

## LowEx-Wandtemperierung

### Idee, Grundlagen und Umsetzung einer niederergergetischen Wandtemperierung als möglicher Baustein für die Wärmewende

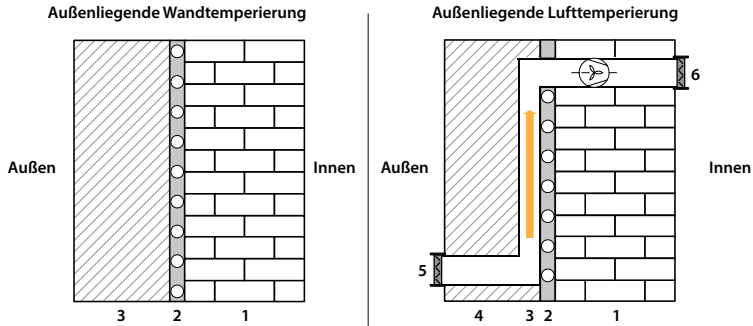
CHRISTOPH SCHMIDT, DR. BODO GROß, DR.-ING. HORST ALTGELD, IZES gGmbH

Um die energetischen Optimierungspotentiale im Gebäudebestand nutzen und die gesetzten Klimaschutzziele erreichen zu können, muss einerseits die energetische Sanierungsrate sehr deutlich gesteigert werden und andererseits die verstärkte Integration von Erneuerbaren Energien (EE) in den Gebäudebestand ermöglicht werden. Die Entwicklung von (energetischen) Sanierungsmöglichkeiten für den Gebäudebestand, die gleichzeitig die Integration von EE fördern, erscheint daher das Gebot der Stunde. Als ein möglicher Baustein für die Wärmewende wurde von der IZES gGmbH in diesem Zusammenhang bereits 2006 die an der Praxis orientierte Idee der außenliegenden Wand- und Lufttemperierung veröffentlicht.<sup>[1]</sup> Seit diesem Zeitpunkt beschäftigt sich die IZES gGmbH im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten mit dieser Thematik.<sup>[2][3]</sup>

### Außenliegende Wand- und Lufttemperierung

Bei der außenliegenden Wandtemperierung (*aWT*) (Abbildung 1 links) handelt es sich um eine fluidbasierte Flächentemperierung (2), die zwischen unsanierter Außenwand (1) und einem neuen Wärmedämmverbundsystem (3) (*WDVS*) im Zuge einer energetischen Sanierung des Bestandsgebäudes „von außen“ aufgebracht wird. Bei der *aWT* handelt es sich somit um einen Sonderfall eines thermoaktiven Bauteilsystems (*TABS*) beziehungsweise um eine thermische Bauteilaktivierung. Ein Sonderfall deshalb, da die thermisch aktive Schicht auf der Außenseite des aktivierten, massiven Bauteils liegt. Zum Thema Bauteilaktivierung gibt es eine Vielzahl von relevanten Veröffentlichungen. Stellvertretend wird hier auf die grundlegenden und umfangreichen Arbeiten von Bernd Glück<sup>[4]</sup>, Koschenz und Lehmann<sup>[5]</sup> und Jens Pfafferott<sup>[6]</sup> hingewiesen. Durch das Aufbringen des *WDVS* findet eine energetische Ertüchtigung des Gebäudes statt und der Raumwärmebedarf kann je nach Sanierungsvariante und in Kombination mit anderen Maßnahmen um bis zu 80 Prozent reduziert werden. Diese Betrachtung ist unabhängig von dem eingesetzten Wärmeerzeuger und der Wärmeabgabefläche und beruht alleine auf der energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle.

Abb. 1:  
Schematische  
Darstellung der außen-  
liegenden Wandtempe-  
rierung (links) und der  
außenliegenden Luft-  
temperierung (rechts)  
im Wandquerschnitt  
Quelle: IZES gGmbH



Ein wesentlicher Vorteil der aWT im Vergleich zu der „klassischen“ Bauteilaktivierung ist, dass die Flächentemperierung „von außen“ aufgebracht werden kann und die Bewohner des Gebäudes weitestgehend unbeeinträchtigt bleiben beziehungsweise das Gebäude während der Sanierung/Ertüchtigung bewohnt bleiben kann. Somit ermöglicht die aWT die Installation von Flächentemperierungen im Bestand, unabhängig von Raumhöhen und Bodenaufbauten im Inneren und auch unabhängig vom Bewohnungsstatus des Gebäudes. Der große Vorteil von Flächentemperierungen (große Fläche, geringe notwendige Temperaturdifferenz zwischen Heizfläche und Raumtemperatur) wird lagebedingt (Außenbauteil in der thermischen Hülle und Lage hinter der Bestandswand) bei der aWT noch weiter verstärkt (siehe unten „Niederexergetischer Ansatz“). Als eine Weiterentwicklung der aWT wurde in dem Projekt zusätzlich das Konzept der außenliegenden Lufttemperierung (aLT) erarbeitet<sup>[7]</sup> (Abbildung 1 rechts). Diese ermöglicht die Temperierung von Frischluft durch Schaffung eines Luftspalts (3) zwischen thermisch aktivierter Bestandswand (1 und 2) und WDVS (4). Somit kann auch die Funktion „dezentrales kontrolliertes und temperiertes Lüften“ von außen erschlossen und integriert werden. Anlagentechnisch werden hierfür Klappen, Filter (5 und 6) und ein Ventilator benötigt. Generell sind auch andere Luftführungsvarianten denk- und umsetzbar (zum Beispiel Umlufttemperierung, Wärmerückgewinnung, natürliche Belüftung).

## Niederexergetischer Ansatz

Sowohl bei der aWT als auch bei der aLT handelt es sich um niederexergetische Temperierungssysteme. Dabei werden niedrige Vorlauftemperaturen und damit sehr geringe Temperaturdifferenzen zwischen Heizmedium und Raumtemperatur nutzbar gemacht. In Abbildung 2 sind beispielhafte, stationäre Temperaturverläufe durch eine sanierte Außenwand bei konstanter Raumtemperatur und verschiedenen Außentemperaturen dargestellt. Die Temperatur  $T_{k0}$  entspricht der Temperatur in der Schnittstelle zwischen Bestandswand und dem neuen WDVS. Zu erkennen ist, dass die Temperatur in dieser Ebene über die komplette, relevante Außentemperaturbandbreite (Heizgrenztemperatur bis minimaler

Normaußentemperatur; hier beispielhaft mit  $15^{\circ}\text{C}$  und  $-15^{\circ}\text{C}$  angenommen) nur sehr geringen Schwankungen unterliegt. In dem hier dargestellten Beispiel bewirkt eine Außentemperaturänderung von 30 K eine Änderung von  $T_{k0}$  um etwa 3 K. Im Zusammenhang mit den Komponenten aWT und aLT wird die Temperatur  $T_{k0}$  als „Ruhetemperatur“ bezeichnet. Die Ruhetemperatur stellt sich in der Temperierungsebene ein, wenn die Wand nicht thermisch aktiviert ist (also im Ruhezustand). Die Temperaturen ergeben sich dabei aus dem Verlustwärmestrom aufgrund von Transmissionswärmeverlusten, der sich über die Außenwand einstellt. Dieser ist abhängig von der Temperaturdifferenz ( $T_i - T_{\text{amb}}$ ) und dem Wärmedurchgangskoeffizienten ( $U$ -Wert) der sanierten Außenwand inklusive WDVS.

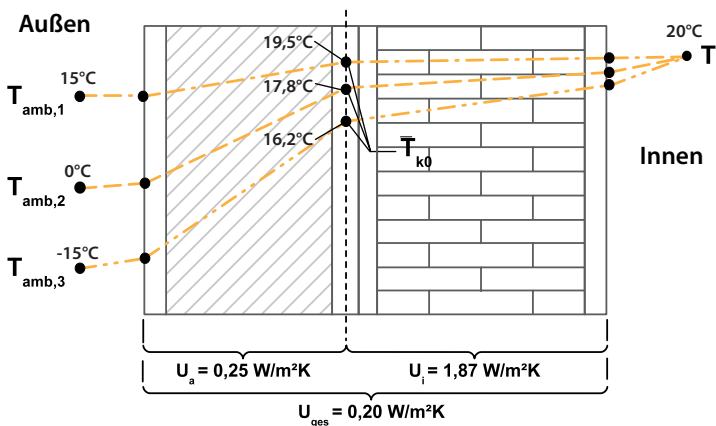


Abb. 2:  
Beispielhafter, schematischer Temperaturverlauf durch eine sanierte Außenwand bei konstanter Raumtemperatur und verschiedenen Außentemperaturen im stationären Zustand  
Quelle: IZES gGmbH

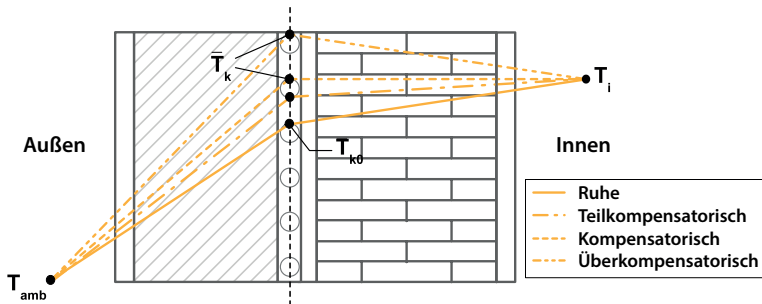
Wird eine thermisch aktive Schicht in den Wandquerschnitt eingebracht und somit der Außenwand ein Wärmestrom aufgeprägt, ändert sich der Verlustwärmestrom beziehungsweise die Verlustebene verschiebt sich vom Raum in den Wandquerschnitt. Im Endeffekt ändern sich damit die Temperaturen über den Wandquerschnitt, je nach Randbedingungen und Betriebsmodus. Dabei lässt sich die neue, geänderte Knotentemperatur ( $T_k$ ) in Relation zu der Ruhetemperatur ( $T_{k0}$ ) als Indikator für die verschiedenen Betriebsmodi der außenliegenden Wandtemperierung heranziehen. Relevant ist hierbei vor allem der resultierende Temperaturgradient zum Innenraum hin ( $\Delta T_i$ ). Die drei folgenden, generellen Betriebsweisen können dabei unterschieden werden (siehe dazu auch Abbildung 3 und Abbildung 4):

- Teilkompensatorischer Betrieb:  $T_{k0} < T_k < T_i \rightarrow \Delta T_i < 0$ :  
Der Verlustwärmestrom über die Außenwand wird teilkompensiert.  
Es verbleibt ein Rest-Verlustwärmestrom.
- Kompensatorischer Betrieb:  $T_{k0} < T_k = T_i \rightarrow \Delta T_i = 0$ :  
Der Verlustwärmestrom über die Außenwand wird vollständig kompensiert.  
Es findet kein Verlustwärmestrom vom Innenraum über die Außenwand mehr statt.

- Überkompensatorischer Betrieb:  $T_{k0} < T_k > T_i \rightarrow \Delta T_i > 0$ :  
Der Verlustwärmestrom wird vollständig kompensiert und zusätzlich wird dem Raum ein effektiver Wärmestrom zur Kompensation weiterer Wärmeverluste (unbelegte Flächen, Fenster, Lüftungs- und Infiltrationswärmeverluste) zugeführt.

Bei dieser Betrachtung handelt es sich um stationäre Zustände. Über einen kompletten Heizkreis betrachtet beziehungsweise auch im instationären Fall können alle Zustände auch gleichzeitig auftreten.

Abb. 3:  
Schematische Darstellung der verschiedenen Betriebsmodi der außenliegenden Wandtemperierung, in Abhängigkeit der Knotentemperatur  $T_k$  in Relation zur Ruhetemperatur  $T_{k0}$   
Quelle: IZES gGmbH



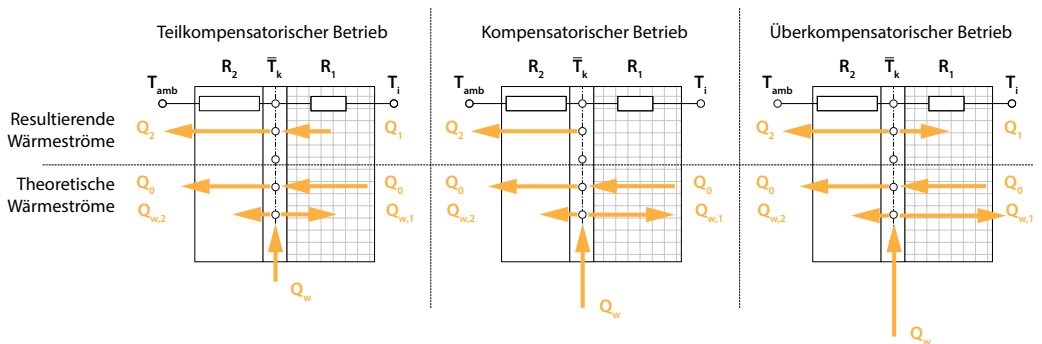
Für die beiden Komponenten aWT und aLT gilt somit zusammengefasst, dass bereits mit Systemtemperaturen nahe der Raumtemperatur die Transmissionswärmeverluste durch die Außenwand teilkompensiert beziehungsweise mit Systemtemperaturen bei Raumtemperatur komplett kompensiert werden können. Bei Temperaturen größer der Raumtemperatur wird dem Raum zusätzlich ein effektiver Heizwärmestrom zur Verfügung gestellt, der zur Kompensation anderer Verluste (unbelegte Flächen, Fenster, Lüftung/Infiltration) genutzt werden kann.

## Mögliche Einsatzgebiete für die Komponenten aLT und aWT

Der niederexergetische Ansatz der beiden Komponenten aWT und aLT wiederum ermöglicht den verstärkten Einsatz von EE für den Gebäudebereich. Insbesondere der Solarthermie und der Wärmepumpe kommt der Niedertemperaturansatz entgegen. Bei der Wärmepumpe gilt überschlüssig: Je geringer die notwendige Vorlauftemperatur im Heizkreis, desto höher die Effizienz der Wärmepumpe. Bei der Solarthermie steigt überschlüssig mit sinkender Temperaturanforderung der spezifische Kollektorsertrag. Die Wandtemperierung dient in diesem Fall als (zusätzliche) Niedertemperatur-Wärmesenke für die Solarthermie. Somit kann der spezifische Kollektorsertrag gesteigert werden. Weitere mögliche Einsatzgebiete für die Komponenten aWT und aLT sind die Nutzbarmachung von Niedertemperaturabwärme ( $< 35^\circ\text{C}$ ) und die thermische Aktivierung der Bestandsstruktur zur Speicherung von Wärme/Kälte, zum Beispiel im Zusammenhang mit einer möglichen Altbausolarisierung.

## Wirkungsgrad der aWT

Dem gegenüber stehen jedoch die, ebenfalls lagebedingten, höheren Verluste im Vergleich zu innenliegenden Temperierungsflächen und konventionellen Heizsystemen. Der Anteil der Verluste wird durch den Wirkungsgrad der Wandtemperierung  $\eta_{aWT}$  ausgedrückt.<sup>[2]</sup> Für diesen Wirkungsgrad wird die Änderung des Verlustwärmestroms über die Außenwand im Vergleich zum Ruhezustand als Nutzen definiert und der gesamte, über die Temperierungsebene zugeführte Wärmestrom als Aufwand. Der Wärmestrom, welcher der Wand über die Temperierungsebene zugeführt wird ( $Q_w$ ), teilt sich auf in einen Teil nach innen ( $Q_{w,1}$ ) und einen Teil nach außen ( $Q_{w,2}$ ) (Abbildung 4). In Abbildung 5 ist der stationäre, energetische Wirkungsgrad der aWT in Abhängigkeit des U-Wertes der Bestandswand (vor der Sanierung) und der eingesetzten Dämmstärke für das WDVS (WLG035) aufgeführt.



Aus übergeordneter, energetischer Sicht sollten die oben angedeuteten Effizienzgewinne des systemischen Ansatzes höher sein als die zusätzlichen Wärmeverluste. Erste Simulationsergebnisse zeigen, dass die systemische Energiebilanz positiv ausfallen kann. Wird die Wandtemperierung mit Niedertemperaturabwärme betrieben, dürften die zusätzlichen Wärmeverluste vernachlässigbar sein. Zumal hier zu beachten ist, dass durch das Aufbringen des WDVS (unabhängig vom Betrieb der aWT) die Transmissionswärmeverluste durch die Außenwand im Vergleich zu der unsanierten Außenwand erheblich reduziert werden.

Abb. 4: Schematischer Verlauf der theoretischen und resultierenden Wärmeströme für die drei generellen Betriebsmodi der aWT  
Quelle: IZES gGmbH

## Diskussion aWT/aLT

Neben der oben dargelegten rein energetischen Betrachtung spielen jedoch als „weiche Faktoren“ auch weitere Gesichtspunkte eine Rolle. Insgesamt lassen sich die folgenden interessanten Aspekte der außenliegenden Wandtemperierung identifizieren:

- Sanierung von außen, im bewohnten Zustand möglich
- Niederexergetisches Temperierungssystem: Niedertemperatur-Wärmesenke

für Wärmepumpen und/oder solarthermische Anlagen. Zusätzlich geeignet zur Nutzbarmachung von Niedertemperatur-Abwärmeströmen

- Heizen und Kühlen möglich
- Grundlasttemperierung: Einfache Regelstrategien und ein Selbstregelleffekt (siehe Fußbodenheizung)
- Thermische Aktivierung der Bestandsstruktur als Speichermöglichkeit für Wärme/Kälte
- Thermische Behaglichkeit kann durch erhöhte Oberflächentemperaturen gesteigert werden, gegebenenfalls geringere Raumlufttemperaturen bei gleichbleibender Behaglichkeit möglich
- Entschärfung der Wärmebrückenproblematik im Gebäudebestand

Als Nachteil der außenliegenden Wandtemperierung ist der statische Wirkungsgrad von maximal rund 95 Prozent (Abbildung 5) zu nennen und der daraus resultierende Mehraufwand im Vergleich zu innenliegenden Temperierungssystemen. Soll die aWT als alleinige Wärmeabgabefläche betrieben werden, können anspruchsvolle Regelstrategien notwendig sein, da es sich um ein sehr träges Heizsystem handelt. Aus Regelungssicht ergänzt die sehr schnell reagierende aLT die aWT daher ideal. Darüber hinaus gelten für die aWT ebenfalls die typischen Vor- und Nachteile von Bauteilaktivierungen. Hier ist insbesondere der Energieaufwand für die Förderung des Fluides zu nennen und in die Energiebilanz beziehungsweise Auswertung zu integrieren.

Abb. 5:  
Wirkungsgrad der aWT (unter stationären Bedingungen) in Abhängigkeit des U-Wertes der Bestandswand und der Dämmstärke des WDVS (für die Wärmedämmung wurde die WLG035 angenommen). Fettgedruckt sind die Kombinationen mit einem Wirkungsgrad  $\geq 90\%$ .  
Quelle: IZES gGmbH

Wirkungsgrad der aWT in Abhängigkeit des U-Wertes der Bestandswand und der Dämmstärke des WDVS

U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Dämmstärke WDVS [mm]																	
	10	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
1.0	27%	40%	49%	56%	61%	65%	71%	75%	78%	81%	83%	84%	86%	87%	88%	89%	89%	90%
1.1	29%	42%	52%	58%	63%	67%	73%	77%	80%	82%	84%	86%	87%	88%	89%	90%	90%	91%
1.2	31%	45%	54%	60%	65%	69%	75%	79%	82%	84%	85%	87%	88%	89%	90%	90%	91%	92%
1.3	33%	47%	56%	62%	67%	71%	76%	80%	83%	85%	86%	88%	89%	90%	90%	91%	92%	92%
1.4	34%	49%	58%	64%	69%	73%	78%	81%	84%	86%	87%	89%	90%	90%	91%	92%	92%	93%
1.5	36%	51%	60%	66%	70%	74%	79%	82%	85%	87%	88%	89%	90%	91%	92%	92%	93%	93%
1.6	38%	52%	61%	67%	72%	75%	79%	83%	86%	87%	89%	90%	91%	92%	92%	93%	93%	94%
1.7	39%	54%	63%	69%	73%	76%	80%	84%	86%	88%	89%	90%	91%	92%	93%	93%	94%	94%
1.8	41%	55%	64%	70%	74%	78%	81%	85%	87%	89%	90%	91%	92%	92%	93%	94%	94%	94%
1.9	42%	57%	66%	71%	75%	79%	82%	86%	88%	89%	91%	91%	92%	93%	93%	94%	94%	95%
2.0	44%	58%	67%	72%	76%	79%	83%	86%	88%	90%	91%	92%	93%	93%	94%	94%	95%	95%
2.1	45%	59%	68%	74%	77%	80%	84%	87%	89%	90%	91%	92%	93%	94%	94%	95%	95%	95%
2.2	46%	61%	69%	75%	78%	81%	84%	88%	89%	91%	92%	93%	93%	94%	94%	95%	95%	95%
2.3	47%	62%	70%	75%	79%	82%	85%	88%	90%	91%	92%	93%	94%	94%	95%	95%	95%	96%
2.4	48%	63%	71%	76%	80%	83%	86%	89%	90%	92%	92%	93%	94%	94%	95%	95%	96%	96%
2.5	50%	64%	72%	77%	81%	83%	86%	89%	91%	92%	93%	94%	94%	95%	95%	95%	96%	96%
2.6	51%	65%	73%	78%	81%	84%	87%	89%	91%	92%	93%	94%	94%	95%	95%	96%	96%	96%
2.7	52%	66%	74%	79%	82%	84%	87%	90%	91%	92%	93%	94%	95%	95%	95%	96%	96%	96%
2.8	53%	67%	74%	79%	83%	85%	88%	90%	92%	93%	94%	94%	95%	95%	96%	96%	96%	96%
2.9	54%	68%	75%	80%	83%	85%	89%	91%	92%	93%	94%	94%	95%	95%	96%	96%	96%	97%
3.0	55%	69%	76%	81%	84%	86%	89%	91%	92%	93%	94%	95%	95%	96%	96%	96%	96%	97%

## Praktische Umsetzung der außenliegenden Wandtemperierung

Die Umsetzung eines Demonstrators bildet den Abschluss des Forschungsprojekts „LEXU II“. Primäres Ziel des Demonstrators war, die theoretischen Erkenntnisse zur außenliegenden Wand- und Lufttemperierung durch die praktische Umsetzung zu demonstrieren und nachzuweisen. Hier ist auf der einen Seite die praktische Umsetzung der aWT und aLT vor Ort auf der Baustelle zu nennen. Andererseits wurde die Integration der Komponenten aWT und aLT in ein niederexergetisches Versorgungssystem konzipiert und realisiert. Auf Grundlage der Messergebnisse, die bis zum Projektende und in der Kühlperiode 2018 generiert werden, kann eine energetische Bewertung der Komponenten und des gesamten Systems erfolgen. Anhand von begleitenden, extrapolierenden Simulationsstudien können zudem Aussagen zu den Potentialen der Komponenten und des Systems getroffen werden.

Der umgesetzte Demonstrator bietet auch nach Abschluss des derzeitigen Forschungsprojekts, insbesondere aufgrund der umfassend installierten Messtechnik, eine Vielzahl von zusätzlichen Untersuchungs- und Erweiterungsmöglichkeiten und soll auch weiterhin zu Forschungszwecken genutzt werden.

### Danksagung

Die Projekte LEXU und LEXU II wurden gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags unter den Förderkennzeichen: 0327370Y/T. Wir möchten uns an dieser Stelle für die Unterstützung durch den Fördermittelgeber sowie bei allen Projektpartnern bedanken.

---

<sup>1</sup> Luther, G., Altgeld, H., Die außenliegende Wandheizung, In: Gesundheitsingenieur, 2002 (1), Seite 8-15

<sup>2</sup> Schmidt, C., Luther, G., Altgeld, H., Maas, S., Groß, B., Scholzen, F., „Außenliegende Wandtemperierung“- LowEx-Anwendung zur Temperierung von Bestandsgebäuden und thermischen Aktivierung der Bestandswand: theoretische Grundlagen und Kennwerte, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, Bauphysik 39 (2017), Heft 4, Seite 215 – 223

<sup>3</sup> Schmidt, C., Altgeld, H., Groß, B., Luther, G., Schmidt, D.: LEXU II – Einsatz von außenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung, In: Proceedings of CESBP/BauSim 2016, Seite 843 – 850

<sup>4</sup> U.a. Glück, B., Thermische Bauteilaktivierung, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1999, ISBN: 3-7880-7674-7

<sup>5</sup> U.a. Koschenz, M., Lehmann, B., Thermoaktive Bauteilsysteme tabs, EMPA Drübendorf, Zürich, 2000, ISBN: 3-905594-19-6

<sup>6</sup> U.a. Pfafferott, J., Kalz, D., Koenigsdorff, R., Bauteilaktivierung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015, ISBN: 978-3-8167-9357-1

<sup>7</sup> 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, 2013

### **Links**

[www.projekt-lexu.de](http://www.projekt-lexu.de)

### **Kontakt**

Christoph Schmidt, IZES gGmbH  
E-Mail: [schmidt@izes.de](mailto:schmidt@izes.de)

Dr. Bodo Groß,  
Leiter des Arbeitsfeldes „Technische Innovationen“ der IZES gGmbH  
E-Mail: [gross@izes.de](mailto:gross@izes.de)