

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

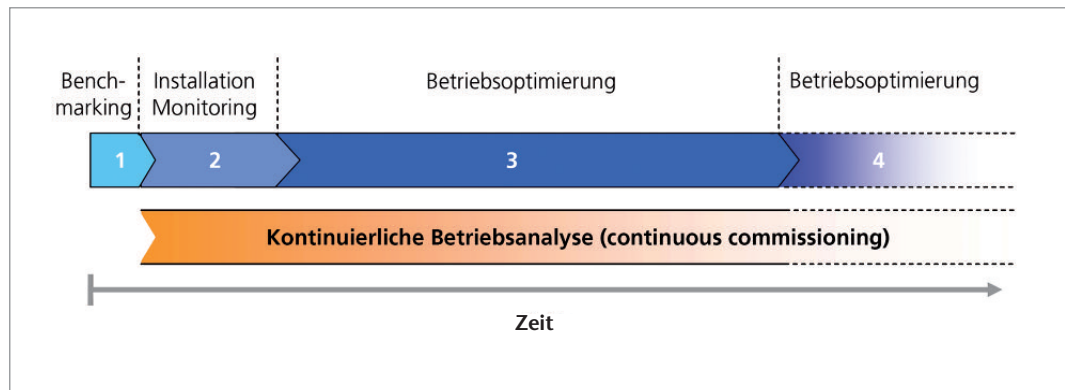
Dirk Jakob
Fraunhofer ISE
dirk.jacob@ise.fraunhofer.de

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)

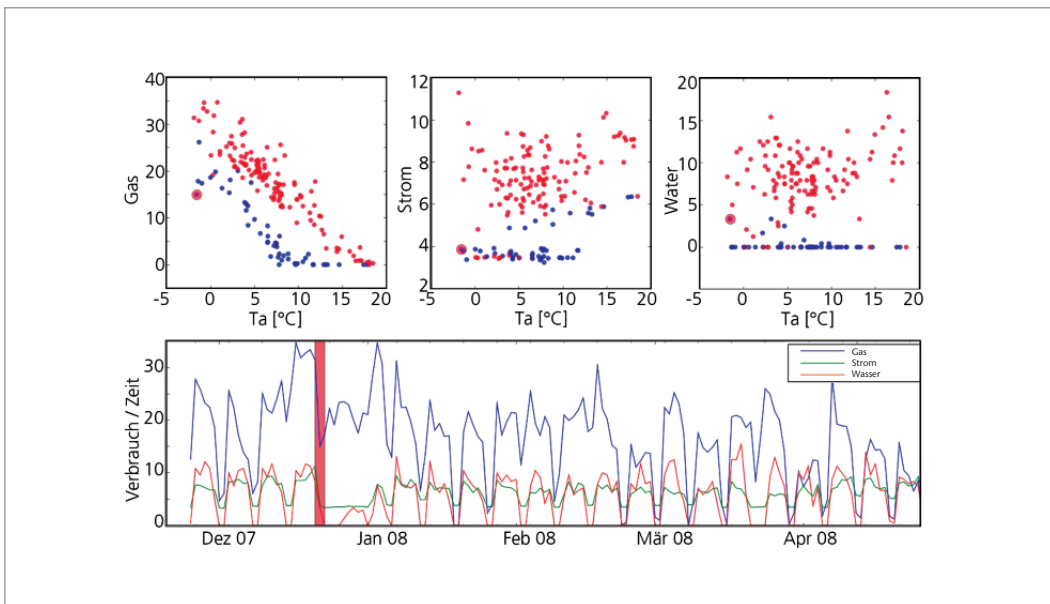


Abbildung 2
Standardisierte
Diagramme zur
Identifizierung von
Nutzungs- und
Betriebszeiten sowie
zur Prüfung klima-
abhängiger Regel-
strategien

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.

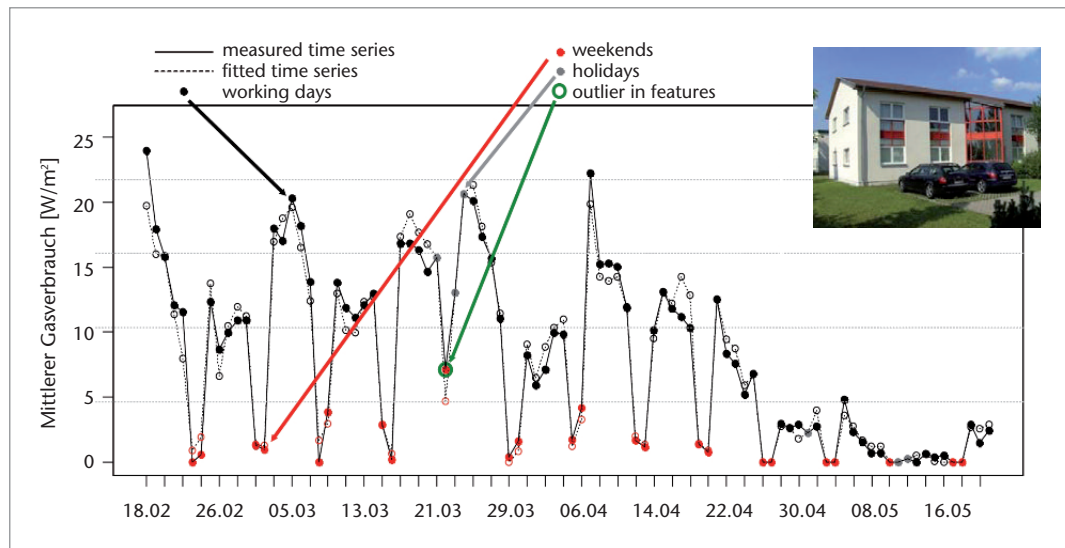
Diese neuen Visualisierungen sind am Bildschirm mit interaktiven Kombinationsdiagrammen möglich. Gleichzeitige Darstellung von Signaturen des Gas-, Strom- und Wasserverbrauchs und der entsprechenden Zeitreihen am Bildschirm. Diese Visualisierung ist interaktiv, d. h., wenn sich die Computermaus auf einem 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, Wochenendtag). *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