

Energieeffizienzsteigerung in der automatisierten Gebäudeklimatisierung durch wetterprognoseunterstützte Regelung (ProKlim)

M. Kahn, F.Carreras, C. Hettfleisch, E. Gstach, D. Knorr

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

19/2012

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Energieeffizienzsteigerung in der automatisierten Gebäudeklimatisierung durch wetterprognoseunterstützte Regelung (ProKlim)

Prognosegesteuerte Gebäudeklimatisierung

DI Mario Kahn, Fernando Carreras
UBIMET GmbH

DI Christian Hettfleisch, Ing. Emanuel Gstach
AIT Energy Department

Dr. Daniela Knorr
ee-consult GmbH

Wien, Juni 2011

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	16
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	16
3 Ergebnisse des Projektes	26
4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms.....	34
5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen.....	37
6 Ausblick und Empfehlungen.....	38
7 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis.....	39

Ausgangssituation/Motivation

Die Verwendung aktueller Wetterdaten wie Außentemperatur für witterungsgeführte Regelungen von Gebäudeheizungen, -kühlungen und -klimatisierungen ist mittlerweile in der Gebäudetechnik Standard. Anlagen, die für die Regelung auch Wetterprognosen verwenden, gibt es bisher jedoch nur vereinzelt und in Form von Forschungs- oder Pilotprojekten, obwohl mit der Einbindung von Wetterprognosen in bestehende Systeme auf relativ einfache und kostengünstige Weise Energie eingespart und damit verbunden CO₂-Emissionen reduziert werden könnten.

Inhalte und Zielsetzungen

Die UBIMET GmbH untersuchte daher zusammen mit dem Projektpartner Austrian Institute of Technology (AIT) das grundsätzliche Energieeinsparungspotenzial in gewerblich genutzten Gebäuden unter Einbindung von Wetterprognosen als Regelgröße. Dabei sollte die Größenordnung der potenziellen Energieeinsparnis in Form von eingesparter Energie, Kosten und CO₂-Emission ermittelt und hinsichtlich der Qualität der Prognose und der Lage des Gebäudes für die einzelnen Faktoren im Detail separiert werden. Das AIT führte hierfür thermodynamische Gebäudesimulationen an einem Bürogebäude nach Passivhausstandard in Wien, der sogenannten ENERGYbase, durch. Die meteorologischen Eingangsdaten stammten aus unterschiedlichen Regionen von Österreich, um unterschiedliche Standorte des Testgebäudes zu simulieren.

Neben der generellen Frage, ob es überhaupt ein Einsparungspotenzial gibt und wenn ja unter welchen Bedingungen, interessierte auch die Frage nach der Integration der Wetterprognosen in die Gebäudeautomation und dem Marktpotenzial zur Integration von Wetterprognosen in Gebäuderegelungs- und -automationssysteme. Daher befasste sich die Studie auch mit dem Entwurf eines offenen Konzeptes zur Integration von Wetterprognosen in die Gebäudebeheizung und -klimatisierung. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie führte der Projektpartner ee-consult eine detaillierte Analyse der technologischen Möglichkeiten durch.

Methodische Vorgehensweise

Einer der aufwändigsten Schritte im Projekt war die thermodynamische Gebäudesimulation des ENERGYbase. Hierfür erstellte das AIT ein sehr detailreiches Gebäudemodell mit insgesamt 68 thermischen Zonen bestehend aus ca. 750 Wand-, Decken- und Bodenelementen und ca. 150 Fensterflächen. Die thermische Simulation wurde mit der Simulationssoftware TRNSYS 17 durchgeführt.

Die Validierung des Modells erfolgte mit Monitoringdaten aus dem Gebäude. Bereits erste Simulationen zeigten, dass der meteorologische Parameter, der das Innenklima von Passivhäusern am meisten beeinflusst, die direkte solare Einstrahlung ist. Die Außenlufttemperatur spielte aufgrund der guten Dämmung von Passivhäusern kaum eine Rolle.

Da die an Wetterstationen gemessene Strahlung der Globalstrahlung entspricht, stellte sich für UBIMET die Aufgabe, die gemessene Globalstrahlung in direkte und diffuse Strahlung mit Hilfe von Modellen aufzuteilen. Sowohl für die Trennung der gemessenen Globalstrahlung als auch für die prognostizierte Globalstrahlung in direkte und indirekte Strahlung konnte eine geeignete Methode gefunden werden. Die Genauigkeit der Wetterprognosen wurde je nach Standort zwischen 38% bis 98% (Prozent der Übereinstimmung zwischen prognostizierten und gemessenen Tagessummen der Globalstrahlung) bestimmt.

Durch die Simulation verschiedener Szenarien (unterschiedliche Prognosequalität, unterschiedliche geographische Lage, unterschiedliche Wettersituationen) wurden die einzelnen Einflussgrößen des Gebäudes, des Wetters und der internen Lasten, die die Temperatur im Gebäude beeinflussen, ermittelt.

Für die Analyse des Gebäudestandards und des Marktpotenzials für wetterprognosegesteuerte Regelung in Österreich wertete ee-consult öffentliche Datenbanken und Studien aus. Im Bereich Wohnbau wurden umfangreiche Datenbestände ermittelt. Für Nichtwohngebäude hingegen liegen in Österreich praktisch keine verwertbaren Daten vor. Für die der Studie zugrundeliegenden Objekttypen (Büro- und öffentlich genutzte Gebäude) konnten verwertbare und flächendeckende Daten sowie Benchmarkergebnisse (Verbrauche je Gebäudekategorie) vor allem aus Deutschland verwendet werden. Nicht zuletzt fehlt in Österreich eine verpflichtende Kategorisierung des Gebäudebestandes. Einzig durch die Statistik Austria wurde im Zuge der letzten Volkszählung eine rudimentäre Zuordnung von Nichtwohngebäuden vorgenommen. Da die Ergebnisse aus Deutschland auch von der Energie-Agentur und dem klima:aktiv Programm in Österreich angewandt werden, wurden diese als Grundlage für die Auswertungen für ProKlim verwendet.

Über den Standard der Ausrüstung des Gebäudebestandes mit Gebäudeleittechnik bzw. Regelungstechnik stehen keine öffentlichen Daten zur Verfügung. Zur Einschätzung des Marktpotenzials für die Integration von Wetterprognosen wurde daher auf direkte Gespräche mit Automatisations-Ausrüstern von Gebäuden zurückgegriffen. Auf Basis der hierbei erhaltenen Daten und Informationen sowie einer öffentlich zugänglichen Studie aus der Schweiz konnte eine grundlegende Einschätzung des Potenzials und der Integrationsmöglichkeiten erarbeitet werden.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Über den gesamten Betrachtungszeitraum ist die Tendenz erkennbar, dass eine prognosegeführte Regelung Einsparung im Heizenergiebedarf ermöglicht. Betrachtet man einzelne Tage und unterschiedliche geographische Regionen schwanken die Einsparungen allerdings stärker und in einzelnen Fällen kann es durch Fehlprognosen auch zu leicht erhöhtem Energieverbrauch kommen (+2%). Insgesamt konnte für die einzelnen untersuchten Tage ein Energieeinsparpotenzial bis zu 40% ermittelt werden, wenn eine

ideale Prognose der direkten Sonneneinstrahlung in der Einstellung der Wärmepumpe berücksichtigt wurde, bzw. bis zu 28%, wenn reale Prognosen der direkten Sonnenstrahlung berücksichtigt wurden. Diese Werte beziehen sich aber auf speziell ausgesuchte Tage, an denen große Unterschiede in der Einstrahlung zwischen Vormittag und Nachmittag herrschten und somit bei richtiger Prognose die größten Einsparungen möglich waren. Für das gesamte Jahr betrachtet, würden die prozentualen Einsparungen geringer ausfallen.

Sehr interessant sind die Unterschiede zwischen realer und idealer Prognose, die nicht wie bei Projektantrag erwartet größere Unterschiede im Gebirge und geringere Unterschiede in flachen Regionen zeigten. Die Unterschiede im Energiebedarf sind sicher auf die geographische Lage zurückzuführen, aber man kann keine generelle Aussage für Standorte in unterschiedlichem Relief treffen. Trotz der größeren Fehler können aber reale Prognosen auch in den gebirgigen Regionen noch zu Energieeinsparungen beitragen.

Die Ergebnisse der Umrechnung der Energieersparnis durch prädiktive Gebäudesteuerung in eingespartem CO₂-Ausstoß ergab in der Summe für die dargestellten acht Szenariendage Werte von bis zu 850 kg CO₂ bei idealer Prognose und bis zu 620 kg CO₂ bei realer Prognose.

Basierend auf den Untersuchungen des Projektes konnte abgeleitet werden, dass die Änderung der Außentemperatur in Gebäuden mit gutem Dämmstandard wie z.B. beim Passivhaus eher eine untergeordnete Rolle in der Wetterprognose unterstützten Gebäudeautomatisierung zufällt. Der direkten Strahlung und dem damit zusammenhängenden solaren Eintrag in das Gebäude wird hingegen eine wichtige Rolle in der Regelungsentscheidung zuteil. Weiterführend lässt sich aus diesen Erkenntnissen die Übertragbarkeit der Ergebnisse herleiten. Eine Wetterprognose unterstützte Regelung wird ihre Wirkung dann voll entfalten können, wenn ein träges Verteilsystem für Heizung und/oder Kühlung vorliegt und solare Architektur eine Rolle spielt. Eine sinnvolle Anwendung ist somit im komplexen Zusammenspiel von thermischer Trägheit und kontrollierter Nutzung von solaren Gewinnen zu suchen.

Ausblick

Aufgrund des Grundlagenforschungscharakters des Projektes konnte nur in begrenzter Weise die Frage nach Energieeinsparpotenzialen in der Gebäudesteuerung durch die Verwendung von Wetterprognosen untersucht werden. Die Ergebnisse bilden daher nur einen Teilausschnitt aus der ganzen Komplexität im Zusammenspiel von Regelung, Versorgungssystemen und solarer Architektur. Die Übertragung dieser Ergebnisse auf die Gesamtheit der österreichischen Gebäude, bzw. selbst auf die Gesamtheit vergleichbarer Gebäude in Österreich, ist nur sehr eingeschränkt möglich. Auch konnte keine tatsächliche Integration von Wetterprognosen in ein bestehendes System realisiert werden. Die

Ergebnisse weisen aber eindeutig ein Einsparpotenzial nach, welches es Wert ist, weiter untersucht zu werden.

Hierfür müssten dann aber andere Tools und Methoden verwendet werden. So ist das hier gewählte Tool (TRNSYS 17) zur Berechnung dieser Aufgabenstellung in seinen Fähigkeiten und seiner Anwendbarkeit an seine Grenzen angelangt. Für eine weiterführende und umfassendere Betrachtung sollte ein neuer Ansatz in der Methode der Modellierung gefunden werden, um die Idee der Wetterprognose unterstützten Regelung zu einer experimentellen Anwendung zu bringen. Auch sollte versucht werden, nicht nur die Heiz- und Kühlsysteme zu betrachten, sondern auch Energiegewinne durch gebäudeintegrierte Stromerzeugung (PV, Wind) zu integrieren.

Abstract

Starting point/Motivation

Using current weather information, such as outdoor temperature, to control heating and air conditioning in buildings has become standard procedure in building services engineering. However, only few facilities within research or pilot projects use in addition weather forecasts for controlling the indoor climate, even though this can help existing systems to save energy and reduce CO₂ emissions relatively easily and inexpensively.

Contents and Objectives

In collaboration with its project partner, the Austrian Institute of Technology (AIT), UBIMET analysed the basic energy savings potential for industrial buildings by including weather forecasts as a variable. The magnitude of the savings potential (in form of saved energy, costs and CO₂ equivalent) was calculated. In this way, the savings potential could be separated regarding the factors forecast quality and savings owing to the building's geographical position. For the investigation, AIT carried out thermodynamic simulations for a test building in different regions of Austria (ENERGYbase). From the results, index numbers could be derived, quantifying the significance of the factors in terms of the energy saving potential.

Additionally, the topic of integrating the weather forecasts into the building automation was of interest. Consequently, in the second part of the study, a complete concept for integrating weather forecasts into the climate control systems of buildings was drafted. Within the scope of the feasibility study, the project partner ee-consult conducted a detailed analysis of the technological possibilities.

Methods

One of the most intricate parts of this project was the thermodynamic simulation of the investigated ENERGYbase building. For this reason, the AIT developed a very detailed model of the building including 68 thermal zones with approximately 750 ceiling and floor elements and altogether around 150 window panels. The thermal simulation was performed using the simulation software TRNSYS 17 and was validated with the actual monitoring data from the building. Already the first simulated scenarios demonstrated that the meteorological parameter influencing the indoor climate most is the direct solar radiation. In contrast, the outdoor air temperature has only a minor role due to the efficient insulation of passive houses.

Since weather stations only measure the total global radiation, UBIMET successfully developed a method for separating the measured global radiation into direct and diffuse radiation. Depending on the location the weather forecast achieved an accuracy of 38% to 98% when comparing the daily measured global radiation to the predicted.

By varying the prediction quality, the geographical location and the weather situation different scenarios were simulated. In this way, the influence of the various parameters describing the building, weather and internal loads on the temperature inside the building were determined.

The analysis of the building standard and the market potential of integrating the weather forecasts into the building automation was investigated by ee-consult with the help of public data and studies. Within Austria a large amount of data with respect to residential building could be identified. However, there was only an insufficient amount of data available for non-residential buildings within Austria. The only data being ascertained by 'Statistik Austria' within the last population census. For this reason, the ProKlim investigation is based on the results of the German energy agency which were used as well by the klim:aktiv programme in Austria.

For analysing the standard of infrastructure for building control there was no public data available. Therefore the market potential of integrating weather forecast in this case was investigated by establishing a direct dialogue with building control suppliers. On the basis of this and a publicly available Swiss study it was possible to obtain a profound approximation of the current market potential.

Results

Over the whole observation span one recognizes a tendency that weather forecast based building control has a potential for cost reduction due to a more efficient use of the heating energy. Considering different regions and single days with different weather conditions, the amount of energy saving varies. In one single case the energy consumption had exceeded the one for buildings without building control (about 2%). In summary, we find that there is a potential for saving heating energy of up to 40% assuming ideal predictions for the direct solar radiation and strong variations of the radiation during the day. Using more realistic predictions instead, heating energy savings of up to 20% are still possible. Averaged over a whole year we expect the potential amount for energy savings to be lower.

Additionally, we find that when using realistic instead of ideal weather predictions to estimate the energy saving potential it makes not, as originally expected, a difference whether one considers mountainous or plain regions. Although, in general, the energy consumption for heating depends on the geographic location, it is not possible to find a location dependence for the energy saving potential. However, our study shows that even for mountainous regions including weather predictions may save heating energy. Transforming the expected amount of energy savings due to predictive building automation into equivalent CO₂-emission we find a value of up to 850 kg CO₂ for ideal and up to 620 kg CO₂ for realistic weather predictions where we considered the sum over all eight scenario days.

Based on the investigations of this project, we conclude that for buildings with a high insulation standard, as e.g. is the case for passive houses, the outdoor temperature plays a minor role in weather prediction based building control. In contrast to this, the direct radiation

and thus the solar component has a strong impact on the building automation. Consequently, the use of predictive building automation becomes important for inertial heating and/or cooling systems and in case of solar architecture. Hence, such systems are best to be applied in cases with a complex interplay between thermal inertia and controlled use of solar energy.

Prospects / Suggestions for future research

Due to the projects character as basic research, the energy saving potential of predictive building control was only analysed marginally. Among others the results found have not considered the complex interplay between automation, heating system and solar architecture. The analysis is mainly based on the simulation of one building allowing us only a limited transfer of the findings to more general types of buildings in Austria. Additionally, it was not possible to integrate weather forecast operationally into existing building control systems yet. Nevertheless, the results underline the importance of further analysing the energy saving potential within a future project.

For a more thorough consideration it is required to find new methods as well as calculation tools. In particular the TRNSYS 17 software used for the thermodynamic building simulation will fail to analyse more complex situations. Only with an alternative approach and software, it will be possible to integrate weather forecast directly into automatic building control. In addition, future projects should, apart from heating and cooling systems, include a consideration of energy saving due to the buildings's own production of solar and wind energy.

1 Einleitung

Die Verwendung aktueller Wetterdaten wie Außentemperatur für witterungsgeführte Regelungen von Gebäudeheizungen, -kühlungen und -klimatisierungen ist mittlerweile in der Gebäudetechnik Standard. Anlagen, die für die Regelung auch Wetterprognosen verwenden, gibt es bisher jedoch nur vereinzelt, obwohl mit der Einbindung von Wetterprognosen in bestehende Systeme auf relativ einfache und kostengünstige Weise Energie eingespart und damit verbunden CO₂-Emissionen reduziert werden könnten.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

ProKlim hatte sich zum Ziel gesetzt, die Möglichkeit und den Nutzen der Einbindung von Wetterprognosen als Regelgröße in die automatisierte Gebäudeklimatisierung sowohl in theoretischer als auch in konzeptioneller Weise zu untersuchen. Die besondere Herausforderung hierbei war es, in eine voll integrierte Gebäuderegulierung, welche einerseits den Komfortansprüchen genügt und andererseits einen optimalen Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen gewährleistet sowie Energie einspart, eine professionelle Wetterprognose auf Basis der Parameter Außentemperatur und der zu erwartenden Globalstrahlung sowie der Entwicklung der Raumtemperatur im Gebäude zu implementieren. Von Regelungstechnik- und Gebäudeleittechnikern wurde bereits versucht Algorithmen zu entwickeln, welche die Anlagen zumindest zu bestmöglichen Zeitpunkten ein- und/oder ausschaltet. Die breite Einführung und Aktivierung dieser Algorithmen bei den Kunden wurde jedoch in der Praxis auf Grund der möglichen Mehrkosten für Service und Wartung von den Lieferanten vermieden. Recherchen in Form von Internet- und Literaturrecherchen sowie Interviews mit Regelungssystemanbietern haben gezeigt, dass die Erwartungen an die Energieeinsparungen durch prädiktive Systeme sehr hoch sind und dass daher eine relativ hohe Priorität auf die Entwicklung derartiger Systeme gesetzt werden, jedoch eine marktreife und breite Umsetzung nicht gegeben ist.

Im ersten Teil der Studie wurde das grundsätzliche Energieeinsparungspotenzial in gewerblich genutzten Büro- bzw. öffentlichen Gebäuden unter Einbindung von Wetterprognosen untersucht und quantifiziert (in Form von eingesparter Energie, Kosten und CO₂-Äquivalenten). Als Referenzgebäudetyp wurde ein hochmodernes Bürogebäude mit Passivhausstandard untersucht. Weiterführend wurde die potenzielle Energieersparnis auch hinsichtlich meteorologischer sowie geographischer Einflussparameter, wie Qualität der Prognose als auch Lage des Gebäudes für die einzelnen Faktoren im Detail untersucht. Ziel waren Kennzahlen,

welche die Bedeutung der Einflussfaktoren bezüglich des Einsparungspotenzials quantitativ beziffern. Der innovative Charakter des Vorhabens begründete sich darin, dass dadurch erstmals gezeigt werden konnte, welchen direkten Einfluss die Lage des Objektes und die Qualität der Prognose auf das Einsparungspotenzial für eine bestimmte Regelstrategie ausüben. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse könnten somit darüber Aufschluss geben, inwieweit grundsätzlich Investitionen in die Erhöhung der Prognosegenauigkeit sowie Verbesserungen von Regelstrategien im Sinne einer Kosten-Nutzen-Rechnung gerechtfertigt sind.

Neben der generellen Frage, ob es überhaupt Einsparpotenziale und wenn ja unter welchen Bedingungen gibt, interessierte auch die Frage nach der Integration der Wetterprognosen in die Gebäuderegulung. Der zweite Teil der Studie befasste sich daher mit dem Entwurf eines Konzeptes zur Integration von Wetterprognosen in die Gebäuderegulung und -klimatisierung. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde eine detaillierte Analyse der technologischen Möglichkeiten, hardware- sowie softwareseitig durchgeführt.

In Folge wurde das Marktpotenzial für die Integration wettergeführter Regelungen erhoben. Hierbei sollte einerseits das Potenzial im Bereich des Gebäudebestandes für die in Frage kommenden Gebäudegruppen (Büro und öffentlich genutzte Gebäude) erhoben werden. Andererseits war auch die Art der Gebäudeausrüstung des Bestandes mit Regelungs- und Gebäudeautomationssystemen von Interesse, sowie die im Zuge von Sanierungen und Neubauten verbauten Systeme. Dabei wurden auch neue Entwicklungen im Bereich Funksysteme als auch zukunftsweisende Entwicklungen mit berücksichtigt.

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Der Ansatz in der Gebäudeautomation, aktuelle Wetterdaten wie Außentemperatur und Sonneneinstrahlung bei witterungsgeführten 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 in ersten, sehr einfachen Ansätzen¹. Und dies obwohl die Einbindung von Wetterprognosen in moderne telematische Gebäudesteuerung auf vielseitige Weise helfen kann, bestehende Systeme hinsichtlich ihrer Energieeffizienz zu optimieren, ohne bauliche Maßnahmen am Gebäude vornehmen zu müssen. Dadurch können auf relativ einfachem, kostengünstigem Weg (sowohl in Privathaushalten als auch in großen Gebäudekomplexen vom Bürohaus bis hin zu Lager- und Fabrikhallen) Energie eingespart und damit verbunden CO₂-Emissionen reduziert werden.

Über den Umfang des Nutzens hinsichtlich Jahresenergiebedarf, Jahresenergiekosten oder Raumkomfort existieren bisher nur wenige fundierte

Aussagen. Auf dem Wissenschaftskongress Clima 2007 im Juni 2007 in Helsinki vertraten jedoch führende Wissenschaftler auf dem Gebiet der Gebäudetechnik und Gebäudeautomation die Meinung, dass ein größeres Potenzial zur Einsparung von Energie und Energiekosten brach liegt. Einzelne Wissenschaftler sprechen von Einsparungen bis zu 35 Prozent¹.

Ein Versuch in Göteborg/Schweden, bei dem 270 Wohnungen über prognosegesteuerte Heizungsanlagen beheizt wurden, ergab ein Einsparungspotenzial für Heizkosten von 10% bis 20% und eine Reduktion an CO₂-Emissionen um 10.000 kg bei gleichbleibendem Komfort. Das Heizungssystem wird durch eine Kombination von bau- und energietechnischen Eigenschaften der Gebäude und Lokalprognosen für Temperatur, Sonne, Bewölkung, Wind und Niederschlag gesteuert und kann so im Voraus auf die erwarteten Temperaturen eingestellt werden. Angeboten wird dieses Produkt mit dem Namen Weather Sync vom schwedischen staatlichen Wetterdienst SMHI, welcher das Ergebnis auf ganz Schweden extrapolierte und eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes in Schweden um 400.000 Tonnen pro Jahr berechnete².

Ein weiteres Beispiel für die Verwendung von Wetterprognose für eine prädiktive Gebäudesteuerung ist das Projekt OptiControl³, welches von der ETH Zürich zusammen mit Siemens und dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz durchgeführt wurde. Im Rahmen von OptiControl wurden vorausschauende Regelstrategien entwickelt mit dem Ziel, den Energieverbrauch von Gebäuden zu vermindern, den Nutzerkomfort zu verbessern, und elektrische Lastspitzen zu begrenzen. Der Fokus lag auf der optimalen Regelung der Jalousien und der Beleuchtung, Heizung, Kühlung und Lüftung in einzelnen Gebäudezonen. Die ermittelte Energieersparnis durch prädiktive Kontrolltechniken betragen hier zwischen 16% und 41%⁴. Weiterhin konnte das OptiControl-Team eine zu erwartende Verbesserung des Raumklimas und des damit verbundenen Wohn- und Lebenskomfort zeigen⁵.

Forschung im Bereich der konkreten Integration von Wetterprognosen in die automatisierte Gebäudeklimatisierung aus Sicht der technischen Reife und Umsetzung wird neben „Big Playern“ wie Siemens weitgehend nur vereinzelt von universitären Institutionen im Projektrahmen betrieben. Obwohl immer wieder ambitionierte Projekte⁶ auf den Weg gebracht wurden, gibt es bis dato kein durchgängiges Konzept zur Integration, welches die komplette Prozesskette, vom Wetterdienstleister bis hin zur effektiven Steuerkomponente im Gebäude, erfasst und abbildet. Weiters fehlen auch Informationen über den Einfluss von äußeren Faktoren, wie Prognosequalität und geographische Lage des Gebäudes auf das Einsparungspotenzial. Diese Bedingungen sind für einen gewinnbringenden Einsatz von Wetterprognosen, hinsichtlich nachweisbarer Einsparungen, besonders interessant.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Das Projektteam bestand aus Experten in den Bereichen Meteorologie, thermische Gebäudesimulation und Steuerungs- und Regelungstechnik.

Als führender Privatwetterdienst in Österreich konnte UBIMET die für das Projekt benötigten Wetterdaten einbringen und auf das KnowHow im Bereich der Meteorologie, im Speziellen in der Entwicklung und Erstellung von zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Wetterprognosen, Unwetterwarnungen und Modellen sowie der auf die Kunden zugeschnittenen Aufbereitung der Daten und Prognosen zurückgreifen. Dadurch konnten die Strahlungsprognosen, die für ProKlim benötigt wurden, relativ schnell an die Spezialanforderungen der Gebäudesteuerung angepasst werden.

Das Energy Department des Austrian Institute of Technology (AIT) nimmt mit der Forschung im Bereich Energie in Gebäuden eine führende Rolle in Österreich ein und führt den Prozess der Innovation und des Wandels hin zu intelligenten und energieeffizienten Gebäuden an, optimiert die Gebäude von heute und gestaltet die energieeffizienten Gebäude von morgen mit nachhaltiger Energieversorgung. Hierfür erarbeitete das AIT im Forschungsbereich Nachhaltige Gebäudetechnologien methodische Grundlagen und entwickelte wissenschaftliche Methoden, um mit der Wirtschaft gemeinsam neue Produkte in der Heizungs-, Klima-, Lüftungstechnik, aber auch neue Anlagensysteme und neue Möglichkeiten der Integration in Gebäudekonzepte zu entwickeln. In diesem Rahmen wurde bereits großes KnowHow auf dem Gebiet der thermischen Gebäudesimulation entwickelt, welche die Grundlage für ProKlim darstellte. Weiters verfügte das AIT detailliertes Wissen, inklusive Monitoringdaten vom ENERGYbase – dem Untersuchungsobjekt für ProKlim – da es an der Konzeption und dem Bau des Gebäudes mitgewirkt hatte.

Die Kernkompetenzen der Firma ee-consult liegen im Bereich der Gebäuderegulungs- und Gebäudeleittechnik. Durch die langjährige Erfahrung des Inhabers, Herrn Ing. Gstach, konnten wesentliche Kompetenzen im Bereich Gebäude, Energieeffizienz in Unternehmen und in Wohngebäuden sowie im Bereich der erneuerbaren Energietechnologien aufgebaut werden. Besonders das KnowHow im Bereich der Projektleitung und Ausführung von Gebäuderegulungssystemen und Gebäudeleitsystemen sowie bei der Koordination von Schnittstellen zu unterschiedlichen Gebäudegewerken waren im Projekt ProKlim unerlässlich.

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Die Innovation des Projektes ProKlim liegt in der Untersuchung der Zweckmäßigkeit, Wetterprognosen als Regelgröße in die automatisierte Gebäudeklimatisierung

einzubinden und die Rahmenbedingungen für eine sinnvolle Einbindung zu definieren.

Hierfür wurde das grundsätzliche Energieeinsparungspotenzial in gewerblich genutzten Gebäuden unter Einbindung von Wetterprognosen als Regelgröße untersucht und dessen Größenordnung in Form von eingesparter Energie, Kosten und CO₂-Äquivalenten abgeschätzt. Im Gegensatz zur bereits vorgestellten Studie in Gödeburg², die sich mit Wohngebäuden beschäftigte, wurde in dieser Studie ein hochmodernes Bürogebäude mit Passivhausstandard untersucht, welches ganz andere Anforderungen an die Gebäudesteuerung stellt, als Wohngebäude.

Der Unterschied zu OptiControl³ lag in der Erarbeitung eines Ansatzes zur Implementierung von Wetterprognosen in eine Vielzahl am Markt verfügbarer Regelungssysteme und somit in einem allgemein anwendbareren Ansatz. Dadurch soll durch wetterprognosegeführte Regelung breiter eingesetzt und nicht nur auf sehr große Gebäudeleitsysteme, welche Ihrerseits nur in großen Gebäudekomplexen eingesetzt werden, angewendet werden können. Dieser Ansatz soll an Ort und Stelle praktikabel sein und die erforderlichen Personalressourcen auf ein erforderliches Minimum reduzieren.

Weiterführend wurde die potenzielle Energieersparnis auch hinsichtlich meteorologischer sowie geographischer Einflussparameter, wie Qualität der Prognose als auch Lage des Gebäudes für die einzelnen Faktoren im Detail untersucht, um Aussagen über die Rahmenbedingungen für eine sinnvolle Verwendung von Wetterprognosen definieren und Empfehlungen geben zu können. Der innovative Charakter liegt darin, dass dadurch erstmals gezeigt werden konnte, welchen direkten Einfluss die Lage des Objektes und die Qualität der Prognose auf das Einsparungspotenzial für eine bestimmte Regelstrategie ausüben. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse gaben neben dem inhärenten Gewinn an Know-How für die Projektpartner ebenfalls darüber Aufschluss, inwieweit grundsätzlich Investitionen in die Erhöhung der Prognosegenauigkeit sowie Verbesserungen von Regelstrategien im Sinne einer Kosten-Nutzen-Rechnung gerechtfertigt sind.

2.4 Verwendete Methoden

Für das Projekt ProKlim diente das ENERGYbase - ein Bürogebäude nach Passivhausstandard in Wien - als Grundlage zur Ermittlung der Energieeinsparungen sowie der möglichen Regelstrategien.

Einer der aufwändigsten Schritte im Projekt war die thermodynamische Gebäudesimulation des ENERGYbase. Hierfür modellierte das AIT das Testgebäude sehr detailliert mit TRNSYS 17. Die Validierung des Modells erfolgte mit Monitoringdaten aus dem Gebäude. Bereits erste Simulationen von Szenarien zeigten, dass der meteorologische Parameter, der das Innenklima von

Passivhäusern beeinflusst, die direkte Einstrahlung ist. Außenlufttemperatur spielt aufgrund der guten Dämmung von Passivhäusern kaum eine Rolle. Da nur Globalstrahlung an Wetterstationen gemessen wird, stellte sich für UBIMET die Aufgabe, die gemessene Globalstrahlung in direkte und diffuse Strahlung mit Hilfe von Modellen aufzuteilen. Hierfür konnte eine geeignete Methode gefunden werden. Durch die Simulation verschiedener Szenarien (unterschiedliche Prognosequalität, unterschiedliche geographische Lage, unterschiedliche Wettersituationen) wurden die einzelnen Einflussgrößen im Gebäude, des Wetters und interne Lasten, die die Temperatur im Gebäude beeinflussen, ermittelt.

Auf Basis der Ergebnisse der Simulation über die Energieeinsparungen konnten Aussagen für ähnliche Gebäude aus dem Gebäudebestand getroffen und Empfehlungen für Neubauten und die mögliche Implementierung erarbeitet werden. In einer ersten Phase wurde das mögliche Potenzial an Gebäuden in Österreich ermittelt, die einer gleichen oder ähnlichen Nutzung entsprechen. Hierzu wurde im Wesentlichen auf Daten der Statistik Austria zurückgegriffen. Um ein absolutes Einsparpotenzial zu ermitteln, wurde in weiterer Folge nach Energieverbrauchs-Datengrundlagen gesucht. Hierzu musste in Folge relativ spärlicher Daten aus Österreich auch auf objektspezifische Daten aus Deutschland zurückgegriffen werden. Obwohl in Österreich eine detaillierte Energiedatenerfassung von Gebäuden nach unterschiedlichen Gebäudekategorien und Nutzungen fehlt konnte auf Basis von verschiedenen Benchmarksystemen in Österreich und Deutschland durch Vergleich und Abstimmung der Daten im Bereich des Gebäudestandards und des Energieverbrauchs ein aussagekräftiges Ergebnis erzielt werden.

In einer zweiten Phase sollte die Art der in den Objekten verbauten Regelungssysteme über Interviews und von den Regelungssystem-Lieferanten zur Verfügung gestellten Datengrundlagen ermittelt werden. Obwohl das Interesse an Informationen über das Projekt ProKlim seitens der Interviewpartner sehr groß war, war die fehlende Bereitschaft entsprechende Daten zur Verfügung zu stellen nicht minder groß, da diese Daten aus Konkurrenzgründen nur für interne Zwecke verwendet werden dürfen. Trotzdem konnten aus den Gesprächen Größenordnungen entnommen werden, welche in Folge durch eine öffentlich zugängliche Studie aus der Schweiz zum Teil bestätigt werden konnten.

Es war daraus ein recht klarer Trend in der Entwicklung der zukünftig eingesetzten Systeme und Technologien zu erkennen. Auf dieser Basis wurden in Folge die Konzepte zur Implementierung von Wetterprognosen in die Regelsysteme entwickelt.

Die Simulation für das ENERGYbase und die Recherchen zu prädiktiven Systemen zeigten, dass eine reine Steuerung des Gebäudes via Wetterprognose ohne Berücksichtigung der internen Temperaturverläufe zur Verminderung des Komforts und in weiterer Folge sogar zu möglichen Energie-Mehrverbräuchen führen kann. Es wurde daher nach Wegen gesucht, um die Rückkopplung der Raumtemperatur und möglicher zusätzlicher Einflussfaktoren in das System (den Prädiktor) zu ermöglichen.

2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung

Thermodynamische Gebäudesimulation für verschiedene Szenarien und Ermittlung des Energie- und CO₂-Einsparungspotenzials

Für das Projekt ProKlim diente das ENERGYbase - ein Bürogebäude nach Passivhausstandard in Wien - als Grundlage zur Ermittlung der Energieeinsparungen sowie der möglichen Regelstrategien. Details der Ausstattung des Gebäudes sind hier zu entnehmen: www.energybase.at¹.

Einer der aufwändigsten Schritte im Projekt war die thermodynamische Gebäudesimulation des ENERGYbase. Hierfür erstellte das AIT ein sehr detailreiches Gebäudemodell mit insgesamt 68 thermischen Zonen mit ca. 750 Wand-, Decken- und Bodenelementen und ca. 150 Fensterflächen. Die thermische Simulation wurde mit der Simulationssoftware TRNSYS 17 durchgeführt. Für die Simulation des Ist-Zustandes des Gebäudes wurden signifikante Wetterdaten mit großen Unterschieden zwischen Vormittag und Nachmittag spezifiziert und in ein für die Einbindung in die TRNSYS Umgebung kompatibles Format gebracht. Im Vorweg wurde durch Simulationen des Gebäudes im unkonditionierten, frei schwingenden Zustand der Gebäudestruktur inklusive der verknüpften gebäudephysikalischen Daten, eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der Auswirkungen der Wetterparameter (Außenlufttemperatur, diffuse und direkte Solarstrahlung) auf die Raumtemperaturen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass der meteorologische Parameter, der das Innenklima von Passivhäusern am stärksten beeinflusst, die direkte Einstrahlung ist. Außenlufttemperatur spielt aufgrund der guten Dämmung von Passivhäusern kaum eine Rolle.

Die Validierung der Simulationsergebnisse des Ist-Zustandes erfolgte mit Messdaten der Referenzräume im 3.OG des ENERGYbase. Die zu vergleichenden Parameter waren die Innenraumtemperaturen der ausgewählten Zonen und die Wärmemengen in den Unterverteilungen der Betonkernaktivierung dieser Zonen. Für diese Bewertungen der Modelle wurden gemessene Daten der Wetterstation Donauefeld (ca. 1km Entfernung zum Standort des Gebäudes) in die Simulation eingepflegt. Die tatsächlich vorherrschende Regelstrategie der Lüftung und Wärmepumpen wurde sowohl aus der regelungstechnischen Spezifikation, als auch mit Zuhilfenahme der aufgezeichneten Schaltzustände in die Simulation übertragen.

Die internen Lasten entsprachen ebenfalls den Bedingungen zur Zeit der Messwertaufzeichnung, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen.

Die Simulation zur Bewertung der thermischen Funktionalität der Bauteilaktivierung wurde für den Zeitraum zwischen dem 1. November 2009 und dem 7. November 2009 durchgeführt.

Die zu betrachtenden Fallstudien wurden im Rahmen der Wetterdatenbereitstellung in drei Hauptkategorien unterteilt, die auch die Schwierigkeit der Prognostizierbarkeit widerspiegeln:

- Orte in Österreich mit keiner oder geringer Geländeerhebung
- Orte in Österreich mit mäßiger Geländeerhebung
- Orte in Österreich im alpinen Raum
- Zusätzlich wurde Szenario 1 als der reale Standort des Gebäudes mit aufgenommen.

Das Gebäude wurde für die örtlichen Varianten mit den gleichen Randbedingungen simuliert wie am Originalstandort. Orientierung, interne Lasten, Nutzungsgrad und zeitliche Nutzung des Gebäudes sind mit den Bedingungen des Szenario 1 identisch. Die einzige Änderung wird durch die örtlich abhängigen Wetterdaten und durch die Anpassung des Längen- und Breitengrades in den Simulationsspezifikationen erreicht.

Jedes dieser örtlichen Szenarien wurde in drei Berechnungsmethoden ausgeführt. Es wurde als Baselineszenario eine Simulation mit gemessenen Wetterdaten durchgeführt ohne die Beeinflussung der Regelparameter hinsichtlich einer Prognose zuzulassen. Weiters wurde eine Berechnung mit aktivierter Wetterprognoseunterstützter Regelung und idealer Prognose durchgeführt. Als dritte Variante wurde die Simulation mit aktivierter Wetterprognoseunterstützter Regelung und reeller Prognose durchgeführt. Insgesamt entstanden auf diesem Wege 30 Jahressimulationen.

Mit Voranschreiten des Projektes wurden durch die Erkenntnisse, die gesammelt werden konnten eine Fokussierung der Problemstellung der prognoseunterstützten Regelung auf wesentliche Parameter in der regelungstechnischen Anwendung vollzogen. Zum einen die Eingrenzung der relevanten Störgrößen auf die direkte solare Strahlung und zum anderen die Eingrenzung der zu beeinflussenden Systeme bei höchstmöglicher Effektivität – im ENERGYbase war das System mit dem größtmöglichen Einsparpotenzial die Heizwärmebereitstellung, die im Fokus der Untersuchungen stand.

Die reelle implementierte Regelung der Wärmepumpe im ENERGYbase sieht in der Heizperiode am Tag zwei Zeitfenster vor: von 3:00 bis 7:00 Uhr und von 14:00 bis 16:00 Uhr. Ziel dieser Regelung ist zu Beginn der Bürozeiten die gewünschte Raumtemperatur im Gebäude zu gewährleisten. Am Nachmittag hat das System durch das zweite Zeitfenster die Möglichkeit bei zu niedriger Heizwärmebereitstellung am Vormittag dieses mit weiterer Beschickung der Betonkernaktivierung auszugleichen. Der Hauptteil der Konditionierung geschieht in der Heizperiode, wegen der großen thermischen Trägheit des Gebäudes, vor

Sonnenaufgang und somit losgelöst von der direkten Strahlung die im Laufe des Tages als solare Last in das Gebäude eingebracht wird. Durch diesen Umstand kommt es vor allem in der Übergangszeit dazu, dass die Räume um 7:00 Uhr die gewünschte Temperatur haben, jedoch bei auftretender solarer Last im Tagesverlauf die Temperaturwerte über die gewünschte Maximaltemperatur steigen. Das Komfortband wird verletzt und im ungünstigsten Fall muss durch Aktivierung der Kühlung gegengeregelt werden.

Eine Verbesserung durch Einführung einer wetterprognoseunterstützten Regelung hat dahingehend die Aufgabe, die aufkommende solare Last am Tage schon während der Konditionierung (vor Sonnenaufgang) zu berücksichtigen und dementsprechend entgegen zu wirken. Unter Berücksichtigung einer möglichen Implementierung dieser Regelstrategie in das vorhandene Gebäudeautomatisierungssystem, wird als Regelgröße die Einschaltdauer der Wärmepumpe im ersten Zeitfenster (3:00 Uhr -7:00 Uhr) gesehen. Je intensiver die prognostizierte solare Strahlung am folgenden Tag umso kürzer die Einschaltdauer der Heizwärmeversorgung. Unter günstigsten Bedingungen kann sowohl die Heizenergie eingespart werden, die dazu führt dass eine Überhitzung bei zusätzlicher solarer Last entsteht, als auch die Kühlenergie, die dieser Entwicklung entgegenwirkt. Ein wichtiger Input-Parameter ist hierbei die direkte solare Strahlung, die in das Gebäude eingebracht wird. Hier ist es wichtig die besondere Beschaffenheit der Südfassade des Gebäudes zu berücksichtigen (siehe Abbildung 1). Die gefaltete Form der Fassade bewirkt, dass bei hohen Sonnenständen keine direkte solare Strahlung in das Gebäude eingebracht wird, bei niedrigem Sonnenstand wird dies jedoch ermöglicht. Es entsteht somit eine inverse Strahlungscharakteristik im Jahresverlauf im Vergleich zur Strahlungscharakteristik auf die horizontale Fläche (siehe Abbildung 2). Für einen regelungstechnischen Eingriff muss somit die direkte Strahlung des folgenden Tages auf die geneigte Fensterfläche zum Zeitraum des Wärmepumpenbetriebes bereit gestellt werden.

Da die an Wetterstationen gemessene Strahlung der Globalstrahlung entspricht, stellte sich für UBIMET die Aufgabe, die gemessene Globalstrahlung in direkte und diffuse Strahlung mit Hilfe von Modellen aufzuteilen. Sowohl für die Trennung der gemessenen Globalstrahlung als auch für die prognostizierte Globalstrahlung in direkte und indirekte Strahlung konnte eine geeignete Methode gefunden werden. Um nun den Einfluss der Prognosequalität auf das Energieeinsparpotenzial zu ermitteln, wurde die thermische Simulation mit realen Prognosen und idealen Prognosen durchgeführt. Die idealen Prognosedaten entsprechen den Messdaten, nur mit dem Unterschied, dass sie in der Simulation 24 h in die Vergangenheit verschoben werden. Demnach ist am folgenden Tag immer exakt die gleiche Strahlung wie vorhergesagt.

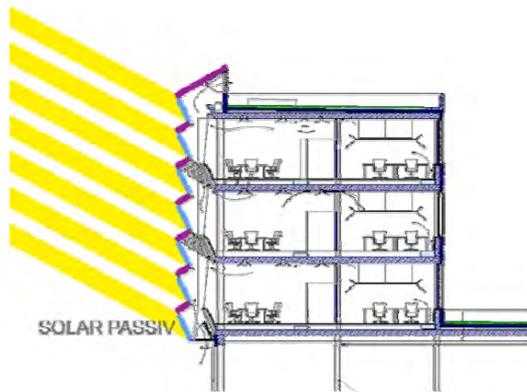


Abb. 1: Seitenansicht der Fassade im ENERGYbase

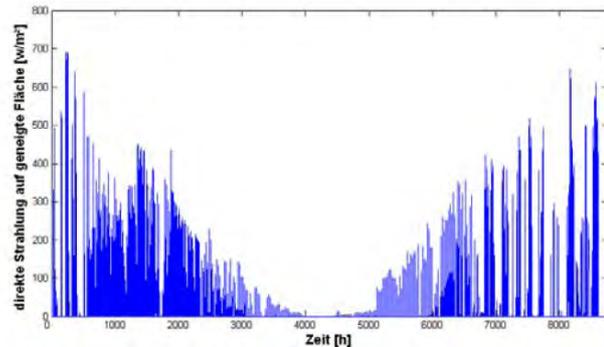


Abb. 2: Strahlungscharakteristik an den Fensterflächen der Südfassade

Für eine Auswertung des Energiebedarfs wurde das Hauptaugenmerk auf das größte sich bietende Einsparpotenzial gelegt. Das bedeutet, dass vorwiegend der Heizwärmebedarf des Gebäudes unter der Prämisse der prädiktiven Regelung analysiert wurde. Insgesamt wurden 241 Zustandsgrößen mit viertelstündlichen Werten für einen Zeitraum von einem Jahr als Output des TRNSYS Modells erzeugt. Es entstehen für die Simulation jedes Szenarios ca. 8.400.000 Einzelwerte, die für eine Auswertung gehandhabt werden müssen. Um mit dieser Menge an Daten umzugehen wurde ein post processing Tool in Matlab erstellt. Neben der Strukturierung der Daten und der Ausgabe der Ergebnisse wurden hier auch die Berechnungen durchgeführt um mit den Zustandsgrößen die benötigten Prozessgrößen zu erhalten. Der Heizwärmebedarf wurde in diesem Zusammenhang über die Massenströme und die Temperaturdifferenz im Vor- und Rücklauf der Betonkernaktivierung ermittelt.

Aufbauend auf den ermittelten Einsparungen der Heizenergie wurde der eingesparte CO₂ Ausstoß berechnet. Die Berechnungen des CO₂ Ausstoßes in kg pro kWh basieren dabei auf dem Stofffluss-Bewertungsprogramm GEMIS (Globales Emissionsmodell integrierter Systeme)⁷ und beziehen sich auf den Energiemix in den jeweiligen Bundesländern. Das Datenmaterial wurde von www.e-control.at (Gesamte Elektrizitätsversorgung 2002) am 15.12.03 entnommen.

Analyse des Gebäudestandards und Marktpotenzials, sowie Entwurf eines technischen Integrationskonzeptes für Wetterprognosen in der Gebäudesteuerung

Um auf Basis der Simulationsergebnisse Aussagen für ähnliche Gebäude aus dem Gebäudebestand treffen zu können, wurde im zweiten Teil des Projektes das mögliche Potenzial an Gebäuden in Österreich ermittelt, die einer gleichen oder ähnlichen Nutzung entsprechen. Hierzu wurde im Wesentlichen auf Daten der

Statistik Austria zurückgegriffen. Um ein absolutes Einsparpotenzial zu ermitteln, wurde in weiterer Folge nach Energieverbrauchs-Datengrundlagen gesucht. Hierzu musste in Folge relativ spärlicher Daten aus Österreich auch auf objektspezifische Daten aus Deutschland zurückgegriffen werden. Obwohl in Österreich eine detaillierte Energiedatenerfassung von Gebäuden nach unterschiedlichen Gebäudekategorien und Nutzungen fehlt konnte auf Basis von verschiedenen Benchmarksystemen in Österreich und Deutschland durch Vergleich und Abstimmung der Daten im Bereich des Gebäudestandards und des Energieverbrauchs ein aussagekräftiges Ergebnis erzielt werden.

In einer weiteren Projektphase wurde die Art der in den Objekten verbauten Regelungssysteme über Interviews und von den Regelungssystem-Lieferanten zur Verfügung gestellten Datengrundlagen ermittelt. Obwohl das Interesse an Informationen über das Projekt ProKlim seitens der Interviewpartner sehr groß war, waren die Interviewpartner nur vereinzelt bereit, entsprechende Daten zur Verfügung zu stellen, da diese Daten aus Konkurrenzgründen nur für interne Zwecke verwendet werden dürfen. Trotzdem konnten aus den Gesprächen Größenordnungen entnommen werden, welche in Folge durch eine öffentlich zugängliche Studie aus der Schweiz zum Teil bestätigt werden konnten.

Es war daraus ein recht klarer Trend in der Entwicklung der zukünftig eingesetzten Systeme und Technologien zu erkennen. Auf dieser Basis wurden in Folge die Konzepte zur Implementierung von Wetterprognosen in die Regelsysteme entwickelt. Die Simulation für das ENERGYbase und die Recherchen zu prädiktiven Systemen zeigten, dass eine reine Steuerung des Gebäudes via Wetterprognose ohne Berücksichtigung der internen Temperaturverläufe zur Verminderung des Komforts und in weiterer Folge sogar zu möglichen Energie-Mehrverbräuchen führen kann. Es wurde daher nach Wegen gesucht, um die Rückkopplung der Raumtemperatur und möglicher zusätzlicher Einflussfaktoren in das System (den Prädiktor) zu ermöglichen.

3Ergebnisse des Projektes

Eine der wichtigsten Erkenntnisse der thermischen Gebäudesimulation war, dass bei Passivhäusern aufgrund der guten Dämmung die Außentemperatur keine Rolle spielt. Der Parameter der am bedeutendsten für eine prädiktive Gebäuderegulierung eines Passivhauses ist, ist die direkte Sonneneinstrahlung. Im Projekt konnte eine Methode entwickelt werden, mit der man die direkte Sonneneinstrahlung aus der gemessenen und prognostizierten Globalstrahlung ableiten kann.

Auf Grundlage der thermischen Gebäudesimulation des ENERGYbase konnte ein **deutliches Energieeinsparpotenzial** ermittelt werden, wenn die Prognose der direkten Sonnenstrahlung in der Einstellung der Wärmepumpe berücksichtigt wurde.

Über den gesamten Betrachtungszeitraum ist für die ausgewiesenen Tage die Tendenz erkennbar, dass eine prognosegeführte Regelung Einsparung im Heizenergiebedarf mit sich bringt (vgl. Abbildung 3). Bei Betrachtung einzelner Tage verhält sich der Bedarf der Heizenergie jedoch nicht eindeutig nach dieser Tendenz.

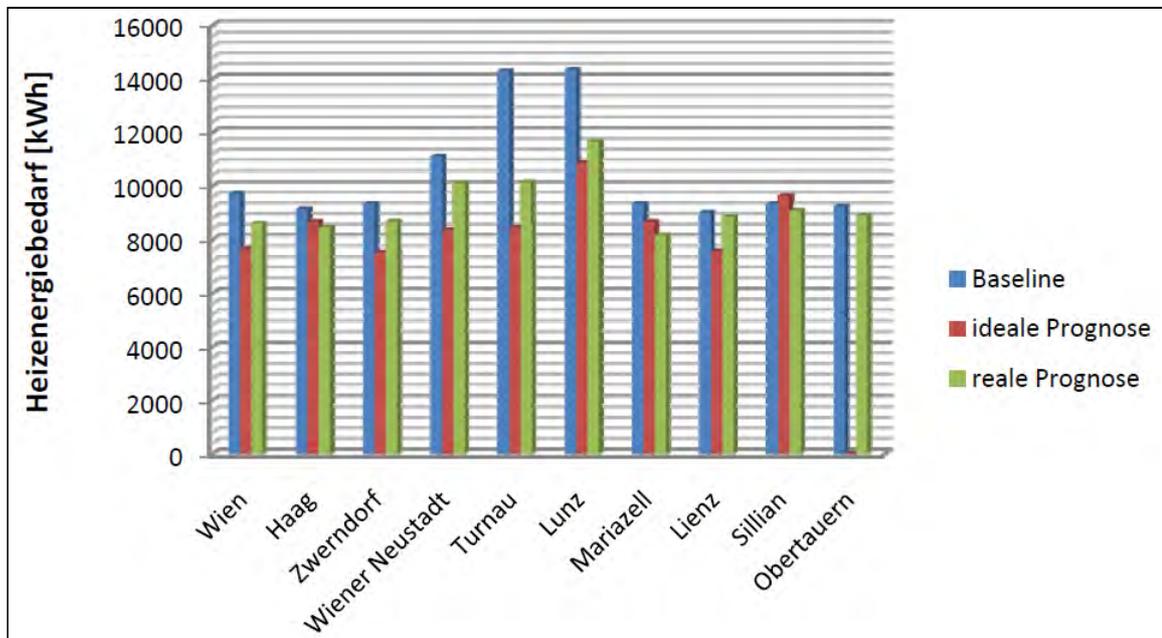


Abb. 3: Vergleich des Heizenergiebedarfs für ausgewiesene Szenariantage während der Heizperiode

Eine Vergleichbarkeit von einzelnen Tagen in diesem Zusammenhang ist schwierig zu bewerkstelligen. Durch das Einschreiten der Regelung in bestimmte Zeiträume am Tag kann es vorkommen, dass vorgegeben durch die Restriktion der Strahlungsparameter eine benötigte Einschaltdauer nicht bereitgestellt wird. Die Zonenraumtemperatur im Modell konvergiert dann auf einen unteren Schwellwert hin. An diesem beschriebenen Tag kann eine Einsparung der wetterprognosegeführten Regelung verbucht werden. Bei Betrachtung des darauffolgenden Tages kann trotz wetterprognosegeführter Regelung ein Mehrbedarf im Vergleich zum Baselineszenario bestehen, da sich die Zonentemperaturen durch den vorherigen Tag auf einem niedrigeren Niveau befinden. Die Regelung zur Begrenzung der Einschaltzeit hat keinen Einfluss auf die Leistung mit der die Wärme bereitgestellt wird. So kann es, trotz wetterprognosegeführter Regelung zu einem höheren Verbrauch an ausgewiesenen Tagen kommen. Anschaulich wird das in den nächsten beiden Diagrammen (Abbildung 4 und 5).

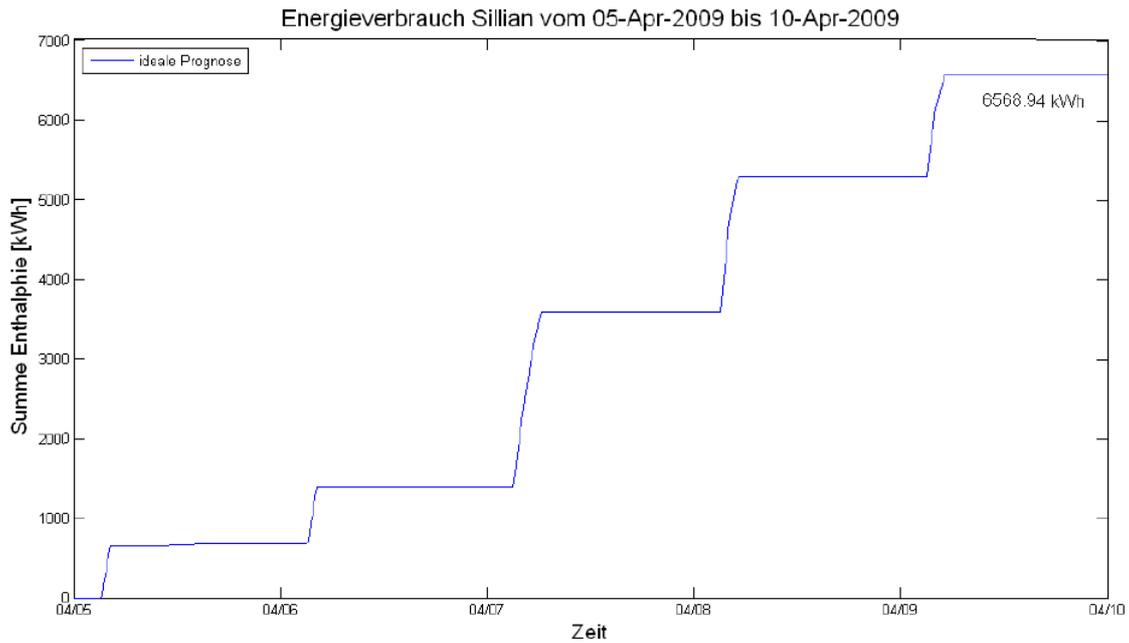


Abb. 4: Heizenergiebedarf bei idealer Wetterprognose für einen Zeitraum von fünf Tagen am Standort Sillian

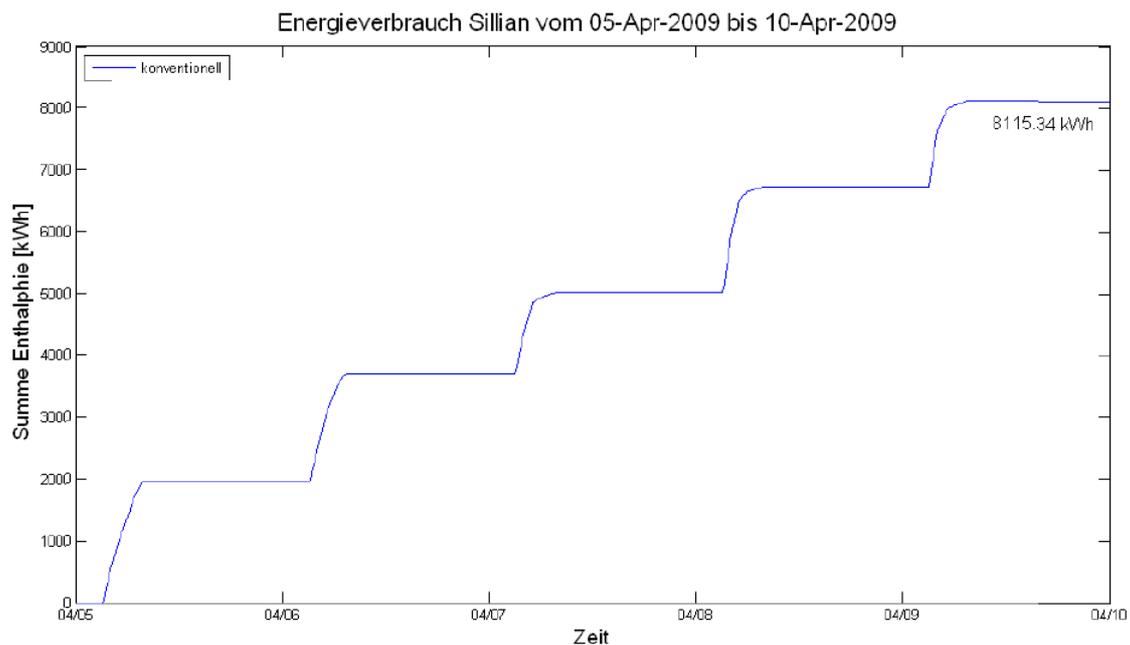


Abb. 5: Heizenergiebedarf mit konventioneller Regelung für einen Zeitraum von fünf Tagen am Standort Sillian

Zusammenfassend konnte für die einzelnen untersuchten Tage ein Energieeinsparpotenzial von 0% (Sillian) bis 40% (Turnau) ermittelt werden, wenn eine ideale Prognose der direkten Sonnenstrahlung in der Einstellung der Wärmepumpe berücksichtigt wurde, bzw. 7% (Sillian) bis 28% (Turnau) wenn reale Prognosen der direkten Sonnenstrahlung berücksichtigt wurden. Diese Werte beziehen sich aber auf speziell ausgesuchte Tage, an denen große Unterschiede in

der Einstrahlung zwischen Vormittag und Nachmittag herrschten. Für das gesamte Jahr betrachtet würden die prozentualen Einsparungen geringer ausfallen.

Der Vergleich der Szenarien zeigt das höchste Einsparungspotential in Turnau und Lunz (Mittelgebirge) und das geringste, bzw. sogar leicht höhere Energieverbräuche in Sillian, Obertauern, Lienz (Hochgebirge) und Mariazell (Mittelgebirge). Dies korreliert mit dem Heizenergiebedarf. Je höher der Heizenergiebedarf für einen Standort ist, desto mehr Einsparpotenzial ermöglicht eine prädiktive Gebäudesteuerung.

Ebenfalls sehr interessant sind die Unterschiede zwischen realer und idealer Prognose, die in Wien, Zwerndorf, Wiener Neustadt, Turnau und Lienz am größten und in Haag, Mariazell und Sillian am geringsten sind. Es zeigt sich, dass die Qualität der Prognose einen signifikanten Einfluss auf eine potenzielle Einsparung ausübt (Abb. 3). Für die ausgewählten Zeitpunkte sind, entgegen der prognostisch bedingten Erwartung, die Wetterprognose in gebirgigen Regionen nicht ungenauer, als in flacheren Regionen. Nachdem es sich hier aber um einzelne Zeitpunkte handelt kann daraus kein allgemeiner Schluss auf die Prognosegüte gezogen werden. Es zeigt sich vielmehr auch die hohe Qualität der Prognose in gebirgigen Gebieten. Die Unterschiede im Energiebedarf sind wahrscheinlich auf die geographische Lage zurückzuführen, aber man kann keine generelle Aussage für Standorte in unterschiedlichem Relief treffen. Reale Prognosen können somit auch in den gebirgigen Regionen zu Energieeinsparungen beitragen.

Die Ergebnisse der Umrechnung der Energieersparnis durch prädiktive Gebäudesteuerung in CO₂-Äquivalente werden in Abbildung 6 gezeigt. Diese unterscheidet sich aufgrund des für die Umrechnung verwendeten auf Bundeslandebene unterschiedlichen Energiemixen leicht von den Einsparverhältnissen in den oberen Abbildungen.

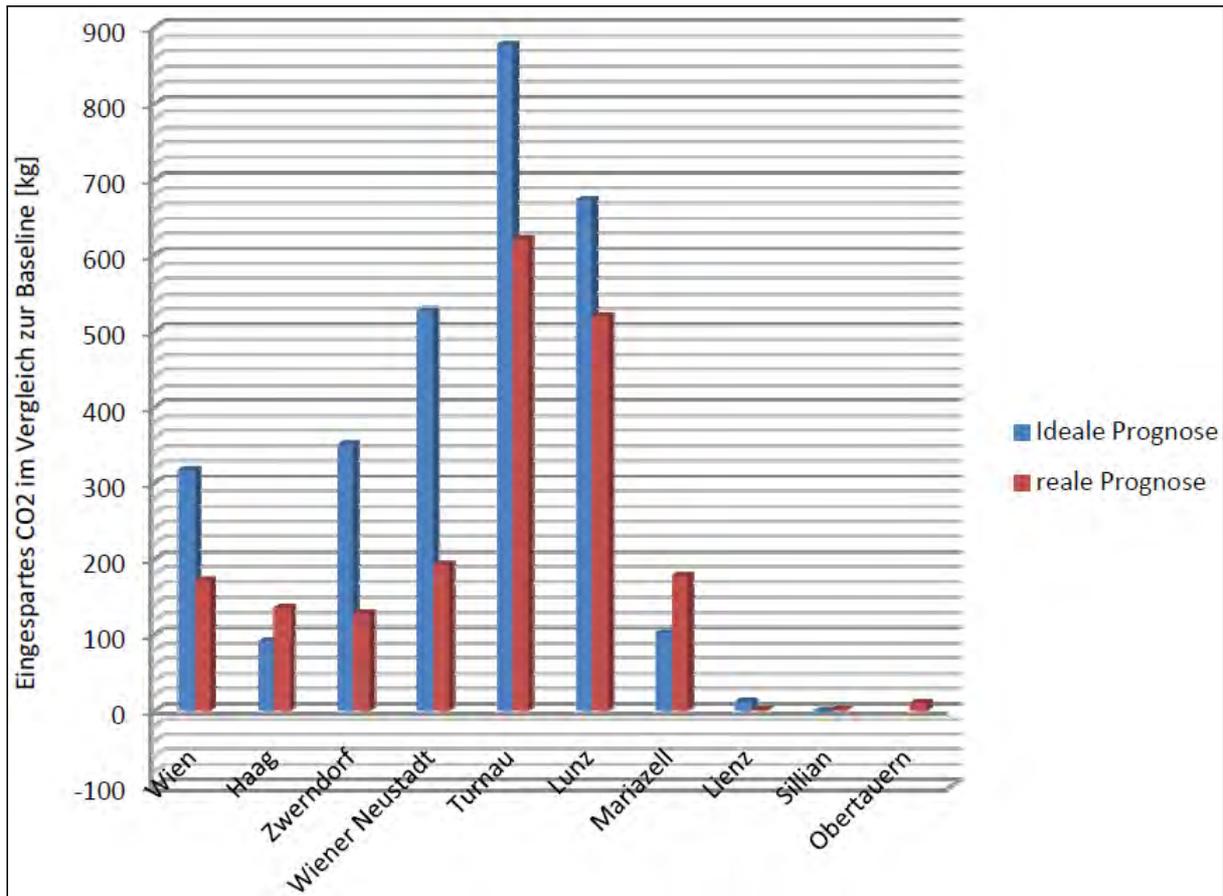


Abb. 6: Auswertung der CO₂ Einsparungen bezogen auf das Baselineszenario (ohne Berücksichtigung von Strahlungsprognosen)

Die ermittelten Einsparpotenziale sind vergleichbar mit Ergebnissen des Projektes OptiControl³. Die hier ermittelte Energieersparnis durch prädiktive Kontrolltechniken beträgt je nach Regelungsstrategie und Randbedingungen zwischen 16% und 41%⁸ und liegt damit um einiges höher als bei ProKlim, was aber durch die zusätzlich verbesserte Kontrolltechnik hervorgerufen worden sein kann, bzw. auch das Resultat der Lage des Untersuchungsobjektes in den Schweizer Alpen mit mehr Wetterextremen sein kann. Weiterhin konnte das OptiControl-Team ebenfalls eine zu erwartende Verbesserung des Raumklimas und des damit verbundenen Wohn- und Lebenskomfort zeigen⁹.

Für die Ermittlung von **Energiekennzahlen bzw. Energieverbräuchen des Gebäudebestandes in Österreich** wurden die Ergebnisse der beschriebenen Gebäudekategorisierung verwendet. Der untersuchte Gebäudebestand weist zum größten Teil einen sehr geringen gebäudetechnischen Integrationsstandard auf. Gebäudeheizung, Kühlung, Lüftung sowie mögliche vorhandene Verschattungssysteme sind meist nicht durch ein übergeordnetes Gebäudemanagementsystem miteinander verbunden und geregelt. Es sind

vorwiegend nur unabhängige Systeme vorhanden und somit der Integrationsgrad relativ gering. Ursache hierfür sind meist die sehr hohen Kosten in der Anschaffung und für den Betrieb und Unterhalt derartiger integrierter Systeme. Anbieter von Gebäudeleitsystemen, welche einen hohen Integrationsgrad ermöglichen, bieten diese Systeme mit sehr großem Engagement an, da in diesem Bereich ein sehr großes kurz- und langfristiges Umsetzungspotenzial gesehen wird. Gerade im Zuge der Energieeffizienz-Diskussion werden dabei große Anstrengungen unternommen, den Objektbetreibern die Investition in diese Systeme durch hohe Energieeinsparungen sowie Personaleinsparungen im Bereich Bedienung und Wartung schmackhaft zu machen und daraus Investitionsamortisationen zu erreichen. In zahlreichen Untersuchungen wurde versucht das theoretische wie auch praktisch mögliche (realistische) Energieeinsparpotenzial durch optimierte Regelung der Wärmeversorgung von Gebäuden zu ermitteln. Dabei wurden mehrere Ansätze und Kombinationen gewählt:

- Einsatz von PCM (Phasenwechslermaterial) Materialien in der Gebäudestruktur (zB. in Verputzen)
- Wärme-Kältespeicherung in Bauteilen (z.B. Betonkernaktivierung)
- Wärme-Kältespeicherung in Latenwärmespeichern
- Verschattungssysteme (in Fenstern, vor den Fenstern)
- Einbindung von Solarwärmesysteme für Warmwasser und Gebäudeheizung
- TWD Materialien (Transparente Wärmedämmung)
- Regelsysteme mit Fuzzy Logic
- Regelkonzepte mit Heizungs- Rücklauftemperatur-Regelung
- Automatische Gebäudeparameterberechnung durch Rechenmodelle und durch „neuronale Programmierung“
- Einzelraumregelung (Wärme, Kälte, Beleuchtung)
- CO₂ geregelte Lüftungsanlagen
- Verwendung von Wetterprognosen

Die erzielten Wärmeeinsparungen reichen von nur wenigen Prozenten bis ca. 35%. Der Anteil an Energieeinsparungen durch wetterprognosegesteuerte Regelungssysteme liegt dabei im Bereich von 0 bis ca. 16%¹⁰.

Weitere Untersuchungen weisen Anhand von Simulationen und prototypischen Testläufen nach, dass durch eine Anwendung von prädiktiver Regelung eine Einsparung des Primärenergiebedarfs von bis zu 13% erreicht werden kann¹¹. In anderen Studien liegt die Einsparungen des Energiebedarfs aus fossilen Quellen bei ca. 3%¹². Die Differenz der Ergebnisse in der Verminderung des Primärenergiebedarfs ist in hohem Maße von den Randbedingungen der einzelnen

Versuche abhängig. Das schließt sowohl die HLK Systeme als auch die Gebäudephysik sowie den Komfortanspruch der Gebäudenutzer mit ein.

Eine Maximierung der Energieeinsparungen ist durch eine Vielzahl an möglichen Maßnahmen zu erreichen wie die Erhöhung des Integrationsgrades, Veränderungen des Komfortbereiches (Ausweitung des Komfort-Temperaturbereiches), Anpassung der Gebäudephysik und die Optimierung der Regelung auf die Gebäudeparameter.

Die Ergebnisse veranschaulichen deutlich, dass gleichzeitig mit der Einbindung von Wetterprognosen in die Gebäuderegulung auch die Gebäudeparameter mit eingebunden werden müssen:

- Reaktion der Innentemperatur auf die Veränderung interner Lasten,
- Abhängigkeit der Innentemperatur von der solaren Einstrahlung sowie die Außentemperatur,
- Berücksichtigung von Verschattungssystemen,
- Reaktionsgeschwindigkeit des Heiz- und Kühlsystems, Speichermedien

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die tatsächlich möglichen Einsparungen je Gebäude grundsätzlich davon abhängen, welche Ausgangssituation angetroffen wird und welche Bereitschaft zur Optimierung seitens des Eigentümers des Gebäudes vorhanden ist.

Die Erfahrung zeigt, dass gerade im gewerblichen Sanierungsbereich die Energieeinsparung auf Grund des immer noch sehr günstigen Energiepreises eine eher zweitrangige Rolle spielen. Optimierungsinvestitionen werden getätigt, wenn sich diese „rechnen“. Zusätzliche Optimierungsmaßnahmen, die sich nicht selbst amortisieren, werden – wenn überhaupt – nur im Zusammenhang mit „sowieso“ erforderlichen Sanierungsmaßnahmen oder Neu- oder Umbauten durchgeführt.

Die Frage nach der tatsächlichen Energieeinsparung je Objekt kann somit nur im Einzelfall auf Basis der gegebenen Voraussetzungen und der möglichen und gewünschten Optimierungsmaßnahmen ermittelt werden.

Ein weiteres wesentliches Projektergebnis liegt in der Erkenntnis, dass die konkrete Integration von Wetterdaten in proprietäre Systeme (abhängig vom Grad und Integrationstiefe) sehr stark von den unterschiedlichen Anbietern abhängen und sich dadurch eine einfache Standardisierung schwierig bis unmöglich gestaltet. Als ableitende Konsequenz wurde im Zuge des Projektes daher der Fokus auf eine möglichst einfache allgemeine Repräsentation von Wetterdaten gelegt. Als Austauschformat wurde auf die OGC (Open Geospatial Consortium) Standards in der Ausprägung von WFS als Punktabfrage gesetzt. Das erarbeitete KnowHow steckt somit in der Definition der auf Wetterdaten maßgeschneiderten Struktur (XSD)

als Ausprägung der GML (Geographic Markup Language). Ein wesentlicher Vorteil der sich dadurch ergibt liegt in der Kompatibilität von diversen bereits am Markt vorhandenen Systemen (im speziellen Softwaresystemen) die GML bzw. die OGC Standards bereits unterstützen. Dieses Ergebnis kann somit als konkrete Erweiterung bzw. Manifestation der OGC Standards speziell auf Wetterdaten im Rahmen des Forschungsgebietes (Haussteuerungsanlagen) verstanden werden. Die Einbindung von Wetterdaten sollte somit für Hersteller von Haussteuerungsanlagen sehr einfach durchzuführen sein.

Bezüglich des Marktpotenzial und möglicher Integrationskonzepte wurde eine Marktrecherche inklusive Interviews mit Anbietern und Gebäudeautomationssystemen durchgeführt. Diese ergaben ein allgemeines Interesse an der Integration von Wetterprognosen in die Gebäudeautomation (GA). Wenngleich der Zugang dazu teilweise unterschiedlich ausfällt. Für den Einen ist eine Lösung wichtig, welche auch Systemlösungen ermöglicht mit mittlerer bis hoher Systemintegration (Integration von Heizung, Lüftung, Brand, Jalousien, Verschattung, usw.). Für den Anderen war eine „kleine aber feine“ Integration wichtiger, welche praktikabel, servicefreundlich und kostengünstig ist, um damit mit wenig Kosten eine kundenorientierte Lösung anbieten zu können.

Einig waren sich alle Anbieter darin, dass eine durch Wetterprognose geführte Regelung nicht einfach ist, zusätzlichen Engineeringaufwand und natürlich damit Kosten erzeugt. Als Keyfeature für den Verkauf wurde eine Integration von Wetterprognosen nicht gesehen. Eher als Zusatzfeature, als „Zuckerl“ für den Kunden für den Verkauf.

Dass derartige Features auch zusätzlicher Qualifikation seitens der Techniker bedarf, wurde ebenfalls hervorgehoben, was angesichts der vielfältigen Aufgaben am Bau im Zuge der Inbetriebnahme und der Servicerung als eher nachteilig beurteilt wurde.

Mit Dauer des Interviews und dadurch intensiverer Beschäftigung mit dem Thema wurde der Aufwand und die Tragweite einer derartigen Integration für die Interviewpartner immer deutlicher, was naturgemäß zu einer eher kritischen Haltung führte. Gleichzeitig sahen sie zusätzliche Aufgabenfelder für Ihre Firma. Gerade im Zusammenhang mit der Erweiterung ihrer Dienstleistungen auf Energie-Dienstleistungen.

Auf Basis der Marktstudie „Gebäudeautomation Schweiz 2008“ des Fachverbandes führender Gebäudeautomationshersteller in der Schweiz, welche im Wesentlichen auch für Österreich Gültigkeit hat, konnten klare Trends für die Zukunft der Kommunikationstechnologien und der Datenschnittstellen ermittelt werden. Die Gültigkeit kann auch durch die internationale Tätigkeit der an der Befragung teilgenommen Unternehmen bestätigt werden.

Es zeigte sich, dass auf der Managementebene Internet sowie Ethernet TCP/IP die gängigsten Protokolle sind. Andere Datenformate werden meist nur als interne Datenkommunikation für die GA genutzt. Auch auf Automationsebene setzt sich TCP/IP immer mehr durch, wobei hier Bacnet, Lonmark und Modbus/EIB derzeit sehr im Vordergrund stehen und aus Sicht der Anbieter auch zukünftig sehr stark sein werden. Auf der Feldebene kommen nach wie vor Analogsignale in Form von 0-10V oder 4-20mA zum Einsatz. Wobei sich auch hier der Trend zur digitalen Kommunikation vor allem in Form von Modbus/EIB immer mehr durchsetzen. Auch Bacnet, Lonmark sind hier auf dem Vormarsch.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden vier verschiedene Modelle der Implementierung von Wetterprognosen in die Gebäudesteuerung konzipiert:

1. Prädiktor als eigenständige Steuereinheit
2. Prädiktor als integrierter Bestandteil der Software für das Gebäudeleitsystem / Smart Home
3. Prädiktor-Server als externe Leitgröße für die Gebäuderegung
4. „ProKlim“-App

4Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

4.1Einpassung in das Programm

Die grundlegenden Forschungsarbeiten in ProKlim hatten das Ziel, Innovationen im Bereich der Gebäudeklimatisierung einzuleiten. Die Einbindung von Wetterprognosen in die moderne telematische Gebäudesteuerung kann helfen, bestehende Systeme hinsichtlich ihrer Energieeffizienz zu optimieren, ohne bauliche Maßnahmen am Gebäude vornehmen zu müssen. Dadurch kann auf relativ einfachem, kostengünstigem Weg (sowohl in Privathaushalten als auch in großen Gebäudekomplexen vom Bürohaus bis hin zu Lager- und Fabrikhallen) Energie eingespart und damit verbunden CO₂-Emissionen reduziert werden. Durch die Untersuchung der Rahmenbedingungen, die erfüllt sein müssen, damit die Verwendung von Wetterprognosen tatsächlich zu Energieeinsparungen bei der Gebäudeklimatisierung führt, sowie die Erarbeitung von standardisierten Schnittstellen zwischen Wetterprognose und Gebäudesteuerung soll die Verwendung von Wetterprognosen in der automatisierten Gebäudesteuerung massiv vereinfacht und damit verbreitet werden. Dies kann maßgeblich zur Reduktion des

Energieverbrauchs im Gebäudesektor und somit zur Reduktion treibhausrelevanter Emissionen beitragen.

Gleichzeitig wird die Wettbewerbsfähigkeit sowohl der beiden teilnehmenden kleinen Unternehmen UBIMET und ee-consult, als auch österreichischer Anbieter von Steuerungs- und Regelungsanlagen durch Erlangung eines Technologievorsprunges gesichert. Für UBIMET und ee-consult ermöglichte sich durch das Projekt zudem der Personalausbau einerseits bereits während des Projektes und andererseits zukünftig durch ein neues marktfähiges Produkt, welches durch die Arbeiten in ProKlim erstellt werden kann.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

ProKlim war eine Machbarkeitsstudie, welche einen wesentlichen Beitrag in der Grundlagenforschung im Bereich der automatisierten Gebäudeklimatisierung von Passiv-Bürogebäuden geleistet hat. Die Projektergebnisse liefern wichtige Informationen über den Einfluss von äußeren Parametern auf das Energieeinsparungspotenzial als Grundlage für die strategische Ausrichtung einer effizienten Energieplanung im Bereich der intelligenten Haustechnik, wodurch ein unmittelbarer Nutzen für Anbieter von Haussteuerungssystemen entsteht und in weiterer Folge ebenso dem Endkunden durch Kostenreduktion bei gleichzeitiger Erhöhung des Komforts wesentliche Vorteile bringt. Besonders dieser Komfortzuwachs wird die Verbreitung dieser Technologie forcieren.

Die Interviews mit Anbietern von telematischen Gebäudesteuerungssystemen und die Nachfragen beim Projektteam nach den Ergebnissen der Studie zeigen ein breites Interesse an einer solchen technischen Lösung, die aufgrund ihrer leichten Integrierbarkeit in bestehende Systeme eine hohe Marktdurchdringung erreichen könnte. Dadurch dazu könnte ein weiterer Beitrag zur Reduktion der treibhausrelevanten Emissionen im Gebäudesektor geleistet werden.

Neben wirtschaftlichem Nutzen und Gewinn an Komfort für den Endverbraucher und Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der Anbieter leisten die Projektergebnisse aber vor allem einen wichtigen Beitrag für die Gesellschaft. Durch die erreichbare Energieeinsparung im Bereich der Gebäudeklimatisierung kann eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes im Sinne eines nachhaltigen Ressourcenmanagements erreicht werden und maßgeblich zur Klimaentlastung beigetragen werden. Bei entsprechender Anwendung der Ergebnisse dieses Projektes kann zukünftig ein signifikanter Beitrag zur Reduktion der treibhausrelevanten Emissionen im Gebäudesektor geleistet werden. Dies ist in erster Linie natürlich ökologisch wichtig, hat aber auch einen ökonomischen Aspekt. Aufgrund der EU-Lastenteilung wurde Österreich verpflichtet seinen CO₂-Ausstoß um 13 % gegenüber 1990 zu senken (im Bewertungszeitraum 2008 bis 2012), um die Kyoto-Ziele zu erreichen. Im ersten

Bewertungsjahr 2008 lag der CO₂-Ausstoß aber noch um 10,9% über dem Wert von 1990¹³. Trotz sinkendem Ausstoß in den Folgejahren werden die Emissionsziele aber bis 2012 nicht erreicht werden können¹. Dies hat finanzielle Folgen, da Österreich CO₂-Zertifikate für ca. € 20 je Tonne CO₂ zukaufen muss, was insgesamt bis zu € 140 Mio Kosten verursacht, die letztendlich mit Steuergeldern bestritten werden müssen. Um die sogenannte Zielerreichungslücke so klein wie möglich zu halten, sind weitere im Inland wirksame Maßnahmen notwendig, zu denen auch gesteigerte Energieeffizienz im Bereich Raumwärme einen Teil beitragen können. Auch wenn die im Projekt vorgeschlagene Technologie nicht mehr in der aktuellen Kyoto-Periode Anwendung findet, kann sie in Hinblick auf die Einhaltung der Ziele für die zweite Kyotoperiode zwischen 2013 und 2020, in der Österreich sich auf 16% Treibhausgasreduktion im Vergleich zu 2005 verpflichtet hat, einen Beitrag leisten.

4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Im Rahmen dieser Studie war eine konkrete Umsetzung prädiktiver Gebäudesteuerung weder möglich noch vorgesehen, weswegen eine Befragung von Endkunden nicht Teil des Projektes war. Allerdings wurden Interviews mit Anbietern von Gebäudeautomationssystemen geführt, welche wichtige Hinweise auf mögliche Integrationskonzepte lieferten. Die Ergebnisse dieser Interviews sind in Kapitel 3 nachzulesen.

4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse

Da es sich bei ProKlim um Grundlagenforschung handelt, stellen die Projektergebnisse lediglich Informationen und kein Produkt an sich dar. Die gewonnenen Informationen sollen aber genutzt werden, um Produkte zu entwickeln und Kontakte zu Entwicklungspartnern zu knüpfen. So war es sogar Teil des Projektes eine umfassende Marktrecherche durchzuführen, um einerseits potenzielle Kunden zu erkennen und andererseits die speziellen Anforderungen genauer zu definieren.

Die Ergebnisse dieser Marktrecherche zeigten, dass die potenziellen Nutzer einer wettergesteuerten Hausregelung, Produzenten von Haustelematiksteuerung und möglicherweise auch die Bauträger selbst sind. Hersteller von

Haussteuerungstelematikeinheiten können die zu entwickelnden Schnittstellenprotokolle in Zukunft berücksichtigen und die Einheiten hardwareseitig auf die Verarbeitung von standardisierten Wetterdaten konzipieren bzw. umfangreichere Funktionen und zusätzliche Intelligenz integrieren. Bauträger können für zukünftige zu errichtende Objekte schon bei der Errichtung energiehaushaltsoptimierende Maßnahmen umsetzen. Die Ergebnisse der Analyse bezüglich der Einflussfaktoren Objektlage, Objektart und Qualität der Prognose auf das Einsparungspotenzial bilden Grundlage für strategische Investitionsentscheidungen im Sinne einer Kosten/Nutzen-Rechnung.

Weiters liefern die im Rahmen des Projektes durchgeführten Qualitätsanalysen bezüglich der Prognosegenauigkeit auf Hausebene wertvolle Informationen über Qualität und Grenzen der bei UBIMET eingesetzten Vorhersagemodelle.

AIT profitiert in erster Linie von den grundlegenden Kenntnissen über Konzepte zur Einbindung der prognosegesteuerten Regelungsstrategien in die verwendeten Simulationsumgebungen. Kapazitäten und Limitierungen der genutzten Softwaretools werden aufgezeigt. Hieraus entstehen artverwandte Anwendungen in der Simulation von Gebäudeautomatisierungssystemen, die auch in anderen Bereichen der nachhaltigen Gebäudetechnologien ihre Verwendung finden (z.B. Demand-Side-Management).

Durch die Tätigkeit von ee-consult im Bereich der Energieberatung für Unternehmen kann den Kunden auf Basis der Ergebnisse aus vorliegendem Projekt eine zusätzliche Beratungsdienstleistung und ggf. auch zusätzlich Energieeinsparungen angeboten werden. Regelungstechnische Ausschreibungen können gezielt um die Einbindung von Wetterprognose-Daten erweitert werden. Gerade bei bestehenden Gebäuden werden von ee-consult im Zuge von Sanierungen zusätzliche Effizienzpotenziale auf Basis von Prognosedaten erwartet. Das zusätzlich gewonnene Know-How und die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern stellt für ee-consult einen wertvollen Beitrag für die Verbesserung der Beratungsqualität und die Erhöhung der Marktchancen dar.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Wie beschrieben, konnte eine Tendenz der Energieeinsparung mittels wetterprognoseunterstützter Regelung für den Fall des ENERGYbase nachgewiesen werden. Dennoch ist in diesem Zusammenhang die qualitative Aussage in den Mittelpunkt zu rücken. Die quantitativen Aussagen, die im Laufe des Projektes in Erfahrung gebracht wurden, beleuchten nur einen Ausschnitt der Möglichkeiten, die mit einer wetterprognosegeführten Regelung erreichbar sind.

Es hat sich die Erwartung bestätigt, dass die Qualität der Prognose einen Einfluss auf das Einsparpotenzial ausübt. Prognosen die dem realen Messwert sehr nahe

kommen, ermöglichen höhere Einsparungen. Anstrengungen, die auf die Verbesserung von Wetterprognosen abzielen, sind im Zusammenhang mit dem Einsparziel zu empfehlen.

Basierend auf diesen Ergebnissen lässt sich auch die Erkenntnis gewinnen, dass die Änderung der Außentemperatur in Gebäuden mit gutem Dämmstandard (z.B. Passivhausstandard) eher eine untergeordnete Rolle in der wetterprognoseunterstützten Gebäudeautomatisierung zufällt. Der direkten solaren Strahlung und dem damit zusammenhängenden solaren Eintrag in das Gebäude hingegen wird eine wichtige Rolle in der Regelungsentscheidung zuteil. Weiterführend lässt sich aus diesen Erkenntnissen die Übertragbarkeit der Ergebnisse herleiten. Eine wetterprognoseunterstützte Regelung wird ihre Wirkung dann voll entfalten können, wenn ein träges Verteilsystem für Heizung und/oder Kühlung vorliegt und solare Architektur eine Rolle spielt. Eine sinnvolle Anwendung ist somit im komplexen Zusammenspiel von thermischer Trägheit und kontrollierter Nutzung von solaren Gewinnen zu suchen.

Eine weitere Schlussfolgerung aus Projektergebnissen ist, dass die technische Integration von Wetterprognosen in bestehende Regelsysteme aufgrund der unterschiedlichen Anforderung an Systeme am einfachsten durch die Bereitstellung der Prognosewerte über Internet via definierter Schnittstellenstandards (OGC) gelöst werden kann.

Wie die durchgeführte Marktrecherche gezeigt hat, sind die Projektergebnisse in erster Linie für Anbieter von Gebäudeautomationssystemen (und hier sowohl für große Gebäude als auch für Privathaushalte) relevant, soweit es sich um thermisch träge Gebäude handelt. Nachfragen beim Projektteam während der Projektzeit haben aber auch gezeigt, dass sich auch die Betreiber von Bürogebäuden selber mit dem Thema prädiktiver Gebäudesteuerung auseinandersetzen – und das tatsächlich mit der Motivation Energie beim Heizen und Kühlen einzusparen.

Für derartige Anfragen können die im Projekt gewonnenen Kennzahlen als Referenz verwendet werden, allerdings sind sie aber wie bereits beschrieben nur beschränkt aufgrund der Tatsache, dass kein ganzes Jahr simuliert werden konnte.

6 Ausblick und Empfehlungen

Wie bereits dargestellt, bilden diese Ergebnisse nur einen Teilausschnitt aus der ganzen Komplexität im Zusammenspiel von Regelung, Versorgungssystemen und solarer Architektur. Andererseits ist das hier gewählte Tool (TRNSYS 17) zur Berechnung dieser Aufgabenstellung in seinen Fähigkeiten und seiner Anwendbarkeit an seinen Grenzen angelangt.

Für eine weiterführende und umfassendere Betrachtung sollte ein neuer Ansatz in der Methode der Modellierung gefunden werden, um die Idee der wetterprognoseunterstützten Regelung zu einer experimentellen Anwendung zu bringen.

Auch wenn gezeigt werden konnte, dass die Strahlungsprognosen zu einer Energieersparnis bei gleichem Komfort beitragen können, sollte noch mehr Forschung in die Verbesserung der Wetterprognose investiert werden. Hier existiert bei UBIMET bereits die Idee, „Nowcasting-Elemente“ in die kurzfristige Prognose (6 Stunden in die Zukunft) einfließen zu lassen, wodurch man sich eine deutliche Verbesserung der Prognosen für die nächsten 6 Stunden erwartet. Dadurch könnten die Energieeinsparungen an die der idealen Prognosen heranrücken. Auch sollte versucht werden, nicht nur die Heiz- und Kühlsysteme effektiver zu steuern, sondern auch Energiegewinne durch gebäudeintegrierte Stromerzeugung (PV, Wind) zu prognostizieren, um den Eigenverbrauch zu optimieren.

Das Projektteam plant daher ein Folgeprojekt, welches aufbauend auf den erarbeiteten Grundlagen von ProKlim, die oben genannten Punkte berücksichtigt und die Anwendbarkeit operativ testet. Konkret sollen Regelungsempfehlungen für das ENERGYbase hinsichtlich Energieeffizienzsteigerung bei Heizung und Kühlung und Optimierung des Eigenverbrauchs der mit der hauseigenen PV-Anlage produzierten Energie abgeleitet und über einige Monate in einem Feldtest eingesetzt werden.

7Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

- 4 Gyalistras, D., Gwerder, M., Oldewurtel, F., Jones, C.N., Morari, M., Lehmann, B., Wirth, K., Stauch, V.: Analysis of Energy Saving Potentials for integrated Room Automation. Proceedings of Clima – REHVA World Congress, 10, 2010, 1 - 8.
- 5 Oldewurtel, F., Gyalistras, D., Gwerder, M., Jones, C.N. Parisio, A., Stauch, V., Lehmann, B., Morari, M.: Increasing Energy Efficiency in Building Climate Control using Weather Forecast and Model Predictive Control. Proceedings of Clima – REHVA World Congress, 10, 2010, 9 – 16.
- 6 Thomas Feldmann, Jesus da Costa Fernandes, Elmar Bollin, 2008: Optimierung des Gebäudebetriebes durch Auswertung von Wetterprognosen – 3. Forum Nachhaltige Energiewirtschaft der Fachhochschulen in Baden-Württemberg, Hochschule Ulm
- 9 Gyalistras, D., Gwerder, M., Oldewurtel, F., Jones, C.N., Morari, M., Lehmann, B., Wirth, K., Stauch, V.: Analysis of Energy Saving Potentials for integrated Room Automation. Proceedings of Clima – REHVA World Congress, 10, 2010, 1 - 8.

- 9 Oldewurtel, F., Gyalistras, D., Gwerder, M., Jones, C.N. Parisio, A., Stauch, V., Lehmann, B., Morari, M.: Increasing Energy Efficiency in Building Climate Control using Weather Forecast and Model Predictive Control.- Proceedings of Clima – REHVA World Congress, 10, 2010, 9 – 16.
- 11 Krauss, J., Bauer, M., Morel, N., El-Khoury, M.: Neurobat – Predictive Neuro-Fuzzy Building Control System. Schlussbericht. Bern: BfE, 1998.
- 12 Hube, W. und Wittwer, C. (2001): Betrachtungen zur Heizkennlinie eines Niedrigenergie-Mehrfamilienhauses und ColSim-Erweiterungen zur Untersuchung integraler Regelungen zur Wärmeversorgung.- Schreitmüller, K. ; Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. -OTTI-, Regensburg: Elfte Symposium Thermische Solarenergie 2001 Regensburg: OTTI, 2001, S. 214-219
- 13 Umweltbundesamt Klimaschutzbericht 2010. REPORT REP-0267, 2010

Internetquellen

- 1 Siemens Pressemitteilung: Wettervorhersagen bringen mehr Komfort und sparen Energie. Lissabon, 16. Oktober 2007:
<http://www.buildingtechnologies.siemens.de/Ueber+uns/Presse/Meldungen+2007/Wettervorhersagen+bringen+mehr+Komfort+und+sparen+Energie.htm> (abgerufen am 09. Dezember 2008; 14:15)
- 2 SMHI: Prognosstyrd Värme Gjorde Slut Pa klagomal. Medvind - Aktuellt från SMHI, Nummer 3. 2007:
<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=7372&l=sv> (abgerufen am 12. Dezember 2009; 10:03)
- 3 www.opticontrol.ethz.ch (abgerufen am 30. Juni 2011; 14:07)
- 7 GEMIS Version 4.6: <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm> (abgerufen am 29. Juni 2011; 15:17)
- 10 D. Gyalistras: Use of MPC for Building Control - Short Course on Model Predictive Control. Presentation 2010:
http://www.climate-impacts.ch/_DGTalksPres/Gyal_10_Pres-ShortCourseMPC.pdf (abgerufen am 29. Juni 2011; 15:00)

Veröffentlichungen der Ergebnisse

Hettfleisch, C., Ledinger, S., Dubisch, F., Zucker, G., Palensky, P.: Energieeinsparpotential eines Passivhauses unter Berücksichtigung von Wetterprognosen. Bauphysik Volumen 32, Heft 6, S. 399–404, Dezember 2010

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Seitenansicht der Fassade im ENERGYbase	25
Abb. 2: Strahlungscharakteristik an den Fensterflächen der Südfassade.....	25
Abb. 3: Vergleich des Heizenergiebedarfs für ausgewiesene Szenarientage während der Heizperiode.....	27
Abb. 4: Heizenergiebedarf bei idealer Wetterprognose für einen Zeitraum von fünf Tagen am Standort Sillian.....	28
Abb. 5: Heizenergiebedarf mit konventioneller Regelung für einen Zeitraum von fünf Tagen am Standort Sillian.....	28
Abb. 6: Auswertung der CO2 Einsparungen bezogen auf das Baselineszenario (ohne Berücksichtigung von Strahlungsprognosen).....	30