

Keine Energiewende ohne Wärmewende

Niederexergetische Außenwandtemperierung als Lösung (Teil 2)

CHRISTOPH SCHMIDT, BODO GROß*

Wird in der öffentlichen Debatte der Begriff „Energiewende“ verwendet, ist größtenteils der Umbau der Stromversorgung von fossilen Brennstoffen auf Erneuerbare Energien gemeint (Stromwende). Betrachtet man die Energiedaten für Deutschland, so wird ersichtlich, dass sowohl die Wärmewende als auch die Verkehrswende der Stromwende stark „hinterherhinkt“. Gleichzeitig wird mehr als die Hälfte der Endenergie für Wärme aufgebracht. Welche Potentiale für den Einsatz von EE noch brachliegen und welche praktikablen Einsatzmöglichkeiten es gibt, zeigt der Beitrag.

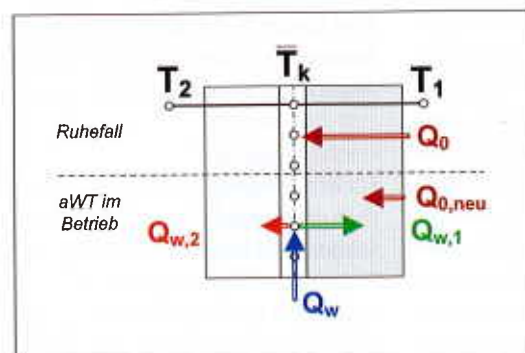
Abwärmenutzung

Die Komponenten außenliegende Wandtemperierung (aWT) und außenliegende Lufttemperierung (aLT) sind auch bzw. insbesondere für den Einsatz von Niedertemperaturabwärme geeignet. Abwärmeströme unterhalb von 35 °C werden im Allgemeinen nicht als nutzbare Wärme in Betracht gezogen bzw. wahrgenommen. Ausreichend gebündelt, fallen diese Wärmeströme überwiegend wassergebunden an. In den meisten Fällen wird aufgrund des Fehlens geeigneter Wärmesenken dieses warme Wasser weiter abgekühlt, z. B. verrieselt und anschließend entsprechend den gesetzlichen Anforderungen in Flüsse, Abwasserkanäle und/oder Kläranlagen „entsorgt“. Bekannte Beispiele für solche niederexergetischen Energiequellen sind Grubenwässer, Abwasserströme aus der Papierindustrie und Grauwasser. Auch Abluft-Wärmeströme können als eine solche niederexergetische Energiequelle gesehen werden. In Bezug auf die Nutzung dieser niederexergetischen Abwärmeströme zur Gebäudeheizung besteht ein hoher Anpassungsbedarf zwischen dem derzeit verfügbaren Angebot und der tatsächlich energetisch genutzten Menge. Dieser Anpassungsbedarf ist größtenteils auf die aktuell vorhandene Wärmeversorgungsinfrastruktur zurückzuführen, die im Allgemeinen entweder aus vielen individuellen dezentralen Systemen oder zentralen

Systemen mit deutlich höheren Betriebstemperaturen besteht. In dezentralen Systemen kann die Niedertemperaturwärme entweder direkt in niederexergetischen Temperierungssystemen (z. B. Bauteilaktivierung, außenliegende Temperierungssysteme) genutzt werden, oder auch indirekt z. B. als Wärmequelle für Wärmepumpen eingesetzt werden. Als zentrale Systeme kommen Tieftemperaturwärmenetze („kalte Nahwärme“) in Frage. Durch Ausnutzung der Substitutionspotentiale fossiler Brennstoffe im Gebäudebereich könnten deutliche Emissionsminderungen von Treibhausgasen bewirkt werden. Zugleich könnte die Wärme, die derzeit „entsorgt“ oder rückgekühlt wird, auch wirtschaftlich interessant verwertet werden.

Wirkungsgrad der aWT

Demgegenüber stehen die, ebenfalls lagebedingten, höheren Verluste im Vergleich zu innenliegenden Temperierungsflächen und konventionellen Heizsystemen. Der Anteil der Verluste wird durch den Wirkungsgrad der Wandtemperierung η_{aWT} ausgedrückt. 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 zuge-



◀ Bild 9 • Schematischer Verlauf der Wärmeströme innerhalb der Außenwand im Ruhezustand und im aktivierten Zustand. Bildquelle: IZES gGmbH

*IZES gGmbH

führt wird (Q_w), teilt sich auf in einen Teil nach Innen ($Q_{w,1}$) und einen Teil nach Außen ($Q_{w,2}$), siehe dazu Bild 9. Der Wirkungsgrad der Wandtemperierung liegt bei üblichen Bestandswänden und üblichen Dämmstärken zwischen 85 und 95 %. Das bedeutet umgekehrt, dass 5 bis 15 % der eingebrachten Wärme zusätzlich zum Verlustwärmestrom Q_0 über die Dämmung nach außen verloren geht ($Q_0+Q_{w,2}$). Bei diesem Mehraufwand für die aWT ist die Verlagerung der Verlustebene und die damit einhergehende niedrigere Temperaturanforderung im Vergleich zu innenliegenden Wärmeabgabeflächen zu beachten. Soll der Verlustwärmestrom über die Außenwand trotz Belegung und Betrieb der aWT nicht größer sein, als der Verlustwärmestrom derselben Wand ohne aWT, muss die Dämmstärke des WDVS erhöht werden, oder ein WDVS mit einer geringeren Wärmeleitgruppe (kurz WLG) gewählt werden. Dadurch wird der U-Wert von der Temperierungsebene nach außen verringert. Für diesen Ansatz muss ein Betriebspunkt der aWT als Referenz gewählt werden. Die folgende Betrachtung gilt nur für den angesetzten stationären Zustand und die angenommenen Randbedingungen (v. a. Wärmeübergangskoeffizienten innen und außen). Als Beispiel ergibt sich für eine sanierte Außenwand mit einem U-Wert von $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ eine Knotentemperatur von $16,2 \text{ }^\circ\text{C}$ und ein Verlustwärmestrom von etwa $6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{amb} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$; WDVS: 15 cm WLG035). Soll diese Wand mit einer Wandtemperierung betrieben werden, welche die Knotentemperatur auf 25°C erhöht, so ergibt sich ein Verlustwärmestrom über die Außenwand von ca. $8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Um den Verlustwärmestrom konstant zu halten, müsste für dieses Beispiel die Wärmedämmung auf eine Stärke von rund 20 cm erweitert werden. Alternativ könnte auch statt 15 cm WLG035 ein Dämmmaterial der Wärmeleitgruppe 026 mit derselben Stärke verwendet werden. Dies ist jedoch nicht der favorisierte Ansatz für die aWT. Aus systemischer 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 Niedertemperatur-Abwärme betrieben, dürften die zusätzlichen



▲ Bild 10 • Fassade im Ausgangszustand (oben links), Fassade mit Kapillarrohrmatten der Wandtemperierung (oben rechts). Einputzen der Kapillarrohrmatten (Mitte links). Aufkleben der Wärmedämmung (Mitte rechts) und Armierung der Fassade (unten links). Fassade im sanierten Zustand (unten rechts). Bildquelle: IZES gGmbH

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. Für das oben aufgeführte Beispiel und die angesetzten Randbedingungen liegt der Verlustwärmestrom der unsanierten Außenwand bei rund $50 \text{ W/m}^2\text{K}$.

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 für Niedertemperatur-Abwärmeströme
- Heizen und Kühlen möglich
- Grundlasttemperierung: Einfache Regelstrategien und ein Selbstregelleffekt (vgl. Fußbodenheizung)
- Thermische Aktivierung der Bestandsstruktur als Speichermöglichkeit für Wärme/Kälte
- Thermische Behaglichkeit kann durch erhöhte Oberflächentemperaturen gesteigert werden ggf. geringere Raumlufttemperaturen bei gleichbleibender Behaglichkeit möglich
- Sanierung von Bauschäden (z. B. Feuchteschäden) prinzipiell möglich
- Entschärfung der Wärmebrückenproblematik im Gebäudebestand.

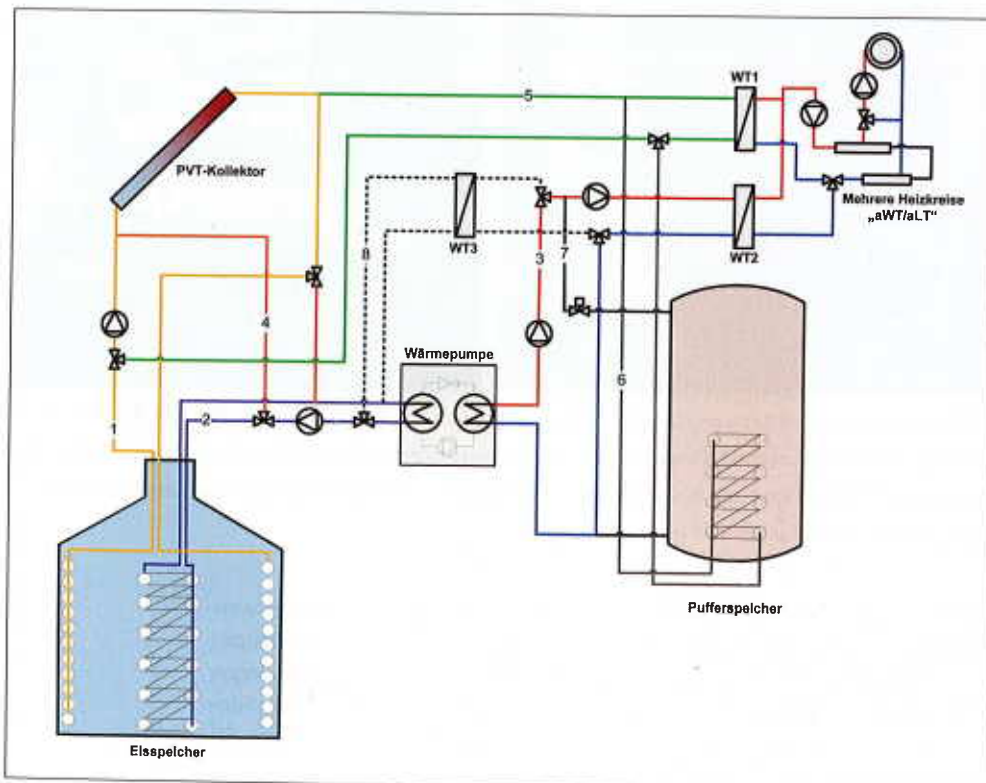
Als Nachteil der außenliegenden Wandtemperierung ist der statische Wirkungsgrad von maximal rund 95 % zu nennen und der daraus resultierende Mehraufwand im Vergleich zu innen-

liegenden 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.

Praktische Umsetzung der außenliegenden Wandtemperierung

Um die praktische Umsetzbarkeit der theoretischen Ergebnisse der aWT und aLT zu demonstrieren, wurde ein Großdemonstrator zusammen mit einem niederexergetischen Versorgungssystem umgesetzt. Bei der Suche nach einem möglichen Demonstrationsobjekt konnte auf dem Campus der Universität des Saarlandes aufgrund eines engen Kontakts zum Facility Management (Referat FM) ein Bürogebäude aus den 60er Jahren identifiziert werden. An der Fassade des Gebäudes wurde eine Betonsanierung durchgeführt, in deren Nachgang auch die Wand- und Lufttemperierung aufgebracht werden konnte. Die Fassade ist 4-geschossig und hat eine Höhe von rund 15 m. Die Breite beträgt ca. 13,5 m, sodass die Bruttofläche der Fassade bei knapp über 200 m² liegt. Das 1. OG und das 2. OG sind versetzt angeordnet, siehe Bild 10 (oben links). Die

Fassade ist komplett fensterlos, nur im EG gibt es eine Fluchttür mit angebauter Rampe. Nach unten befindet sich hinter der Fassade unter dem EG ein Luftraum, so dass die Fassade über einen Sockel im Erdreich gründet. Hinter der Fassade liegen in jeder Etage zwei Räume, so dass insgesamt acht Räume an die Feldtestfassade angrenzen. Sieben der Räume werden dauerhaft als Büroräume von Mitarbeitern genutzt; ein Raum als Vorlesungs- bzw. Besprechungsraum ohne feste Nutzungszeiten. Die Fassade wurde mit acht Heizkreisen belegt. Die thermisch aktivierte Fläche beläuft sich auf rund 140 m². Alle Räume des 1. bis 3. Obergeschosses verfügen über einen eigenen Heizkreis. Die beiden Räume im Erdgeschoss haben einen gemeinsamen Heizkreis. Dafür besitzt der Raum, welcher mit der außenliegenden Lufttemperierung versorgt wird, zwei Heizkreise: Einen Heizkreis für die Lufttemperierung und einen Heizkreis für die Wandtemperierung, mit der die „restliche“ Fassadenfläche des Raumes belegt wurde. Der Heizkreisverteiler für die einzelnen Heizkreise sitzt am Fuß der Fassade und bleibt mittels einer abnehmbaren Abdeckung zugänglich. In dem Verteiler enden die erdverlegten Rohrleitungen aus der Technikzentrale. Als System für die Flächentemperierung wurden Kapillarrohrmatten der Firma Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH aus Berlin eingesetzt. Diese konnten passend für die Fassade angefertigt werden. Es wurde dieses im Vorprojekt LEXU als vorteilhaft bzgl. Kosten und homogener Wärmeverteilung herausgestellt hat. Die Belegungsplanung und Anbringung der Kapillarrohrmatten erfolgte durch die GEFGA Energiesysteme GmbH aus Limburg. Nach Montage der Matten wurden diese mit einem gut wärmeleitfähigen Putz eingeputzt und in einem zweiten Schritt überputzt, damit eine ebene Klebefläche für das WDVS entstand. Als Wärmedämmung kam hier 16 cm EPS (Knauf), WLG 032 zum Einsatz. Der U-Wert der sanierten Au-



◀ Bild 11 • Umgesetztes Hydraulikschema des Demonstrators mit den Komponenten „Wandtemperierung“, „PVT-Kollektoren“, „Wärmepumpe“ und „Eisspeicher“. Quelle: IZES gGmbH

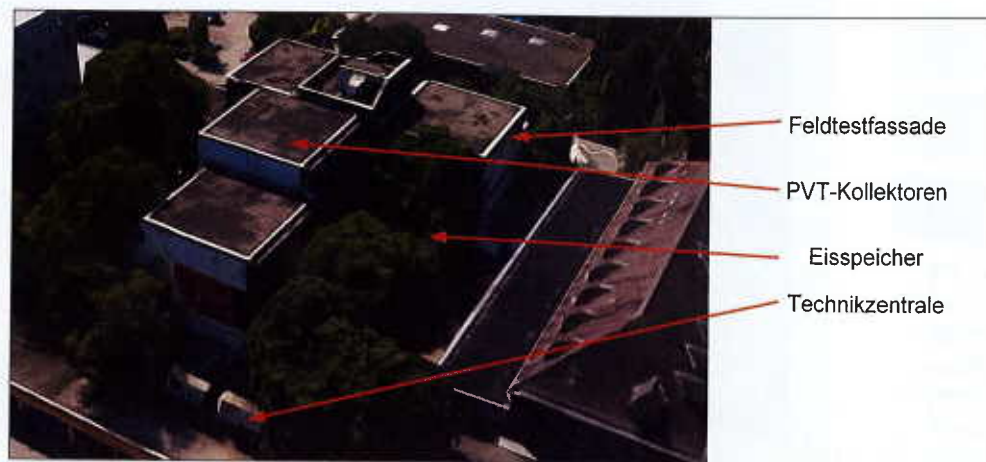
Benwand liegt bei rund $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Für den umgesetzten Schichtaufbau ergibt sich ein stationärer Wirkungsgrad der außenliegenden Wandtemperierung von etwa 94 %.

Praktische Umsetzung des niederexergetischen Versorgungssystems

Das niederexergetische Versorgungssystem besteht aus einer Sole/Wasser-Wärmepumpe als primärem Wärmeerzeuger, einem Eisspeicher als Wärmequelle für die Wärmepumpe, PVT-Hybridkollektoren zur Regenerierung des Eisspeichers und einem Pufferspeicher, siehe dazu Bild 11. Die folgenden Betriebsmöglichkeiten können mit der installierten Hydraulik umgesetzt werden:

- 1) Regeneration/Beladung des Eisspeichers über die PVT-Kollektoren
- 2) Nutzung des Eisspeichers als Wärmequelle für die Wärmepumpe
- 3) Nutzung der Wärmepumpe als Wärmeerzeuger für die Wandtemperierung
- 4) Nutzung der PVT-Kollektoren als Wärmequelle für die Wärmepumpe
- 5) Nutzung der PVT-Kollektoren als direkte Wärmequelle für die Wandtemperierung
- 6) Nutzung der PVT-Kollektoren zur Beladung des Pufferspeichers
- 7) Beladung des Pufferspeichers über die Wärmepumpe oder Entladen des Pufferspeichers über die Wandtemperierung
- 8) Natürliches Kühlen über den Eisspeicher und die Wandtemperierung.

Somit kommt den solarthermischen Kollektoren (hier ausgeführt als PVT-Hybridkollektoren) eine entscheidende Rolle innerhalb des Systemkonzepts zu. Je nach Austrittstemperatur des Fluids aus den Kollektoren, kann dieses in den verschiedenen Komponenten in einer Art energetischen Kaskade genutzt werden. Im niederexergetisch optimalen Fall kann die Wärme aus den Kollektoren direkt in der Wandtemperierung oder dem Pufferspeicher genutzt werden. Sowohl der Eisspeicher, als auch die Wärmepumpe und die Wandtemperierung dienen in dem System als Niedertemperaturwärmesenke für die Kollektoren. Die maximale Vorlauftemperatur der Wandtemperierung ist auf 35 °C beschränkt, die Auslegungstemperatur liegt jedoch nur bei rund 25 °C . Der von den PVT-Hybridkollektoren er-



zeugte Strom soll im Sinne einer Eigenstromoptimierung primär für die Wärmepumpe und die weitere Peripherie der Anlage direkt genutzt werden. Der Einbau eines Batteriespeichers ist vorbereitet und kann in zukünftigen Forschungsvorhaben umgesetzt werden. Die Technikzentrale des Projekts mit Wärmepumpe, Hydraulik und MSR-Technik wurde in einem Container hinter dem Gebäude untergebracht. Der Eisspeicher wurde im Erdreich neben dem Gebäude eingebracht und die PVT-Kollektoren konnten auf dem Dach des Gebäudes aufgestellt werden, siehe Bild 12. Ausgelegt ist das Versorgungssystem auf die Heizleistung, die von der Wandtemperierung übertragen werden soll. Diese wurde mit ca. 40 W/m^2 angenommen, was einer Oberflächen-Übertemperatur von ca. 5 K entspricht. Über die thermisch aktivierte Fläche ($\sim 140 \text{ m}^2$) kommt man somit auf eine maximale Heizleistung von etwa $5,6 \text{ kW}$. Passend zu dieser Heizleistung wurde eine Wärmepumpe (WP) des Herstellers Viessmann ausgewählt. Zum Einsatz kommt ein Gerät der Baureihe VITOCAL 300-G mit einer Nennwärmeleistung von $5,7 \text{ kW}_{\text{th}}$ (B0/W35). Für Wärmepumpen bis $10 \text{ kW}_{\text{th}}$ empfiehlt die Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH die Installation eines Eisspeichers mit einem Volumen von rund 10 m^3 . Statt den für die Kombination aus WP und Eisspeicher vorgesehenen Solar-Luftabsorber von Viessmann werden in dem Projekt jedoch PVT-Hybridkollektoren des Herstellers Kioto Solar GmbH aus Österreich verwendet. Diese generieren auf gleicher Fläche Strom und Wärme und bieten sich somit insbesondere für den Einsatz mit Wärmepumpe (Strom für Verdichter und Wärme als Wärmequelle) und Niedertemperatur-Flächentemperierung (Wärme/Kälte) an. Für den

Demonstrator kommen PVT-Kollektoren ohne rückseitige Wärmedämmung zum Einsatz.

Ziele und Möglichkeiten des Demonstrators

Die Umsetzung des 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 in Kooperation mit dem Projektpartner „Fachverband der Stuckateure, Kompetenzzentrum Ausbau und Fassade“ 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 in der Heizperiode 2017/18 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. Im Fokus weiterer möglicher Untersuchungen liegen beispielsweise:

- Integration eines Batteriespeichers
- Optimierte Regelstrategien für das Gesamtsystem mit unterschiedlichen Optimierungszielen

▲ Bild 12 • 3D-Luftbild des Gebäudes auf dem Campus der Universität des Saarlandes mit Markierung der Lage der einzelnen Komponenten.

Quelle: Google-Maps, 2017



▲ Bild 13 • Dach mit den PVT-Hybridkollektoren (oben links). Foto der Rückseite der PVT-Kollektoren mit Aufständigung und Beschwerung (oben rechts). Eisspeicher in der unverfüllten Baugrube (Mitte links). Baufeld mit Eisspeicher nach der Verfüllung, zu sehen ist nur noch der Elektro-Verteilerkasten (Mitte rechts). Technikzentrale im Bauzustand mit ankommenden Erdleitungen, Wärmepumpe und Pufferspeicher (unten links). Blick in die fertige Technikzentrale mit der Hydraulik-Verteilung und MSR-Technik (unten rechts). Bildquelle: IZES gGmbH

- Integration des Nutzers der angeschlossenen Räume: Raumbediengeräte (Wunschtemperatur und Präsenz) sind bereits installiert und sollen in zukünftigen Untersuchungen eine zentralere Rolle spielen
- Ersatz und/oder Erweiterung/Optimierung der installierten Komponenten

ten (z. B. Kollektoren/Wärmepumpe) ist generell möglich und eröffnet damit Möglichkeiten zu Feldtests solcher Komponenten und Systeme im Reallabor.

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 Projektbeteiligten bedanken.