

# **Solarthermische Nutzung der Gebäudefassade durch integrierte Absorberelemente**

Horst Altgeld, Danny Jonas, Michael Mahler, Christoph Schmidt  
IZES gGmbH Institut für ZukunftsEnergieSysteme  
Altenkessler Straße 17, Gebäude B4, IT Park Saarland, D-66115 Saarbrücken  
Tel.: 0681/9762-840 Fax.: 0681/9762-850  
E-Mail: gebaeude@izes.de  
Internet: www.izes.de

## **Kurzfassung**

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsvorhaben *LEXU II-Feldtest* wird die praktische Umsetzbarkeit der Forschungsergebnisse des vorangegangenen Projektes LEXU I in unterschiedlichen Feldtestanwendungen mit weiterer Komponentenentwicklung untersucht. Ein Teilbereich des Projektes umfasst die Untersuchung der indirekten Kombination einer außenliegenden Wandheizung mit einem Außenwandabsorber in Kombination mit dem Einsatz einer Wärmepumpe und eines Eisspeichers. Der Außenwandabsorber liefert hierbei Niedertemperaturwärme aus der Umgebungsluft und aus der einfallenden Solarstrahlung. Die Potenziale dieses Systems wurden in einem ersten Schritt anhand von Simulationen theoretisch ermittelt. Hierbei wurde zudem die Anwendungsmöglichkeit der Simulationsumgebung TRNSYS zur Analyse des Systems untersucht.

In diesem Beitrag wird zunächst das grundlegende Konzept der Verwendung eines Außenwandabsorbers als Wärmequelle und die Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Technologien beschrieben. Anschließend erfolgt eine Zusammenstellung der bisher erzielten Ergebnisse der Untersuchung des Systems. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf weitere Untersuchungen bzw. notwendige und vorgesehene Folgearbeiten gegeben. Hierzu gehört auch die Darstellung der Möglichkeiten zur solarthermischen Nutzung der Gebäudefassade durch in den Außenputz integrierte Absorberelemente und deren Nutzung als Wärmequelle zur Energieversorgung von Gebäuden.

Keywords: Außenwand-Putzabsorber, Außenwand-Temperierung, Eisspeicher, Low-Ex-System, TRNSYS

## 1. Einleitung

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0327370Y geförderten Forschungsvorhaben „Low Exergy Utilisation - Einsatz von außen liegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung - Feldtest, CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe mit Eisspeicher“ (kurz LEXU II -Feldtest), mit der bisher vorgesehenen Laufzeit von Jan.2012 bis Dez.2014, wird die praktische Umsetzbarkeit der Forschungsergebnisse des vorangegangenen Projektes LEXU I<sup>1</sup> in unterschiedlichen Feldtestanwendungen mit weiterer Komponentenentwicklung untersucht. Hierbei sollen potenzielle exergetische Vorteile der außenliegenden Wandheizung (aWH) und -kühlung durch die Verbindung mit innovativen Systemkonzepten analysiert und bewertet werden. Ein Teilbereich des Projektes umfasst die Untersuchung der indirekten Kombination eines **AußenWandTemperierungssystems** (AWT) mit einem im Außenputz integrierten Flächenabsorber (Außenwandabsorber) via Wärmepumpeneinsatz. Zusätzlich wird hierbei ein Eisspeicher als Wärmesenke/ Puffer für den Außenwandabsorber in das System integriert. In Abb. 1 sind alle derzeit als untersuchenswert eingestuft Systemkombinationen vereinfacht dargestellt.

Die Kombination aus außenliegender Wandheizung und Außenwandabsorber (aWA) lohnt aus zwei Gründen besondere Untersuchungen. Zum einen kann der Umgebungsluft mit Hilfe des Absorbers Umweltwärme entzogen und zusätzlich eventuell vorhandene Solarstrahlung auf die im Putz eingebettete Absorberfläche ausgenutzt werden. Die Absorberwärme kann zur Beladung eines Speichers (Variante „1“ in Abb. 1) dienen und über Wärmepumpen letztlich als Nutzenergie zur Verfügung gestellt werden. Andererseits kann der Außenwandabsorber ggf. auch mit der außenliegenden Wandheizung direkt kombiniert werden (Variante „2“ in Abb. 1), um gezielt Wärme oder Kälte hinter die Isolierschicht eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) in den dahinter liegenden massiven Teil der Außenwand zu transportieren. Dabei fungiert die Außenwand gleichzeitig als thermischer Speicher. Speichersysteme für Low-Ex-Systeme sind besonders dann sinnvoll einzubinden, wenn mit Wärmepumpen gearbeitet wird und Betriebsphasen mit längeren Perioden auftreten, in denen eine niedrige Umgebungstemperatur in der Heizperiode oder eine hohe Umgebungstemperatur im Sommer vorherrscht. Im Feldtest soll die Eignung eines Eisspeichers als Pufferkomponente untersucht werden. Auch die zusätzlichen Möglichkeiten der Nutzung des Außenwandabsorbers als direkte Wärmequelle der Wärme-

---

<sup>1</sup> Projekt: Energiespar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außen liegenden Wandheizsystemen (aWH) für Niedertemperatur Anwendungen (Förderkennzeichen: 0327370T), Laufzeit 2006-2009

pumpe (Variante „3“) sowie zur direkten Beladung eines zusätzlichen Pufferspeichers durch den Außenwandabsorber (Variante „4“) sind dargestellt.

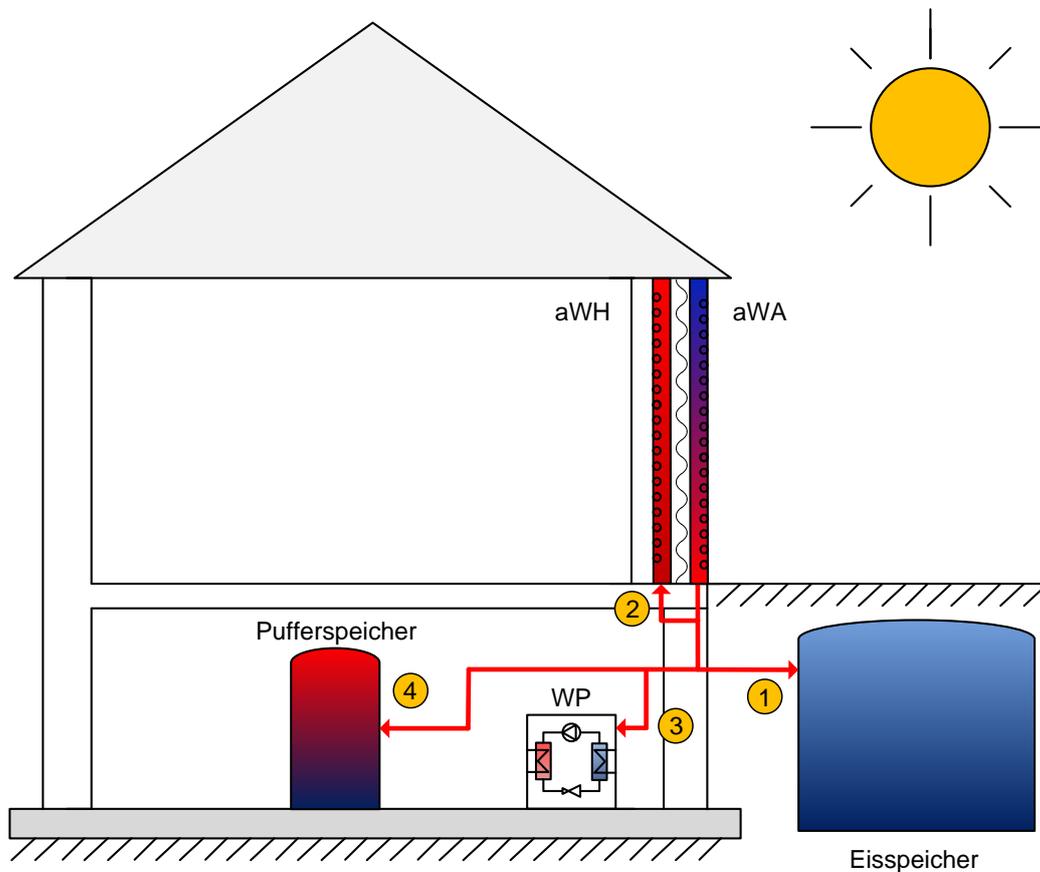


Abb. 1: Systemkombination bestehend aus Außenwandabsorber (aWA), außenliegender Wandheizung (aWH), Wärmepumpe (WP), Pufferspeicher und Eisspeicher

In Abbildung 2 sind die Heiz- bzw. Kühlregister, welche als Außenwand- Flächen-Temperierung bzw. Außenwandabsorber eingesetzt werden sollen, abgebildet. Es handelt sich hierbei um PE-Kapillarrohrsysteme der Firma Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH, die in unterschiedlichen Abmessungen, Rohrführungen und Anschlussystemen zur Verfügung stehen. Im Projekt werden Teile der Gebäudefassade mit aWH System (unter dem WDVS) ausgerüstet, und andere Fassadenteile erhalten im Außenputz eingebettete Absorbermatten zur Aufnahme von Umweltwärme in das System.

Im vorgesehenen Feldtest-Projekt arbeiten neben der IZES gGmbH noch folgende Partner aus Wissenschaft und Industrie mit: Stuckverband Baden Württemberg mit Kompetenzzentrum des Stuckverbandes, ISOCAL GmbH, Clina GmbH, Dr. H. Altgeld c/o IZES gGmbH, Dr. G. Luther, Universität des Saarlandes.



Abbildung 2: Flächen-Temperiersysteme des Herstellers Clina GmbH während der Wandanbringung (zur Heizung oder Kühlung)

## 2. Simulation des Außenwandabsorbers

Zur Abschätzung des Potenzials des Außenwandabsorbers als Wärmequelle für eine Wärmepumpe wurde zunächst ein Simulationsmodell in TRNSYS erarbeitet. Hierbei wurde ein Modellraum (thermische Zone) mit einer konstanten Innentemperatur von 20 °C betrachtet.

Da mit vorliegenden TRNSYS-Types normalerweise pro Wand nur eine aktive Schicht abgebildet werden kann, wurde die Außenwand, die evtl. auch mit der aWH-Funktion (Heizfunktion) betrieben werden soll, mit zwei Wandschichten und einem dazwischenliegenden Luftknoten simuliert. Diese Funktion wurde zuerst ohne aktive Schichten statisch validiert, wodurch sichergestellt werden konnte, dass die nachfolgenden Simulationen zu plausiblen Ergebnissen führen. Abweichungen durch den zusätzlichen Luftknoten konnten bei den statischen Betrachtungen nicht festgestellt werden, so dass die statische Validierung als erfolgreich angesehen werden kann. Der Absorber wurde als aktive Schicht einer Außenwand unterhalb einer Putzschicht von 13 mm ( $\lambda_{\text{Putz}} = 0,7 \text{ W/(mK)}$ ) definiert. Die Rohrelemente wurden hierbei mit einem äußeren Durchmesser von 0,0043 m, einer Wandstärke von 0,0008 m, einem mittigen Rohr zu Rohr- Abstand von 0,03 m und einer Wärmeleitfähigkeit der Rohrleitungen von 0,4 W/(mK) festgelegt. Des Weiteren wurden für die Außenwand ein langwelliger Emissionsgrad von 0,94, ein solarer Absorptionsgrad von 0,6 und ein Wärmeübergangskoeffizient von 25 W/(m<sup>2</sup>K) angenommen.

Zur Bestimmung eines Leistungskennfeldes des Absorbers wurde während der Simulation die Eintrittstemperatur in den Absorber von  $-5\text{ °C}$  bis  $+10\text{ °C}$  in  $5\text{ K}$ -Schritten variiert. Hierbei wurde der Außenwandabsorber mit einem konstanten Massenstrom von  $15\text{ kg}/(\text{m}^2\text{h})$  versorgt. Die Außentemperatur wurde von  $-10\text{ °C}$  bis  $+25\text{ °C}$  in  $5\text{ K}$ -Schritten variiert. Die Simulation wurde für die verschiedenen Kombinationen aus Absorbereintrittstemperatur und Außentemperatur für globale Einstrahlungen auf die Außenwand von  $0\text{ W}/\text{m}^2$ ,  $400\text{ W}/\text{m}^2$ ,  $800\text{ W}/\text{m}^2$  und  $1000\text{ W}/\text{m}^2$  durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulation sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Die Leistung des Außenwandabsorbers wurde hierbei in Abhängigkeit der Differenz zwischen der Eintrittstemperatur in den Außenwandabsorber  $T_{aWA, \text{Eintritt}}$  und der Umgebungstemperatur  $T_{amb}$  für unterschiedliche globale Bestrahlungsstärken auf der Außenwand dargestellt.

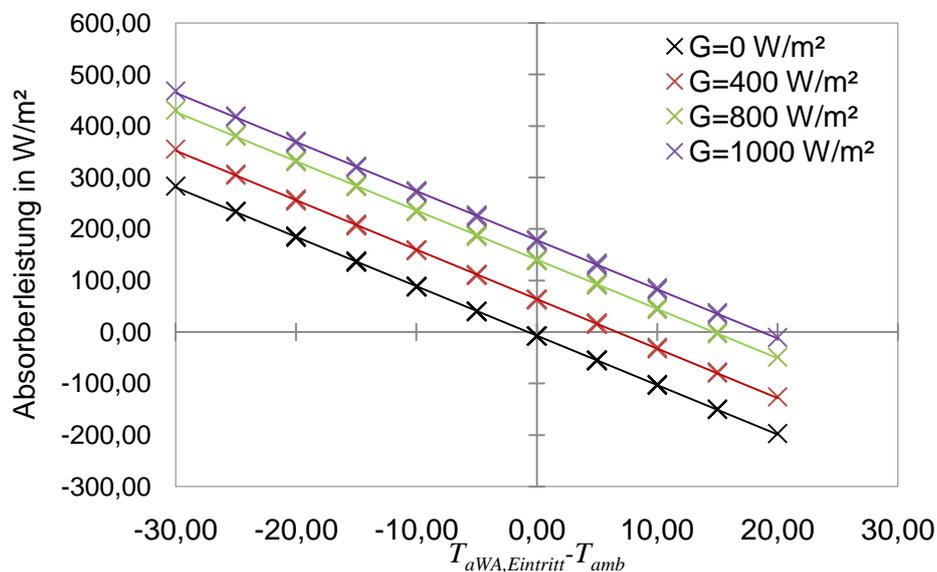


Abbildung 3: Leistungskennfeld des Außenwandabsorbers als Funktion der Temperaturdifferenz von Absorbereintritt und Umgebungstemperatur in Abhängigkeit von der solaren Globalstrahlung

Da die Regenerationstemperatur eines Eisspeichers häufig bei ca.  $0\text{ °C}$  liegt, kann die typische Eintrittstemperatur in den Außenwandabsorber ebenfalls mit ca.  $0\text{ °C}$  angenommen werden. Bei Außentemperaturen von  $+10\text{ °C}$  ohne Solarstrahlung ergibt sich nach Abbildung 3 eine Entnahmeleistung von ca.  $100\text{ W}/\text{m}^2$ . Bei Einstrahlungen von  $400\text{ W}/\text{m}^2$  steigt hier die Leistung des Außenwandabsorbers auf ca.  $150\text{ W}/\text{m}^2$  und erreicht bei  $800\text{ W}/\text{m}^2$  einen Wert von ca.  $250\text{ W}/\text{m}^2$ . Bei einer Außentemperatur von  $-10\text{ °C}$  werden erst ab ca.  $600\text{ W}/\text{m}^2$  Einstrahlung positive Entzugsleis-

tungen erreicht. Die Entzugsleistung liegt dann bei 800 W/m<sup>2</sup> Einstrahlung bei ca. 50 W/m<sup>2</sup>.

In Abbildung 4 ist der Wirkungsgrad des Außenwandabsorbers  $\eta_{aWA}$  in Anlehnung an die Darstellung von Wirkungsgradkennlinien bei Solarabsorbern in Abhängigkeit der Differenz zwischen der Eintrittstemperatur in den Außenwandabsorber  $T_{aWA, \text{Eintritt}}$  und der Umgebungstemperatur  $T_{amb}$  bezogen auf die globale Bestrahlungsstärke  $I_{Global}$  auf der Außenwand dargestellt.

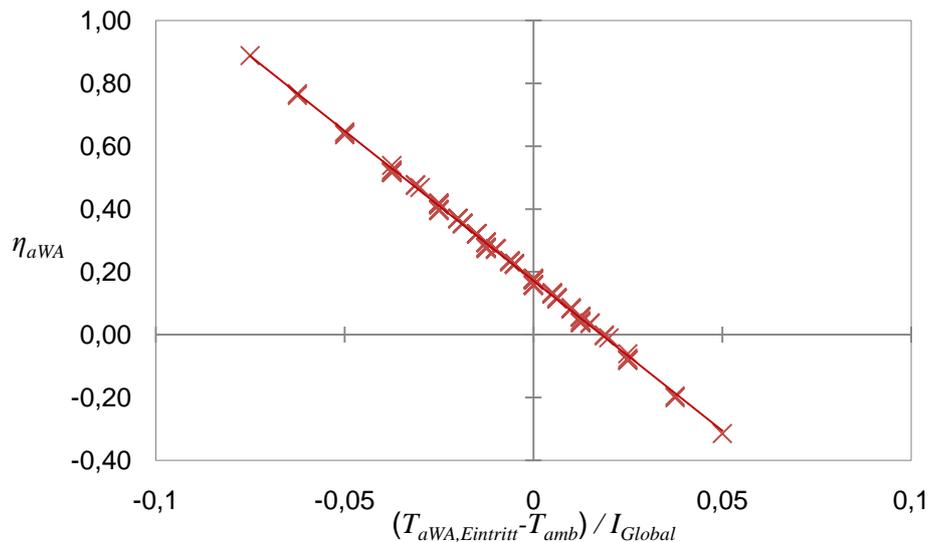


Abbildung 4: Wirkungsgradkennlinie Außenwandabsorber als Funktion der treibenden Temperaturdifferenz am Absorbereintritt und der Globalstrahlung

Aus der Wirkungsgradkennlinie können die Parameter der Wirkungsgradgleichung des Absorbers in Anlehnung an Wirkungsgradgleichungen bei Solarabsorbern approximiert werden (vorteilhaft ist auch hier der Bezug auf die Globalstrahlung auf der Abszisse, da dann statt einer Kurvenschar genügend genau quasi eine einzige Kennlinie entsteht):

$$\eta_{aWA} = \eta_0 - k_I \cdot (T_{aWA, \text{Eintritt}} - T_{amb}) / I_{Global} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$\text{mit } \eta_0 = 0,1716, \quad k_I = 9,5317 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}).$$

Der vergleichsweise sehr geringe "optische" Wirkungsgrad  $\eta_0$  und der hohe Wärmeverlustkoeffizient  $k_I$  des Putzabsorbers weisen darauf hin, dass der Putzabsorber lediglich einen geringen Teil der auf der Wandfläche einfallenden Einstrahlung nut-

zen kann und normalerweise einen Großteil der bereitgestellten Energie aus Umgebungswärme durch Konvektion an der Außenwand aufnimmt. Es ist hier wichtig zu vermerken, dass die Koeffizienten in Gl. 1 bis dato nur für die oben beschriebenen Annahmen ausreichend verifiziert wurden – eine erweiterte Untersuchung im zu erwartenden Bereich der Betriebsbedingungen ist noch im Gange, wird aber ähnlich beschrieben werden können.

### **3. Dynamische Simulation und Feldtest**

Die dynamische Simulation der physikalischen Problemstellung stellt eine wichtige Grundlage für die Systembeurteilung dar, da sie auch die Grundlage für die Steuerungs-/Regelungsoptimierung ist, die ihrerseits wiederum die Energiebilanz signifikant beeinflussen kann. Vor der Feldtestanwendung wird anhand von Simulationen eine Bewertung möglicher Systemkonzepte durchgeführt. Des Weiteren werden geeignete Regelstrategien für das Zusammenwirken der unterschiedlichen Systemkomponenten untersucht. Im Blickfeld steht hier eine optimale und kostengünstige Lösung für das System und den Betrieb mit Eisspeicher. Für die Feldtestanwendung werden bekannte und ggf. alternativ möglich erscheinende Systemvarianten im Hinblick auf Herstellungsaufwand, Betriebssicherheit und Kosten analysiert. Zusammenfassend besteht das im Feldtest zu untersuchende System aus folgenden Hauptkomponenten:

- Außenwandabsorber (im Außenputz integrierter Flächenabsorber)
- Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Pufferspeicher
- Eisspeicher als Wärmesenke des Außenwandabsorbers
- außenliegende Wandheizung

Der Niedertemperaturkreis des Systems soll so gestaltet werden, dass die Wärmeabgabe des Fassadenabsorbers an den Eisspeicher, an die Wärmepumpe direkt oder ggf. auch an den Pufferspeicher erfolgen kann. Des Weiteren ist eine direkte Einspeisung in das Verbrauchernetz (hier außenliegende Wandheizung) denkbar, wobei die Sinnhaftigkeit dieser Variante (ausreichend oft geeignete Bedingungen?) noch durch Simulationen geprüft werden muss. Weitere Ergebnisse im Zusammenhang mit dem Außenwandabsorber werden in den Gebäude- und Anlagensimulationen in TRNSYS im Zuge der Voruntersuchung des Feldtests erarbeitet. Der Feldtest kann auf Grund des baulichen Fortschritts erst ab dem Jahr 2014 durchgeführt werden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Als Teilprojekt des Projekts LEXU II soll ein Feldtestobjekt mit einem Außenputzabsorber ausgestattet werden, der seinen Wärmeeintrag (ggf. auch Kälteeintrag) an einen Eisspeicher oder ggf. auch alternativ an einen zusätzlichen Pufferspeicher oder direkt an ein Außenwandtemperierungssystem weitergibt. Eine Wärmepumpe wertet in der Regel diesen Energiestrom exergetisch weiter auf und gibt die Wärme/ Kälte im Regelfall weiter an ein Außenwandtemperierungssystem, das unter einem Wärmedämmverbundsystem angeordnet ist.

Das relativ komplexe Gesamtsystem wird vor der endgültigen Realisierung in TRNSYS Rechnungen dynamisch simuliert, um nur begrenzt sinnvolle Anlagenteile ggf. auszuschließen sowie um geeignete Regelkonzepte zu definieren und zu untersuchen. Bisher durchgeführte Simulationen beziehen sich auf die Verifizierung der Anwendbarkeit von TRNSYS mit entsprechenden „Types“; die Ergebnisse lassen eine ausreichende Einsetzbarkeit der Software erwarten. Der zugehörige Feldtest wird voraussichtlich im Jahr 2014 beginnen.

## Literatur

/1/ Altgeld, H., Böttcher, J., Dürnhofer, A., Luther, G., Mahler, M., Die außenliegende Wandheizung – Nutzung von Niedertemperaturpotenzialen und Anwendungspotenziale im Gebäudebestand, Tagungsband „19. Symposium Thermische Solarenergie“, Kloster Banz, Mai 2009

/2/ Altgeld, H., Luther, G., Mahler, M., Außenliegende Wandheizsysteme für Niedertemperaturanwendungen (LEXU-aWH), Tagungsband „LowEx- Symposium, 28.-29.10.2009, Kassel.

## Danksagung

Die im Beitrag beschriebenen Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des Forschungsvorhaben „Low Exergy Utilisation - Einsatz von außen liegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung - Feldtest, CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe mit Eisspeicher“ aufgrund eines Beschlusses des Deut-

schen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 0327370Y gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung und übernehmen die vollständige Verantwortung für den Inhalt des Beitrags.