xia intelligente architektur

07-09/16 Zeitschrift für Architektur und Technik

anna heringer | giselbrecht + partner zt gmbh
atp architekten ingenieure | carpus + partner
florian nagler architekten | tektonik architekten

4 195135 013004 03
AUSGABE 96
Juli – September 2016
D EUR 13,00
A EUR 14,50
L EUR 14,50
CH sfr 22,00

Gebäude als intelligenter Baustein im Energiesystem

Die geplante Energiewende stellt das Energiesystem in Deutschland vor große Herausforderungen. Hierbei sollen die Integration der erneuerbaren Energien sowie eine hohe Zuverlässigkeit der Stromversorgung bei bezahlbaren Preisen beibehalten werden. Der Bedarf nach zusätzlichen Stromspeichermöglichkeiten wird aufgrund des steigenden Anteils an erneuerbaren Energieerzeugern in Zukunft stark ansteigen. Es ist daher naheliegend, neben Optionen zur Begrenzung dieses Bedarfs auch Speichertechnologien zu untersuchen, die zeitnah zu Verfügung stehen und gleichzeitig preiswert implementiert werden können. Mittels Lastmanagement und der entsprechenden Anpassung ihrer Verbrauchscharakteristik können Gebäude flexibel auf die fluktuierende regenerative Energieproduktion reagieren und als funktionale Speicher genutzt werden. Eine stärkere Kopplung des Wärmemarktes mit der Stromversorgung würde eine Nutzung von Gebäuden als kostengünstigen Energiespeicher ermöglichen, wodurch eine Synergie entsteht, die zu alternativen Konzepten für die energetische Sanierung des Gebäudebestands führen könnten. Den Einfluss der intelligenten Einbindung von Gebäuden als aktiver Teilnehmer in das Energiesystem analysieren Wissenschaftler der Technischen Universität München (TUM) in einem laufenden Forschungsvorhaben.

Von Manuel de Borja Torrejón, Dennis Atabay, Rita Dornmair, Johannes Maderspacher und Florian Sänger

Die Energiewende hin zu einem nachhaltigeren Energiesystem bringt eine sich verändernde Erzeugungs- und Versorgungsstruktur in Deutschland mit sich (Abb. 1). Die Erzeugung elektrischer Energie richtet sich in Deutschland derzeit weitgehend nach dem Verbrauch. So werden konventionelle Kraftwerke und Stromspeicher so betrieben, dass zu jedem Zeitpunkt genau die von den Verbrauchern geforderte Last gedeckt wird. Der starke Anstieg der installierten Leistung von regenerativen Erzeugern, wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen lassen in der Zukunft ein deutlich erhöhtes Angebot von wetterabhängig fluktuierender gegenüber konventioneller, planbarer Stromproduktion erwarten. In einem solchen Szenario ist neben Zeiten von Erzeugungsüberschüssen auch mit Momenten unzureichender Erzeugung zur Deckung der Stromnachfrage zu rechnen (Abb. 2). Um dies zu vermeiden, kann neben dem Ausbau von Stromnetzen, Stromspeichern und flexiblen Erzeugungsanlagen auch Lastmanagement, also eine flexible Nachfrage, als Gegenmaßnahme einen Beitrag leisten. Lastmanagement wird in der Industrie, z.B. bei thermischen Anlagen, bereits erfolgreich eingesetzt. Auch die Raumheizung und Klimatisierung von Bauten kann hier einen großen Beitrag leisten, wenn die Gebäudemasse als Speicher nutzbar gemacht wird. Der Wärme- bzw. Kältebedarf der Gebäude kann über Systeme gedeckt werden, welche Strom verbrauchen oder produzieren, wie z.B. Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke oder Kältemaschinen. Aufgrund der in Gebäuden vorhandenen thermischen Speichermasse ist es möglich, die Betriebszeiten dieser Anlagen zu verschieben und so ein elektrisches Lastmanagement zu implementieren.
Anhand der großen Zahl von Studien, die derzeit zum Thema Lastmanagement durchgeführt werden, ist die hohe Relevanz des Themas zu erkennen. Der Fokus der meisten Arbeiten liegt allerdings auf einzelnen Aspekten von Lastmanagement. Bereits gezeigt wurde, wie groß das Speicherpotenzial verschiedener Gebäudetypen ist, dass Gebäude auf Strompreissignale positiv reagieren können und dass sie einen positiven Einfluss auf das deutsche Stromsystem haben. Jedoch wurden diese Aspekte bisher nur isoliert untersucht und gegenseitige Wechselwirkungen weitestgehend vernachlässigt. Im Gegensatz dazu wird in der laufenden Studie „Lastmanagement -Potenziale von Gebäuden im Kontext der zukünftigen Energieversorgungsstruktur in Deutschland" der TUM ein übergreifendes, gekoppeltes Simulationsmodell erstellt, um den Einfluss von Gebäuden auf das Stromsystem in Deutschland abzuschätzen. Dieser Ansatz erlaubt es, gegenseitige Wechselwirkungen zwischen dem Verhalten flexibler Gebäude und dem Stromnetz sowie deren zukünftige Entwicklung abzuschätzen.
Die Studie wird in multidisziplinärer Zusammenarbeit von drei Lehrstühlen der Fakultät für Architektur und der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik durchgeführt. Gefördert wird das Projekt vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung und unterstützt durch Kooperationspartner aus den Bereichen der Gebäudetechnologie und des Bauens sowie der Energiewirtschaft.

Ziele und Nutzen

In dem aktuellen Forschungsvorhaben der Technischen Universität München soll eine ganzheitliche Betrachtung der Energieversorgungstruktur in Deutschland und der Lastmanagementpotenziale von Gebäude erfolgen. Hierdurch können reziproke Beeinflussungen einer intelligenten Einbindung von Gebäuden in das Energiesystem abgebildet und so Rückkopplungseffekte identifiziert und analysiert werden. Dieser Ansatz erlaubt die Untersuchung verschiedener Ausbauszenarien zur zukünftigen Energieversorgungsstruktur und zeigt die möglichen Potenziale des Gebäudebestandes als thermische Speicher auf. Somit werden die Auswirkungen auf die Integration der erneuerbaren Energien sowie den Bedarf an konventionellen Kraftwerken und Speichern analysiert. Des Weiteren kann untersucht werden, wie sich der zunehmenden Anteil von mit strombetriebenen Wärme- und Kältetechnik versorgten Gebäuden bzw. deren Lastgänge auf das Stromsystem auswirkt.

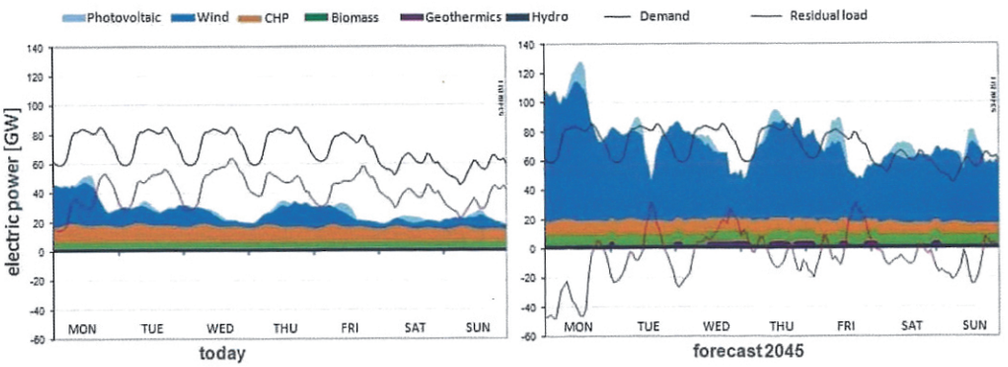

Abb. 2 Verbrauch und regenerative Erzeugung von Strom. Typisches Profil während einer Winterwoche in Deutschland. Nachfrage nach Büronutzung. Quelle: Kuhn, IFE, 2011

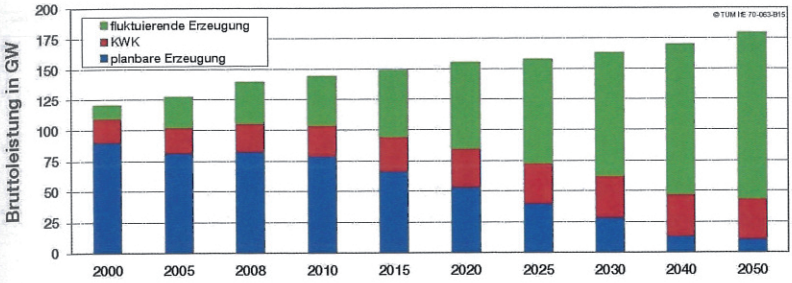

Abb. 1 Entwicklung der Bruttoleistung der Kraftwerke in Deutschland.

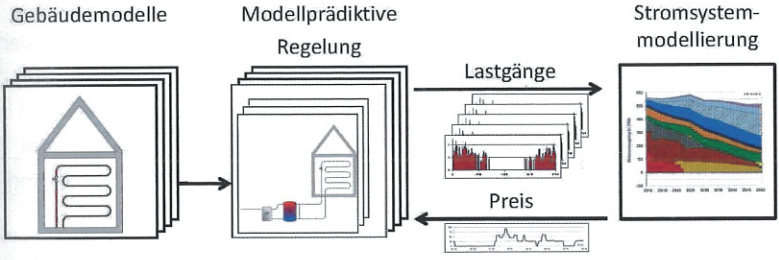

Abb. 3 Methodik der Modellkopplung zwischen Gebäuden, Anlagentechnik, Regelungstechnik und Energiesystemmodellierung.

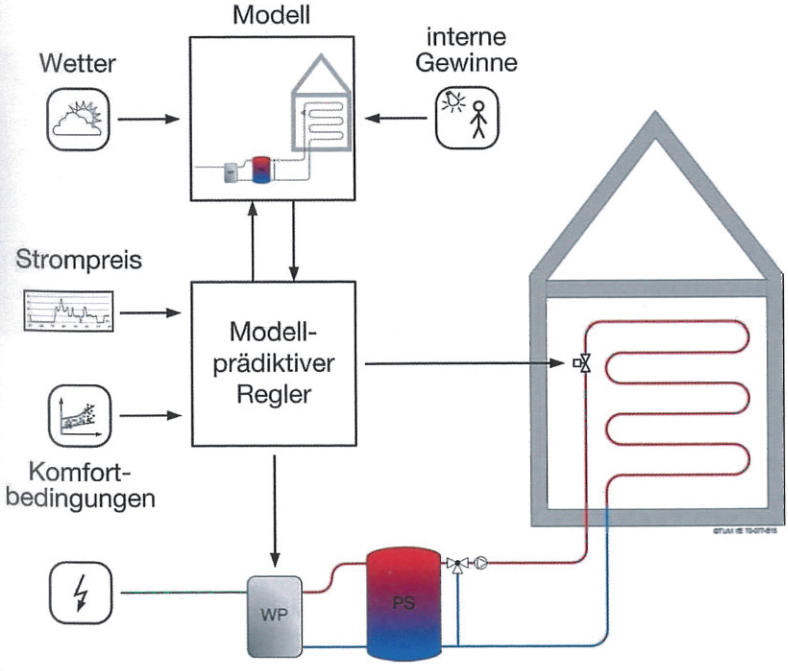

Abb. 4 Funktionsweise der modellprädiktiven Regelung.

Bei der Analyse der zukünftigen Energieversorgungsstruktur, welche die aktuellen Klimaziele widerspiegelt, soll auch der Einfluss der Entwicklung des Gebäudebestands untersucht werden. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass je nach Gebäudetyp ein unterschiedliches Potenzial vorhanden ist, das je nach Art des Lastmanagementbedarfs Vor- oder Nachteile aufweisen würde. Diese Potenziale lassen sich aus der Höhe der zu- oder abschaltbaren Leistung sowie aus der Zeit, in der das Innenraumklima die gewählten Komfortgrenzen nicht über- oder unterschreitet, ermitteln. Bei Neubauten bzw. Bauten effizienteren Standards ist z.B. eine längere Abschaltdauer, aber geringere Abschaltleistungen möglich. Bei Altbauten ist es genau gegensätzlich. Durch die Betrachtung unterschiedlicher Sanierungsszenarien und verschiedener technischer Ausstattungen können Entwicklungspfade abgeleitet werden, welche Gebäudetypen wann und in welchem Ausmaß als thermischer Speicher mittels Lastmanagement genutzt werden können. Aus den Ergebnissen können Gebäudemodernisierungen zielgerichteter an das aktuell sehr veränderliche Umfeld der Energiewirtschaft angepasst werden. Weiterer Nutzen kann z.B. über den Anteil des integrierten Stroms aus regenerativen Energien, der Einsparung an konventionellen Speichern und Erzeugern oder der Verringerung des CO_2-Ausstoßes bei der Stromerzeugung quantifiziert werden.

Methodik

Die Studie erfordert eine umfassende Modellierung des Energiesystems inklusive der Gebäude. Dafür werden Modelle verschiedener Gebäudetypen und Anlagetechniken sowie eine modellprädiktive Regelung mit einem Stromsystemmodell in einem iterativen Simulationsverfahren gekoppelt (Abb. 3). Der Betrachtungszeitraum des Stromsystemmodells reicht dabei über mehrere Jahrzehnte bis zum Jahr 2050. Der Ausganspunkt für die Untersuchung ist der aktuelle deutsche Gebäudebestand. Für eine realistische Abbildung des Gebäudebestandes werden mögliche Sanierungs- und Neubau- sowie Abrissraten berücksichtigt.

Mit Hilfe von unterschiedlichen Gebäudemodellen wird das thermische Verhalten des aktuellen und zukünftigen deutschen Gebäudebestands ermittelt. Diese Modelle werden für verschiedene Gebäudetypen des Haushalt- und GHD-Sektors und Energieeffizienzstandards erstellt. Dazu werden Modellvarianten mit unterschiedlichen Wärme- und Kälteübergabesystemen im Raum betrachtet.

Die Anlagentechnik und deren modellprädiktive Regelung stellen die Schnittstelle zwischen der Gebäudesimulation und dem Stromsystemmodell dar. Dabei spielen Gebäudelastgang und Strompreis eine wesentliche Rolle.

Als Anlagetechnik werden konventionelle Gas- oder Ölkessel sowie Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke und Kältemaschinen berücksichtigt. Die Ergänzung der Anlagentechnik mit elektrischen Heizeinsätzen wird ebenfalls untersucht. Diese bieten eine einfache und bezüglich der Investitionskosten günstige Möglichkeit der Kopplung zwischen Strom- und Wärmesystem.

Mit Hilfe der Modellprädiktiven Regelung wird je nach Gebäudetyp und -standard für jede sinnvoll einsetzbare Anlagetechnik ein optimierter Anlagenfahrplan ermittelt (Abb. 4). Diese Fahrpläne basieren u. a. auf zeitlich variablen Strompreisen aus dem Stromsystemmodell und dienen zur Verschiebung von Heiz- und Kühlzeiten in möglichst günstige Stunden durch die Nutzung des Speicher- und Lastmanagement-Potenzials der Gebäude. Für die Berechnung des Modellprädiktiven Reglers wird ein vereinfachtes Gebäudemodell auf Basis von neuronalen Netzen genutzt. Die Ermittlung des kostengünstigsten zulässigen Fahrplans wird mit Hilfe einer mathematischen Optimierung erreicht, welche als Zielfunktion die Minimierung der Gesamtkosten besitzt.

Die resultierenden elektrischen Lastgänge der Gebäude werden zusammengefasst, mit dem restlichen Stromverbrauch (z.B. Industrie) addiert und an das volkswirtschaftlich optimierende Stromsystemmodell als Eingangsgröße übergeben Dieses berechnet auf Basis des dadurch veränderten Gesamtlastgangs einen angepassten Ausbau und Einsatz der Kraftwerke und Speicher. Dadurch kann u. a. eine neue Strompreiskurve aus den Modellergebnissen gewonnen werden, die wiederum der Modellprädik-tiven Regelung zur Verfügung gestellt wird. Mithilfe dieses iterativen Prozesses können die Wechselwirkungen zwischen Lastanpassung der Gebäude und Energiebereitstellung durch das Stromsystem abgebildet werden.

Das Ziel des Stromsystemmodells ist die Deckung

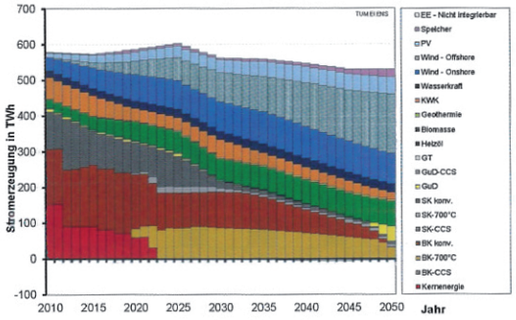

Abb. 5 Entwicklung der Zusammensetzung der Stromerzeugung über den Betrachtungszeitraum.

der Stromnachfrage zu allen Zeitpunkten des Betrachtungszeitraums zu volkswirtschaftlich minimalen Kosten. Ausgangspunkt ist der bestehende Kraftwerkspark sowie bestehende Pumpspeicherwerke in Deutschland. Auf dieser Basis ermittelt das Modell neben den Strompreiskurven auch den Ausbau und Einsatz von Kraftwerken und Speicheranlagen im Hinblick auf Technologie, Leistung, Kapazität und Zeitpunkt des Baus. Unter anderem lassen sich mit seinen Ergebnissen Aussagen über den sich ergebenden Strommix (Abb. 5), Ausbau und Einsatz von großtechnischen Speicheranlagen, aber auch die Entwicklung der CO_2-Emissionen treffen.

Ausblick

In der derzeitigen Bearbeitungsphase des Projektes wird an der Erstellung der Modelle von den Gebäuden sowie den Anlagen gearbeitet. Zudem wird die Kopplung zwischen der Modellprädiktiven Regler und dem Stromsystemmodell aufgebaut. Im Anschluss an diese Arbeiten werden unterschiedliche Szenarien gerechnet, um verschieden Einflussfaktoren zu untersuchen. Der Endbericht der Studie wird im zweiten Quartal 2017 veröffentlicht.

Link zum Projekt

www.klima.ar.tum.de/forschung/forschungsbereich-klimagerechtes-bauen/lastmanagement-im-kontext-der-zukuenftigen-energieversorgungsstruktur/

Technische Universität München
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen
Chair of Building Technology and Climate Responsive Design
Professor Dipl.-Ing. Thomas Auer
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
www.klima.ar.tum.de