



# NEUE MONTE ROSA HÜTTE

## INTEGRIERTE HAUSSYSTEME FÜR OPTIMALE ENERGIE- UND STOFFBEWIRTSCHAFTUNG

Jahresbericht 2009

Autor und Koautoren	Lino Guzzella und Samuel Fux
beauftragte Institution	IDSC, ETH Zürich
Adresse	Sonneggstrasse 3, ML K
Telefon, E-mail, Internetadresse	044 632 54 48, <a href="mailto:lguzzella@ethz.ch">lguzzella@ethz.ch</a> , <a href="http://www.idsc.ethz.ch">www.idsc.ethz.ch</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	153783
BFE-Projektleiter	Charles Filleux / Andreas Eckmanns
Dauer des Projekts (von – bis)	01.06.2008 – 31.05.2011
Datum	13. April 2010

### ZUSAMMENFASSUNG

Da heutzutage in der Gebäudetechnik gut bewährte Einzelkomponenten eingesetzt werden, welche in ihrer Funktion optimiert sind, lässt sich das Energiesparpotential von Gebäuden oft nur dann ganz erschliessen, wenn auch das Zusammenspiel dieser Komponenten optimiert wird.

Das Ziel dieses Projektes ist darum die Entwicklung neuer Algorithmen und Hardware Lösungen für das optimale Management von Energie- und Stoffflüssen in Gebäuden. Die Schlüsselidee ist dabei, das Zusammenspiel von verschiedenen Energiequellen, Speichersystemen und Verbrauchern zu optimieren. Wetter- und Besuchervorhersagen sind dabei ein wichtiges Instrument um dieses Ziel zu erreichen.

Die Neue Monte Rosa Hütte wird als Demonstrationsobjekt verwendet, wobei das Hauptziel eine möglichst hohe Energieautarkie ist.

In diesem Berichtsjahr konnten alle für die Durchführung des Projekts nötigen Anpassungen an der Neuen Monte Rosa Hütte durchgeführt werden, d.h. zusätzlich benötigte Sensoren zum Erfassen der Energieflüsse, des Betriebs der Anlagen und des Zustandes der Speichersysteme wurden geplant und eingebaut. Zusätzlich wurden die Schnittstellen zur Gebäudeautomation vorgesehen, so dass die Hütte von Zürich aus überwacht und später auch geregelt werden kann.

Um den Betrieb und den Zustand der Anlagen der Neuen Monte Rosa Hütte allen Interessierten zugänglich zu machen, wurde eine Energie-Visualisierung entwickelt. Zudem wurde ein Gebäudesimulator implementiert, mit welchem an Ausstellungen (wie z.B. Swissbau 2010) die Besucher für das Thema der Gebäudetechnik- und automation sensibilisiert werden können.

Eine Literaturrecherche über den Stand der Forschung und erste Anwendungen des Optimierungsverfahrens *Dynamic Programming* auf das System der Hütte haben gezeigt, dass eine exakte Optimierung des Systems heutzutage noch nicht möglich ist, d.h. ein echtzeitfähiger modellbasierter vorrauschauender Steuerungs-Algorithmus lässt sich nur anhand einer vereinfachten, aber genügend genauen Modellierung des Systems realisieren.

## 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 und Hardware Lösungen 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:

### Vorarbeiten

Das Ziel dieses ersten Arbeitspaketes war das Gewinnen des Überblicks über die Anlagen und deren Funktionsweise und die Recherche früherer Arbeiten. Darauf basierend sollten die Messpunkte im System festgelegt werden, welche später eine Verifizierung und Identifizierung der Gebäudemodelle erlauben.

Zusätzlich sollten seitens Siemens die Schnittstellen zur Gebäudeautomation vorbereitet werden, damit das System von Zürich aus überwacht werden kann und später die entwickelten Algorithmen in die Standardsteuerung implementiert werden können.

Da in diesem Projekt auch eine hohe Kommunikationswirkung angestrebt wird, sollen die Messdaten visuell aufbereitet werden und allen Interessierten zugänglich gemacht werden.

### Recherche Gebäudemodell

Damit die in diesem Projekt entwickelten Algorithmen in Simulationen getestet werden können, müssen regelungsorientierte Gebäudemodelle erstellt werden. Diese Modelle müssen in einem ersten Schritt mit dem detaillierten Gebäudemodell, welches vom Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) der Fachhochschule Luzern während der Dimensionierung entwickelt wurde, und mit den Messdaten der Monte Rosa Hütte verifiziert werden.

Diese Modelle sollen im Laufe des Projekts verfeinert und an die angestrebten Zwecke angepasst werden.

### Entwicklung Steuer- und Regelalgorithmen

In diesem Arbeitspaket sollten erste Entwürfe eines Steuer- und Regelalgorithmus für den optimalen Energie- und Stoffeinsatz in Gebäuden entwickelt werden. Rückwirkend auf aufgenommene Daten soll dieser Algorithmus ein theoretisches Optimum liefern, an welchem später entwickelte kausale Regler verglichen werden können.

In einem späteren Schritt sollen Methoden erarbeitet werden, mit denen die Optimierung numerisch effizient durchgeführt werden kann.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### Literaturrecherche

Es wurde eine ausführliche Literaturrecherche über den Stand der Forschung durchgeführt (vgl. Zwischenbericht Mai 2009). Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Recherche sind:

- Die modellbasierte vorausschauende Regelung wurde in der Vergangenheit an verschiedensten Arten von Gebäuden erforscht. Häufig wurde „Experten-Wissen“ ausgenutzt, um echtzeitfähige Algorithmen zu entwickeln.

- Gibt es im System binäre Stellsignale, wird die der modellbasierten vorausschauenden Regelung zu Grunde liegende Optimierung erheblich erschwert.
- Bei linearen Systemen ist die Optimierung im Gegensatz zu nichtlinearen Systemen kein Problem.
- Die heutzutage zur Verfügung stehende Computerleistung ist zu klein, um eine exakte Optimierung eines komplexen Systemes wie der Monte Rosa Hütte durchzuführen.

### Planung zusätzliche Datenpunkte

Es wurde ein Energieflussdiagramm der Hütte erstellt. Mit Hilfe dieses Diagrammes wurden in der Hütte zusätzliche Sensoren eingeplant, so dass alle Energieflüsse, der Betrieb der Anlagen und der Zustand der Speichersysteme in der Hütte gemessen werden können.

Die Messwerte der Sensoren können nun von der ETH aus online überwacht und in einer Datenbank hinterlegt werden. Zudem werden alle Massnahmen getroffen, dass die Hütte später von der ETH aus geregelt werden kann.

### Entwicklung Gebäudemodell

Für die einzelnen HLK Systeme im Gebäude wurden in Matlab/Simulink Modelle implementiert und zu einem Gesamtmodell der Hütte verbunden. Dabei wurden Modelle aus der Literatur ausgesucht, welche dem Stand der Technik entsprechen.

Da wir bis jetzt keine Messdaten zur Verfügung hatten, konnten die Modelle aber noch nicht parametrisiert und verifiziert werden.

### Entwicklung Steuer- und Regelalgorithmen

Mit Hilfe der dynamischen Optimierungsmethode *Dynamic Programming*, zu der am IDSC ein breites Wissen vorhanden ist und welche in früheren Projekten im Bereich hybrider Fahrzeugantriebssysteme erfolgreich angewendet wurde, wurde versucht, rückwirkend auf aufgenommene Daten ein theoretisches Optimum für den Betrieb der Hütte zu berechnen. Die vorhandene Computerleistung war aber für diese Grösse des Problems ungenügend. Dieses Phänomen ist als *Curse of Dimensionality* bekannt.

### Öffentlichkeitsarbeit

Aufgrund des grossen Interesses der Medien an diesem Projekt wurden verschiedene Projekt im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit realisiert.

#### Energiefluss-Visualisierung der Neuen Monte Rosa Hütte

Zusammen mit Dr. Simon Schubiger wurde eine Visualisierung des Energiemanagements entwickelt, welche dem Besucher vor Ort oder im Internet einen vereinfachten Einblick in die Energieerzeugung und den Verbrauch der Hütte gibt. Fig. 1 zeigt einen Screenshot dieser Visualisierung, welche momentan aber noch nicht online ist.

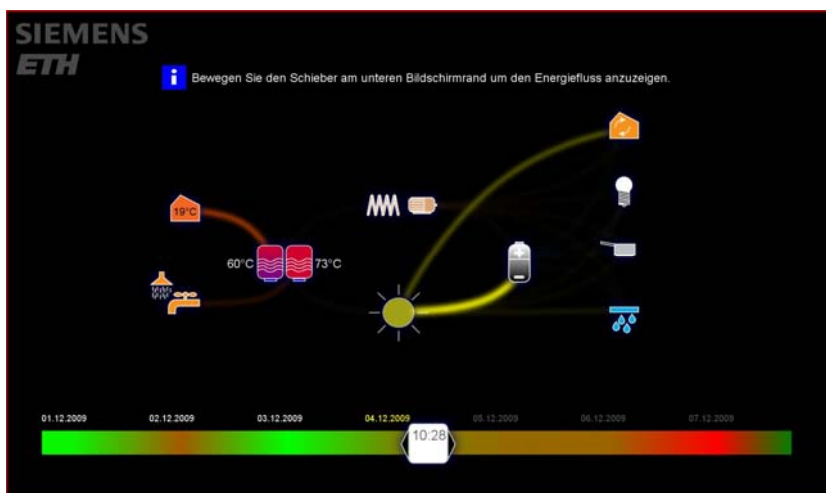


FIG. 1 DIE ENERGIEFLUSS-VISUALISIERUNG DER NEUEN MONTE ROSA HÜTTE

### *Gebäudesimulator*

Für die Swissbau 2010 wurde aufbauend auf dem mathematischen Gebäudemodell ein Gebäudesimulator entwickelt. In diesem Simulator können die Besucher ein Wetter- und Besucherprofil vorgeben und zusätzlich noch die Grösse der verschiedenen Speicher und die Grösse der Kollektoren (elektrisch und thermisch) einstellen. Der Simulator berechnet dann das Verhalten der Hütte für diesen spezifischen Fall. Damit soll eine didaktische Wirkung und eine Sensibilisierung der Bevölkerung für das Thema der Gebäudetechnik- und automation erzielt werden.

Die Visualisierung dieses Simulators wurde auch in Zusammenarbeit mit Dr. Simon Schubiger entwickelt.

*Fact sheet* [www.neuemonterosahuette.ch](http://www.neuemonterosahuette.ch)

Für die Homepage der Neuen Monte Rosa Hütte wurde ein Fact sheet über das Energiemanagement verfasst ([http://www.neuemonterosahuette.ch/pdf/Energiemanagement\\_def.pdf](http://www.neuemonterosahuette.ch/pdf/Energiemanagement_def.pdf)).

*Monografie „Neue Monte Rosa Hütte“*

Für die Monografie „Neue Monte Rosa Hütte SAC“ wurde aufbauend auf dem Fact sheet ein Beitrag geschrieben.

*Vortrag Siemens User Tagung*

Für die Siemens User Tagungen in Rüschlikon (Gottlieb Duttweiler Institute) und Lausanne (Palais de Beaulieu) wurde ein Vortrag mit dem Titel „Neue Monte Rosa Hütte, Energieeffizienz auf 2883 Meter über Meer“ gehalten.

## **Nationale Zusammenarbeit**

### **Zentrum für Integrale Gebäudetechnik, Hochschule Luzern**

Aufgrund der Projektentwicklung konnte mit der Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Integrale Gebäudetechnik der Fachhochschule Luzern erst am Ende des Berichtsjahres begonnen werden.

### **Siemens Building Technologies**

Ohne die Hilfe und den Einsatz von Siemens Building Technologies wäre das Anpassen der Programmierung der Gebäudeautomation an die aussergewöhnlichen Bedürfnisse dieses Projektes nicht möglich.

Zudem ist Siemens Building Technologies ein kompetenter Ansprechpartner bei fachlichen Problemen und für den Erfahrungsaustausch.

## **Bewertung 2009 und Ausblick 2010**

### **Vorarbeiten**

Die Messpunkte zum Aufzeichnen der wichtigsten Energieflüsse, des Betriebs der Anlagen und des Zustandes der Speichersysteme konnten identifiziert und realisiert werden. Eine Satellitenverbindung zur Hütte ermöglicht einen detaillierten Einblick in das Verhalten des Gebäudesystems und erlaubt eine kontinuierliche Optimierung während des Betriebs der Anlage – auch ausserhalb der bewarteten Zeit.

Um den Interessierten einen Einblick in den Betrieb der Anlagen und den Zustand der Speichersysteme geben zu können, wurde eine Energievisualisierung entwickelt. Als Innovation gegenüber ähnlichen Systemen kann man auf einer Zeitachse nicht nur das vergangene Verhalten der Hütte betrachten, sondern es wird, sobald es den prädiktiven Regelalgorithmus gibt, auch eine Prognose über den in den nächsten Tagen zu erwartenden Komfort in der Hütte dargestellt werden.

### **Recherche Gebäudemodell**

Da die Messdaten der Hütte erst gegen Ende des Berichtsjahres zugänglich wurden, konnte das Modell der Hütte noch nicht parametrisiert und verifiziert werden. Dies wird aber in einem Studentenprojekt im Frühlingsemester des kommenden Jahres nachgeholt.

Das ZIG passt momentan das detaillierte Gebäudemodell an die endgültigen Gegebenheiten an und klärt ab, ob eine Integration detaillierter Modelle der HLK Systeme ins detaillierte Gebäudemodell möglich ist. Es wird erwartet, dass mit dem Dreiecksvergleich zwischen regelungsorientiertem und detaillierten Gebäudemodell und Messdaten im Frühling begonnen werden kann.

### **Entwicklung Steuer- und Regelalgorithmen**

Die während der Literaturrecherche und der Anwendung des *Dynamic Programming* Algorithmus gewonnenen Erkenntnisse haben gezeigt, dass die heutzutage zur Verfügung stehende Computerleistung nicht ausreicht, um eine exakte Optimierung des Systems in genügend kurzer Zeit durchzuführen.

Um eine echtzeitfähige vorausschauende Gebäudeautomation zu entwickeln, muss daher eine vereinfachte Modellierung des Systems gefunden werden, welche eine Optimierung in Echtzeit zulässt, das System aber trotzdem noch genug genau beschreibt. Momentan wird darum an einem zweistufigem Energiemanagement-Algorithmus geforscht. In diesem Algorithmus werden in einem übergeordneten Managementlevel zuerst mit Hilfe eines einfachen Energiefluss-Modelles der Monte Rosa Hütte die optimalen Energieflüsse berechnet. Die optimalen Stellsignale für die Aktuatoren werden dann in einer zweiten, untergeordneten Stufe berechnet, so dass die in der übergeordneten Stufe optimierten Energieflüsse resultieren.