

## Effiziente Wärmesysteme für Wohngebäude

Die Entwicklung effizienter Wärmesysteme für Wohngebäude ist eine zentrale Aufgabe der Energieforschung. Der Wohngebäudesektor hat seit Jahren einen – witterungsbedingt leicht schwankenden – Anteil von 25–30 % am Endenergieverbrauch in Deutschland. Dabei werden über 80 % der im Sektor Haushalte verbrauchten Energie zur Bereitstellung von Wärme verwendet, im Jahr 2013 z. B. 585 TWh oder mehr als ein Fünftel des gesamtdeutschen Endenergieverbrauchs.

Da die Wärmeversorgung hauptsächlich noch über die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl betrieben wird, bieten Wärmesysteme für Wohngebäude ein erhebliches Potenzial für CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Die Energiewende im Heizungskeller beruht dabei – genau wie in anderen Sektoren auch – auf den beiden Säulen erneuerbare Energieversorgung und Effizienz.

Durch verschärfte Regelungen für Neubauten und energetische Sanierungen von Bestandsimmobilien wurde in den vergangenen Jahren ein leichter Rückgang des durchschnittlichen flächenspezifischen Heizenergiebedarfs in Wohngebäuden erreicht. Diesem Trend stand jedoch ein steigender Wohnflächenverbrauch pro Person entgegen, so dass der gesamte Heizenergieverbrauch langsamer sinkt als der spezifische Heizenergiebedarf in den Gebäuden. Die jährliche Totalsanierungsquote im Wohnbereich liegt zudem weit unterhalb der als für die Erreichung der Effizienzziele 2050 nötigen postulierten 2,7%.

Ein verstärkter Ausbau des Einsatzes erneuerbarer Energien im Heizungskeller bietet einen zusätzlichen Freiheitsgrad, der zur Erreichung der angestrebten CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen kann.

### Forschungsbedarf und Forschungsfelder der FVEE-Institute

Der Wohngebäudebestand in Deutschland setzt sich – nach Wohnfläche bewertet – in etwa zu 40 % aus Mehrfamilienhäusern und zu 60 % aus Ein- und Zweifamilienhäusern zusammen. Das Alter der Bestandsimmobilien ist relativ gleich verteilt über die letzten 6 Dekaden. Insgesamt gibt es 18,6 Mio. Bestandsimmobilien, von denen etwa 400.000 jünger als 5 Jahre und damit auf einem energetisch dem heutigen Standard entsprechenden Niveau sind. Akuter Sanierungsbedarf besteht bei geschätzten 9 Mio. Immobilien (dena 2012).

Die FVEE-Institute unterstützen diese Aufgabe durch Forschung auf verschiedenen Ebenen. Dazu gehören die Analyse von bestehenden und geplanten Systemen – sowohl im Feld als auch in der Simulation – und die Entwicklung und Erprobung neuartiger, innovativer Wärmesysteme in Ein- und Mehrfamilienhäusern, sowohl für Neubauten wie für Bestandsimmobilien (*Abbildung 1*). Im folgenden Abschnitt werden einige dieser Arbeiten vorgestellt. Zusätzlich sind viele Institute in der Entwicklung von Wärmesystemkomponenten aktiv.



**ISFH**

Dr. Raphael Niepelt  
niepelt@isfh.de

Oliver Mercker  
mercker@isfh.de

**DBFZ**

Daniel Büchner  
daniel.buechner@dbfz.de

**DLR**

Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt  
bernhard.hoffschmidt@dlr.de

Dr. Jacob Schmiedt  
jacob.schmiedt@dlr.de

**Fraunhofer IBP**

Johann Reiss  
johann.reiss@ibp.fraunhofer.de

**IZES**

Christoph Schmidt  
schmidt@izes.de

**ZAE**

Stephan Weismann  
stephan.weismann@zae-bayern.de

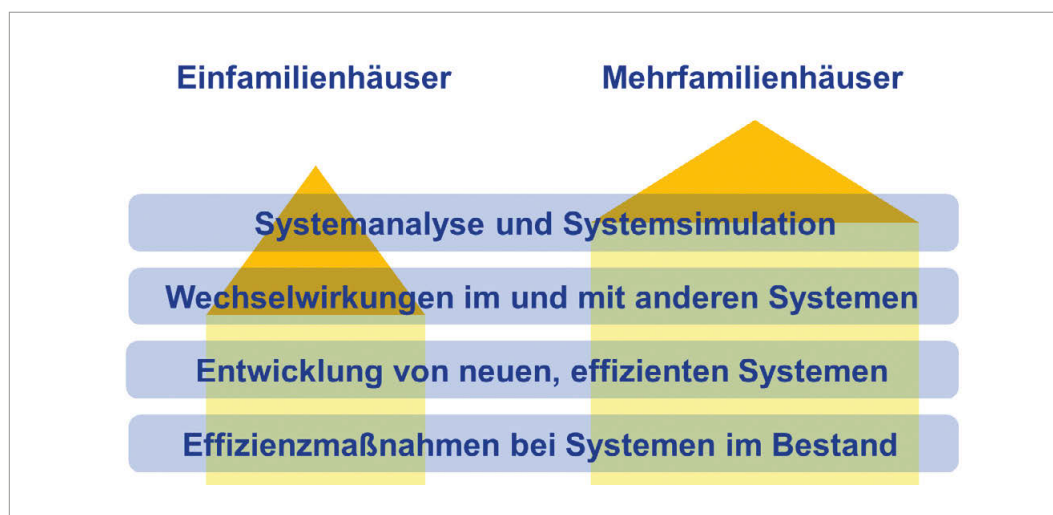


Abbildung 1  
**Forschung**  
zu effizienten  
Wärmesystemen  
im FVEE

## Systemanalyse, -simulation und -entwicklung

Die Gebäudesimulation spielt bei der Planung von Bauvorhaben eine immer größere Rolle. Während bei Neubauten die Einbindung von Simulationswerkzeugen hauptsächlich eine Frage der Nutzerfreundlichkeit und der Kompatibilität verschiedener Programme ist, steht man im Bereich der Altbau-sanierung vor einer weiteren Herausforderung, nämlich dem Mangel an Informationen über die vorhandene Bausubstanz.

### Luft- und satellitengestützte Analyse von Gebäuden

Mit den aktuell verfügbaren Verfahren sind genaue Informationen über bauphysikalische Eigenschaften wie U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) und Dichtheit nur mit großem Aufwand zu gewinnen. Messverfahren, die am DLR neu aus den Bereichen Solarforschung, Fernerkundung und Sicherheit auf die zerstörungsfreie Untersuchung von Gebäuden übertragen werden, sollen diesen Mangel beheben. Aus Überflugdaten von Leichtflugzeugen und Multi-coptern lassen sich mit fotogrammetrischen Methoden semantisch angereicherte 3D-Modelle von Gebäuden erstellen (Frommholz 2015). Die Fusion mit Thermaldaten aus Überflügen soll Informationen über die thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle liefern.

Neben dieser Erweiterung der bekannten Gebäudethermographie können weitere Mess- und Analysetechniken dazu dienen, zusätzliche Informationen über die Bausubstanz zu liefern. Das satellitenbasierte radarinterferometrische Verfahren Persistent-Scatterer-Interferometry ermöglicht die Erstellung dynamischer Abbildungen von Gebäuden, in denen thermische Deformationen erfasst werden können (Eineder 2013). Mikrowellenradiometrie und

Radar werden genutzt, um verborgene Gegenstände, Strukturen und Schichtaufbauten sichtbar zu machen (Peichl 2014). Aktive Thermographie sowie eine verbesserte Auswertung von Infrarotaufnahmen erhöhen Aussagekraft von Thermalaufnahmen in der Solartechnik (Röger 2014) und in der Wildrettung (Israel 2011).

Mit einer Kombination dieser Verfahren sollen quantitative Aussagen über die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle möglich werden, wobei diese Techniken wesentlich schnellere Analysen ermöglichen als herkömmliche Verfahren. Dies soll dazu führen, dass die genaue Untersuchung der Bausubstanz und die anschließende Simulation großflächig bei der Planung von Altbau-sanierungen eingesetzt werden können. Dadurch kann die Kosten- und Ressourceneffizienz der Sanierungsmaßnahmen gesteigert und so einen Anreiz für eine Erhöhung der Sanierungsrate gegeben werden.

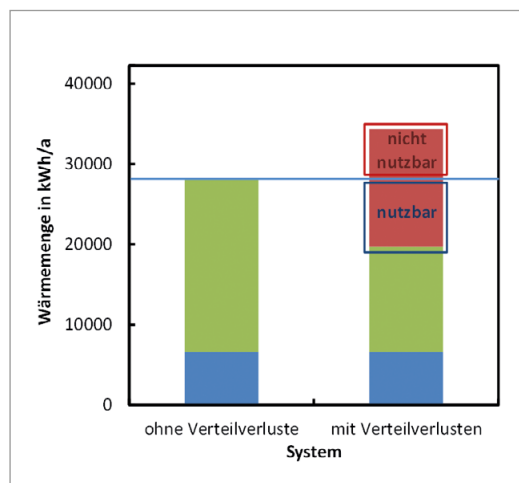
### Simulation von Wärmeverteilverlusten

Die Energieeinsparung, die sich durch die Verbesserung der thermischen Hülle von Gebäuden erzielen lässt, bleibt in der Praxis oft hinter den zuvor nach EnEV berechneten Erwartungswerten zurück. Ein Teil dieser Diskrepanz kann durch die mit dem Gebäude-dämmstandard zunehmende Bedeutung der unregelmäßigen Wärmeabgabe des Wärmeverteilsystems erklärt werden. Ungeregelte Wärmeeinträge, die auch als „Verteilverluste“ bezeichnet werden, können zu einer Erwärmung über die jeweilige Solltemperatur hinaus führen. Der damit verbundene Anstieg der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste führt zu einem Mehrverbrauch an Heizwärme, der in einer Senkung der Effizienz der Wärmeversorgung mündet (Abbildung 2).

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich das ISFH-Projekt „MFH-re-Net“ unter anderem mit der Frage, wie ein (solar unterstütztes) Wärmeversorgungskonzept gestaltet sein muss, um den Wärmebedarf von Mehrfamilienhäusern so effizient wie (technisch) möglich zu decken (Arnold 2015).

Als wesentliche Optimierungsansätze werden eine Teildezentralisierung und eine solare Unterstützung der Wärmeversorgung untersucht. Simulationen zeigen, dass Zweileiternetze (Heizwasserleitung, mittels der das Trinkwarmwasser in dezentralen sog. Wohnungsstationen bereit wird) einen systematischen energetischen Vorteil gegenüber Vierleiternetzen aufweisen, der durch eine geeignete dezentrale Nacherwärmung des Trinkwarmwassers nochmals gesteigert werden kann. Überdies zeigt sich, dass eine starke zeitliche Korrelation zwischen nicht nutzbaren Verteilverlusten und solarem Strahlungsangebot besteht. Wird die Deckung nicht nutzbarer

Abbildung 2  
**Verteilverluste:**  
Nutzbare und nicht nutzbare Wärmeverluste in einem MFH mit 74 kWh/(m<sup>2</sup>a) Wärmeverbrauch.



Verteilverluste bei der Dimensionierung der Solarthermieanlage entsprechend berücksichtigt, können somit weitere Effizienzpotenziale erschlossen werden. Diese Ergebnisse liefern wichtige Anhaltspunkte für die energetische Sanierung von Bestandsimmobilien genauso wie für neu geplante Mehrfamilienhäuser.

**Wärmesysteme mit prädiktiver Regelung**

Wärmeversorgungssysteme bedienen sich heutzutage häufig noch immer sehr einfacher Strategien zur Regelung. Meist wird jedes Teilsystem (Heizkreis, Pelletkessel, solarthermische Anlage, Speicher etc.) unabhängig voneinander gesteuert, während das Verhalten des Gesamtsystems unberücksichtigt bleibt. Die Effizienz von Kombianlagen hängt nicht selten von den Fähigkeiten des Planers beziehungsweise des Installateurs ab, da Betriebsparameter nach der Installation üblicherweise nur beim Auftreten einer größeren Störung angepasst werden. Die Folge ist häufig ein ineffizienter Anlagenbetrieb, der für den Hausbesitzer aufgrund der fehlenden Messtechnik kaum erkennbar ist (Bemmann 2006). Im Rahmen von Untersuchungen konnte eindeutig gezeigt werden, dass sich z. B. bei Pellet-Solar-Kombianlagen durch schlechte Regelung ein höherer Bedarf an elektrischer Hilfsenergie, hohe Speicherverluste sowie eine mangelhafte Ausnutzung der solaren Strahlungswärme ergeben, die in Summe zu Tagesnutzungsgraden des Pelletkessels von 60 % und weniger führen können (Schraube 2010). Um den Endenergieverbrauch und damit die Betriebskosten häuslicher Kombianlagen zu minimieren, soll im Projekt „KombiOpt-EMS“ (Abbildung 3) am DBFZ zusammen mit EIFER eine übergeordnete, zentrale Gebäuderegulation entwickelt werden. Diese soll selbsttätig und automatisch die erforderlichen Anpas-

sungen der Betriebsparameter der Einzelkomponenten vornehmen und dabei so universell gestaltet sein, dass eine spätere Adaption auf unterschiedliche Gebäude und Systemkonfigurationen möglich ist.

Neben einem prädiktiven Speichermanagement stellt die automatische Anpassung der Betriebsweise der Heizeinheit den wesentlichen Schwerpunkt der Arbeiten dar.

Das Regelungskonzept wird mittels dynamischer Simulationssoftware sowie entsprechender labortechnischer Untersuchungen entwickelt. Die erforderliche Optimierung der energetischen Gebäudeperformance umfasst dabei im Wesentlichen die Berechnung der zur Minimierung der Kostenfunktion erforderlichen Steuer- und Regelgrößen (Kummert 1999). In der zweiten Projekthälfte soll der Regelungsalgorithmus in einem Referenzgebäude, bestehend aus einem Pelletkessel und einer solarthermischen Anlage in Kombination mit einem Wärmespeicher, auf seine Praxistauglichkeit untersucht werden.

**Außenliegende Wandheizung**

Seit 2002 beschäftigt sich die IZES gGmbH mit der Thematik der Beheizung durch Wandtemperierung. Der Kern dieser Technik ist die außenliegende Wandheizung (aWH). Dies ist eine Flächenheizung, die zwischen Bestandswand und einem neuen Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgebracht wird. Eine aktuelle Weiterentwicklung ist die außenliegende Luftheizung (aLH). Diese stellt eine niederexergische Erweiterung der aWH dar, in dem zwischen Bestandswand und Wärmedämmung zusätzlich ein Luftspalt ausgebildet wird. Durch diesen Luftspalt wird Außenluft geführt und anschließend dem Gebäude als temperierte Zuluft zur Verfügung gestellt.

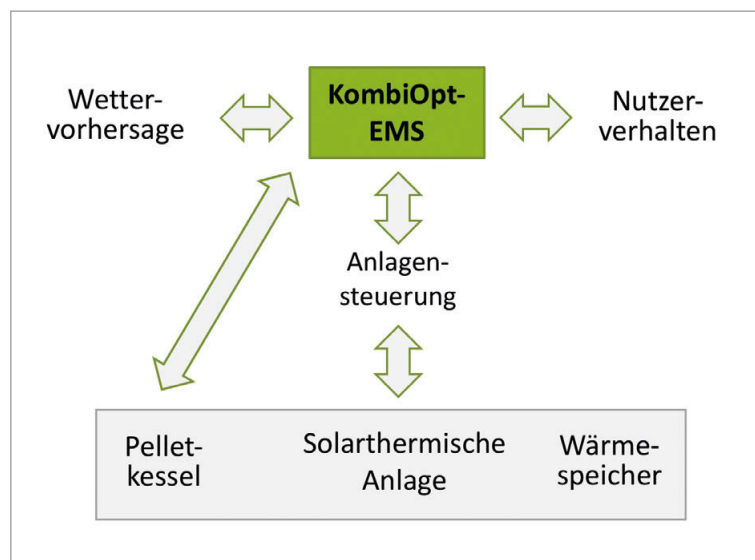


Abbildung 3  
**Zentrale Gebäuderegulation:**  
Schema der prädiktiven Regelung eines Kombi-Wärmesystems in Wohngebäuden

Beide Systeme sind perspektivisch als Nachrüstsysteme für Bestandimmobilien geeignet, wobei der große Vorteil darin besteht, dass das neue Heizsystem bei laufendem Betrieb von außen an das Gebäude angebracht werden kann.

Aktuell wird ein Feldtestversuch in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl für Automatisierungs- und Energiesysteme der Universität des Saarlandes (UdS) an einem Bürogebäude aus den 70er Jahren durchgeführt (Abbildung 4).

Im Zuge einer Betonsanierung wird eine Fassade auf ca. 140 m<sup>2</sup> mit der außenliegenden Wandheizung und auf ca. 6 m<sup>2</sup> mit der außenliegenden Luftheizung belegt. Die Komponenten werden mit einem LowEx-Heizsystem, bestehend aus Eisspeicher, Wär-

mepumpe (6 kWth) mit Pufferspeicher und PVT-Kollektoren (photovoltaisch-thermische Hybrid-Kollektoren mit 12 Modulen; insgesamt ca. 20 m<sup>2</sup> Bruttofläche) kombiniert. Primäre Wärmequelle der Wärmepumpe ist der Eisspeicher, welcher wiederum vorrangig über die PVT-Kollektoren regeneriert wird. Aufgrund der lagebedingt niedrigen, notwendigen Vorlauftemperaturen der aWH ist jedoch auch die direkte Anbindung der PVT-Kollektoren an die Außenwandtemperierung denkbar. Zusätzlich kann über die Verwendung von PVT-Kollektoren die Nutzung von Eigenstrom für die Wärmepumpe untersucht und optimiert werden.

### Temperaturpufferung in Solar-Luft-Systemen mit Phasenwechselmaterialien

Solar-Luft-Systeme, bei denen durch solare Einstrahlung direkt die Zuluft einer Lüftungsanlage erwärmt wird, bieten einen innovativen Ansatz der direkten Nutzung von Solarenergie. Wie bei anderen solaren Techniken auch ist die Produktion von Wärme an die solare Einstrahlung gekoppelt.

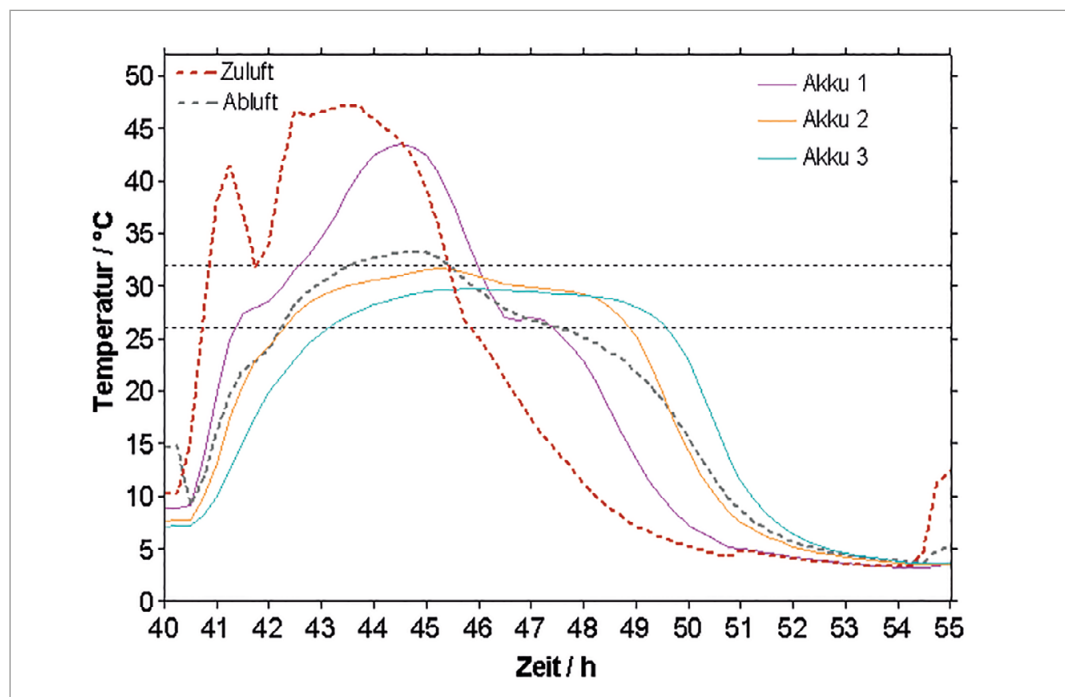
Die Verwendung von Phasenwechselmaterialien (PCM) ermöglicht die Pufferung von Temperaturspitzen und kann ein auftretendes solares Energieüberangebot über einen Zeitraum von einigen Stunden zwischenspeichern (Abbildung 5).

Auf diese Weise steht auch in Zeiten mit nur geringem solarem Energieangebot ausreichend Wärme zur Verfügung, so dass der Primärenergieverbrauch deutlich gesenkt werden kann. Die PCM-Wärmespeicher zeichnen sich dabei durch eine höhere

Abbildung 4  
**Außenliegende Wandheizung:**  
Links: Aufbau der Flächentemperierung  
Rechts: Verputzung der Heizmatten während der Sanierung von außen



Abbildung 5  
**PCM im Solar-Luft-Wärmesystem:**  
Be- und Entladung von PCM-Speichern zur zeitverzögerten Heizungsunterstützung





Leistungsdichte aus, so dass im Vergleich zu Wasserspeichern mehr Wärme in einer leichteren Speichereinheit gespeichert werden kann. Durch Untersuchungen an Funktionsmustern konnte am ZAE Bayern ein aussichtsreiches Konzept für den Einsatz von PCM in einem Solar-Luft-System ermittelt werden. Es wurde ein seriennaher Prototyp eines Speichers zum Einsatz in Lüftungsanlagen mit solarer Frischluftherwärmung entwickelt und im praktischen Einsatz über mehrere Jahre erfolgreich erprobt.

### Systeme in der Praxis

Die Praxiserprobung ist ein wesentliches Werkzeug für die Bewertung der im Forschungsverbund entwickelten Systemtechnologien unter realistischen oder realen Bedingungen. In Modellhäusern und Quartieren können innovative Wärmesysteme überprüft und bei Bedarf weiterentwickelt werden.

#### Sonnenhaus nutzt Gebäudemasse als Wärmespeicher

Sonnenhäuser sind Gebäude mit einem sehr guten Wärmedämmstandard, deren Wärmeversorgung zu mehr als der Hälfte solarthermisch erfolgt. Meist werden diese Häuser mit einem mehrere Kubikmeter großen Wärmespeicher ausgestattet, der die Speicherung der Solarwärme über einige Tage bis Wochen gewährleisten kann. In einem am ISFH entwickelten neuen Konzept (Glembin 2015) wird ein kleiner konventioneller Wärmespeicher mit einer direkt solarthermisch versorgten Bauteilaktivierung von Massivdecken im Gebäude kombiniert. Statt eines üblicherweise eingesetzten Holzofens kommt eine Wärmepumpe als Nachheizung für sonnenarme Tage zum Einsatz. Das neue Konzept benötigt lediglich einen etwa einen Kubikmeter großen Speicher. Das trägt zu einer deutlichen Kostenreduktion bei, weil viel Platz eingespart werden kann. Zudem ist das System erheblich komfortabler, da sommerliche Speicherverluste erheblich weniger zur Überhitzung beitragen.

Das Konzept wurde unter Zuhilfenahme von dynamischen Systemsimulationen entwickelt, dimensioniert und charakterisiert. Die gewonnenen Erkenntnisse sind in den Bau eines Gebäudeprototyps im Stadtgebiet Hannovers eingeflossen, der im Januar 2015 in Betrieb genommen wurde (Abbildung 6).

In einem jetzt begonnenen Forschungsvorhaben werden die Wissenschaftler das Konzept zwei Betriebsjahre lang auf Praxistauglichkeit und Robustheit testen, um aus den Ergebnissen Planungsleitlinien für ein serienreifes Produkt abzuleiten.



Abbildung 6  
**Sonnenhaus:**  
Oben: Prototyp mit Bauteilaktivierung als thermischem Speicher  
Unten: Rohrverlegung in der Zwischendecke während der Bauphase

#### Saniertes Mehrfamilienhaus mit CO<sub>2</sub>-neutraler Wärmeversorgung

In einem Projekt des Fraunhofer IBP wurde in der Lilienstraße in München eine beispielhafte energetische Sanierung einer MFH-Anlage mit 149 Wohneinheiten durchgeführt (Abbildung 7). Durch die Kombination von hocheffizienten Dämmsystemen und wärmeschutzverglasten Fenstern wurde der Wärmebedarf der vier Häuserblöcke gesenkt.



Abbildung 7  
**Energetische Sanierung**  
Mehrfamilienhäuser in München vor und nach der energetischen Sanierung

Der Restwärmebedarf wird über oberflächennahe Geothermie und eine Gasmotorkompressionswärmepumpe gedeckt, die in bivalenter Konstellation zusammen mit einem Brennwertspitzenlastkessel betrieben wird. Die Wärmeverteilung auf die im Rahmen der Sanierung attraktiver zugeschnittenen Wohnungen erfolgt nach Bedarf durch dezentrale an den Heizkörpern installierte Pumpen. Auf dem Dach eines Hauses wurden thermische Kollektoren zur solaren Trinkwarmwasser- und Heizungsunterstützung installiert. Die restlichen Dächer der Anlage wurden mit Photovoltaik ausgestattet.

Im ersten Betriebsjahr nach der Sanierung wurde für Beheizung und Trinkwassererwärmung ein Verbrauch von etwa 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) erreicht, was unter dem aktuellen Neubauniveau liegt. Die Nutzung der erneuerbaren Energien auf den Dächern ermöglicht eine CO<sub>2</sub>-neutrale Bilanz der Wohnanlage, die aufgrund von Einfahrtsschwierigkeiten mit dem Wärmepumpenprototyp noch nicht erreicht wurde, aber in Reichweite ist.

#### Literaturverzeichnis

- (Altgeld 2002) Altgeld, H., Luther, G., Die außen liegende Wandheizung, Gesundheits-Ingenieur, Haustechnik • Bauphysik • Umwelttechnik 1/2002, pp. 8–15, 2002.
- (Arnold 2015) Arnold O. et al., Untersuchung (solarer) Wärmeversorgungskonzepte für Mehrfamilienhäuser in TRNSYS, OTTI 25. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2015.
- (Bemmann 2006) Bemmann U. et al., Guideline for Combined Solar Thermal and Wood Pellet Heating Systems, Project Sollet – European Network Strategy for Combined Solar and Wood Pellet Heating Systems for Decentralised Applications, 2006.
- (dena 2012) dena-Sanierungsstudie Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden, Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“, www.dena.de, abgerufen im Dezember 2015.
- (Eineder 2013) Eineder, M., et al., Globale Kartierung und lokale Deformationsmessungen mit den Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, Vol. 1/2013, pp. 75-84, 2013.
- (Frommholz 2015) Frommholz, D., et al., Extracting Semantically Annotated 3D Building Models with textures from oblique aerial imagery. ISPRS-Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 1, pp. 53–58, 2015.
- (Glembin 2015) J. Glembin et al., Entwicklung eines Konzepts zur temperaturoptimierten Wärmebedarfsdeckung in Solaraktivhäusern, Fachlicher Abschlussbericht zu BMWi Vorhaben (FKZ 0325981A), 2015.
- (Israel 2011) Israel, M., A UAV-based roe deer fawn detection system. Int. Arch. Photogram, Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XXXVIII-1/C22, pp. 51–55, 2011.
- (Kummert 1999) Kummert M. et al., Building and HVAC optimal control simulation: Application to an office building, 3th International Symposium on HVAC, 1999.
- (Peichl 2014) Peichl, M., Dill, S. and Kempf, T., Determination of truck load by microwave and millimeter-wave imaging, Proc. of SPIE Defence Security + Sensing Symposium – Passive and Active MMW Imaging XVII, 2014.
- (Röger 2014) Röger, M., et al., A Transient Thermography method to Separate Heat Loss Mechanisms in Parabolic Trough Receivers, Journal of Solar Energy Engineering 136, pp. 011006-1 - 011006-9, 2014.
- (Schraube 2010) Schraube C. et al., Long-term monitoring of small pellet boiler based heating systems in domestic applications, 18th European Biomass Conference and Exhibition, Lyon, 2010.