

Abb. 1: Neue Monte Rosa Hütte: ein Projekt der ETH Zürich anlässlich ihres 150-jährigen Bestehens und experimentelles Vorzeigebauwerk für modernste Gebäudetechnik.
Foto: Siemens Switzerland Ltd. 2007



Gute Aussichten:

Wetterprognosen steigern die Energieeffizienz von Gebäuden

Eine frühzeitig auf das zu erwartende Wetter abgestimmte Regelung und Steuerung der gebäudetechnischen Anlagen ist in zweierlei Hinsicht wünschenswert: Für die Gebäudenutzer kann eine moderne Gebäudeautomation ein angenehmes Raumklima schaffen, und ein niedriger Energieverbrauch entlastet die Umwelt. Die Siemens-Forschung arbeitet an den erforderlichen Lösungen, wovon sich einzelne bereits in der Praxis bewährt haben und für eine breitere Anwendung bereit stehen.

Die Technik der Gebäudeautomation, aktuelle Wetterdaten wie Außentemperatur und Sonneneinstrahlung bei witterungsführten Regelungen und Steuerungen von Heizungs- und Kälteanlagen zu verwenden, ist nicht neu und sehr verbreitet. Anlagen, bei denen der Regelung oder Steuerung auch Wetterprognosen zugeführt werden, gibt es heute jedoch erst ganz vereinzelt. Und dies, obwohl für bestimmte Gebäude und Anlagen der Nachweis leicht erbracht werden kann, dass in gewissen Betriebsfällen die Verwendung von Wetterprognosen durch die Steuerung vorteilhaft ist für den Energieverbrauch, die Energiekosten oder das Innenraumklima.

Über den Umfang des Nutzens hinsichtlich Jahresenergiebedarf, Jahresenergiekosten oder Raumkomfort sind noch wenige fundierte Aussagen vorhanden.

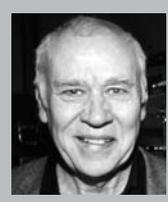
Auf dem maßgebenden Wissenschaftskongress Clima 2007 im Juni 2007 in Helsinki wurde jedoch die Meinung unter führenden Wissenschaftlern auf dem Gebiet der Gebäudetechnik und Gebäudeautomation erkannt, dass ein größeres Potenzial zur Einsparung von Energie und Energiekosten brach liegt. Einzelne Wissenschaftler sprechen von Einsparungen bis zu 35 Prozent.

Die Siemens-Forschung befasst sich seit den 80er Jahren mit dieser Herausforderung. Sie kann in jüngerer Zeit theoretische und

praktische Erfolge vorweisen und hat ihre Arbeiten zu diesem Thema stark intensiviert. Neben der Entwicklung von Regel- und Steuerstrategien, die Wetterprognosen einbeziehen, steht die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen im Vordergrund. Sie sollen bereits während der Planungsphase der Gebäudeautomation erlauben, den Nutzen solcher Lösungen abzuschätzen, damit sie nur dann eingesetzt werden, wenn sie dem Kunden in seinem Gebäude nachweisbare Vorteile bringen.

Grundsätzlich kommen für die prädiktive Regelung folgende Methoden in Frage: **1. Auf Regeln basierendes Vorgehen nach der Formel „wenn – dann“**

Die Arbeitsweise wird am Beispiel der Abwasserreinigungsanlage der geplanten neuen Monte Rosa Berghütte des Schweizerischen Alpenclubs erklärt. Bei diesem experimentellen Vorzeigebauwerk für modernste Gebäudetechnik handelt es sich um ein Projekt der ETH Zürich anlässlich ihres 150-jährigen Bestehens. Siemens Building Technologies bringt die Gebäudeautomation in das Projekt ein. Auf 2795 Metern über Meer ist keine externe Zufuhr von Medien möglich (Abb. 1). Der für die Abwasserreinigungsanlage und sonstige Verbraucher benötigte Strom wird



Jürg Tödtli
Dr. sc. techn., Dipl. El. Ing.;
ETH Zürich; heute in der
Business Unit „Heating Ventilation and Air-Conditioning Products“ Siemens Building Technologies Leitung der Forschung Europa; Mitarbeit

in der internationalen und nationalen Normung; nebenamtlicher Dozent an der Hochschule Luzern Technik und Architektur.
www.siemens.com/buildingtechnologies

mit einer Solaranlage und einer mit Flüssiggas betriebenen Kraft-Wärme-Kopplungs-Einheit erzeugt (Abb. 2).

Bei der automatischen Steuerung mit einer regelbasierten Steuerungsstrategie können folgende Regeln zur Anwendung kommen: Wenn die Batterie zur Hälfte geladen, der Abwassertank zur Hälfte gefüllt ist und die Wettervorhersage viel Sonnenschein verspricht, dann wird der Abwasserreinigungsprozess eingeschaltet. So wird die Batterie entladen, und damit das Risiko vermindert, dass Sonnenenergie abgewiesen wird, weil die Batterie voll geladen ist. Ist die Ausgangslage identisch, jedoch kein Sonnenschein zu erwarten, wird der Abwasserreinigungsprozess abgeschaltet. So kann das Risiko verkleinert werden, dass sich die Batterie entlädt und die Kraft-Wärme-Kopplungs-Einheit eingeschaltet werden muss.

Durch die automatische Anwendung solcher Regeln wird Flüssiggas eingespart und dadurch der Energie-Autarkiegrad der Hütte erhöht, der nach dem Willen der Planer mindestens 90 Prozent betragen soll.

2. Verwendung von Vorhersagen anstelle von Messwerten

Ein Beispiel dafür ist die Anwendung bei Thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS, z.B. Gebäude mit Betonkerntemperierung). Eine solche Lösung wurde bereits in zwei Großgebäuden in Zürich realisiert. Beruhend auf einer Eintages-Vorhersage von MeteoSchweiz wird die Vorlauftemperatur nicht auf die gemessene, sondern auf die vorhergesagte Außentemperatur abgestimmt. Mit dieser Lösung wirken sich die von der Steuerung vorgenommenen Vorlauftemperaturänderungen wegen der großen thermischen Trägheit der Betondecken nur sehr verzögert auf die

- Luft
 - Thermische Energie
 - Elektrische Energie
 - Brenngas
1. Solarfassade
Thermische Kollektoren
Photovoltaik-Zellen
 2. Wärmespeicher
 3. Warmwasserspeicher
 4. Elektro Speicher / Verteilung
 5. Lüftungsgerät
Luftheizer
Wärmerückgewinnung
 6. Zuluft via Treppenhaus
 7. Abluft im Zimmer
 8. Blockheizkraftwerk
 9. Personen als interne Wärmequellen
 10. Elektrische Geräte
 11. Holzofen im Winterraum

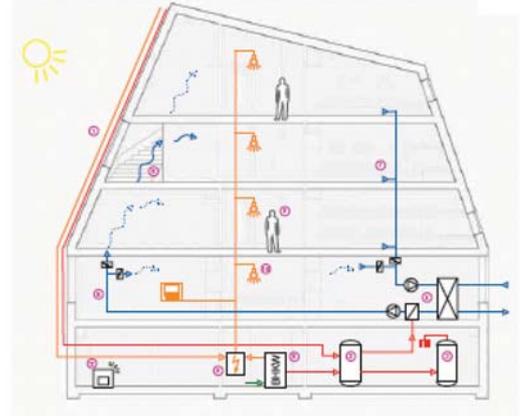


Abb. 2: Schema der Energieversorgung der neuen Monte Rosa Hütte.

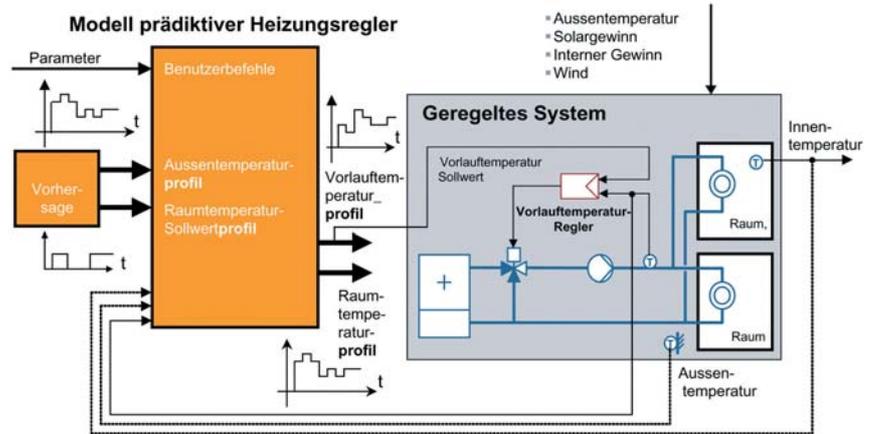


Abb. 3: Modellprädiktive Regelung einer Gebäudebeheizung.

Raumtemperatur aus. Durch eine frühzeitige Anpassung der Vorlauftemperatur wird eine Verbesserung des Innenklimas erwartet.

3. Modellbasierte prädiktive Regelung

Von SBT wurde ein Algorithmus zur modellprädiktiven Regelung einer Gebäudebe-

heizung entwickelt (Abb. 3), der als Prototyp in einer Automatisierungsstation Desigo PX implementiert seine Praxistauglichkeit bewiesen hat. Dieser Algorithmus berechnet periodisch – beispielsweise im Viertelstundentakt – den Verlauf des Vorlauftemperatursoll-

wertes über einen Optimierungshorizont von drei Tagen, so dass die gewünschte Raumtemperatur während dieser Zeit mit minimalem Energieverbrauch erreicht werden kann. Der so berechnete Verlauf des Vorlauftemperatursollwertes wird dann bis zum nächsten Takt, in diesem Beispiel also während 15 Minuten angewandt. Dann wiederholt sich der Vorgang. Für die zu jedem Taktzeitpunkt durchzuführende Optimierungsrechnung wird sowohl ein Modell des thermischen Verhaltens des Gebäudes und der Anlage (daher die Bezeichnung „modellbasiert“) als auch eine Prognose der Außentemperatur über den Optimierungshorizont verwendet. Diese modellbasierte prädiktive Regelung ist eine Alternative zur klassischen außentemperaturgeführten Heizungsregelung, bestehend aus Heizkennlinie, Zeitschaltprogramm mit Start-Optimierung und außentemperaturgeführter Heizfreigabe. Sie hat folgende Vorteile: Komfort mit minimalem Energieverbrauch, einfaches Tuning, leichte Verständlichkeit, automatischer Umgang mit Ausnahmesituationen (z.B. die automatische Abschwächung oder Vermeidung von Nacht- oder Wochenendabsenkungen an sehr kalten Tagen bei nicht überdimensionierten Wärmeerzeugern) und die Möglichkeit einfacher Erweiterungen und Anpassungen.

Mit der selbsteinstellenden Variante des Reglers steht eine volladaptive Heizungsregelung zur Verfügung.

Die Funktion wurde zunächst in Simulationen mit gemessenen Wetterdaten und später in zwei Alphatests in realen Gebäuden validiert. Mit der Umsetzung der Regelung in der Automatisierungsstation Desigo PX wurde der praktische Beweis erbracht, dass die



Abb. 4: Speziell für Ingenieurbüros bietet u.a. der Deutsche Wetterdienst (www.dwd.de) aktuelle Informationen über Klimafaktoren, die entscheidenden Einfluss auf die Planung und Realisierung energieeffizienter Gebäude haben.

Rechenkapazität der in solchen Geräten verwendeten Prozessoren für derartige rechenintensive Optimierungen genügt. Modellbasierte prädiktive Regelungen benötigen zwar während des Betriebs mehr Rechenzeit und Speicherplatz, ihr Nutzen bezüglich Energie oder Innenklima wird aber in vielen Anwendungen größer sein.

4. Stochastische Methoden

Der künftige Verlauf des Wetters ist durch Unsicherheit geprägt. Der klassische mathematische Ansatz zum Umgang mit Unsicherheiten ist die Wahrscheinlichkeitsrechnung. Stochastische Verfahren zur prädiktiven Re-

gelung und Steuerung greifen auf verschiedene Weisen auf die Wahrscheinlichkeitsrechnung zurück, entweder indem sie Wahrscheinlichkeitsmodelle verwenden, die den künftigen Wetterverlauf beschreiben, oder indem sie Elemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung benutzen, die die Unsicherheit der Wetterentwicklung charakterisieren.

Unterschiedliche Qualität der Wettervorhersagen

Zur Anwendung in der Gebäudeautomation sind verschiedene Formen der Wetterprognose geeignet. Die entsprechenden Dienste liefern heute Vorhersagen in unterschiedlicher Qualität bezüglich Zeithorizont und geographischer Eingrenzung sowie Grad der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens. Je präziser die jeweiligen Parameter sind, z.B. Temperatur oder örtliche Sonnenscheindauer oder Zeitpunkt vorhersehbarer Veränderungen, desto besser sind sie für die Regelung der Gebäudeautomation geeignet, machen diese gleichzeitig aber umso anspruchsvoller. Da die Unsicherheit der Prognose von Wetterlage zu Wetterlage sehr verschieden sein kann, liefern einige Dienste Zusatzinformationen mit Aussagen über diese Unsicherheit. Damit kann eine intelligente Steuerung z.B. das Risiko von Diskomfort in den Räumen klein halten.

Für gewisse Anwendungen kann der Nutzen von Vorhersagen bereits mit qualitativ „schlechten“ Vorhersagen zu einem großen Teil ausgeschöpft werden. Möglich ist in diesen Fällen beispielsweise, dass das Gebäudeautomationssystem die Vorhersagen aufgrund gegenwärtiger und früherer Messdaten selbst erzeugt.

Forschungsprojekt OptiControl

OptiControl wurde im März 2007 lanciert von den Abteilungen Systems Ecology Group und Automatic Control Laboratory der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ), dem Gebäudetechniklabor der Forschungsinstitution Empa in Dübendorf (Schweiz), dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz sowie Siemens Building Technologies als Industriepartner.

Das Forschungsprojekt (www.sysecol.ethz.ch/OptiControl) kombiniert neueste Entwicklungen aus der Gebäudetechnologie, der numerischen Wettervorhersage und der Regelungstechnik, um die Innenklimaregelung von Gebäuden zu verbessern. Es sollen Prototypen von Produkten entwickelt und getestet werden, die den Energieverbrauch bei niedrigen Investitionen und Betriebskosten reduzieren helfen und dabei einen hohen Benutzerkomfort gewährleisten.

Eine Kosten-/Nutzenanalyse soll aufzeigen, welches die vielversprechendsten Anwendungen für unterschiedliche Gebäudetypen, Nutzungsarten und Klimata sind. Basierend auf den Ergebnissen dieser Analyse sollen Prototypen eines oder mehrerer Regler entwickelt werden. Gesucht wird ferner eine Methode oder ein Tool zur Schätzung der Auswirkungen dieses prädiktiven Reglers auf die Energieeffizienz des Gebäudes schon in der Planungsphase sowie eine Methode zum Monitoring der Leistung des Systems während des Betriebs. Die abschließenden Ergebnisse werden im Jahr 2010 erwartet. Das von Siemens bereits erarbeitete Wissen wird in dieses kooperative Forschungsprojekt einfließen.

Fazit

Die vorausschauende Regelung der Gebäudeautomation ist eine vielversprechende Option: In den geeigneten Anwendungsfällen verbessert sie die Energieeffizienz von Gebäuden und schafft ein besseres Raumklima für die Nutzer. Und die technischen Voraussetzungen sind geschaffen. Die Zeit ist reif für die prädiktive HLK-Regler. Preisgünstige, leistungsfähige Prozessoren sind ebenso verfügbar wie geeignete überall hinreichende Kommunikationsnetze, und schließlich stellt die Meteorologie präzise und im erforderlichen Maße verlässliche Vorhersagen bereit. Zudem entsteht derzeit statistisches Material über die neuartigen Wetterprognosen, die zur Erarbeitung fundierter Aussagen über den Nutzen unerlässlich sind.

Weiterführende Literatur

P. Gruber, M. Gwerder, J. Tödtli: „Predictive Control for Heating Applications“, CLIMA 2000 World Congress, Napoli, September 15-18, 2001.

P. Gruber, M. Gwerder, J. Tödtli: „Modellprädiktive Regelung für Heizungsanwendungen“, SGA – ASSPA – Bulletin, Nr.34 Januar/Februar/März 2002, S. 7-11.

M. Gwerder, J. Tödtli: „Predictive Control for Integrated Room Automation“, 8th REHVA World Congress for Building Technologies - CLIMA 2005, Lausanne, 9th – 12th October 2005.

Diese wissenschaftlichen Aufsätze können bei der Pressestelle von SBT abgerufen werden.