



# NEUE MONTE ROSA-HÜTTE

## INTEGRIERTE HAUSSYSTEME FÜR OPTIMALE ENERGIE- UND STOFFBEWIRTSCHAFTUNG

### Jahresbericht 2010

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Autor und Koautoren              | Samuel Fux, Urs-Peter Menti, Markus Gwerder  |
| beauftragte Institution          | IDSC, ETH Zürich   |
| Adresse                          | Sonneggstrasse 3, ML K, 8092 Zürich  |
| Telefon, E-mail, Internetadresse | 044 632 58 64, <a href="mailto:fuks@ethz.ch">fuks@ethz.ch</a> , <a href="http://www.idsc.ethz.ch">www.idsc.ethz.ch</a> |
| BFE Projekt-/Vertrag-Nummer      | 102946 / 153783  |
| BFE-Projektleiter                | Charles Filleux / Andreas Eckmanns   |
| Dauer des Projekts (von – bis)   | 01.06.2008 – 31.05.2011  |
| Datum                            | 14. Dezember 2010  |

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das primäre Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung neuer Algorithmen für ein vorausschauendes übergeordnetes Energie- und Stoffmanagement für Gebäude mit verschiedenen Energiequellen und Speichersystemen. Dieses Energie- und Stoffmanagement soll modellbasiert erfolgen.

Die Neue Monte Rosa-Hütte wird als Demonstrationsobjekt verwendet, um Modelle zu verifizieren und entwickelte Algorithmen zu testen.

Zu diesem Zwecke wurde im vergangenen Berichtsjahr an der ETH Zürich ein Datenerfassungssystem aufgebaut, welches die Daten aus dem Gebäudeautomationssystem der Neuen Monte Rosa-Hütte, die Messungen der Wetterstation, Wetterprognosen und die Daten aus dem Reservationssystem aufzeichnet.

Basierend auf diesem Datenerfassungssystem wurden Analysen der Energieflüsse der Neuen Monte Rosa-Hütte erstellt, mit welchen erste Verbesserungsvorschläge bezüglich der Gebäudeautomation gemacht werden konnten.

Des weiteren wurden Modelle der Gebäudetechnik-Anlagen und des thermischen Verhaltens der Gebäudestruktur in der Simulationsumgebung MATLAB®/Simulink® implementiert und mit Messdaten aus dem Gebäudeautomationssystem verglichen. Teilweise konnten die Modelle weiterentwickelt und verbessert werden.

Zusätzlich wurde ein lineares Modell des Systems entwickelt, welches sich für den Einsatz in einem modellprädiktiven Regler eignet. Das resultierende Optimierungsproblem der prädiktiven Regelung lässt sich mit einem Mixed Integer Linear Programming (MILP) Solver, wie z.B. CPLEX®, effizient lösen.

Das bereits aus der Planung vorhandene, rudimentäre Simulationsmodell in IDA Klima und Energie wurde verfeinert. Ziel ist, mit diesem Modell die Messungen zu verifizieren und vor allem das Simulationsmodell (Gebäude, Gebäudetechnik) in MATLAB®/Simulink® zu validieren.

## Projektziele

Die heutige Gebäudetechnik basiert auf konventionellen und gut bewährten Anlagen mit weitgehend optimierten Komponenten. Werden neue Energiespeicher im Haus platziert oder kommen erneuerbare Energiequellen hinzu, ergibt sich oft ein komplexes Gesamtsystem, bei welchem die Energieeffizienz nicht mehr nur von der Optimierung der einzelnen Komponenten abhängt, sondern wesentlich von der Vernetzung dieser Einzelteile und von der gewählten Steuer- und Regelstrategie bestimmt wird.

Der Ertrag vieler erneuerbarer Energiequellen (thermische Solarkollektoren, Photovoltaiksysteme, Windkraftanlagen etc.) hängt stark vom momentanen Wetter ab. Der Energieverbrauch in einem Gebäudesystem hängt gleichermassen von den Wettereinflüssen und von der aktuellen Nutzung ab. Diese und weitere Randbedingungen sind erfass- und vor allem auch gut prognostizierbar (Wetterprognosen, Besucherprognosen). Integriert man diese Informationen in die Gebäudesteuerung, so ergeben sich völlig neue Perspektiven bezüglich Beeinflussung des Komforts und des Energieverbrauchs. Von diesem Energiemanagement wird erwartet, dass damit eine hohe Energieeffizienz erreicht werden kann. Dieser Ansatz ist bei Neubauten wie auch bei Gebäude-Erneuerungen einsetzbar.

Das Ziel dieses Projektes ist darum die Entwicklung neuer Algorithmen für das optimale Management von Energie- und Stoffflüssen in Gebäuden. Die Neue Monte Rosa-Hütte wird als Demonstrationsobjekt verwendet, wobei das Hauptziel eine möglichst hohe Energieautarkie ist.

In diesem Berichtsjahr gab es folgende Ziele:

### Entwicklung mathematische Modelle

Dieses Projekt verfolgt die Entwicklung von Modellen von Gebäudetechnik-Anlagen und des thermischen Verhaltens von Gebäuden mit verschiedenem Detaillierungsgrad. Einerseits sollen regelungsorientierte Modelle entwickelt werden, welche in einem optimalen, modellprädiktiven Regler (MPC) verwendet werden können. Andererseits werden genauere Modelle entwickelt, an welchen die modellprädiktiven Regler getestet werden können bevor die Algorithmen im Demonstrationsobjekt implementiert werden.

Zu diesem Zwecke müssen die verschieden detaillierten Modelle mit Messdaten verglichen und verifiziert werden.

### Entwicklung Energie- und Stoffmanagement

Die regelungsorientierten Modelle werden verwendet, um ein vorausschauendes übergeordnetes Energie- und Stoffmanagement zu entwickeln. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die Erarbeitung von Methoden gelegt, mit denen die Optimierung der Stellsignale numerisch effizient durchgeführt werden kann.

### Implementierung im Demonstrationsobjekt und Optimierung im Betrieb

Die entwickelten Algorithmen für ein optimales Energie- und Stoffmanagement sollen in die Gebäudeautomation der Neuen Monte Rosa-Hütte integriert und während der ersten Betriebsphase optimiert werden.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### Integration Datenerfassungssysteme

Eine wichtige Basis für dieses Projekt bilden drei Datenerfassungssysteme, welche Informationen zu den Energieflüssen, dem Wetter und der Benutzung des Demonstrationsobjekts aufzeichnen:

1. Das Gebäudeautomationssystem der Neuen Monte Rosa-Hütte zeichnet über 150 Datenpunkte wie Messungen von Sensoren, Stellgrößen und Betriebsarten auf und sendet diese via Satellit an die ETH Zürich. Zu Beginn des Jahres musste ein beachtlicher Aufwand aufgebracht werden, um Probleme bei der Satellitenübertragung zu erkennen und zu beheben (z.B. Kommunikationsausfälle aufgrund von Schnee auf Satellitenschüsseln). Aufgrund neuer Bedürfnisse des Projektes wurden während des Jahres Datenpunkte angepasst oder neu hinzugefügt.
2. Von MeteoSchweiz werden alle 10 Minuten Messungen der Wetterstation Monte Rosa – Plattje und zusätzlich täglich achtmal COSMO-2, dreimal COSMO-7 und einmal COSMO-LEPS Wetterprognosen zur Verfügung gestellt.

3. Anwesenheits-Informationen werden aus einem Buchungssystem des Schweizerischen Alpenclubs (SAC) erhalten.

Das Speichern der Informationen aus allen drei Systemen wurde an der ETH Zürich zentral in einer einzigen Datenbank zusammengefasst. Dadurch können die Daten allen Projektbeteiligten einfach zur Verfügung gestellt werden.

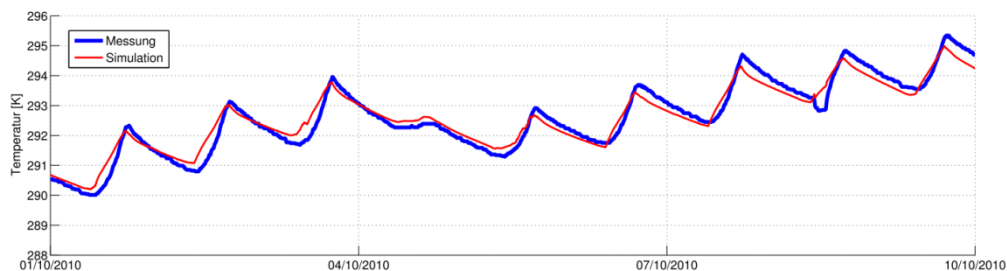
### Entwicklung mathematische Modelle

Im vergangenen Berichtsjahr wurden an der ETH Zürich regelungsorientierte und/oder detaillierte Modelle von folgenden Systemen in der Simulationsumgebung MATLAB®/Simulink® implementiert:

- Berechnung Sonneneinstrahlung auf geneigte Ebenen [1]
- Thermische Solarkollektoren [1]
- Photovoltaik-Anlage [1]
- Warmwasserspeicher [2]
- Lebensdauer von Batterien [3]
- Thermisches Verhalten von Gebäuden [4, 5]

Wo möglich wurden diese Modelle mit Messdaten aus dem Gebäudeautomationssystem verglichen und Verbesserungen vorgenommen.

Exemplarisch zeigt Fig. 1 den Vergleich zwischen der simulierten mittleren Raumtemperatur des regelungsorientierten Gebäudemodells und der gemessenen mittleren Raumtemperatur.



**Fig. 1: Vergleich zwischen der simulierten mittleren Raumtemperatur und der gemessenen mittleren Raumtemperatur.**

Das bereits aus der Planung vorhandene, rudimentäre Simulationsmodell in IDA Klima und Energie wurde verfeinert. Ziel ist, mit diesem Modell die Messungen zu verifizieren und vor allem das Simulationsmodell (Gebäude, Gebäudetechnik) in MATLAB®/Simulink® zu validieren. Die Anpassungen auf Seite Gebäude (Erhöhung der Anzahl Zonen, Präzisierung von Gebäudehülle und -struktur) verliefen problemlos, bei der Erweiterung der gebäudetechnischen Systeme traten Schwierigkeiten auf, deren Lösung in Zusammenarbeit mit dem Programmhersteller einen grösseren Aufwand verursacht(e).

### Entwicklung Energie- und Stoffmanagement

Um die Optimierung der Stellsignale eines übergeordneten vorausschauenden Energie- und Stoffmanagements numerisch effizient durchzuführen, wurde ein lineares Modell entwickelt welches binäre Variablen enthält (z.B. Pumpe ein/aus). Mit Hilfe dieses Modelles kann das vorausschauende Energie- und Stoffmanagement als *Mixed Integer Programming Problem* (MILP) formuliert werden. Diese Art von Optimierungsproblem kann z.B. mit dem kommerziell erhältlichen Solver CPLEX® gelöst werden.

### Implementierung in Demonstrationsobjekt und Optimierung im Betrieb

Aufgrund der Projektentwicklung konnten diese beiden Arbeitspakete noch nicht durchgeführt werden.

## Nationale Zusammenarbeit

### Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG), Hochschule Luzern

Im vergangenen Berichtsjahr hat sich die Zusammenarbeit zwischen dem ZIG und der ETH verstärkt. Insbesondere im Bereich der vereinfachten thermischen Gebäudemodellierung konnte auf das Expertenwissen und das detaillierte Gebäudemodell des ZIG zurückgegriffen werden.

### Siemens Building Technologies

Ohne die Hilfe von Siemens bei der Erkennung und Behebung von Problemen, wie z.B. Kommunikationsausfälle, und das Anpassen des Gebäudeautomationssystems an die Bedürfnisse des Projektes, stünden die für den Erfolg des Projektes wichtigen Messdaten nicht zur Verfügung.

## **Bewertung 2010 und Ausblick 2011**

### **Entwicklung mathematische Modelle**

In verschiedenen Studentenarbeiten konnten aus der Literatur bekannte Modelle mit Messdaten aus dem Gebäudeautomationssystem verglichen und teilweise weiterentwickelt und verbessert werden. Während diesen Arbeiten hat sich herausgestellt, dass für einen optimalen Vergleich zwischen Modell und Messungen manche Datenpunkte angepasst werden müssen (Frequenz, Auflösung usw.). Diese Anpassungen konnten zum grössten Teil während dem vergangenen Berichtsjahr vorgenommen werden. Für manche Anpassungen ist das Gebäudeautomationssystem aber nicht vorgesehen, so dass im nächsten Jahr nach Lösungen hierfür gesucht werden muss. Aufgrund der erschwerten Erreichbarkeit der neuen Monte Rosa-Hütte können Anpassungen oft nicht sofort durchgeführt werden.

Bei der Erstellung des Gebäudemodells in IDA Klima und Energie ist die Modellierung des Gebäudes (Hülle, Struktur) abgeschlossen, im kommenden Jahr gilt das Augenmerk der Implementierung der verschiedenen Gebäudetechnik- und Energiesystemmodelle. Diese müssen z.T. neu entwickelt oder mindestens neu in die Programmumgebung eingepasst werden. Diese Arbeiten erfolgen in Zusammenarbeit mit dem Programmhersteller. Zu klären ist auch, wie das Modell des MPC-Reglers in die Software IDA Klima und Energie implementiert werden kann, bzw. ob IDA Klima und Energie allenfalls einfacher in die Matlab®/Simulink®- Umgebung zu implementieren ist. Dazu ist eine Koordination zwischen Siemens, HSLU und dem Programmhersteller Equa nötig.

### **Entwicklung Energie- und Stoffmanagement**

Es wurde eine regelungsorientierte Modellierung entwickelt, welche die Formulierung des optimalen Energie- und Stoffmanagements als MILP Optimierungsproblem erlaubt. MILP Optimierungsprobleme können heutzutage numerisch effizient gelöst werden.

Im nächsten Berichtsjahr muss diese regelungsorientierte Modellierung verfeinert und an detaillierteren Modellen getestet werden. Zudem muss eine Formulierung gefunden werden, welche die Unsicherheit von Wetter- und Verbraucherprognosen berücksichtigt.

Während des ersten Betriebsjahres des Demonstrationsobjektes sind zusätzliche Randbedingungen aufgetreten, welche in einem Energie- und Stoffmanagement berücksichtigt werden müssen. Z.B. hat sich herausgestellt, dass die Batterie ein kritisches System ist. Das heisst, die Art und Weise wie eine Batterie betrieben wird (Lade-/Entladezyklen) hat einen erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer derselben [6]. Dies ist ein neuer Faktor, der in den zu entwickelnden Algorithmen berücksichtigt werden muss.

Am IDSC entstehen zurzeit zusätzliche Arbeiten (Doktor- und Studentenarbeiten) im Bereich Gebäudetechnik, welche nicht direkt mit diesem Projekt verlinkt sind, deren Ziele aber die Ziele dieses Projektes ergänzen. Für diese Arbeiten werden auch die Daten aus dem Datenerfassungssystem dieses Projektes verwendet werden. Es gibt also eine starke Interaktion zwischen verschiedenen Projekten.

### **Implementierung in Demonstrationsobjekt und Optimierung im Betrieb**

Augrund der Projektentwicklung muss das Projekt verlängert werden und die Implementierung im Demonstrationsobjekt verschoben werden.

## **Referenzen**

- [1] P. Müller, **Modeling of the Monte Rosa Hut – Thermal Solar Collectors & Photovoltaics**, Bachelorarbeit, ETH Zürich, 2010
- [2] S. Nüesch, **Modeling of the Monte Rosa Hut - Thermal Heat Storage System**, Bachelorarbeit, ETH Zürich, 2010
- [3] V. Lenzi, **Smart Building Interacting with Smart Grid**, Semesterarbeit, ETH Zürich, 2010
- [4] D. Heid, **Modeling of the Monte Rosa Hut – Room Air Temperature Modeling**, Bachelorarbeit, ETH Zürich, 2010
- [5] B. Troxler, **Modeling of the Thermal Behavior of the New Monte Rosa Hut**, Semesterarbeit, ETH Zürich, 2010
- [6] H. Wenzl, et al., **Life prediction of batteries for selecting the technically most suitable and cost effective battery**, Journal of Power Sources, Vol. 144, Seiten 373-384, 2005