

■ Integrierte Gebäudesystemtechnik

- Dezentrales Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz – Was kann die Gebäudeautomation beitragen?
- Inbetriebnahme, Betriebsführung und Überwachung von Gebäuden

Dezentrales Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz – Was kann die Gebäudeautomation beitragen?

David Nestle
ISET
dnestle@iset.uni-kassel.de

Dr. Christian Bendel
ISET
cbendel@iset.uni-kassel.de

Jan Ringelstein
ISET
jringelstein@iset.uni-kassel.de

Philipp Strauß
ISET
pstrauss@iset.uni-kassel.de

Dr. Christof Wittwer
Fraunhofer ISE
christof.wittwer@ise.fraunhofer.de

Einführung

Erneuerbare und dezentrale elektrische Erzeuger werden mit zunehmender Anzahl und Leistung im Netz installiert. Daher entsteht die Forderung, dass diese künftig mittels einer Kommunikationsanbindung wie konventionelle Kraftwerke gesteuert werden und zum Netzbetrieb beitragen. Zugleich kommt auch dem Lastmanagement eine zunehmende Bedeutung zu, da sich die fluktuierenden Erzeuger Windkraftanlagen und Photovoltaik (PV) nicht in dem Maße regeln lassen wie konventionelle Kraftwerke. Eine technische Kommunikationsanbindung von elektrischen Verbrauchern und dezentralen Erzeugern im Netzbetrieb wird daher in Zukunft unerlässlich sein.

IuK-Technik für mehr Energieeffizienz

Da die meisten Lasten und dezentralen Erzeuger in Gebäuden installiert sind, kommt dabei neben der Kommunikation zwischen den Gebäuden einer übergeordneten Leitstelle (Wide Area Network) der Gebäudeautomation als „Local Area Network“ eine wesentliche Rolle zu (*Abbildung 1*). Zugleich kann Gebäudeautomatisierung in Kombination mit neuen Stromzählern kleinen Stromkunden wesentlich zeitnäher Informationen über ihren Energieverbrauch und den damit verbundenen Kosten zur Verfügung stellen. Wenn diese Informationen richtig genutzt werden, kann dies zur Erhöhung der Energieeffizienz beitragen. Durch die Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnik kommen jetzt neue Lösungen zur Gebäudeautomatisierung auf den Markt, wodurch hier ein erhebliches wirtschaftliches Potenzial besteht.

Gebäudeautomation

In der Vergangenheit war in Europa der Einsatz von Gebäudeautomatisierung aus Kostengründen meist auf den Bereich größerer gewerblicher Gebäude und auf wenige Wohngebäude der Preisoberklasse beschränkt. Nach wie vor ist die Verbreitung im Bereich Privathaushalte und Kleingewerbe noch recht gering, es zeichnet sich aber durch die neu verfügbaren IT-Technologien eine Trendwende hin zu kostengünstigen Lösungen ab. Für die Ansteuerung einzelner Geräte innerhalb eines Gebäudes werden bisher vor allem Bussysteme der Gebäudeautomatisierung wie EIB/KNX [1] und LON [2] eingesetzt. Allerdings haben diese im Bereich der Privathaushalte bisher keine große Verbreitung gefunden – im Gegensatz zu Rechner- und Telefonnetzen. Obwohl auch Systeme auf dem Markt sind, die Funk oder vorhandene Stromleitungen als Kommunikationskanal nutzen, werden vor allem Lösungen angeboten, die die Verlegung einer separaten Verkabelung für das Bussystem erfordern. Dies erschwert und verteuert die Verwendung im Gebäudebestand. Diese Systeme sind i. d. R. darauf ausgelegt, dass Anwendungen wie die Verschaltung von Lichtschaltern und Beleuchtung damit implementiert werden. Hier würden grundlegende Fehler bei der Konfiguration die Benutzbarkeit eines Gebäudes stark einschränken, weshalb diese Systeme zwingend durch einen Fachbetrieb konfiguriert werden müssen. Das erhöht die Kosten, während derartig weitreichende Funktionen für die meisten Privathaushalte ohne praktischen Mehrwert sind.

Realistischer ist der Einsatz einfacher Kommunikationslösungen, deren Versagen oder Fehlkonfiguration zur Not für einige Tage hingenommen werden kann und die vom Nutzer des Gebäudes selbst konfiguriert werden können,

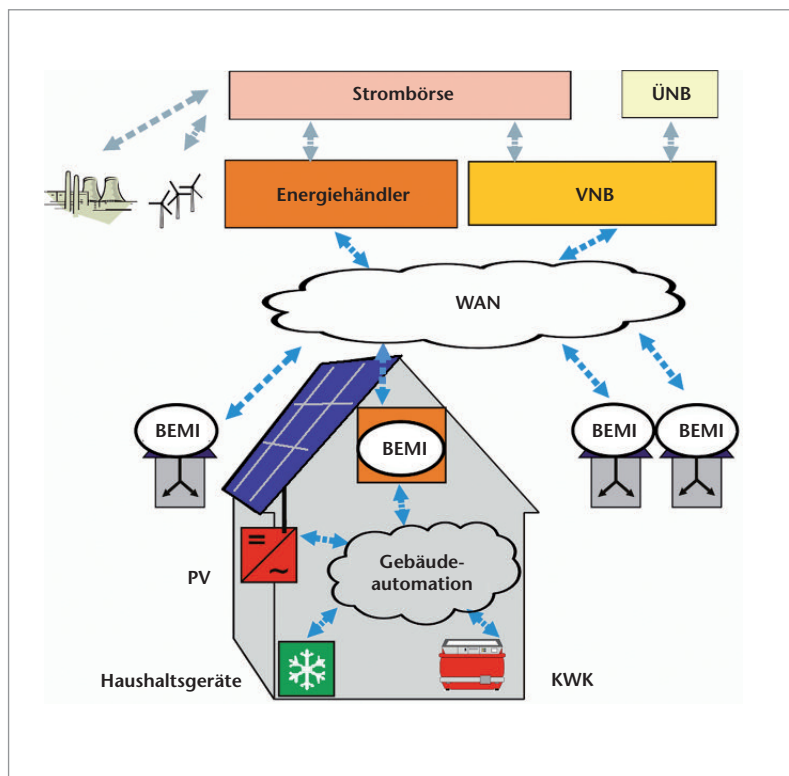


Abbildung 1
Kommunikationsstruktur

BEMI: Bidirektionales Energiemanagementinterface

WAN: Wide Area Network

VNB: Verbindungsnetzbetreiber

ÜNB: Übertragungsnetzbetreiber

Quelle: ISET

wie es heute bei praktisch allen privaten Rechnernetzwerken der Fall ist. Neue Funkstandards, vor allem die drahtlose Kommunikationsmöglichkeit Z-Wave [3] und das offene Funknetz ZigBee, das es ermöglicht, Haushaltsgeräte auf Kurzstrecken (10–100 m) zu verbinden [4], zielen ebenfalls auf den Bereich der Gebäudeautomatisierung und sollten deutlich kostengünstiger werden. Technisch gesehen ist die Auto-Routing-Funktion von Bedeutung, die dafür sorgt, dass Daten innerhalb eines Netzes von jedem Knoten so weitergeleitet werden, dass sie möglichst schnell ihr Ziel erreichen, auch wenn keine direkte Funkverbindung zwischen Sender und Empfänger besteht, sondern ein oder mehrere Knoten als Brücken fungieren müssen. Ebenfalls auf kostengünstige Gebäudeautomation zielt die Digitalstrom-Technologie, die auf eine Kommunikation über die vorhandenen Stromleitungen setzt [5].

Smart Metering

Aufbauend auf Vorgaben der EU müssen laut dem 2008 erlassenen Gesetz zur Öffnung des

Messwesens Neubauten ab Januar 2010 mit Stromzählern ausgestattet werden, die dem jeweiligen Anschlussnutzer den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegeln [6][7]. Diese Anforderung ist wirtschaftlich nur mit Hilfe von intelligenten Zählern zu bewerkstelligen, die über eine Kommunikationsverbindung fernauslesbar sind. Das Gesetz schreibt ferner vor, dass Energieversorgungsunternehmen bis Ende 2010 Endkundertarife anbieten müssen, die einen Anreiz zur Energieeinsparung oder Steuerung des Energieverbrauchs setzen. Zeitvariable Tarife stellen hier eine Alternative dar, deren Einführung zu erwarten ist. Deshalb ist die Lastgangaufzeichnung durch Smart Meters auch für Abrechnungszwecke nötig.

Entsprechende Geräte werden daher von den Energieversorgern zur Zeit in Gebäuden getestet. Ergebnisse aus Österreich [8] zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit von Smart Meters steigt, wenn diese spartenübergreifend eingesetzt werden („Multi-Utility-Communication“ MUC: kombinierte Strom-, Wasser-, Gaszählung) und mit Funktionen verknüpft werden, die in den Bereich der klassischen Gebäudeautomation

fallen. Smart Metering stellt dadurch eine interessante Technologie dar, die für die Gebäudevernetzung genutzt werden kann.

Im Zusammenhang mit Smart Metering – einem intelligenten Stromzähler – wird zwischen Primär-, Sekundär- und Tertiär-Kommunikation unterschieden:

- Die Primärkommunikation bezieht sich auf die „Inhouse“-Kommunikation im Zählersystem.
- Sekundärkommunikation ist die Auskoppelung von Daten in die Gebäudeautomation.
- Tertiäre Kommunikation wird zur Übertragung zum Messstellenbetreiber genutzt.

Im MUC-Standardisierungskreis werden offene Kommunikationsstandards festgelegt, die herstellerunabhängiges Multisparten-Metering möglich machen sollen [9]. Bis 2009 sollen entsprechende MUC-konforme Gateways (die es Netzwerken mit unterschiedlichen Protokollen erlauben, miteinander zu kommunizieren) und Zähler zur Verfügung stehen, die für den Messstellenbetrieb geeignet sind. Der lokale Zugriff auf die Messwerte soll die Einbindung in die Gebäudeenergieanlage ermöglichen, so dass beispielsweise ein tarifgeführter Betrieb von Haushaltsgeräten möglich wird. Das Fraunhofer ISE hat mit der EWE-Box (Abbildung 2) ein System entwickelt, das diese Funktionalität in einem Gateway zur Verfügung stellt. Neben der Integration von Metering-Systemen ist hier insbesondere ein Feedback-System entwickelt worden, das dem Nutzer Aufschluss über seinen Energieverbrauch, seine Kosten und seine verursachten Emissionen gibt.

Energiemanagement

Wie eingangs erläutert, entsteht durch neue Anforderungen an das Management von dezentralen Erzeugern und Lasten künftig Bedarf zum verstärkten Einsatz von Gebäudeautomation. Für die Gestaltung eines solchen Managements ist es wichtig zu beachten, dass Kunden in der Niederspannungsversorgung meist keine Planung des zeitlichen Verlaufs ihres Strombedarfs vornehmen, da sich der Aufwand im Verhältnis zur geringen umgesetzten Menge nicht lohnt. Außerdem lässt sich das aggregierte Verhalten einer großen Zahl von Kunden ohnehin besser durch statistische Verfahren vorhersagen als durch individuelle Planung. Dies muss für diese Kundengruppe auch weiterhin möglich bleiben.

Um dieser Anforderung gerecht zu werden, ist es entscheidend, den Kunden weiterhin Freiheit bezüglich ihres Energieverbrauchs zu lassen, aber zugleich Anreize zu schaffen, den Betrieb des Energieversorgungssystems zu unterstützen. Dies lässt sich durch Vorgabe eines variablen Tarifs erreichen, der dem Kunden die Entscheidung überlässt, zu welcher Zeit er wie viel Strom bezieht oder einspeist, aber zugleich dem Kunden einen finanziellen Anreiz gibt, sich dabei den Erfordernissen der Energieversorgung anzupassen. Über den Mechanismus der statistischen Mittelung wird dadurch ein Instrument entwickelt, das dem Kunden maximale Flexibilität, zugleich aber auch der Energieversorgung insgesamt einen sehr hohen Grad an Zuverlässigkeit bietet. Dies entspricht dem Prinzip der „dezentralen Entscheidung auf Basis zentraler und dezentraler Informationen“.

Abbildung 2
EWE-Box IP-basiertes
Smart-Metering-
System mit Feed Back
System

Quelle: Fraunhofer ISE





Abbildung 3
BEMI-Teststand

Quelle: ISET

Darüber hinaus ist es entscheidend, dass die meisten Kunden nicht bereit sind, hohen persönlichen Aufwand für ein Energiemanagement aufzubringen. Daher müssen die notwendigen Mess-/Überwachungs- und Schaltvorgänge automatisch erfolgen, wozu ein geeignetes System der Gebäudeautomatisierung notwendig ist.

Dieses Konzept wurde als bidirektionales Energiemanagementinterface (BEMI) vom ISET entwickelt und erfolgreich durch Laboraufbau und Simulation getestet (Abbildung 3) [10]. Ergebnisse des Labortests zeigen, dass bei Vorgabe eines variablen Strompreises typische Haushaltsgeräte entsprechend der Kundenanforderungen ohne Beeinträchtigung der Funktion automatisch und kostenoptimal geschaltet werden können. Dazu wurde ein einfaches System der Gebäudeautomatisierung basierend auf WLAN bzw. ZigBee verwendet.

Energieeffizienz

Neben dem Energiemanagement besteht im Bereich des Niederspannungsnetzes auch ein erhebliches Potenzial zur Einsparung des Energieeinsatzes selbst – sowohl im Bereich der Nutzung elektrischer Energie als auch im Bereich der Raumwärme, die mit fossilen Energieträgern versorgt wird. Allein durch Verhaltensänderun-

gen wird ein Einsparungspotenzial von 6,4 % angegeben, durch zusätzliche technische Maßnahmen sogar ein Potenzial von ca. 30 % [11]. Der Aktivierung dieses Potenzials steht allerdings noch entgegen, dass die meisten Privatkunden wenig über ihren Energieverbrauch und ihre Energiekosten wissen. Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie über Energieeffizienz, Energiedienstleistungen und Smart Metering werden auch Privatkunden häufiger und detaillierter über ihren Energieverbrauch informiert werden. Allerdings ist abzusehen, dass sie in vielen Fällen mit einer effektiven Nutzung dieser Informationen überfordert sein werden. Hier kann Gebäudeautomation durch Kombination mit einer Smart-Metering-Technologie dazu beitragen, Effizienzpotenziale durch geeignete Feedback-Systeme zu identifizieren und zu visualisieren.

Smart Metering umfasst insbesondere die Erfassung des Energieverbrauchs und der Verbrauchsprofile der Kunden. Dadurch können auch Privatkunden wesentlich zeitnäher Informationen über ihren Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten erhalten, was als wichtiges Instrument dienen kann, die Energieeffizienz zu fördern [12].

Weitere Konzepte aus der Gebäudeautomation können ebenfalls zu Energieeinsparungen

beitragen: Beispielhaft genannt sei die automatische Abschaltung der Beleuchtung oder anderer Geräte (z. B. Fernseher) bei Verlassen des Hauses oder die automatische Nachtabstaltung von Geräten mit hohem Standby-Verbrauch. Allerdings darf der Energiemehrverbrauch der Gebäudeautomation die erzielte Energieeinsparung nicht überkompensieren. Diese Anforderung muss bereits bei der Entwicklung der entsprechenden technischen Lösungen von Beginn an berücksichtigt werden.

Literatur

- [1] KNX Association, <http://www.knx.org>
- [2] LonMark International, www.lonmark.org/
- [3] www.zen-sys.com, Stand 21.09.2008
- [4] ZigBee Alliance, www.zigbee.org, Stand 21.09.2008
- [5] Digitalstrom Allianz, www.digitalstrom.org, Stand 21.09.2008
- [6] Richtlinie 2006/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG, 5.04.2006
- [7] Gesetz zur Öffnung des Messwesens bei Strom und Gas, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 40, Bonn, 8.09.2008
- [8] N. Breitschopf: Effiziente Energienutzung in Privathaushalten als Beitrag zum Klimaschutz, 10. Symposium Energieinnovation, Graz 02/2008
- [9] <http://m-u-c.org>, Stand 21.09.2008
- [10] C. Bendel, D. Nestle, J. Ringelstein: Netz- und marktkonformes bidirektionales Energiemanagement für Lasten und dezentrale Erzeuger im Niederspannungsnetz, 10. Symposium Energieinnovation, Graz 02/2008
- [11] U. Böde, E. Gruber, B. Brohmann, M. Cames, A. Herold, P. Deutscher, M. Elsberger, L. Rouvel: Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalt und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten, Forschungsbericht 204 01 120 im Auftrag des Bundesumweltamtes, 08/2000 (Öko-Institut Darmstadt/Freiburg/Berlin, Fraunhofer-Institut ISI Karlsruhe, TU München)
- [12] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (EEAP) der Bundesrepublik Deutschland, 11/2007

Inbetriebnahme, Betriebsführung und Überwachung von Gebäuden

Einführung

Der Gebäudebereich ist für rund 40 % des EU-weiten Endenergieverbrauchs verantwortlich. Allein durch Verbesserungen bei der Inbetriebnahme und im laufenden Betrieb von Gebäuden können Energieeinsparungen von 5–30 % erzielt werden. Dieses Energieeinsparpotenzial liegt im Bereich gering investiver Maßnahmen, insbesondere für Nicht-Wohngebäude im Bestand. Dafür müssen systematische Methoden wie z. B. kontinuierliche Betriebsüberwachung, Fehlererkennung und -diagnose sowie Optimierungen eingesetzt werden. Im US-amerikanischen Raum wird dies auch als Ongoing – oder Continuous Commissioning bezeichnet.

Das Fraunhofer ISE verfolgt einen Ansatz, bei dem ein einheitlicher Mindestdatensatz definiert wurde, der mehrere Demonstrationsgebäude mit einer hohen zeitlichen Auflösung (< 1h) erfasst. Es wurden standardisierte Analysen entwickelt, um den Gebäudebetrieb zu überwachen und zu verbessern. Die praxisnahen Methoden eignen sich für eine weitgehende Automatisierung.

Mangelnde Effizienzkontrolle

Es ist heute bei den technischen Anlagen in Gebäuden gängige Praxis, dass die Energieeffizienz des Betriebs nicht kontinuierlich oder oft überhaupt nicht überwacht wird. Die Wartung stellt meist nur die prinzipielle Funktionalität der technischen Anlagen sicher. Den Gebäudebetrieb passt das Bedienpersonal meist nur bei Nutzerbeschwerden an.

Auch bei Neubauten wird die Energieeffizienz oftmals nicht überwacht. Daraus resultiert, dass das Bedienpersonal die Anlagen von Anfang an weitab ihres energetisch/ökonomischen Opti-

mums betreibt, da die Gebäudeautomations-systeme dies nicht zurück melden.

Zusätzlich wird ein effektiver Betrieb in der Praxis oft durch fehlende oder unvollständige Dokumentationen und eingeschränkte Ressourcen (Budget, Personal, Qualifikation) erschwert. Gebäudebesitzer betrachten systematisches und kontinuierliches Monitoring in vielen Fällen als reinen Kostenfaktor und verzichten deshalb auf eine Messdatenerfassungen. Dadurch werden die Möglichkeiten zur Betriebsoptimierung eingeschränkt.

Außerdem fehlen kostengünstige Methoden zur Betriebsanalyse und -optimierung, die die Beschränkungen der Praxis berücksichtigen.

Erfahrungen aus der Inbetriebnahme

Energetisch innovative Neubauprojekte, die im Rahmen wissenschaftlicher Begleitforschung detailliert untersucht wurden, haben gezeigt, dass nach Inbetriebnahme eine intensive Betreuung insbesondere während des ersten Betriebsjahres erforderlich ist.

In diesen Neubauten sind im Rahmen von Forschungsprojekten umfangreiche Messsysteme für ein Monitoring installiert worden. Nachdem die Gebäude wie in Deutschland üblich übergeben und abgenommen waren, dokumentierte das Monitoring-System das Gebäudeverhalten auf wissenschaftlichen Niveau. Es zeigte sich, dass die Gebäude weit entfernt vom energetischen Optimum betrieben wurden. Mit den installierten Monitoring-Systemen wurden die Gebäude dann nachträglich energetisch optimiert betrieben [1].

In Gebäuden, die nicht Bestandteil eines wissenschaftlichen Begleitprogramms sind, könnte die

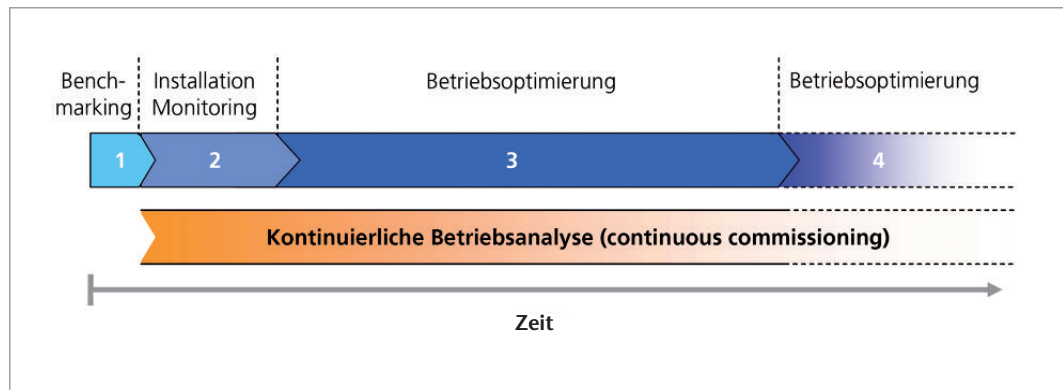
Dirk Jakob
Fraunhofer ISE
dirk.jacob@ise.fraunhofer.de

Christian Neumann
Fraunhofer ISE
christian.neumann@ise.fraunhofer.de

Jan Kaiser
Fraunhofer IBP, Kassel
jan.kaiser@ibp.fraunhofer.de

Abbildung 1
Abfolge der vier
Hauptschritte zur
kontinuierlichen
Betriebsanalyse
(englisch: Continuous
Commissioning: CC)

Grafik: Fraunhofer ISE



Gebäudeautomation (GA) häufig als „Messwert-erfassungssystem“ genutzt werden. Dies ist aber oft schwierig, weil wichtige Messwerte fehlen, Daten nicht aufgezeichnet werden und/oder nicht exportiert und weiterverarbeitet werden können. Um Gebäude effektiver und kostengünstiger in Betrieb zu nehmen und zu optimieren muss die Betriebsüberwachung und -optimierung wesentlich stärker standardisiert werden, damit auch relativ wenig qualifiziertes Personal in der Lage ist, die Möglichkeiten der Betriebsoptimierung zu nutzen.

Aktuelle Forschungsarbeiten zur Betriebsoptimierung

ModBen ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördertes Forschungsprojekt zur Entwicklung einer Methode zur modellbasierten Betriebsanalyse von Nicht-Wohngebäuden. Die Analyse soll als Teil eines integrierten Energiemanagements zur Sicherstellung eines langfristig energieeffizienten Betriebs dienen.

Die Ziele von ModBen sind:

- Entwicklung einer Systematik und praxistauglicher Werkzeuge für die Analyse und energetische Optimierung des Gebäudebetriebs.
- Darstellung der Bedeutung eines kontinuierlichen Monitorings für den energieeffizienten Betrieb von Nicht-Wohngebäuden.
- Aufzeigen möglicher Schnittstellen zur Energieeinsparverordnung (EnEV, DIN V 18599)

Diese Ziele sollen durch die Entwicklung einer allgemeinen, standardisierten Systematik zur kontinuierlichen Betriebsanalyse erreicht werden (Abbildung 1). Für existierende Methoden zur Fehlererkennung und Optimierung wird untersucht, ob sie ausreichend standardisierbar, robust und praxistauglich sind. Teilweise müssen bestehende Methoden angepasst bzw. neue Methoden entwickelt werden (siehe z. B. Abbildung 3).

Diese Systematik wird aktuell an sechs mit Messwertfassung ausgestatteten Demonstrationsgebäuden (Gewerbeimmobilien) erprobt. Dabei wird ein so genannter Top-Down Ansatz verfolgt, d. h., die Gebäude werden von der obersten Zusammenfassungsebene (z. B. Gesamtenergieverbrauch) her betrachtet und untersucht. Dadurch werden bei relativ geringem Aufwand die bedeutsamsten Fehler mit hoher Wahrscheinlichkeit identifiziert. Dazu wurde ein vierstufiger Prozess entwickelt (siehe Abbildung 1):

Schritt 1: Beim „Benchmarking“ (Abbildung 1) werden historische Verbrauchsdaten der Gebäude mit Vergleichswerten verglichen. Dies setzt voraus, dass solche Daten verfügbar sind. Damit werden Gebäude mit hohem Verbesserungspotenzial bzw. -bedarf identifiziert.

Schritt 2: In diesen Gebäuden wird ein Monitoring-System installiert (Abbildung 2). Um den Kostenaufwand dafür möglichst gering zu halten, wird standardmäßig folgender Datensatz erhoben:

- Gesamtverbräuche (Wärme, Kälte, Energieträger, Wasser)
- Klima (Außentemperatur, -feuchte, Globalstrahlung)

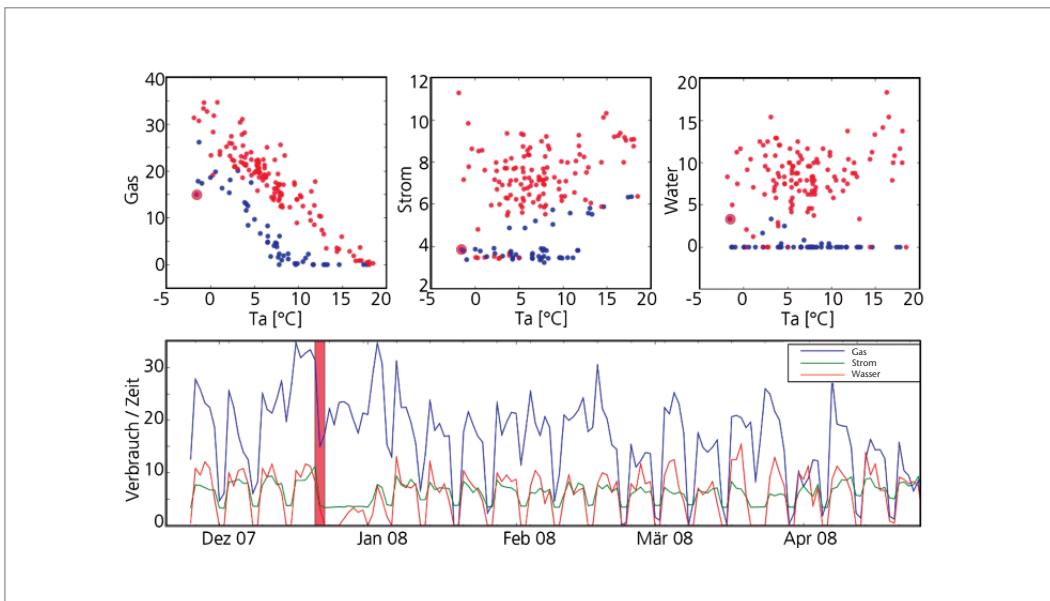


Abbildung 2
Standardisierte
Diagramme zur
Identifizierung von
Nutzungs- und
Betriebszeiten sowie
zur Prüfung klima-
abhängiger Regel-
strategien

Grafik: Fraunhofer ISE

- Raumklima (Temperatur, Feuchte, repräsentative Messstellen)
- Systemdaten (Vor- und Rücklufttemperaturen Wasserkreise, Zulufttemperatur und -feuchte großer Lüftungsanlagen).

Die Daten werden in mindestens stündlicher Auflösung (i. d. R. aber alle 5 oder 10 min) aufgezeichnet. Die Kosten für die Datenerfassung betrug bei den Demonstrationsgebäuden zwischen 15.000 € und 25.000 €.

Schritt 3: Nachdem das Monitoring-System installiert ist, beginnt die eigentliche Betriebsoptimierung (Abbildung 1). Zunächst werden die Daten aufbereitet z. B. durch Prüfungen, Zusammenfassungen, Mittelwertbildungen, Filterungen oder Gruppierung. Die so aufbereiteten Daten werden in standardisierten Diagrammen dargestellt. Dabei werden neben normalen Zeitreihen (Abbildung 2 unten) auch Carpetplots zur Identifikation von Nutzungs- und Betriebszeiten und zeitlichen Abhängigkeiten, Scatterplots zur Prüfung klimaabhängiger Regelstrategien (Abbildung 2 oben) und Box-Plots verwendet. Mit Hilfe dieser Darstellungen können einige häufige Fehler einfacher erkannt werden, z. B. ob sinnvolle Betriebszeiten eingestellt sind oder ob gleichzeitiges Heizen und Kühlen auftritt. Auch das Bedienpersonal vor Ort kann von diesen Visualisierungen profitieren, die deutlich über die üblichen Darstellungen von Gebäudeautomationssystemen (GA) hinausgehen.

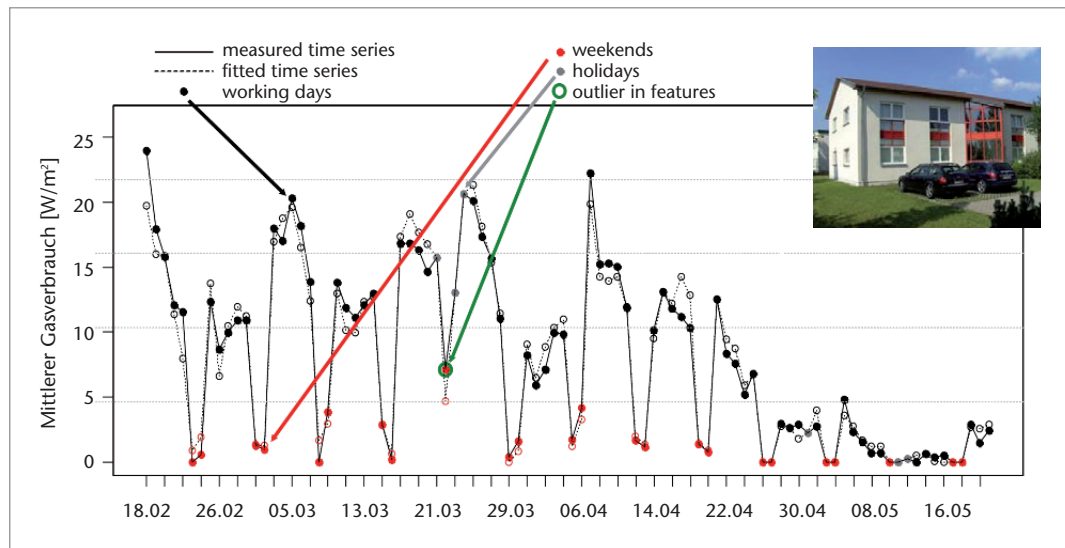
Diese neuen Visualisierungen sind am Bildschirm mit interaktiven Kombinationsdiagrammen möglich. Gleichzeitige Darstellung von Signaturen des Gas-, Strom- und Wasserverbrauchs und der entsprechenden Zeitreihen am Bildschirm. Diese Visualisierung ist interaktiv, d. h., wenn sich die Computermaus auf einem bestimmten Messpunkt befindet, wird dieser auch in den anderen Diagrammen markiert (blass-rötliche Hervorhebung, großer Kreis); in den Signaturen sind Wochenendwerte blau und Wochentagwerte rot markiert. Die Darstellungen in *Abbildung 2* stellen ein Beispiel vieler möglicher Analysegrafiken dar.

Darauf aufbauend werden automatische Algorithmen zur Betriebsüberwachung entwickelt und die Ausreißer mit statistischen Methoden detektiert. Dabei wird ein Messwert (in *Abbildung 3* z. B. Tagesmittelwerte) als „Ausreißer“ betrachtet, wenn er mehr als drei Standardabweichungen von einem vorhergesagten Wert abweicht. Die Vorhersage beruht auf linearen Modellen unter Berücksichtigung von statistisch ermittelten Typtagen (z. B. Wochentag, Wochenende). *Abbildung 3* zeigt eine erste Anwendung des Algorithmus auf das Demonstrationsgebäude in Großpöna. „Ausreißer“ des Strom- und Gasverbrauchs konnten erkannt werden.

Wenn mit Standard-Analysen Probleme in bestimmten Bereichen erkannt werden, werden diese bei einer systemspezifischen Analyse weiter eingegrenzt. Dafür werden z. B. Kurzzeitmessun-

Abbildung 3
Am Demonstrationsgebäude Großpösna detektierte Ausreißer in der Weihnachtszeit

Grafik: Fraunhofer ISE



gen durchgeführt oder die Regelungsstrategien optimiert. Dafür sind Gebäudesimulationen mit hoher Simulationsgeschwindigkeit eine wichtige Voraussetzung.

Als ein Beispiel wurde die Laufzeit der Heizungs-freigabe bzw. Heizkreispumpe für das Demogebäude Großpösna optimiert. Es ergab sich ein Einschaltzeitpunkt 1 h vor Beginn und ein Ausschaltzeitpunkt 1,5 h vor Ende der Arbeitszeit, wodurch 9 % Primärenergieeinsparung vorhergesagt werden. Da diese Verfahren möglichst weitgehend automatisiert werden sollen, ist eine einheitliche und wieder verwendbare Dateneingabe der Bestandsdaten (z. B. Gebäudegeometrie, Wandaufbauten) wichtig. Hier sind noch erhebliche Entwicklungsarbeiten zu leisten.

Anhand von Gebäudesimulationen werden auch quantitative Vorhersagen zur Auswirkung von Fehlern und Optimierungsansätzen gemacht. Aktuelle Herausforderung sind die Entwicklung von einfachen und praxisnahe Methoden, die mit Planungs- und Zertifizierungswerkzeugen gekoppelt werden können.

Schritt 4: Um die erreichten Verbesserungen aufrecht zu erhalten, wird der Betrieb weiterhin überwacht (*Abbildung 2*).

Zusammenfassung

Unsere Erfahrungen bei Inbetriebnahmen und in Forschungsprojekten haben gezeigt, dass im Bereich der Betriebsoptimierung ein großes Einsparpotenzial besteht. Zur wirtschaftlichen Erschließung dieses Potenzials fehlen derzeit standardisierte Ansätze und geeignete Werkzeuge. Im Rahmen von ModBen wird am Fraunhofer ISE eine Systematik zur Betriebsoptimierung entwickelt und an Demonstrationsgebäuden erprobt. Erste Elemente und Schritte wurden bereits erfolgreich getestet und bewertet

- Datenerfassung
- Datenaufbereitung
- Datenvisualisierung
- Fehler-/Ausreißererkenung
- Regelungsoptimierungsbeispiel

Diese Verfahren können nicht nur in Deutschland, sondern auch in vielen anderen Industrieländern angewendet werden. Dabei müssen aber unterschiedliche klimatische, gesetzliche, kulturelle und bauhistorische Randbedingungen beachtet und das Verfahren entsprechend angepasst werden.

Literatur

- [1] Herkel, Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse von Monitoringprogrammen, FVS Jahrestagung 2008 Berlin