär als Eigenstrom für die Wärmepumpe und die Technikzentrale genutzt, überschüssiger Strom wird in das Universitätsnetz eingespeist. Der Anschluss eines Batteriespeichers wurde für eine zukünftige Umsetzung vorgesehen. Das vorhandene Heizsystem des Gebäudes bleibt von der installierten Anlage unabhängig. Alle Räume an der Feldtestfassade wurden mit fernsteuerbaren Heizkörperventilen an den vorhandenen Heizkörpern ausgestattet. So kann sowohl der kombinierte Betrieb (inneres Heizsystem und aWT), als auch der alleinige Betrieb der aWT getestet werden.

3 Feldtestfassade

Im Zuge einer Überprüfung wurden Mitte 2015 in allen Geschossbereichen der Westfassade Betonschadstellen mit freiliegender, zum Teil stark angerosteter Bewehrung vorgefunden (siehe Beispiele in Bild 5). Die Westfassade des Gebäudes wurde als massive (Stahl)Betonplatte mit einer Stärke von ca. 0,36 m ausgebildet. Die Fassade hat eine Höhe von ca. 14 m und eine Länge von ca. 15 m; dabei sind das erste und zweite Obergeschoss versetzt zum Erdgeschoss und zum dritten Obergeschoss ausgebildet (Bild 4). Durch die Schadstellen und die dringend anstehende Betonsanierung konnte die Fassade kurzfristig innerhalb des Forschungsprojektes als Feldtestfläche genutzt werden.

Außer einer Fluchttür mit angebauter Rampe im Erdgeschoss besitzt die Fassade keine weiteren Öffnungen. Nach oben wird die Fassade durch eine Attika und ein



Bild 4. Westfassade des Gebäudes C3.1 auf dem Campus der Universität des Saarlandes
Fig. 4. The west façade of building C3.1 on the campus of Saarland University



Bild 5. Schadstellen auf der Westfassade des Gebäudes (Fotos entnommen aus Gutachten der WPM-Ingenieure GmbH)
Fig. 5. The damaged areas on the west façade of the building (Source: expert's report by WPM-Ingenieure GmbH)

Flachdach abgeschlossen. Da das Gebäude für eine spätere Erweiterung gedacht war, befinden sich über dem Erdgeschoss und dem ersten Obergeschoss Auskragungen in der Fassade. In jeder der vier Etagen grenzen zwei Räume an die Feldtestfassade, sodass in Summe acht Räume von der thermischen Aktivierung betroffen sind. Im Zuge der Betonsanierung wurden die beiden Auskragungen entfernt.

4 Feldtestfläche aWT

4.1 Konzept

Das vereinfachte Schema der aWT ist in Bild 1 dargestellt. Auf der Bestandswand wird eine thermisch aktive Schicht installiert. Gegenüber der Außenluft wird die thermisch aktive Schicht durch ein WDVS abgeschlossen. Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Vorprojekt und dem laufenden Projekt wurde folgendes grundlegende Konzept für die Wandtemperierung gewählt:

- Rohrsystem: Für Kapillarrohrmatten wurde in dem Vorprojekt das beste Preis/Leistungs-Verhältnis ermittelt. Bei diesem Vergleich wurde die Wärmeabgabe und Wärmeverteilung in Relation zu den Materialkosten anhand von Simulationsstudien und der Musterplanung eines Mehrfamilienhauses ermittelt. Es sollten Kapillarrohrmatten des Projektpartners Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH aus Berlin zum Einsatz kommen.

- Putzschicht: Das Putzmaterial zum Einputzen der Kapillarrohrmatten soll eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzen, um eine gleichmäßige Temperaturverteilung in der Schicht zu ermöglichen.
- WDVS: Hersteller und Material des WDVS standen zu Projektstart noch nicht fest. Einzig der Einsatz eines geklebten WDVS wurde festgelegt, da der Einsatz eines gedübelten WDVS in Kombination mit den Kapillarrohrmatten als zu fehleranfällig bzw. zu aufwendig in der Planung erschien. Wichtig war hier die Kooperation mit einem Hersteller/Stuckateur in diesem Fall vor allem wegen der Übernahme der Gewährleistung für den Fassadenaufbau.

Da es sich entsprechend Bild 4 um eine fensterlose Fassade handelt, wurde eine möglichst vollflächige Belegung der Fassade mit den Kapillarrohrmatten angestrebt. Neben der möglichst vollflächigen Belegung wurden auch zwei explizite Feldtestflächen, jeweils für die aWT und die aLT, eingeplant und ausgeführt, siehe Bild 6. Der Begriff „Feldtestfläche“ meint in diesem Fall, dass diese beiden Flächen mit einer aufwendigen Messtechnik ausgestattet wurden. So werden bei den Feldtestflächen die Fluidtemperaturen in der Kapillarrohrmatte direkt am Ein- und Ausgang der Matte gemessen. Zusätzlich werden hier die Temperaturen in verschiedenen Ebenen der Wand und der Wandoberflächen aufgenommen. Die beiden Feldtestflächen wurden

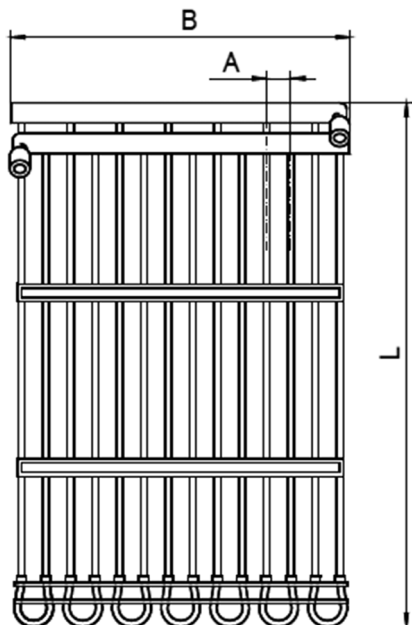


Bild 7. Schema der eingesetzten Kapillarrohrmatten und deren technische Daten (Quelle: Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH)

Fig. 7. Diagram of the capillary tube mats used and their technical characteristics (Source: Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH)

Kapillarrohrmatten thermisch aktiviert. Weitere rund 5 m² wurden indirekt durch die verlegten Stammrohre thermisch aktiviert. Insgesamt wurden neben den 45 Matten auch ca. 275 m der Stammrohre auf der Fassade verlegt. Somit liegt die thermisch aktivierte Fläche, je nach Be-

trachtungweise, zwischen 135 m² und 140 m². Der Belegungsgrad der Fassade beträgt damit rund 73 %. Dieser hohe Wert ist dadurch zu erklären, dass die Fassade außer der Tür im Erdgeschoss keine Öffnungen besitzt und somit nahezu vollflächig belegt werden kann. Die unbelegten „Totflächen“ entsprechen in erster Linie den Anschlüssen der Boden- und Deckenplatten und den Gebäudekanten. Bei den bisher in den Projekten betrachteten Gebäuden lag der realisierbare Belegungsgrad, bezogen auf die Brutto-Fassadenfläche, eher im Bereich 60 %, resultierend aus den Fenster- und Türöffnungen.

In Bild 8a ist die Wärmeabgabe der aktiven Schicht über die mittlere Temperatur der Wandtemperierung für verschiedene Umgebungstemperaturen aufgetragen. Da es sich generell um ein niederexergetisches Temperierungssystem handelt, wird die maximale Vorlauftemperatur auf 35 °C beschränkt. Dies entspricht gemäß Bild 8b in etwa einer Oberflächen-Übertemperatur von 6 K auf der Innenseite und somit einem Wärmestrom in den Raum von ca. 45 W/m². Beide Grafiken in Bild 8 wurden für den umgesetzten Wandaufbau der Feldtestfassade erstellt. Bei der Basiskennlinie der aWT ist zu beachten, dass erst ein Wärmestrom in den Raum stattfindet, wenn alle Transmissionswärmeverluste der belegten Flächen kompensiert sind. Die Wärmeabgabe beinhaltet den Wärmestrom nach Innen und den Wärmestrom nach Außen über die Dämmung (Verluste). Ausgelegt wurde die Wandtemperierung auf eine mittlere Temperatur von 30 °C, was einer maximalen Wärmeabgabe von rund 40 W/m² entspricht (Bild 8a). Bei einer aktiven Fläche von ca. 140 m² entspricht dies einer thermischen Gesamtleistung von rund 5,6 kW_{th}. Auf diese Leistung wurde das Versorgungssystem der Wandtemperierung ausgelegt.

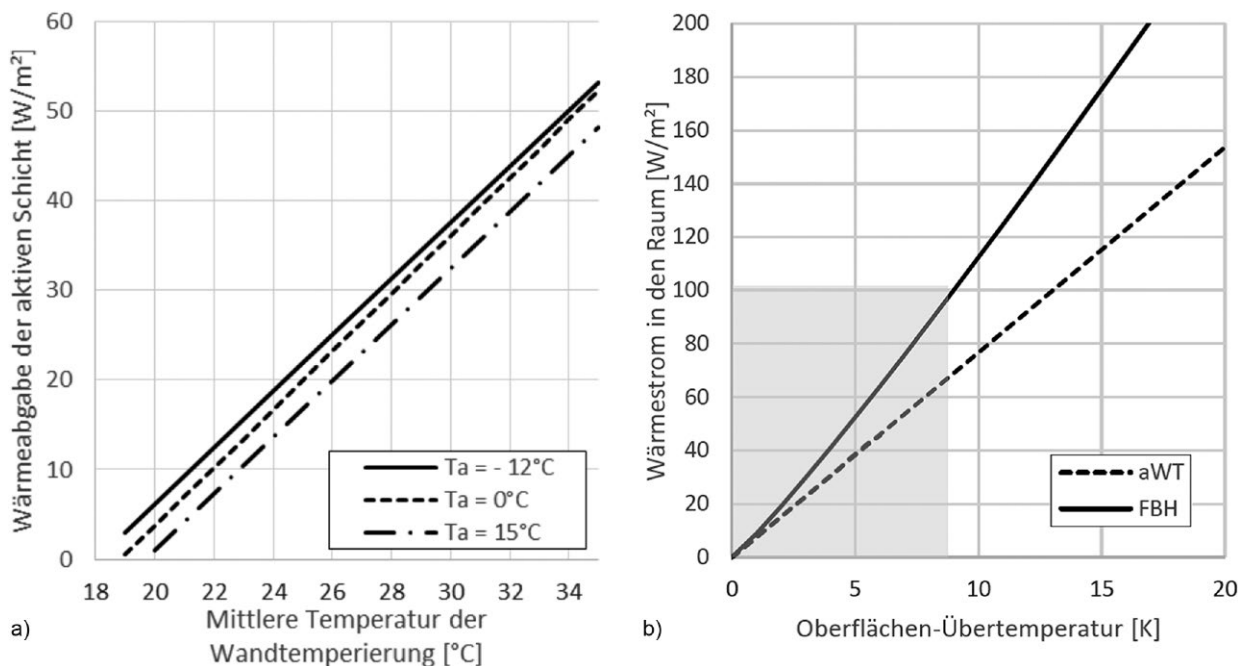


Bild 8. Stationäre Wärmeabgabe der Wandtemperierung über die mittlere Temperatur für verschiedene Umgebungstemperaturen bei $T_i = 20^\circ\text{C}$ (a) und Vergleich der Basiskennlinie von aWT ($T_i = 20^\circ\text{C}$, $T_a = 0^\circ\text{C}$) und Fußbodenheizung (b) mit Markierung des Nutzbereichs

Fig. 8. Stationary heat output of the wall temperature control over the mean temperature for different ambient temperatures at $T_i = 20^\circ\text{C}$ (a) and comparison of the base characteristic of aWT ($T_i = 20^\circ\text{C}$, $T_a = 0^\circ\text{C}$) and underfloor heating (b) with marking of the useful range

Tabelle 2. Druckverlust der einzelnen Heizkreise der Fassade
Table 2. Pressure loss of the heating circuits of the façade

| Heizkreis | Druckverlust [mbar] | | | |
|-----------|---------------------|--------|-----------|-------|
| | Rohrleitung | Matten | Verteiler | Summe |
| 1 | 64,7 | 33,0 | 40,0 | 137,7 |
| 2 | 66,2 | 33,0 | 40,0 | 139,2 |
| 3 | 51,7 | 33,0 | 40,0 | 124,7 |
| 4 | 52,7 | 33,0 | 40,0 | 125,7 |
| 5 | 46,7 | 33,0 | 40,0 | 119,7 |
| 6 | 7,7 | 29,0 | 40,0 | 76,7 |
| 7 | 38,4 | 16,0 | 40,0 | 94,4 |
| 8 | 61,5 | 38,0 | 40,0 | 139,5 |

4.3 Fluid, Druckverlust und Füllmenge

In dem Vorprojekt LEXU [7] wurde nachgewiesen, dass bei fachgerechter Ausführung der Laibungen keine Frostgefahr in der Ebene der Wandtemperierung besteht, auch im Stillstand. Somit kann die Wandtemperierung theoretisch mit Wasser (VE) betrieben werden. Für den Feldtest wurde jedoch aus Sicherheitsgründen Sole (45%-Glykol-Wassergemisch) eingesetzt. Diese Sicherheitsgründe bezogen sich jedoch primär auf den Bauablauf und die Jahreszeit

der Ausführung (Herbst/Winter) sowie auf die Stillstandsphase bzw. Trocknungsphase zwischen dem Ein-, Überputzen und dem Aufbringen des WDVS.

Der Druckverlust der Wandtemperierung wurde ab und inklusive dem Heizkreisverteiler berechnet. Dabei wurden ein spezifischer Massenstrom von rund 12,5 kg/hm² und eine mittlere Fluidtemperatur von 30 °C (Auslegungstemperatur) angenommen. Die Druckverluste der einzelnen Heizkreise liegen zwischen 76 und knapp 140 mbar, siehe Tabelle 2. Für die gesamte Fassade ergibt sich somit ein Volumenstrom von 1700 bis 1800 l/h.

4.4 Aufbau und Anbringung

Die Arbeitsschritte für die Montage und Befestigung der Kapillarrohrmatten unterscheidet sich nicht von einer Standardmontage im Innenraum, nachfolgend eine Übersicht der Arbeitsschritte und Montagemittel, siehe Bild 9.

4.4.1 Montage der Matten

Für die Befestigung der Stammrohre und Matten auf der Fassade gibt es drei mögliche Befestigungsmöglichkeiten die vom Hersteller vorgesehen werden. Alle drei Befestigungsmittel werden für unterschiedliche Zwecke bzw. an verschiedenen Stellen eingesetzt. Die Lage der einzelnen

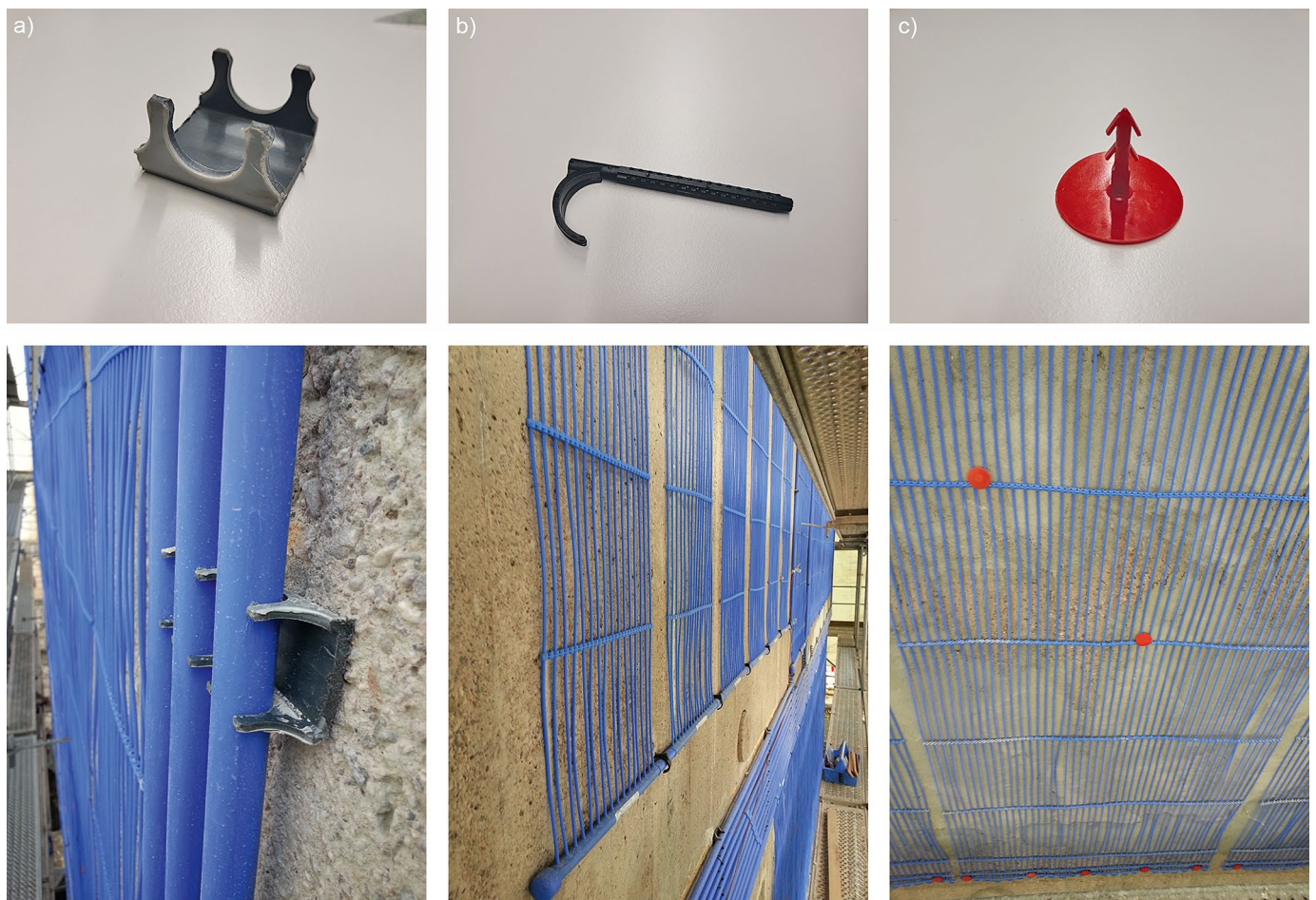


Bild 9. Befestigungsmittel für die Kapillarrohrmatten und Stammrohre auf der Fassade; a) Clipschiene, b) Dübelhaken, c) Kunststoffnagel

Fig. 9. Fasteners for the capillary tube mats and main tubes on the façade, a) clip rail, b) dowel hook, c) plastic nail



Bild 10. Maschinelles Aufbringen des Unterputzes auf die Kapillarrohrmatten (a) und manuelles Glattstreichen der Putzschicht (b)
Fig. 10. Machine application of the plaster to the capillary tube mats (a) and manual smoothing of the plaster layer (b)

Befestigungsmittel wird vom Planer im Rahmen der detailierten Belegungsplanung grob festgelegt.

- Clipschiene (Krumrey-Schiene): Die Clipschiene wird verwendet um mehrere Stammrohre parallel zu befestigen. Entsprechend dem Namen können die Stammrohre in die Clipschiene eingeklipst werden.

- Dübelhaken (Kunststoffhaken): Die Dübelhaken werden zur Fixierung einzelner Stammrohre bzw. der Matten-Stammrohre verwendet. Die Dübelhaken fixieren die Stammrohre direkt auf der Fassade.
- Dübelnagel (Kunststoffnagel): Die Kunststoffnägel werden zur Fixierung der Kapillarrohrmatten auf der Fassade

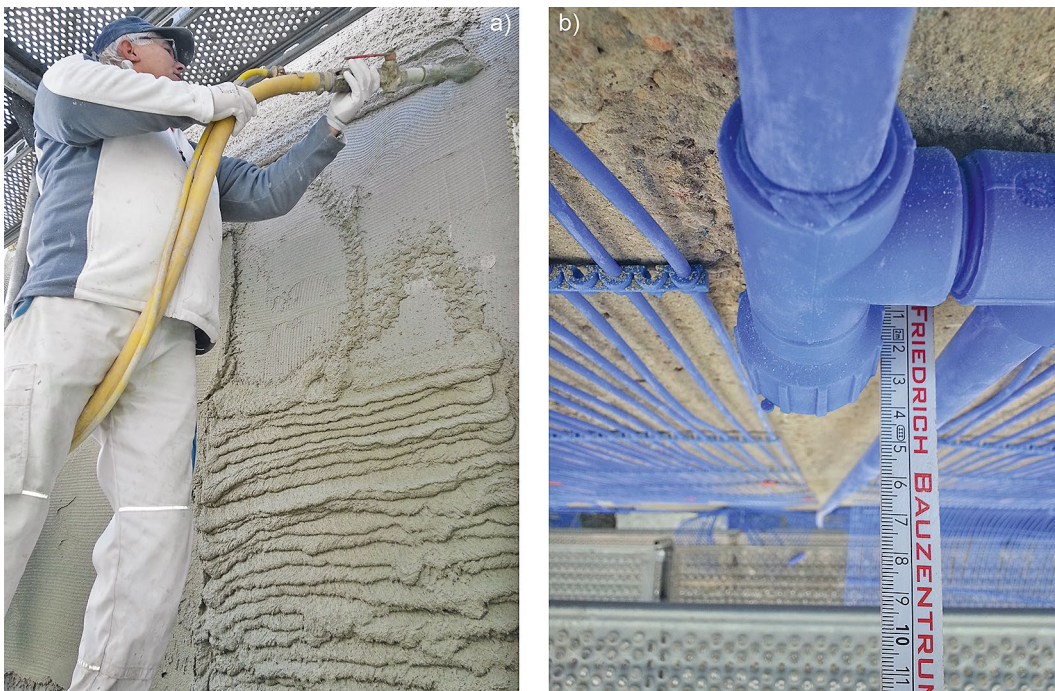


Bild 11. Maschinelles Überputzen der Kapillarrohrmatten (a) und die Einschweißsättel mit Tauchhülsen für die Temperatursensoren an den Feldtestflächen als „dickstes“ Bauteil der Temperierungsebene (b)
Fig. 11. Mechanical plastering of the capillary tube mats (a) and the weld-in saddles for the temperature sensors on the field test surfaces as the “thickest” component of the wall tempering (b)



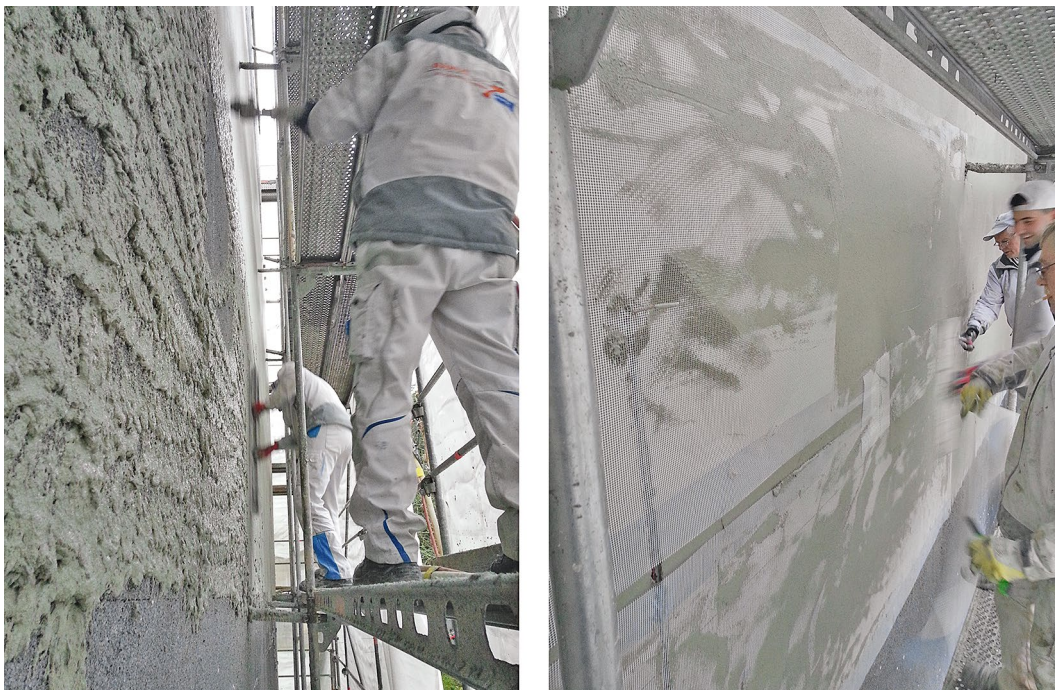
*Bild 12. Installation der Wärmedämmplatten aus EPS mittels vollflächiger Verklebung
Fig. 12. Installation of EPS thermal insulation panels by means of full-surface bonding*

verwendet. Diese verhindern, dass sich die Matten beim maschinellen Einputzen von der Fassade wegdrücken.

Die Stammrohre und Fittings aus Polypropylen (PP) werden untereinander mit dem Muffenschweißverfahren verschweißt. Hierbei werden das Fitting und die Rohrleitung gleichzeitig angewärmt und die beiden Teile werden anschließend gleichzeitig von den Schweißeinsätzen gezogen und zügig und ohne Verdrehen ineinander geschoben. Nach einer definierten Haltezeit von 10–60 Sekunden sind

die beiden Teile fest miteinander verbunden und bereits nach 30 Minuten sind die Schweißverbindungen voll belastbar.

Nach der Montage der Matten wird eine erste Dichtheitsprobe über eine Stunde mit Druckluft (hier 6 bar) durchgeführt. Möglicherweise vorhandene Undichtigkeiten können durch ein lautes Pfeifen aufgefunden werden. Ist die Dichtheitsprobe erfolgreich durchgeführt, kann das System bzw. die Heizkreise mit Fluid befüllt und entlüftet werden.



*Bild 13. Aufputzen des Armierungsgewebes unter dem Oberputz der Fassade
Fig. 13. Plastering of the reinforcing fabric under the surface plaster of the façade*

4.4.2 Einputzen der Matten

Nach der Montage der Matten und Stammrohre auf der Fassade und der anschließenden Druckprobe und Befüllung, wurden die Kapillarrohrmatten in einem ersten Schritt mit knapp 10 mm gut wärmeleitendem Klebemörtel eingeputzt. Dies soll zu einer guten und homogenen Wärmeverteilung in der Temperierungsebene führen. Dieser Unterputz musste 10 Tage trocknen bevor die nächste Schicht aufgebracht werden konnte.

4.4.3 Überputzen der Matten

Das Überputzen der Matten ist notwendig, um eine ebene Klebefläche für das Aufkleben des WDVS zu gewährleisten. Für das Überputzen der Matten war von Anfang an ein Kalk-Zement-Leichtunterputz vorgesehen. Wichtig war hier, dass der Oberputz zum Einsatz mit dem Unterputz für das Einputzen der Kapillarrohrmatten zugelassen ist. Andererseits musste der eingesetzte Oberputz wiederum als Grundlage für ein geklebtes WDVS zugelassen sein. Zuletzt sollte der Oberputz auch maschinell, einlagig in der benötigten Stärke aufgebracht werden können. Eingepant war anfangs eine Gesamtschichtdicke für das Ein- und Überputzen von 30 mm. Diese 30 mm waren angedacht durch die Tatsache, dass die Schweißmuffen zur Verbindung der Formteile einen Außendurchmesser von 29 mm aufweisen und es hier zu einer minimalen Überdeckung kommen sollte. Im Rahmen der Bauausführung stellte sich jedoch einerseits heraus, dass die Fassade eine deutliche Unebenheit aufwies und diese teilweise ausgeglichen werden musste. Andererseits werden die Temperaturen in dem Fluid-Kreislauf der Kapillarrohrmatten an mehreren Stellen der Feldtestflächen der aWT und aLT gemessen. Hierfür wurden Tauchhülsen mit Temperaturfühler eingesetzt. Für das Einschrauben der Tauchhülsen werden sogenannte Einschweißsättel benötigt (Bild 11b). Diese haben einen maximalen Außendurchmesser von knapp 40 mm. Nur bei Herstellung einer ebenen Klebefläche wollten der Hersteller der Putzmaterialien und der ausführende Stuckateur eine Gewährleistung für den Wandaufbau übernehmen. Daher wurde der Schichtaufbau so ausgeführt, dass die Einschweißsättel als dickstes Bauteil gerade so überdeckt waren. Hierfür mussten ca. 40 mm Putz im Zuge des Überputzens aufgebracht werden. Damit handelt es sich um ein Dickputzsystem mit entsprechend längerer Trocknungsdauer. Im Endeffekt lag die Trocknungszeit des Putzes, auch aufgrund der Witterung bei 54 Tagen. Nach der Trocknung des Putzes wurde die Fläche entsprechend der Aufheizempfehlung des Herstellers kontrolliert aufgeheizt. Diese Empfehlung gilt für innenliegende Wand- und Deckenheizungen, wurde hier jedoch auf das außenliegende System übertragen.

4.4.4 WDVS

Nachdem die Putzschicht mit den Kapillarrohrmatten getrocknet war, konnte das WDVS als Abschluss nach außen aufgebracht werden. Da es sich durch die vorhergehende Betonsanierung um eine „neuwertige“ Oberfläche handelt, konnte ein rein geklebtes WDVS, ohne zusätzliche Dübelung zum Einsatz kommen. Hierfür werden die Wärme-

dämmplatten vollflächig verklebt. Abschließend wurde ein Armierungsgewebe aufgezputzt und der weiße Oberputz auf die Fassade aufgebracht.

4.5 Resultierender Schichtaufbau

Der resultierende und umgesetzte Schichtaufbau der Fassade mit aWT ist in Abbildung 14 aufgeführt. Nach der Sanierung hat der gesamte Wandaufbau eine Dicke von rund 600 mm.

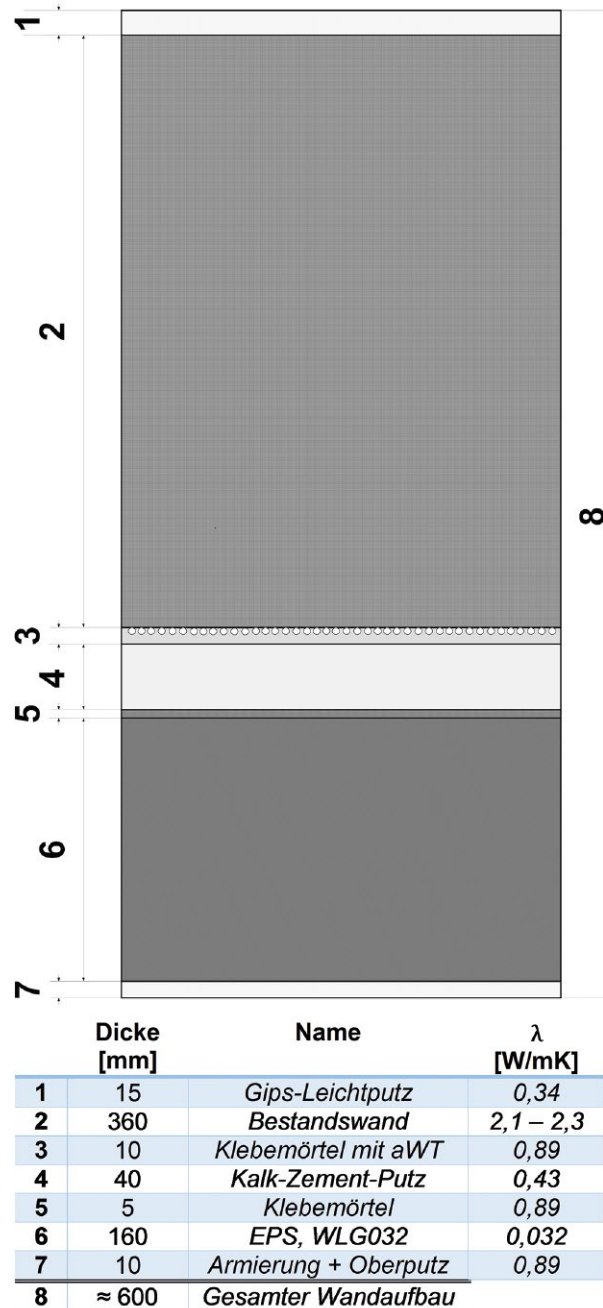


Bild 14. Resultierender Schichtaufbau des Feldtestgebäudes mit außenliegender Wandtemperierung und WDVS (maßstäbliche Skizze); oben = innen; unten = außen; b) umgesetzter Schichtaufbau der Außenwand mit den verwendeten Materialien

Fig. 14. Resulting layer structure of the field test building with outlying wall tempering and ETICS (scaled sketch); top = inside; bottom = outside; b) Implemented layer structure of the outer wall with the materials used



Bild 15. Fotos der sanierten Fassade, in der Mitte ist die Außenklappe für die Feldtestfläche der aLT erkennbar
 Fig. 15. Pictures of the renovated façade, in the middle the outer flap for the field test area of the aLT is visible

Durch das Aufbringen des WDVS erreicht die sanierte Außenwand einen U-Wert von $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, der resultierende stationäre Wirkungsgrad der aWT entsprechend Schmidt et al. [10] für den umgesetzten Schichtaufbau beträgt rund 94 %.

5 Systemkosten

Unter Systemkosten werden nur die Zusatzkosten für die aWT verstanden, also die Mehrkosten für Material und Arbeit an der Wandtemperierung, im Vergleich zu einer Standardsanierung mit WDVS. Alle anderen Kosten werden als „Sowieso-Kosten“ nicht in die Systemkostenermittlung integriert.

Bei der aWT-Feldtestfläche handelt es sich um einen Prototyp mit diversen feldtestspezifischen Besonderheiten. So wurden zwar die Systemkosten für den Feldtest berechnet, diese sind jedoch nicht repräsentativ für das System der außenliegenden Wandtemperierung. Daher wurden zusätzlich standardisierte Systemkosten berechnet. Die folgenden Gründe führen zu erhöhten Systemkosten im Feldtest im Vergleich zu einer Standardumsetzung der aWT:

- Sehr dicker Schichtaufbau durch die verbaute Messtechnik und aus Gewährleistungsgründen (neues System).
- Vor Ort war kein geeigneter (erfahrener) Fachbetrieb verfügbar. Dadurch entstanden Anreise- und Montagekosten die nicht systembedingt sind und dementsprechend nachfolgend nicht erfasst werden.
- Aus Gewährleistungsgründen mussten mehr Befestigungspunkte für die Matten gesetzt werden, als vorab eingeplant und vom Hersteller der Matten vorgesehen (erhöhte Material- und Arbeitskosten).
- Befüllung der Matten mit Glykol-Wasser-Gemisch statt Wasser.
- Jeder Raum wurde mit einem Heizkreis der aWT ausgestattet. Für den primären Einsatzfall der aWT (Grund-

temperierung) ist jedoch auch eine möglichst einfache und großflächige Belegung der Fassade mit wenigen Heizkreisen ausreichend.

Um die Systemkosten von diesen „Besonderheiten“ zu bereinigen, wurde daher neben den Systemkosten „Feldtestfassade“ noch zwei standardisierte bzw. optimierte Varianten auf Grundlage der Erfahrungen vom Feldtest erstellt.

Randbedingungen und Betrachtungsgrenzen:

Bei den folgenden Kostenschätzungen bleiben die Kosten z. B. für das Baugerüst und das Einrichten der Baustelle unbetrachtet. Da das Aufbringen der aWT immer zusammen mit einem WDVS betrachtet wird, werden diese Arbeiten der Kostenstelle „Wärmedämmung“ zugeordnet. Auch eine Vorbehandlung des Untergrunds o. ä. wird bei der Berechnung der Systemkosten nicht beachtet, ebenfalls nicht die Anbindung des Verteilers an die vorhandene oder neue Heizungsanlage inklusive Armaturen und Zubehör. Die Systemgrenze für die Berechnung der Systemkosten liegt in dem Heizkreisverteiler. Alles was darüber hinaus Richtung Wärmezentrale benötigt wird, bleibt unberücksichtigt.

Bezugsfläche:

Die Gesamtfläche der Fassade beträgt, wie bereits aufgeführt, rund 192 m^2 . Die umgesetzte, thermisch aktivierte Fläche hingegen beträgt entsprechend der finalen Belegungsplanung rund 140 m^2 . Diese beiden Flächenangaben dienen nachfolgend als Grundlage der ermittelten, flächenspezifischen Kosten der umgesetzten Feldtestfassade. Dabei wird bei der thermisch aktivierten Fläche nur die Fläche berechnet, die direkt mit einer Matte oder einem Verteilrohr belegt ist, ohne Betrachtung der ebenfalls indirekt thermisch aktivierten umliegenden Randbereiche.

5.1 Feldtestfassade

Ermittlung der flächenspezifischen Systemkosten für die umgesetzte Feldtestfassade (Tabellen 3 und 4).

Material und Montage der Kapillarrohrmatten inklusive Anlagentechnik

Gesamtkosten

Es ergeben sich somit Gesamtkosten für die Belegung der Feldtestfassade mit der außenliegenden Wandtemperierung in Höhe von 20380 € (netto) (Tabelle 5).

Flächenspezifische Systemkosten

Bezieht man die Gesamtkosten auf die beiden oben berechneten Flächen, so ergeben sich flächenspezifische Systemkosten von 106 €/m² (Gesamtfläche) bis 146 €/m² (thermisch aktivierte Fläche) (Tabelle 6).

5.2 Variante 1: Feldtestfassade, Standardbelegung

Für die Standardbelegung sollte die Feldtestfassade möglichst einfach und großflächig belegt werden. Jedes Geschoss erhält einen Heizkreis, eine raumweise Verlegung ist hier nicht notwendig. Zusätzlich wird keine Temperaturmessung in der Fassadenfläche vorgesehen, dies führt zu einer Verringerung des Schichtaufbaus.

Belegungsplanung

Die von dem beteiligten Planer entwickelte Belegungsplanung „Standard“ ist in Bild 16 dargestellt. Im Vergleich zu Bild 6 hat der Verrohrungsaufwand deutlich abgenommen. Es werden weniger Stammrohre benötigt, da sich die An-

Tabelle 3. Materialkostenzusammenstellung und Anlagentechnik, Belegungsvariante „Feldtestfassade“
Table 3. Compilation of material costs and system technology, „field test façade“ layout variant

| Nr. | Name | Gesamtpreis [€] |
|-----|-----------------------------|-----------------|
| 1 | PP-Kapillarrohrmatten | 5401 |
| 2 | PP-Rohre + Formteile | 789 |
| 3 | Befestigungsmittel „Matten“ | 120 |
| 4 | Heizkreisverteiler 8-fach | 290 |
| 5 | Glykol für Befüllung | 65 |
| 6 | Klebemörtel + Leichtputz | 2.499 |
| 7 | Kleinteile & diverses | 29 |
| 8 | Stellantriebe für Verteiler | 18 |
| | Summe € (netto): | 9.376 |

Tabelle 4. Montagekosten für die Belegungsvariante „Feldtestfassade“
Table 4. Installation costs for the „field test façade“ layout variant

| Nr. | Name | Spezifizierung | Anzahl | Einheit | Preis/Einheit | Preis [€] |
|-----|----------------------|----------------|--------|----------------|------------------|-----------|
| 1 | Montage der Matten | mit Druckprobe | 107 | Stunden | 48,00 | 5136 |
| 2 | Einputzen (≈ 10 mm) | maschinell | 192 | m ² | 10,22 | 1961 |
| 3 | Überputzen (≈ 40 mm) | maschinell | 192 | m ² | 20,35 | 3907 |
| | | | | | Summe € (netto): | 11004 |

Tabelle 5. Gesamtkosten für Belegungsvariante „Feldtestfassade“

Table 5. Total costs for the „field test façade“ layout variant

| Nr. | Name | Summe netto [€] |
|-----|-----------------------------------|-----------------|
| 1 | Materialkosten und Anlagentechnik | 9376 |
| 2 | Montagekosten | 11004 |
| | Summe € | 20380 |

Tabelle 6. Berechnung der flächenspezifischen Systemkosten [€/m²]

Table 6. Calculation of the area-specific system costs [€/m²]

| Bezug | Gesamtfläche „Fassade“ | Aktive Fläche „Fassade“ |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Fläche [m ²] | ≈ 192 | ≈ 140 |
| Gesamtkosten netto [€] | 20380 | 20380 |
| Systemkosten [€/m ²] | ≈ 106 | ≈ 146 |

zahl der Heizkreise verringert hat. Zusätzlich wurde die Belegung so geplant, dass die verwendeten Matten nicht vor Ort noch angepasst werden müssen. Die Matten-Geometrie wurde so ausgewählt, dass eine möglichst vollzählige Anzahl von Matten verbaut werden kann. Auch das Befestigungsmaterial (Art und Anzahl) wurde entsprechend den Erkenntnissen vom Feldtest geplant und optimiert.

Durch die geänderte Belegungsplanung ändern sich auch die Druckverlustberechnung, die Füllmenge und die thermisch aktive Fläche der Fassade. Mit der optimierten Belegungsplanung werden rund 144 m² der Brutto-Fassadenfläche von 192 m² thermisch aktiviert. Hiervon werden

Tabelle 7. Materialkostenzusammenstellung und Anlagentechnik, Belegungsvariante „Standard-Belegung“
Table 7. Compilation of material costs and system technology, „standard“ layout variant

| Nr. | Name | Gesamtpreis [€] |
|-----|-----------------------------|-----------------|
| 1 | PP-Kapillarrohrmatten | 5310 |
| 2 | PP-Rohre + Formteile | 385 |
| 3 | Befestigungsmittel „Matten“ | 78 |
| 4 | Heizkreisverteiler 4-fach | 201 |
| 5 | Glykol für Befüllung | 67 |
| 6 | Klebemörtel + Leichtputz | 2047 |
| 7 | Kleinteile & diverses | 146 |
| 8 | Stellantriebe für Verteiler | 91 |
| | Summe € (netto): | 8326 |

Tabelle 8. Montagekosten für die Belegungsvariante „Standard-Belegung“

Table 8. Installation costs for the “standard” layout variant

| Nr. | Name | Spezifizierung | Anzahl | Einheit | Preis/Einheit | Preis [€] |
|------------------|-------------------------------|----------------|--------|----------------|---------------|-----------|
| 1 | Montage der Matten | mit Druckprobe | 80 | Stunden | 48,00 | 3840 |
| 2 | Einputzen (≈ 10 mm) | maschinell | 192 | m ² | 10,22 | 1961 |
| 3 | Überputzen (≈ 22 mm) | maschinell | 192 | m ² | 14,92 | 2865 |
| Summe € (netto): | | | | | | 8666 |

Tabelle 9. Gesamtkosten für Belegungsvariante „Standard-Belegung“

Table 9. Total costs for the “standard” layout variant

| Nr. | Name | Summe netto [€] |
|-----|-----------------------------------|-----------------|
| 1 | Materialkosten und Anlagentechnik | 8326 |
| 2 | Montagekosten | 8666 |
| | Summe € | 16993 |

Tabelle 10. Berechnung der flächenspezifischen Systemkosten [€/m²]Table 10. Calculation of the area-specific system costs [€/m²]

| Bezug | Gesamtfläche „Fassade“ | Aktive Fläche „Fassade“ |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Fläche [m ²] | ≈ 192 | ≈ 144 |
| Gesamtkosten netto [€] | 16993 | 16993 |
| Systemkosten [€/m ²] | ≈ 89 | ≈ 118 |

rund 141 m² über die Mattenfläche aktiviert und rund 3 m² über die Vor- und Rücklaufleitungen. Der Belegungsgrad dieser Variante liegt damit bei 75% und somit in der gleichen Größenordnung wie der Belegungsgrad der umgesetzten Feldtestfassade. Der Unterschied ist, dass die Mattenfläche bei der optimierten Fassade größer ist und die thermisch aktivierte Fläche über die Vor- und Rücklaufleitungen kleiner (Tabelle 7, 8).

Material und Montage der Kapillarrohrmatten inklusive Anlagentechnik

Gesamtkosten

Es ergeben sich somit Gesamtkosten für die Belegung der Feldtestfassade mit der außenliegenden Wandtemperierung von 16993 € (netto), entsprechend einer Einsparung von rund 17% (Tabelle 9).

Flächenspezifische Systemkosten

Die flächenspezifischen Systemkosten liegen mit 89 €/m² (Gesamtfläche) respektive 118 €/m² (thermisch aktivierte Fläche) auch entsprechend tiefer (Tabelle 10).

5.3 Variante 2: Ausklink-Lösung

Die Belegungsplanung der zweiten Variante entspricht der Standard-Belegungsplanung der Variante 1. Das Konzept „Ausklinkung“ wurde zusammen mit dem Projektpartner „Berufsförderungsverein des baden-württembergischen Stuckateurhandwerks e.V.“ und dem Hersteller

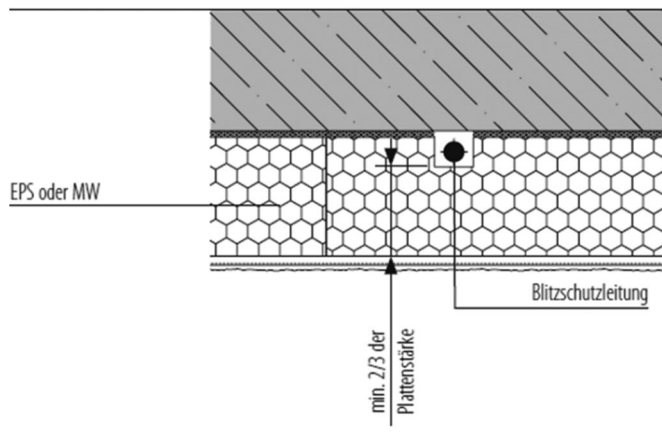


Bild 17. Beispiel für eine Ausklinkung der Wärmedämmung für eine Blitzschutzleitung (entnommen aus [11])

Fig. 17. Example of a notching of the thermal insulation for a lightning protection line (Source: [11])

der Putzmaterialien entwickelt. Es verändert sich gegenüber der Variante 1 nur der Schichtaufbau der Fassade. Das Konzept lehnt sich an Ausklinkungen für Blitzschutzleitungen (Bild 17) oder andere Leitungen an, unterscheidet sich aber in folgenden Punkten von der aufgeführten Variante 1 und Umsetzung an der Feldtestfassade:

- Die Kapillarrohrmatten werden weiterhin mit ca. 10 mm Klebemörtel eingeputzt.
- Die Stammrohre werden jedoch nicht mehr überputzt, sondern die Wärmedämmung wird an den entsprechenden Stellen ausgeklinkt. Das bedeutet, dass die Dicke der Wärmedämmung an diesen Stellen lokal verringert wird. Eingesetzt wird hierzu ein entsprechendes Schneidewerkzeug, das auf jeder Baustelle zum Zuschnitt der Dämmplatten genutzt wird.

Aus diesem Ansatz ergab sich eine Reihe von Fragestellungen, die zusammen mit den beteiligten Projektpartnern und Herstellern diskutiert wurden. Diese Fragestellungen betrafen die minimale Klebefläche pro Dämmplatte, die minimale „Rest“-Plattenstärke der Dämmplatte und die Zeit und die Kostenermittlung für die Ausklinkung. Die Fragen konnten geklärt werden und für die Belegungsplanung nach Variante 1 wäre die Umsetzung der Ausklink-Lösung entsprechend diesem Ansatz möglich. Die Kosten für die Ausklinkung pro laufendem Meter wurden anhand einer Musterumsetzung ermittelt. Fotos dieser Umsetzung an einer Musterwand sind in Bild 19 und Bild 20 dargestellt.

Material und Montage der Kapillarrohrmatten inklusive Anlagentechnik

Tabelle 11. Materialkostenzusammenstellung und Anlagentechnik, Belegungsvariante „Ausklink-Lösung“

Table 11. Compilation of material costs and system technology, “notching-solution” layout variant

| Nr. | Name | Gesamtpreis [€] |
|------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | PP-Kapillarrohrmatten | 5310 |
| 2 | PP-Rohre und Formteile | 385 |
| 3 | Befestigungsmittel „Matten“ | 78 |
| 4 | Heizkreisverteiler 4-fach | 201 |
| 5 | Glykol für Befüllung | 67 |
| 6 | Klebemörtel | 803 |
| 7 | Kleinteile und Diverses | 146 |
| 8 | Stellantriebe für Verteiler | 91 |
| Summe € (netto): | | 7082 |

Tabelle 12. Montagekosten für die Belegungsvariante „Ausklink-Lösung“

Table 12. Installation costs for the “notching-solution” – layout variant

| Nr. | Name | Spezifizierung | Anzahl | Einheit | Preis/Einheit | Preis [€] |
|------------------|--------------------|----------------|--------|----------------|---------------|-----------|
| 1 | Montage der Matten | Mit Druckprobe | 80 | Stunden | 48,00 | 3840 |
| 2 | Einputzen (≈10 mm) | maschinell | 192 | m ² | 10,22 | 1961 |
| 3 | Ausklinken | maschinell | 100 | Lfm. | 10,00 | 1000 |
| Summe € (netto): | | | | | | 6801 |

Gesamtkosten

Die Gesamtkosten dieser Variante belaufen sich auf 13383 € (netto), dies entspricht einer Einsparung von knapp 32 % gegenüber der Feldtest-Umsetzung (Tabelle 13).

Flächenspezifische Systemkosten

Bezieht man die Gesamtkosten von rund 13884 € auf die beiden oben berechneten Flächen, so ergeben sich flächenspezifische Systemkosten von 72 €/m² (Gesamtfläche) bis 96 €/m² (thermisch aktivierte Fläche).

5.4 Vergleich und Diskussion

In Bild 18 ist ein Vergleich der Gesamtkosten und der flächenspezifischen Systemkosten für alle drei betrachteten Varianten aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass durch die Standardisierung der Belegungsplanung (V1) die spezifischen Kosten um knapp 20 €/m² reduziert werden können, im Vergleich zur Feldtestumsetzung. Durch eine Einsparung des Überputzens in V2 können die Systemkosten weiter reduziert werden, auf einen Endwert von rund 72 €/m². Die Varianten V1 und V2 können als realistische Kostenschätzungen für die Umsetzung der aWT angesehen werden. Bei allen drei Varianten wurde mit den Listenpreisen der Hersteller gerechnet, sodass bei einer größeren Umsetzung deutliche geringere Materialkosten zu erwarten sind.

Bei den Kostenschätzungen in dem Vorprojekt „LEXU“ [1] wurden 2009 das Kunststoff-aWT-System mit 40–50 €/m² (netto, Material + Montage Kapillarrohre,

Tabelle 13. Gesamtkosten für Belegungsvariante „Ausklink-Lösung“

Table 13. Total costs for the “notching-solution” layout variant

| Nr. | Name | Summe netto [€] |
|---------|-----------------------------------|-----------------|
| 1 | Materialkosten und Anlagentechnik | 7082 |
| 2 | Montagekosten | 6801 |
| Summe € | | 13883 |

Tabelle 14. Berechnung der flächenspezifischen Systemkosten [€/m²]

Table 14. Calculation of the area-specific system costs [€/m²]

| Bezug | Gesamtfläche „Fassade“ | Aktive Fläche „Fassade“ |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Fläche [m ²] | ≈ 192 | ≈ 144 |
| Gesamtkosten netto [€] | 13884 | 13884 |
| Systemkosten [€/m ²] | ≈ 72 | ≈ 96 |

ohne Planung, ohne Einputzen) geschätzt. Für die hier betrachteten Varianten liegen die vergleichbaren Systemkosten bei 55–65 €/m². Inflationsbereinigt kann die Größenordnung der Kostenschätzung aus dem Vorprojekt somit durch die reale Umsetzung bestätigt und aktualisiert (Einputzen) werden.

6 Fazit und Optimierungspotenzial

Die außenliegende Wandtemperierung wurde an der Feldtestfassade als bauseitig erstelltes System ausgeführt. Das bedeutet, dass jede Schicht der Wandtemperierung einzeln und zum Teil von verschiedenen Handwerkern ausgeführt wurde. Dies führt auf der einen Seite zu Verzögerungen im Bauablauf (Koordination verschiedener Gewerke) und andererseits zu einer Vielzahl von Schnittstellen. In der Bauausführung resultierten diese Schnittstellen zu Fehlern wie zum Beispiel die Beschädigung der Kapillare im nicht verputzten Zustand oder das Anbohren der Matten beim Versetzen eines Gerüstankers. Dies kann jedoch nicht als spezifisch für die Idee der außenliegenden Wandtemperierung angesehen werden, sondern ist eher ein übliches Problem auf Baustellen (u. a. durch fehlende oder falsche Kommunikation). Abgesehen davon konnte die Wandtemperierung entsprechend der Idee und den theoretischen Grundlagen aus dem Vorprojekt und der Konzeption aus dem aktuellen Projekt angebracht werden. Alle aufkommenden Fragestellungen konnten zusammen mit den Projektpartnern und den Herstellern der einzelnen Komponenten geklärt werden. Von außen betrachtet (Bild 15) ist kein Un-

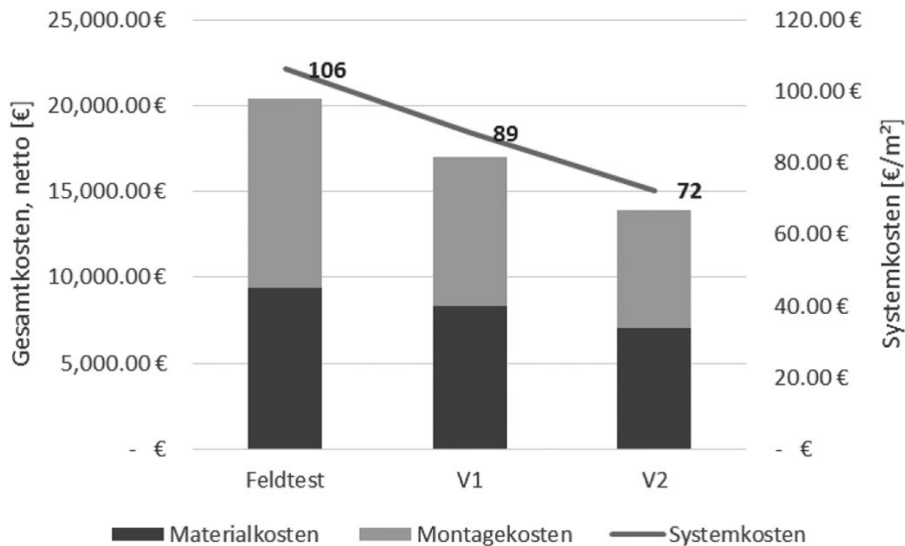


Bild 18. Überblick Gesamtkosten in € und flächenspezifische Systemkosten in €/m², bezogen auf die Bruttofläche der Fassade für die drei betrachteten Varianten

Fig. 18. Overview of total costs in € and area-specific system costs in €/m², based on the gross surface area of the façade for the three variants considered

terschied zu einer nicht thermisch aktivierten Außenwand erkennbar; abgesehen von der Luftklappe für die aLT und den Verteilerkasten für die Heizkreise der aWT.

Als Optimierungspotenzial für zukünftige Umsetzungen oder Anwendungen sind die beiden aufgeführten Varianten (V1 und V2) zu nennen. Diese überführen die Prototypen-Umsetzung vom Feldtest in eine Standard-Umsetzung. Statt der Ausklink-Lösung könnte auch eine Art Dämmputz für das Überputzen der Matten verwendet werden und die Dämmstärke des WDVS demensprechend reduziert werden. Auch andere Rohrsysteme sind generell denkbar und wurden im Vorprojekt untersucht. Hier bestünde jedoch eine ähnliche Problematik bzgl. Ein- und Überputzen. Für zukünftige Projekte soll diese bauseitige Lösung zwar weiter untersucht und optimiert werden, der Fokus liegt jedoch auf vorgefertigten Lösungen, im besten Fall „aus einer Hand“. Wie genau solche vorgefertigten Lö-

sungen aussehen können, ist Bestandteil von aktuellen Projektideen.

7 aWT-Musterwand

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner „Berufsförderungsverein des baden-württembergischen Stuckateurhandwerks e.V.“ und dem „Kompetenzzentrum für Ausbau und Fassade“ wurde eine Musterwand der außenliegenden Wandtemperierung (aWT) geplant und aufgebaut, siehe Bilder 19 und 20. Diese wird von dem Projektpartner zu Lehr- und Fortbildungszwecken genutzt, ist jedoch mobil und kann somit auch zu PR- oder Werbezwecken eingesetzt werden. Die Umsetzung an der Musterwand lehnt sich an die Variante 2 an, die Stammrohre werden nicht mehr überputzt sondern die Wärmedämmung an den entsprechenden Stellen ausgeklinkt. Auf der Rückseite der Musterwand sind mehrere Poster mit den Grundlagen der Wandtemperierung und den Arbeitsschritten zur Installation angebracht.

8 Ausblick

Die reguläre Inbetriebnahme der gesamten Anlage, bestehend aus Feldtestfassade und Versorgungssystem, erfolgt zur Heizperiode 2018/19. Bis dahin werden verschiedene Versuchsreihen für die Wandtemperierung und die einzelnen Komponenten (z. B. kontrollierte Vereisung Eisspeicher) durchgeführt worden sein. Parallel hierzu sind Simulationsstudien zum niederexergetischen Potenzial der Wand- und Lufttemperierung in Bearbeitung.

Die Idee der außenliegenden Wandtemperierung kann durch die Möglichkeit der thermischen Aktivierung der Bestandsstruktur und die Möglichkeit der Steigerung der Integration von Erneuerbaren Energien in den Bestand (v. a. Wärmepumpe und/oder Solarthermie) ein wichtiger Baustein für die anstehende Wärmewende sein. Daher soll die Idee auch in zukünftigen Forschungsprojekten untersucht und optimiert werden.

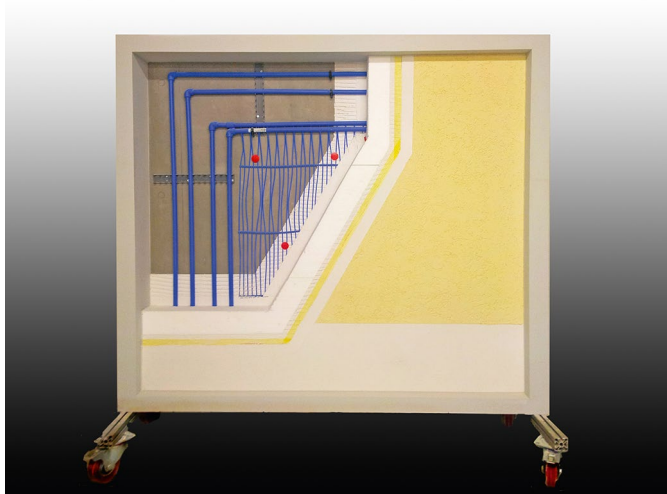


Bild 19. Vorderseite der Musterwand (Foto: Kompetenzzentrum für Ausbau und Fassade)

Fig. 19. The front of the sample wall

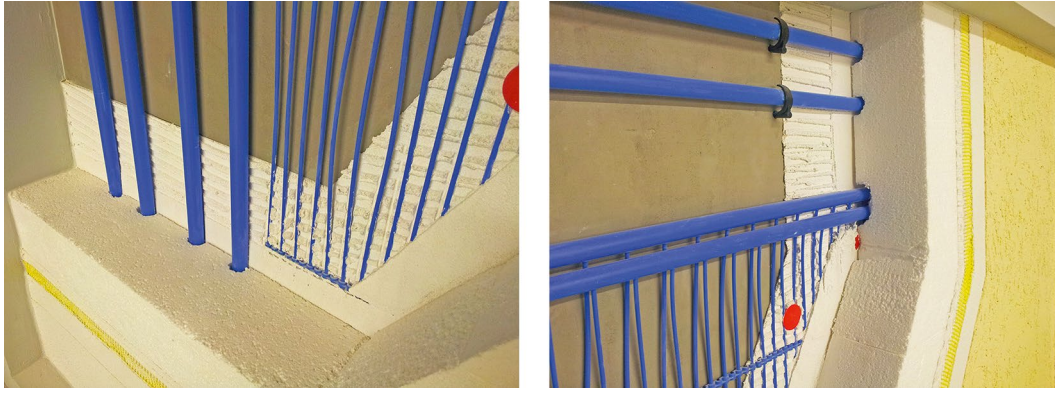


Bild 20. Detailaufnahme der Musterwand mit der Ausklink-Lösung (Fotos: Kompetenzzentrum für Ausbau und Fassade)
 Fig. 20. Detail view of the sample wall with the notching solution (Kompetenzzentrum für Ausbau und Fassade)

Danksagung:

Die Projekte LEXU und LEXU II wurden gefördert durch die Bundesrepublik Deutschland. Zuwendungsgeber ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Fördernummer: 0327370Y/T. Wir möchten uns an dieser Stelle für die Unterstützung bedanken. Gleichzeitig möchten wir uns bei allen an der Umsetzung beteiligten Projektpartnern und für die Mitarbeit an dieser Veröffentlichung zudem bei *Christoph Rosinski* bedanken.

Literatur

- [1] *Luther, G.; Altgeld, H.*: Die außenliegende Wandheizung, In: Gesundheits-Ingenieur. Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik. 2002 (1), S. 8–15.
- [2] *Glück, B.*: Strahlungsheizung – Theorie und Praxis, Karlsruhe: C. F. Müller 1982.
- [3] *Glück, B.*: Thermische Bauteilaktivierung, Heidelberg: C. F. Müller Verlag 1999.
- [4] *Koschütz, M.; Lehmann, B.*: Thermoaktive Bauteilsysteme tabs, Dübendorf: EMPA 2000.
- [5] *Pfafferott, J.; Kalz, D.; Koenigsdorff, R.*: Bauteilaktivierung, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2015.
- [6] *Pfafferott, J.; Henze, G.; Lang, T.*: Anlagenaufwandszahlen für die Bauteilaktivierung in Abhängigkeit des Regelkonzeptes, Bauphysik 39 (2017), H. 5, S. 179–290.
- [7] *Altgeld, H.; Mahler, M.; Cavellius, R.; Horst, J.; Dürnhofer, A.; Boettcher, J.*: Energieeinspar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außenliegenden Wandheizungssystemen (aWH) für Niedertemperaturanwendungen. Endbericht Projekt LEXU, Fkz. 0327370T, Saarbrücken, 2010.
- [8] *Luther, G.*: Endbericht zum theoretischen Teil von Arbeitspaket 3 im Projekt LEXU II, Außenliegende Luftheizung, Konzept, Modellierung und Analysen, Universität des Saarlandes, FSt. Zukunftsenergie, Saarbrücken 2015. Verfügbar über: <http://fze.uni-saarland.de/ThOptHeizen.htm>
- [9] *Luther, G.*: Integrierte außenliegende Wandheizung – ein Verfahren zur Nutzung der massiven Außenwand als ein in

ein Gebäudeheiz- und Kühlsystem integrierter thermischer Speicher und als Murokausten- Wärmeüberträger“, DE10 2008 009 553 A1, Patentanmeldung vom 06.11.2008.

- [10] *Schmidt, C.; Luther, G.; Altgeld, H.; Maas, S.; Groß, B.; Scholzen, F.*: Außenliegende Wandtemperierung – LowEx-Anwendung zur Temperierung von Bestandsgebäuden und thermischer Aktivierung der Bestandswand: theoretische Grundlagen und Kennwerte, Bauphysik 39 (2017), H. 4, S. 215–223.
- [11] *Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.*: „Technische Systeminfo 6: WDV-Systeme zum Thema Brandschutz. Stand 03/2014, S. 28.

Autoren dieses Beitrages:

Christoph Schmidt, M.Eng., schmidt@izes.de
 Prof. Dr.-Ing. Horst Altgeld
 Dr. Bodo Groß

Alle
 IZES gGmbH
 Altenkesseler Str. 17, Geb. A1
 66115 Saarbrücken

Dr. Gerhard Luther, luther.gerhard@ingenieur.io
 Universität des Saarlandes
 FSt. Zukunftsenergie, Experimentalphysik – Bau E2.6
 66123 Saarbrücken

Prof. Dr.-Ing. Stefan Maas, stefan.maas@uni.lu
 Prof. Dr.-Ing. Frank Scholzen, frank.scholzen@uni.lu

Beide
 Université du Luxembourg
 Fakultät für Naturwissenschaften, Technologie und Kommunikation
 6, rue Richard Coudenhove-Kalergi
 L-1359 Luxembourg