

Potenziale im Gebäudesektor für effiziente Energieverwendung

Einleitung

Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels ist die Zielstellung „klimaneutraler Gebäudebestand in 2050“ [1] nach wie vor von größter Bedeutung. Der Sektor umfasst Wohn- und Nichtwohngebäude, deren größte Energiebedarfe in den Bereichen Raumwärme und Klimakälte sowie Warmwasser verortet sind.

Nur durch eine Kombination von Energieeffizienz sowie den Einsatz erneuerbarer Energien kann diese Zielstellung wirtschaftlich erreicht werden [2].

Trotz fortschreitender Steigerung der Effizienz im Gebäudesektor kann aber keine Reduktion des Endenergiebedarfes in den letzten Jahren beobachtet werden. Nach 36% im Jahr 2016 blieb der Anteil des Gebäudesektors am Endenergieverbrauch Deutschlands im Jahr 2017 mit 35% auf einem nahezu konstanten Niveau. Denn die Effizienzvorteile wurden durch eine gesteigerte Wohnfläche pro Kopf sowie Rebound-Effekte kompensiert. Suffizienz sollte nicht als Verzicht interpretiert werden, sondern vielmehr muss die Frage „Was ist genug?“ in der Breite der Gesellschaft diskutiert und beantwortet werden.

Darüber hinaus sind allerdings auch Defizite im Bereich der Energieeffizienz der Gebäude zu identifizieren: Die realisierte Sanierungsquote liegt seit 15 Jahren unter 1%, wohingegen gemäß verschiedenster Studien Sanierungsquoten von 2–2,5% für die gesetzten Zielstellungen notwendig wären [3].

Dass diese Ziele mit entsprechender Entschlossenheit und Tatkraft umsetzbar sind, zeigt der Blick in die Vergangenheit nach der deutschen Einheit. Zur Mitte der 90er Jahre lag die Sanierungsrate in den neuen Ländern mehrere Jahre lang über 3% [4].

Neben der Effizienz stagniert auch der Anteil erneuerbarer Energien im Wärmesektor seit einigen Jahren bei 14%, die sich zudem wesentlich im Verheizen von Biomasse begründen. Dass ein Drittel aller Neubauten im Jahr 2018 mit dem Energieträger Erdgas zum Heizen ausgestattet werden, ist vor dem Hintergrund der langen Lebenszyklen im Gebäudesektor kritisch zu betrachten, da heute der Gebäudebestand von 2050 gebaut wird und bessere technologiereife Optionen existieren.

Mit dem jüngst vorgeschlagenen Gebäudeenergiegesetz (GEG) soll das Langfristziel „Klimaneutraler Gebäudebestand“ umgesetzt werden. Allerdings wurde die Effizianzforderung im Neubau für nearly zero energy buildings (nZEB) schrittweise auf das bestehende Niveau der EnEV 2016 (KfW 70) nach oben korrigiert und liegt damit weit hinter dem Stand der Technik (z.B. Plus-Energiehaus, Passivhaus) zurück.

Die Energieeffizienzpotenziale im Gebäudesektor lassen sich in drei Bereiche unterteilen:

1. Gebäudehülle
2. Gebäude- und Regelungstechnik
3. übergeordnete Rolle der Gebäude in einer effizienten dezentralen Energieversorgung

Entsprechend dieser Aufteilung werden im Folgenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der FVEE-Institute vorgestellt.

1. Gebäudehülle: Potenziale für die Primärenergieeinsparung im Gebäudebestand sowie im Neubau

In Deutschland existieren derzeit ca. 1,8 Mio. Nichtwohngebäude, was einem Anteil von ca. 10% am gesamten Gebäudebestand entspricht, wohingegen deren Energieverbrauch rund 35% im Gebäudesektor ausmacht [5]. Gerade im Nichtwohnbereich kommt somit der signifikanten Erhöhung der derzeit nicht ausreichenden Sanierungsquote eine bedeutende Rolle zu.

Fassadensystem „EE-Modul“

Unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) wird derzeit im Forschungsprojekt „EE-Modul“ mit Projektpartnern aus der Fassaden- und Anlagenindustrie ein neuartiges Fassadensystem entwickelt. Der Systemansatz vereint dabei die anlagentechnischen Funktionen Heizen, Kühlen, Lüften und Energieerzeugen in einer elementierten Modulfassade. Mit diesem Ansatz kann der Bauprozess im Neubau – vor allem aber im Sanierungsbereich – erheblich beschleunigt werden.

Die technischen Funktionen müssen somit nicht wie üblich vom Gebäudekern ausgehend bereitgestellt



ZAE

Dr. Bastian Büttner
bastian.buettner@zae-bayern.de

DBFZ

Dr. Volker Lenz
volker.lenz@dbfz.de

Fraunhofer IEE

Dr. Michael Krause
michael.krause@iee.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

Dr. Bruno Bueno
bruno.bueno@ise.fraunhofer.de

Dr. Tilmann Kuhn

tilmann.kuhn@ise.fraunhofer.de

ISFH

Dr. Federico Giovannetti
f.giovannetti@isfh.de

Michael Knoop

m.knoop@isfh.de

FZ Jülich

Dr. Leander Kotzur
l.kotzur@fz-juelich.de

Dr. Martin Robinius

m.robinus@fz-juelich.de

ZSW

Ruben Rongstock
ruben.rongstock@zsw-bw.de

Abbildung 1
**PVT-Testanlage und
 Aufbau eines PVT-
 Prototypes**
 [©ISFH]



werden, sondern können direkt in die Gebäudehülle integriert werden und kommen, abgesehen von einer Stromleitung, vollständig ohne weitere Versorgungsleitungen aus. Kern der Entwicklung ist ein standardisiertes Fassadensystem, welches um ein anlagentechnisches Modul erweitert wird, das ein Lüftungssystem, eine Luft/Luft-Wärmepumpe und ein Photovoltaikpaneel enthält. Der dezentrale anlagentechnische Ansatz ermöglicht damit eine individuelle Anpassung auf die dynamischen Anforderungen eines jeden Raums. Durch ein extrem hohes Maß an Vorfertigung in Verbindung mit einem multifunktionalen Ansatz verspricht das System eine hohe Bauqualität bei gleichzeitig verringertem Installations- und Abstimmungsaufwand an der Baustelle.

Zusätzlich entfallen aufwändige Arbeiten im Inneren des Gebäudes sowie in den einzelnen Räumen, so dass eine Sanierung auch im laufenden Nutzungsbetrieb des Gebäudes stattfinden kann. Das System zeichnet sich durch eine hohe Kostensicherheit (Investment, Betrieb) sowie einen beschleunigten Bauprozess aus.

PVT-Paneele und solarthermisch-aktive Fassade

Die Integration solarer Technologien in die Gebäudehülle stellt einen weiteren vielversprechenden Weg dar, um die Nutzung erneuerbarer Energien im Gebäudereich zu verstärken. Architektonisch anspruchsvolle Lösungen und konstruktive Synergien ermöglichen dabei die Steigerung der Akzeptanz und die Senkung der Kosten.

Zwei beispielhafte Ansätze zeigen aktuelle Aktivitäten am Institut für Solarenergieforschung Hameln. In Kooperation mit den Partnern Blue Energy Systems und Carsten Grobe Passivhaus sind photovoltaisch-ther-

mische (PVT) Paneele entstanden, deren Wärmeübertrager die Funktion des Tragesystems übernehmen und die als modulare Dachhaut dienen (► *Abbildung 1*). Nach der abgeschlossenen Entwicklungsphase werden die ersten Pilotanlagen errichtet und messtechnisch überwacht, um das Verhalten der PVT-Paneele im realen Betrieb zu analysieren.

In einem zweiten Projekt untersucht ein interdisziplinäres Konsortium aus Fassadenherstellern, Planern und Wohnungswirtschaft die solarthermische Aktivierung vorgehängter hinterlüfteter Fassaden sowie deren Anbindung in das Wärmeversorgungssystem von Geschosswohnungsbauten. Der Ansatz besteht darin, Solartechnik durch konzeptionelle und konstruktive Lösungen unsichtbar zu integrieren, damit das ursprüngliche Erscheinungsbild der Fassade unverändert bleibt. Nach ersten erfolgreichen Ergebnissen mit Glas (► *Abbildung 2*) werden zurzeit solaraktive Fassadenbekleidungen aus verschiedenen Materialien entwickelt und bewertet.

Elektrochrome Verglasungen

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der damit notwendig werdenden Klimaanpassung stellt das Themengebiet der intelligenten, schaltenden Gebäudehülle eine Technologie mit hohem Energieeinsparpotenzial dar. Im Bereich der transparenten Gebäudehülle können elektrochrome Verglasungen den solaren Ertrag ohne mechanische Teile steuern und bieten weiterhin Sichtkontakt nach außen, weshalb sie von Architekten häufig bevorzugt werden. Allerdings bieten sie aufgrund ihrer nicht streuenden Eigenschaften nur einen begrenzten Blendschutz. Die am weitesten verbreitete Technologie sind elek-



Abbildung 2
Testanlage einer solaraktiven Glasfassade und exemplarischer Modulaufbau
 [©ISFH]

trochrome Verglasungen bei welchen die Verringerung der Transmission bzw. Durchsicht über niedrige elektrische Spannungsimpulse erreicht wird.

Weiterhin können elektrochrome Verglasungen in eine übergeordnete Gebäudesteuerung oder in das Internet of Things (IoT) eingebunden werden. Sie ermöglichen die Einfärbung einzelner Scheiben oder ganzer Fensterreihen und die Kopplung mit automatischen Lichtsensorsteuerungen. Am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) werden aktuelle Forschungsfragen dieser Technologie behandelt, etwa die Funktionalität als Blendschutz durch niedrige Transmission im gefärbten Zustand durch den Einsatz innovativer flüssiger Redoxelektrolyte und die Entwicklung fortschrittlicher Regelstrategien.

Schaltbare Wärmedämmung

Neben aktiven Verglasungen kann auch die opake Gebäudehülle schaltbar ausgeführt werden. Am Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) wird im Rahmen des Projektes VID1 (FKZ 03EGB0005A) eine thermisch schaltbare Wärmedämmung (SWD) auf Basis eines Vakuumisulationspaneels entwickelt. Hierbei macht man sich die innendruckabhängige Wärmeleitfähigkeit des Füllmaterials zu Nutze (► *Abbildung 3*). Durch Erhitzen eines Getters werden geringe Mengen von Wasserstoff in Höhe von etwa 10 mbar im Panel freigesetzt. Die dabei notwendige Leistung beträgt nur wenige Watt pro Quadratmeter Wandfläche. Beim Erkalten nimmt der Getter diese Menge rein passiv wieder auf.

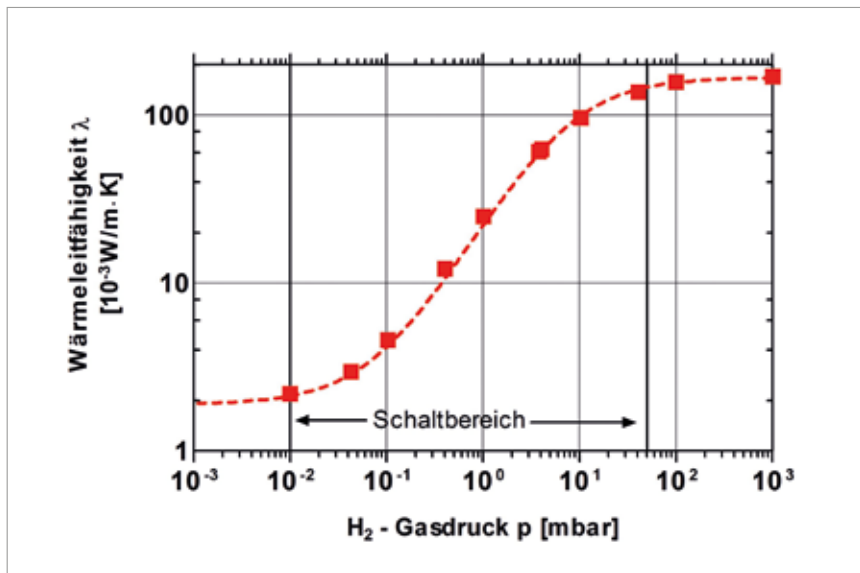


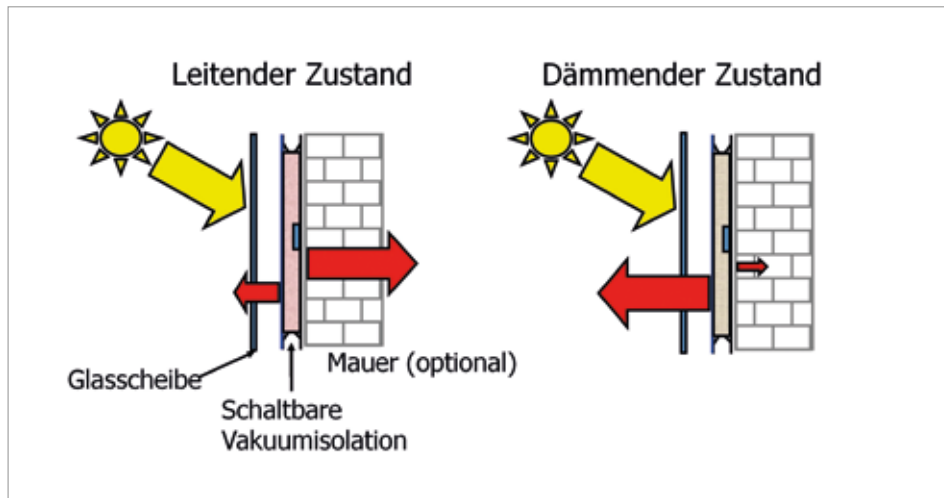
Abbildung 3
Schaltbare Wärmedämmung:
 Die Wärmeleitfähigkeit des Füllmaterials ist vom Gasdruck abhängig.
 [ZAE Bayern]

Abbildung 4

**Schaltbare
Wärmedämmung:**

(links)
Leitfähiger Zustand
zur Gewinnung solarer
Erträge im Winter

(rechts)
Dämmender Zustand
zur Reduktion
der sommerlichen
Überhitzung
[ZAE Bayern]



Im Rahmen des Projektes wurde in einer Ökobilanz „von der Wiege bis zur Bahre“ das entwickelte schaltbare System mit einem System verglichen, das aus herkömmlichem WDVS mit gleichem Dämmwert und Wärmepumpe besteht. Dabei zeigte sich, dass das schaltbare System durch die Nutzung solarer Erträge (► *Abbildung 4*) die Wärme im Vergleich mit einer deutlich höheren Effizienz bereitstellen kann, was zu einer signifikanten CO₂-Einsparung über den Lebenszyklus führt.

2. Gebäude- und Regelungstechnik: Hindernisse und Potenziale für die Reduktion von CO₂-Emissionen

Wärmepumpen-Siedlung

Ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige, effiziente Wärmeversorgung im Wohngebäudebereich ist die Wärmepumpe (WP). Unter geringem Stromeinsatz entziehen WP der Umwelt, wie z. B. der Luft, dem Grundwasser oder dem Erdreich, Wärme und machen diese für die Gebäudeheizung oder die Trinkwarmwasserbereitung nutzbar. Entscheidend für einen netzschonenden und umweltverträglichen WP-Betrieb ist die Nutzung von lokal produziertem Strom aus erneuerbaren Energien.

Eine seit 2018 mit Messtechnik ausgestattete WP-Siedlung bei Hameln (► *Abbildung 5*) liefert Erkenntnisse dazu, welcher Anteil des elektrischen Verbrauches im Ortsnetz durch Windkraft (WK)- und Photovoltaik (PV)-Anlagen lokal gedeckt werden kann.

Wird jedes Gebäude (Jahresstromverbrauch: 5,5 MWh/a) mit 5 kW_p PV-Anlage ausgestattet und jedem Gebäude zusätzlich eine anteilige Leistung einer WK-Anlage von 5 kW zugerechnet, so wird mit dieser Anlagenleistung insgesamt ca. 2,7 mal so viel Strom im Quartier erzeugt, wie verbraucht. Durch einen vorrangigen Betrieb der WP zu Zeiten mit PV-Über-

schuss und dezentrale Batteriespeicher (5 kWh pro Gebäude) werden im WP-Quartier lokale erneuerbare Deckungsanteile von fast 90% möglich (Szenario 5 in ► *Abbildung 6*). Eine vollständige erneuerbare Versorgung ist somit bereits mit aktuell verfügbaren Technologien in greifbarer Reichweite.

Latentwärmespeicher

Intelligente Regelungstechnik nimmt eine immer wichtigere Rolle ein, um die Potenziale neuer Technologien voll auszuschöpfen. Ein Beispiel hierfür ist etwa der Einsatz von Latentwärmespeichern, die in ihrem Phasenwechsel eine große Wärmespeicherkapazität in einem kleinen Temperaturbereich aufweisen.

Am Energy Efficiency Center des ZAE Bayern sind unter anderem Latentwärmespeicher in Form von makroverkapselten PCM-Modulen in modifizierten Standard-Kühldecken verbaut [6] und seit 2013 einem intensiven Monitoring unterzogen worden.

Die Funktion der Kühldecke stellt sich folgendermaßen dar: tagsüber erfolgt eine für den Nutzer angenehme passive Raumkühlung durch Aufschmelzen des Materials, welches während dieses Vorgangs seine Temperatur auf der Schmelztemperatur von etwa 22°C stabilisiert. Das in den Makrokapseln verflüssigte Latentwärmespeichermaterial wird darauf folgend nachts per Wasserdurchfluss durch die Kühldecken wieder zum Erstarren gebracht (regeneriert). Dadurch kann eine Kühllastverschiebung sowie eine Kappung von Kühllastspitzen realisiert werden.

Die Umstellung von einer rein zeitgesteuerten auf eine bedarfsgesteuerte Regeneration führte zu einem signifikant höheren Einsparpotenzial. Verglichen mit einem herkömmlichen Kühldeckensystem konnte so bei gleichem thermischen Komfort ein leicht reduzierter Kältebedarf bei gleichzeitig fast vollständiger Lastverschiebung in die Nacht erreicht werden [7]. Dies steigert die Möglichkeiten regenerative Kältequellen für die Kälteerzeugung und damit weitere Effizienzpotenziale zu erschließen.

Herausforderungen

Außer Potenzialen sind auch aktuelle Hindernisse in der Gebäudetechnik zu identifizieren.

- Basierend auf heutigen und kommenden Regelungen (EnEV bzw. GEG) zum Dämmstandard im Neubau und zu Sanierungspflichten ist nicht davon auszugehen, dass der Wärmebedarf im Gebäudebereich bis 2050 auf weniger als 75% des Wertes von 2008 sinkt. Für einen klimaneutralen Gebäudebestand müsste also der absolute Einsatz erneuerbarer Wärme mindestens verfünffacht werden.
- Dabei ist aufgrund verstärkter Nachfragen nach Biomasse in verschiedenen Anwendungen nicht davon auszugehen, dass der bestehende Mix an Erneuerbaren mit einer Dominanz der biogenen Festbrennstoffe beibehalten werden kann.
- Elektrisch betriebene Wärmepumpen werden voraussichtlich den Großteil des Ausbaus übernehmen müssen. Die derzeitige Tendenz rund die Hälfte der Anlagen als Luft-Wasser-Wärmepumpen auszuführen wird sich voraussichtlich aus verschiedenen Gründen kaum ändern, so dass gerade im Winter extrem hohe Strombedarfe zu erwarten sind (hoher Wärmebedarf, niedrige Arbeitszahlen). Bei niedrigen Solarerträgen und immer wieder auftretenden Windflauten steht ein treibhausgasneutrales Stromsystem vor gewaltigen Herausforderungen.
- Neben dem Einsatz von Spitzenlast GuD-Kraftwerken oder Brennstoffzellen in Einzelgebäuden mit erneuerbaren Gasen, erscheint ein gezielter Einsatz von Biomasse in Kleinstanlagen oder lokalen Wärmenetzen als Spitzenlastoption vielversprechend. Dies hat auch das Projekt BioPlanW von UFZ, DBFZ und Uni Kassel aufgezeigt [8]. Der gezielte Einsatz

von in Wärmepumpen-PV-Systeme eingebundenen Einzelraumfeuerstätten oder Kleinstfeuerungen bzw. Kleinst-Wärme-Kraftkopplungsanlagen kann wesentlich zur Stromnetzstabilisierung beitragen.

- Die richtige Mischung aus Dämmung und erneuerbaren Energien, integrierte Wärmekonzepte und die Weiternutzung bestehender Komponenten verkomplizieren die immer individuelleren Lösungsansätze in einem Maße, dass Nutzer, Entscheider und Heizungsinstallateure einschließlich der Gebäudeplaner in der Breite des Marktes nicht mehr angemessen mit den Herausforderungen umgehen können. Schnell wird dann die komplexe erneuerbare Lösung verworfen und der geringste erlaubte Dämmstandard mit dem billigsten erlaubten Heizungssystem (Gasbrennwert + Solarthermie) installiert. Damit ist dann aber eine treibhausgasneutrale Wärmeversorgung bis 2050 ausgeschlossen!
- Daher müssen alle Optionen der Digitalisierung, des automatisierten Lernens und der künstlichen Intelligenz genutzt werden, um die bestehende Komplexität für alle Akteure so weit hinter Automatismen zu verbergen, dass die notwendige Akzeptanz geschaffen wird. Dazu sind automatisierte Auslegungshilfen, Online-Schritt-für-Schritt Aufbau- und Anschlussanleitungen für Heizungsinstallateure, die Online-Ferneinrichtung und -wartung des Systembetriebs und letztlich auch die Auslagerung von Systemreglern in eine gesicherte Cloud zur Betriebsoptimierung und Kostenreduktion zu entwickeln. Neben öffentlichen, einheitlichen Kommunikationsstandards und flächendeckendem 5G bedarf es zumindest europäisch betriebener sicherer Clouddienstleister.



Abbildung 5

Solarsiedlung
aus 70 Niedrigenergie-Einfamilienhäusern am
Ohrberg bei Hameln
[ISFH]

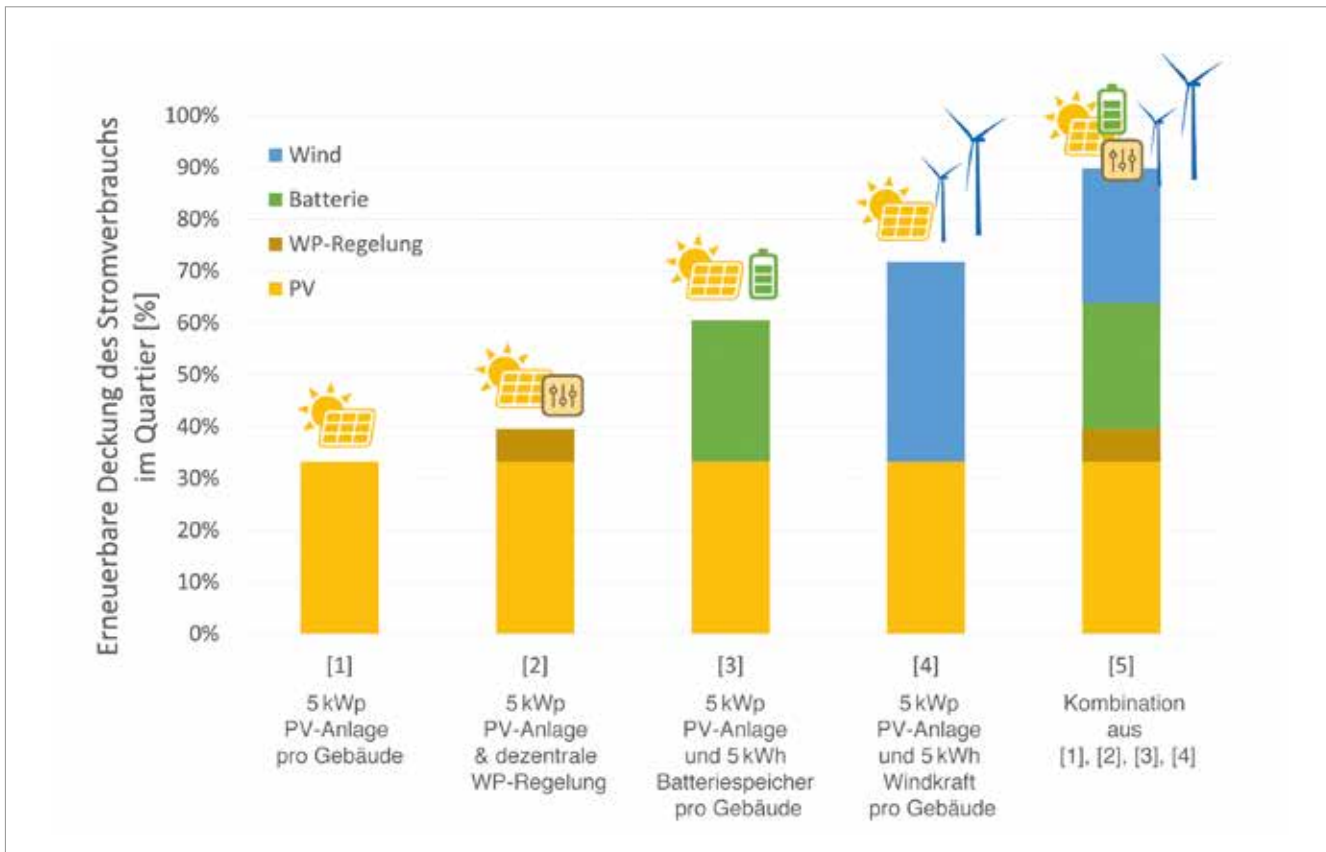


Abbildung 6
Erneuerbare Deckungsanteile des Stromverbrauchs in 5 Versorgungsszenarien für die Ohrbergsiedlung.
 Die Daten basieren auf gemessenen HH-Lastprofilen und simulierten Versorgungskonzepten.
 [©ISFH]

3. Herausforderungen und Hemmnisse beim Übergang zu einer effizienten dezentralen Energieversorgung

Nach derzeitigen Entwicklungspfaden für das Jahr 2050 in Deutschland wird der Anteil steuerbarer Verbraucher wie Wärmepumpen und E-Pkw stark ansteigen (WP: 14 Mio, E-Pkw 33 Mio.) [9].

Um dieses Flexibilitätspotenzial systemdienlich zu nutzen, also zur Balance von Angebot und Nachfrage bei gleichzeitiger Beachtung von (lokalen) Netzrestriktionen, bedarf es der Vernetzung und Koordination der Akteure auf dezentraler Ebene.

Hierfür sollte zum einen die Systemgrenze des dezentralen Energiemanagements erweitert werden, sodass beispielsweise externe Anreizsignale bei der Fahrplanoptimierung mitberücksichtigt werden können. Zum anderen werden als Pendant auf Quartiers-ebene geeignete (ökonomische) Anreiz- und Koordinierungsmechanismen benötigt, die die lokalen Akteure zu netzdienlichem Verhalten stimulieren und deren Beitrag zu einem effizienteren Betrieb des Gesamtsystems dann auch entsprechend entlohnen.

Systemdienliche Fahrplangestaltung

Im Rahmen des Forschungsprojekts ENsource [10] wurde dieses Prinzip auf Basis eines zweistufigen Energiemanagement Ansatzes untersucht [11]. Mit

der Prämisse, Komplexität zu reduzieren und auf dezentraler Ebene einen hohen Grad an Handlungsautonomie zu wahren, wurden die flexiblen, dezentralen Einheiten innerhalb eines Quartiers über Preissignale zu einer koordinierten Fahrplangestaltung angereizt. Im Ergebnis konnten das Erzeugungsdargebot an erneuerbaren Energien besser genutzt, gleichzeitig lokale Leistungsbeschränkungen besser eingehalten und die Gesamtenergiekosten reduziert werden.

Bottom-up Versorgungsmodelle

Der Einsatz von neuen bottom-up Modellen ermöglicht die Analyse, welche Versorgungssysteme regional ökologisch und ökonomisch optimal in Wohngebäuden eingesetzt werden [12]. Dazu werden basierend auf den Zensusdaten und einer räumlichen Aggregation Typgebäude ermittelt, für welche parallel die kostenoptimale Wahl aus Effizienzmaßnahmen und des Betriebs verfügbarer Versorgungstechnologien bestimmt werden. Die erhaltenen Optimierungsergebnisse werden abschließend in einer räumlichen Verteilung abgebildet, um die netzseitigen Nachfragen und Belastungen zu bestimmen.

Die ersten wesentlichen Ergebnisse sind, dass eine Steigerung der Gebäudeeffizienz essentiell ist und Wärmepumpen und Photovoltaik die wichtigsten

Technologien zur Erreichung eines treibhausgasneutralen Gebäudebestandes darstellen. Im kostenoptimalen Optimierungsergebnis ist dabei ein massiver Eigenverbrauch an Photovoltaikstrom möglich, der für Deutschland über 90 TWh/a liegt. Wärmepumpen und Photovoltaik werden allerdings die saisonale Variation der Nachfrage signifikant erhöhen. Zum Ausgleich können jedoch flexible KWK-Technologien eingesetzt werden. Während diese in urbanen Gebieten kosteneffizient sein können, sind sie in ruralen Gebieten ökonomisch schwer abbildbar, weshalb sich dort bedingt durch die Elektrifizierung der Wärme die Spitzenlast im Netz verdoppeln kann. Durch Anreize in der KWK-Förderung kann hierbei die Kosteneffizienz zwischen verstärktem Netzausbau und Einsatz von KWK-Technologien verschoben werden und so als effektiver Hebel identifiziert werden.

Zusammenfassung

Abschließend ist festzustellen, dass ohne weitere Anstrengungen zur Verbesserung der CO₂-Bilanz im Gebäudebereich die Zielstellung „klimaneutraler Gebäudebestand“ nicht erreicht werden wird. Wie in anderen Bereichen ist auch an dieser Stelle das Verfolgen von Nachhaltigkeit bestehend aus Suffizienz, Effizienz und Konsistenz zielführend. Mit dem Klimaschutzgesetz ist die Politik einen Schritt in die richtige Richtung gegangen, wenngleich die CO₂-Bepreisung in der geplanten Höhe von 10 Euro/tCO₂ als zu zaghafte Maßnahme zu bewerten ist.

Die gute Nachricht ist, dass bereits eine Vielzahl technologischer Lösungen existiert, die allerdings auch gefördert und umgesetzt werden sollte. Dabei ist auch die gleichzeitige Weiterentwicklung neuer Innovationen essentiell, um eine höhere Akzeptanz, eine höhere Sanierungsrate und einen geringeren Reboundeffekt zu verwirklichen. Die Mitnahme und das Informieren der Bürger sind von hoher Wichtigkeit. Die Digitalisierung spielt hierbei eine große Rolle, um Zusammenhänge verständlich zu machen, Potenziale zu erschließen und die Sektorenkopplung zu ermöglichen. Dabei ist auf einen hohen Standard im Datenschutz zu achten.

Literaturverzeichnis

- [1] BMWi, „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung,“ 2010.
- [2] N. Thamling, M. Pehnt und J. Kirchner, „Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude,“ IWU, ifeu, PROGNOSE, Berlin, Heidelberg, Darmstadt, 2015.
- [3] T. Hesse, V. Bürger, B. Fries und B. Schломann, „Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 – Gebäudesektor und Stromverbrauch Privathaushalte,“ Öko-Institut e.V.; Fraunhofer ISI, Freiburg, 2016.
- [4] P. Singhal und J. Stede, „Wärmemonitor 2018: Steigender Heizenergiebedarf, Sanierungsrate sollte höher sein,“ DIW-Wochenbericht, Bd. 86, Nr. 36, pp. 619–628, 2019.
- [5] Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI), „Faktencheck: Gebäudeenergieeffizienz,“ Berlin, 2013.
- [6] S. Weismann, „Demonstration von Energieeffizienz und des Einsatzes erneuerbarer Energieträger am Neubau eines innovativen Forschungsgebäudes: DEENIF; Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben; Laufzeit: 01.08.2010 – 28.02.2014,“ Würzburg, 2014.
- [7] S. Weismann, D. Büttner, B. Chhugani, H.-P. Ebert, U. Heinemann, S. Hippeli, R. Kastner, D. Kranl, W. Körner, F. Klinker, M. Reim, M. Vornberger und H. Weinläder, „Betriebsoptimierung, Monitoring, Entwicklung von interdisziplinären Steuerungs- und Regelungskonzepten und Forschungsbetrieb an innovativen Anlagen und Komponenten eines Forschungs- und Demonstrationsgebäudes (MoniResearch),“ Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., Würzburg, 2019.
- [8] M. Jordan, V. Lenz, M. Millinger, K. Oehmichen und D. Thrän, „Future competitive bioenergy technologies in the German heat sector: Findings from an economic optimization approach,“ Energy, p. 116194, 2019.
- [9] Boston Consulting Group GmbH; PROGNOSE, „Klimapfade für Deutschland,“ Bundesverband der deutschen Wirtschaft, 2018.
- [10] ENsource, Projekt, gefördert durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und den Europäischen Fonds für regionale Entwicklungen (EFRE), Aktenzeichen: FEIH_ZAFH_562822.
- [11] R. Rongstock, D. Pfeiffer, A. Toradmal, H. Frank, J. Binder, M. Becker, B. Thomas und C. Widmann, „District energy system optimisation and communication: a two-level approach,“ in 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow, 2018.
- [12] L. Kotzur, P. Markewitz, M. Robinius, G. Cardoso, P. Stenzel, M. Heleno und D. Stolten, „Bottom-up energy supply optimization of a national building stock,“ Energy and Buildings, 2020.