

## „LEXU 2“ – Einsatz von außenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung – Feldtest mit CO<sub>2</sub>- Wärmepumpe, Eisspeicher,...

Horst Altgeld, Danny Jonas, Gerhard Luther\*<sup>1</sup>, Michael Mahler, Christoph Schmidt

IZES gGmbH, Saarbrücken / \*<sup>1</sup>: Universität des Saarlandes, Experimentalphysik, Saarbrücken

### Kurzfassung

Im Projekt LEXU2 werden verschiedene Anwendungen von Außenwand-Temperierungssystemen theoretisch und experimentell bis zum Feldtest untersucht.

Wasserführende Heizflächen, eingebettet in einer Putz-/Kleberschicht unter einem Wärmedämm-Verbundsystem, dienen als Niedertemperatur Wärmeverteilsysteme. Flächenabsorber im Außenputz ermöglichen die Aufnahme von Umwelt- und Solarenergie für Wärmepumpen.

### Exergetisch optimale Heizsysteme für Gebäude-Außenwandsanierungen

In einem vorgeschalteten Projekt (LEXU, FöKz: 0327370T) wurden Grundfunktionen und geeignete Realisierungen derartiger Außenwandsanierungen untersucht. Anwendungsziel sind vor allem Altbauten mit Außenwänden mit schlechtem U-Wert. Um eine Wärmezufuhr mit einem sehr niedrig temperierten Heizfluid (i.e. Nutzung von Heizquellen mit niedriger Exergie) zu ermöglichen, wird zusätzlich zu einem außen aufzubringendem Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) zuerst eine Flächenheizung auf die Bestandswand aufgebracht [1].

Durch den hohen Wärmeleitwiderstand durch das WDVS zwischen Heizebene und Außenoberfläche und den relativ dazu niedrigen Widerstand zur Innenoberfläche der Außenwand wird dieses Heizsystem energetisch fast gleichwertig zu einer Heizfläche an der Innenseite der Gebäude Außenwand.

Eine Ausweitung dieses Niedrigexergiekonzepts wird durch die bauliche Ausgestaltung eines Luftkanals zwischen Bestandswand und WDVS möglich, womit man von einer Wandtemperierung auf eine Zuluft-Temperierung (teilweise Luftheizung) übergehen und weitere exergetische Vorteile erschließen kann.

In parallelen Teilprojekten werden untersucht:

- Nutzung des Außenputzes als Wärmepumpen Absorber
- Einbindung einer CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe zur besseren Ausnutzung des Temperaturgleits für verschieden temperierte Wärmesenken im Gebäude
- Einbindung eines Phasenwechselfspeichers (Eisspeicher)

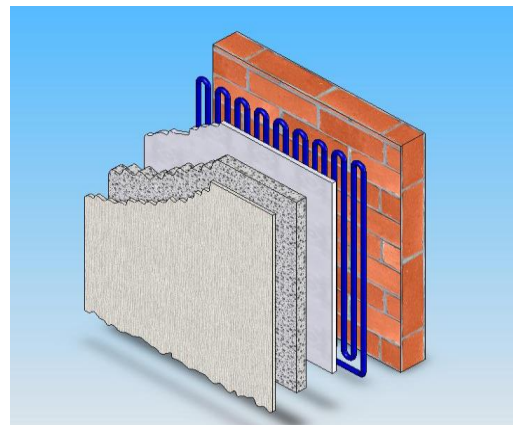


Abb.1 Explosionszeichnung einer Außenwand mit – von rechts nach links - Bestandswand, neu außen aufgebracht Flächenheizung und WDVS

## Exergetische und energetische Vorteile durch außenliegende Außenwand-Temperierungssysteme

Energetische Gebäudesanierungen betreffen in der Regel die Gebäudehülle und das Heizsystem. Standardsanierungen beziehen Fensterersatz und Wärmedämm-Verbundsysteme ein und die Heizsysteme sollten möglichst großflächige Heizflächen haben, um exergetisch optimale Niedertemperaturnutzung zu ermöglichen.

Im Projekt wird dieser Gedanke verfolgt, indem für geeignete Gebäude (mit niedrigem thermischen Widerstand der Bestands-Außenwände) auf die Außenhülle ein Flächenheizsystem aufgebracht wird (z.B. Kapillarrohrmatten-Systeme oder Fußbodenheizsysteme)[3,4]. Darüber wird im einfachsten Fall ein konventionelles WDVS aufgebracht.

Derartige Wand-Sanierungslösungen erlauben, ohne nennenswerte Belästigung der Bewohner, wegen der großen Heizflächen innerhalb der neuen Außenwand die Ausnutzung von Niedertemperaturwärme („Abfallwärme“ oder auch mit hohem COP erzeugte Wärmepumpen-Wärme).

Energetisch verfeinern lässt sich dieses System prinzipiell noch mit einem Speichersystem (hier ist ein Eisspeicher in bestimmten Klimaregionen als Wärmequelle für eine WP sinnvoll). Im Projekt ist weiter vorgesehen an einem Feldtestobjekt als originäre Wärmequelle der Wärmepumpe einen „Außenputzabsorber“ zu untersuchen, auch im Hinblick auf evtl. Fassadenprobleme. Exergetisch kann eine weitere Verbesserung erreicht werden, indem man einen Luftkanal zwischen Heizfläche und Wärmedämmung anordnet [2]. Diese Außenlufttemperierung kann einen Teil der Gebäude- Heiz- oder Kühllast decken. Die Berechnung der Kombination aus außenliegender Wandtemperierung und Außenlufttemperierung an einem Beispielgebäude lässt vermuten, dass bei einem solchen System komplett auf ein inneres Heizsystem verzichtet werden kann.

Diese Option soll noch weiter theoretisch verifiziert werden.

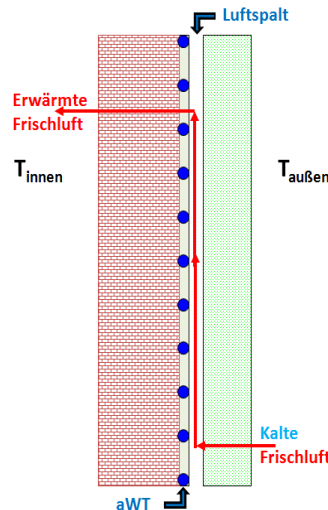


Abb.2 Schema außenliegende Luftheizung (aLH)

## Umsetzungsprobleme

Insgesamt war es angedacht drei Feldtestobjekte innerhalb des Projekts zu definieren und zu untersuchen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist davon auszugehen, dass wahrscheinlich nur ein Objekt im Projektzeitraum realisiert werden kann – ein weiteres ist noch unsicher. Die Haupt Ursache für diese Situation ist der geringe finanzielle Anreiz für die Bauherren.

Wie schon im Vorprojekt analysiert ist bei der Grundsanierung mit Außenwandtemperierung mit einem energetischen Gewinn von bis zu > 10 % gegenüber einer einfachen WDVS-Sanierung ohne zusätzliche Wandtemperierung zu rechnen. Da die Gesamt Sanierungskosten der Außenhülle schon im einfachen Fall relativ hoch sind, weil sie in der Regel Fenster- und Wandsanierung beinhalten, sind Bauherren schlecht zu überzeugen für die Sanierung mit Außenwandtemperierung. Aus jetziger Sicht ist mit Zusatzkosten von ca. 30-70 €/m<sup>2</sup> Außenwand-Heizfläche zu rechnen. Da diese Zusatzkosten auch im Feldtest-Prototyp nur zu 50% gefördert werden, sind zusätzlich Eigenmittel durch den Bauherrn einzusetzen. Aus unserer Sicht müsste für solche energetisch innovativen Prototyp-Systeme ein höherer Förderanteil möglich sein, um die theoretisch

positiv bewerteten Konzepte zumindest ein paarmal in der Praxis evaluieren zu können.

Nach derzeitigem Stand wird es zu einer Umsetzung bei einem Neubau des Stuckverbands Baden Württemberg kommen, wobei die massive Außenwand energetisch einer Altbauwand entspricht. Bei diesem noch in der Planung befindlichen Gebäude werden auch Wärmepumpe mit Außenwandabsorber und Eisspeicher integriert.

Ein anderer Anwendungsfall in einem Mehrfamilienhaus der WOG E Saar schien bis vor Kurzem gesichert, allerdings musste der Bauherr aus innerbetrieblichen Gründen seine Zusage zurückziehen – ein Ersatzobjekt wird noch gesucht.

Ein ebenfalls als positiv eingestuft häufig möglicher Anwendungsfall für Außenwand-Temperierungssysteme mit WDVS und Wärmepumpe schien der vom Gesetzgeber bis 2020 vorgeschriebene Ersatz von Elektro-Nachtspeicherheizungen (E-NSH) zu sein. Es wurden hierzu die Heizenergieverbräuche von über 200 Gebäuden analysiert und aufgeschlossene Bauherren gefunden. Leider ist nach der gesetzlichen Rücknahme dieser Auslauf-Verordnung bisher kein Umsetzungswilliger übrig geblieben. Überdies sind viele Bewohner derartig beheizter Gebäude bereits im Rentenalter, daher wurde dieses Teilprojekt aufgegeben.

### Forschungsschwerpunkte und verbleibendes Feldtestobjekt

Neben dem als zurzeit noch sicher realisierbar angesehenen Umsetzungsobjekt beim Fachverband der Stuckateure BW wurden noch die Außenlufttemperierung und eine CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe theoretisch und experimentell untersucht.

Es wurde vom Projektpartner Thermea eine zweistufige CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe (Nennleistung 20 kW) zur Anwendung im Gebäudebereich entwickelt und gebaut, die im Technikum der IZES gGmbH untersucht wurde. In dem Testbetrieb wurden verschiedene

Betriebzustands-Sequenzen abgefahren, die einem realen Betrieb in einem Mehrfamilienhaus entsprechen könnten. Die Lastganglinien hierfür wurden aus (TRNSYS-)Simulationen eines entsprechenden Gebäudes entnommen. Im Laufe der Testphase wurden in Zusammenarbeit mit dem Hersteller mehrere Funktionsstörungen detektiert und behoben. Zusätzlich wurden im Rahmen der Labortests Betriebs-Optimierungsmaßnahmen erarbeitet. Da die Wärmepumpe funktionell zwar positive Ergebnisse lieferte, aber wegen ihrer Baugröße und des Gewichts noch kein geeignetes Feldtestobjekt gefunden wurde, ist vorerst nicht mit einem Feldeinsatz zu rechnen.

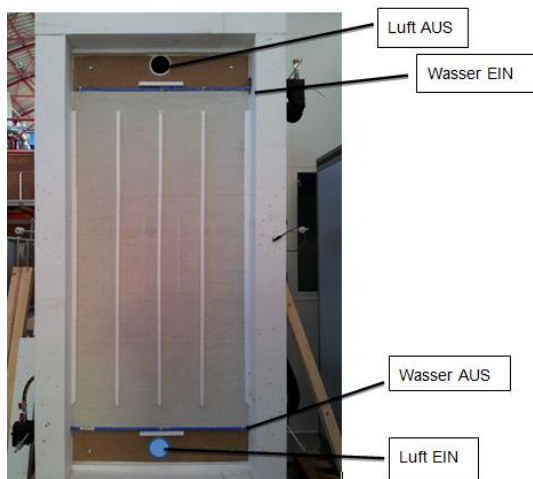


Abb.3 Blick auf die Außenluft- Temperierungs-Modellwand mit geöffnetem Luftkanal. Der hier nachgebildete Luftkanal hat eine Breite von ca. 1m, eine Tiefe von 20 mm und eine Höhe von ca. 2m.

Das Außenluft-Temperierungssystem wurde in Originalabmessungen im Technikum und theoretisch untersucht. In einem Netzwerkmodell wurden die Wärmewiderstände und die Wärme Flüsse der Versuchswand weitestgehend abgebildet. Für den Wärmeübergang von Luft auf die Kanalwände wurden die entsprechenden Gleichungen des VDI-Wärmeatlas benutzt. Die eigene detaillierte mathematische Modellierung des Systems ergab ausgezeichnete Übereinstimmung mit den Messergebnissen. Dabei wurden über 40 Betriebszustände experimentell untersucht und durchgerechnet. Der Vergleich der gemessenen Werte für die

Lufterwärmung in der Musterwand QL, mit den nach dem Modell errechneten Daten  $QL_e$  zeigt für alle Betriebszustände eine beeindruckende Übereinstimmung. Diese wird durch die Treffergenauigkeit ( $QL_e/QL$ ) beschrieben, siehe Abb.4. Bei der Berechnung von  $QL_e$  wurden für den Wärmeübergang von der Wand auf die vorbeiströmende Luft beide im VDI-Wärmeatlas unterschiedenen Randbedingungen angewendet: Konstante Wandtemperatur (linke Kurve der Abb.4) und konstanter Wärmestrom (rechte Kurve). Die realen Verhältnisse liegen zwischen diesen beiden idealisierten Bedingungen. Die etwas unterschiedliche Form der beiden Kurven ist weitgehend nur ein Artefakt der Klasseneinteilung.

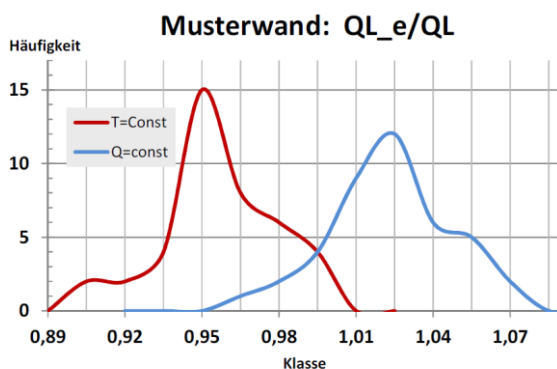


Abb.4 Häufigkeitsverteilung der Treffergenauigkeit für die Übereinstimmung der vom Modell errechneten Lufterwärmung  $QL_e$  mit an der Laborwand gemessenen Wert  $QL$ , bei beiden Randbedingungen: **Konstante Temperatur (links)** und **Konstanter Wärmestrom (rechts)**.

Um die Berechnungsmöglichkeit solcher Systeme mit Standard Simulationssoftware (hier TRNSYS 17) nachzuweisen wurden zwei verschiedene Verfahren zur Modellierung der Außenlufttemperierung in TRNSYS vergleichend untersucht. Die erste Methode verwendet das Gebäudetype (Type 56) unter Einbindung des Luftspalts als zusätzliche Zone. Da für diese zusätzliche Zone jedoch nur die mittlere Lufttemperatur als Ergebnis ausgegeben wird, muss ein Mehrzonenmodell gebildet werden. Dafür wird der Luftspalt in mehrere (übereinander liegende) Zonen unterteilt. Der Einfluss größerer Zonenzahl wurde bis zu 64 Zonen untersucht. Die zweite Methode setzt das TRNSYS-Type 1230 ein,

welches normalerweise für die Modellierung von hinterlüfteten Fassaden gedacht ist. Diese Methode hat den entscheidenden Vorteil, dass die Lufttemperatur am oberen Ende des Luftspalts direkt ausgegeben wird. Mit Hilfe des Types 1230 reduziert sich der Simulationsaufwand für das Außenluft Temperierungssystem enorm.

Der direkte Vergleich der beiden Methoden zeigte einen sehr geringen Unterschied von  $<1\%$  [5]. Nach der Korrektur eines Fehlers in Type 1230 konnte nachgewiesen werden, dass sich in Zukunft dieser Type eignet, um komplexe energetische Systeme auch mit Außenlufttemperierung in TRNSYS berechnen zu können.

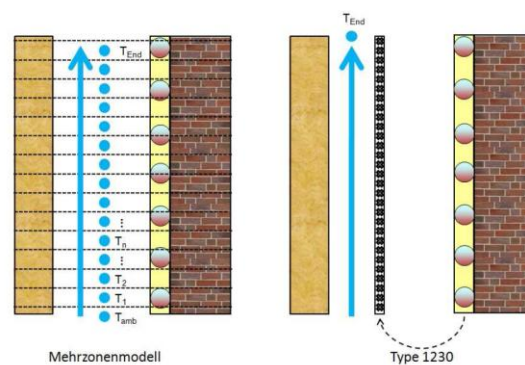


Abb.5 Vergleich Schema Mehrzonenmodell und Type 1230

## Kosten der Außenwand Systeme

Bei dem, wie oben beschrieben, relativ geringen energetischen Vorteil eines Außenwand-Temperierungssystems mit WDVS gegenüber einer reinen WDVS Sanierung ist es erforderlich, mögliche Umsetzungsobjekte vor der Realisierung ausreichend mit geeigneter Simulationssoftware dynamisch zu berechnen. Dies ist bei komplexen Gebäuden finanziell nicht zu vernachlässigen. Setzt man als Schätzwert für eine dynamische Gebäudesimulation eines erfahrenen Teams Kosten von rund 15.000 € an und ferner für die Außenwandsanierung Zusatzkosten von 30 – 70 € /  $m^2$  Wandfläche, so lassen sich ökonomische Abschätzungen durchführen.

## Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle im Rahmen des Projektes betrachteten Konzepte ausreichend gut theoretisch beschreibbar und technisch machbar sind. Gerade bei der Außenlufttemperierung beschreibt das physikalische Modell die Lufterwärmung für den gesamten Bereich der experimentell untersuchten Betriebszustände in hervorragender Weise. Darüber hinaus konnte die Modellierung dieser Komponente mit der Software TRNSYS bewerkstelligt werden. Die positiven Ergebnisse dieses Teilprojektes bestärken uns in der Suche nach einem Feldtestobjekt.

Hinsichtlich weiterer Feldtestobjekte ist der derzeitige Projektstand jedoch nicht so positiv. Die Gründe hierfür wurden oben bereits kurz angesprochen. Die energetischen Vorteile der Außenwandtemperierung wurden im Vorprojekt zwar nachgewiesen, sind jedoch teilweise nicht ausreichend um die Zusatzkosten (gerade im Rahmen einer Komplettisanierung) zu rechtfertigen, solange der Förderanteil bei nur 50% liegt.

Trotzdem sind wir derzeit noch optimistisch, dass zumindest ein Feldtestobjekt beim Fachverband der Stuckateure umgesetzt wird. In einem weiteren Arbeitspaket sind wir immer noch auf der Suche nach einem geeigneten Objekt bzw. einem aufgeschlossenen Bauherrn.

Im Umfeld der Arbeiten an diesem Projekt ist eine Patentanmeldung entstanden:  
 DE10 2013 003 054.4: Luther, Gerhard:  
 Temperaturleitender Betrieb einer Wärmepumpe durch Zwischenspeicherung.

## Projektpartner und Förderung

Weitere beteiligte Partner:  
 Fachverband der Stuckateure Baden-Württemberg,  
 Baunit GmbH, Clina GmbH, GEFGA mbH, Isocal  
 Heiz/Kühlsysteme GmbH, Schütz GmbH & Co. KG,  
 Stadtwerke St.Ingbert GmbH, Sto AG, Thermea  
 Energiesysteme GmbH, WOGÉ Saarland mbH

BMWI Förderkennzeichen: 0327 370 Y  
 Laufzeit des Projektes: 2012 bis 2015

## Referenzen

- [1] Luther, G; Altgeld, H.: Die außen liegende Wandheizung, Gesundheitsingenieur 123 (2002), S. 8-15
- [2] Luther, G.: „Integrierte außenliegende Wandheizung- ein Verfahren zur Nutzung der massiven Außenwand als ein in eine Gebäudeheiz- und Kühlsystem integrierter thermischer Speicher und als Murokausten Wärmeübertrager“, Patentanmeldung DE 10 2008 009 553.2 vom 16.02.2008
- [3] Altgeld, H.; Mahler, M.; Cavellius, R.; Horst, J.; Dürnhöfer, A.; Böttcher, J.: Energieeinspar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außen liegenden Wandheizungssystemen (aWH) für Niedertemperaturen, Endbericht zu FöKz- BMWi: 0327370T, Saarbrücken 2010
- [4] Altgeld, H.; Luther, G.; Mahler, M.: Außenliegende Wandheizsysteme für Niedertemperaturenanwendungen (LEXU-aWH), Tagungsband „LowEx-Symposium, Kassel 2009
- [5] Schmidt, D.: Modellierung einer außen liegenden Luftheizung (aLH) mit Hilfe der Software TRNSYS und Vergleich der Simulationsergebnisse mit Modellrechnungen in Excel und Messungen, Bachelor-Thesis, HTW des Saarlandes, Saarbrücken 2013