

Neue Monte Rosa-Hütte - Integrierte Haussysteme für optimale Energie- und Stoffbewirtschaftung

Dr. Michael Benz, ETH Zürich

Samuel Fux, ETH Zürich

Prof. Dr. Meinrad K. Eberle, ETH Zürich

Motivation

Die Gebäudeinfrastruktur spielt in der modernen Gesellschaft eine zentrale Rolle und die Anforderungen an die Gebäude steigen stetig. Ungefähr 40% des weltweiten Energieverbrauchs entfällt auf die Gebäudeinfrastruktur, wobei ein grosser Teil für die Raumwärme und -kühlung gebraucht, der Rest für Warmwasser, Lüftung, Haustechnik und die Beleuchtung eingesetzt wird. Der Spagat zwischen hohem Komfortanspruch und tiefem Energieverbrauch kann nur noch mit intelligenten Gebäudeautomationssystemen geschafft werden.

Gemäss Beschluss des EU-Parlaments von April 2009 müssen Neubauten in der EU ab 2019 Netto-Nullenergie-Bauten sein, d.h. sie dürfen pro Jahr nicht mehr Primärenergie verbrauchen als sie selbst produzieren. Diese Ziele sind nur mit einer lokalen Energieproduktion, wie z.B. erneuerbaren Energiequellen oder Wärme-Kraft-Kopplung-Systemen, erreichbar. Da der Ertrag von erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik oder thermischen Solarkollektoren von der Sonneneinstrahlung abhängt, ist zu erwarten, dass Gebäude in Zukunft vermehrt mit Speichersystemen ausgerüstet sein werden, um die Überproduktion von erneuerbaren Energiequellen während des Tages in der Nacht zu erschliessen.

Zusätzlich ist damit zu rechnen, dass die Fördermenge von Öl und Gas in absehbarer Zeit trotz steigender Nachfrage zurückgehen wird, was zu massiven Preissteigerungen führen wird. Die Betriebskosten der Gebäude und damit das finanzielle Optimierungspotential werden in der Folge deutlich steigen. Somit wird es entscheidend sein, die Gebäude in Zukunft ganzheitlich zu betrachten und sowohl den thermischen als auch den elektrischen Teil in die Optimierung miteinzubeziehen. 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 Energieverbrauch in einem Gebäudesystem hängt gleichermassen von den Wiedereinflüssen 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 Möglichkeiten bezüglich der Beeinflussung des Komforts und des Energieverbrauchs. Mittels eines solchen Energiemanagements kann eine höhere Energieeffizienz erreicht werden. Dieser Ansatz ist bei Neubauten wie auch bei Gebäude-

erneuerungen einsetzbar. In diesem Projekt wird dieser Ansatz auf die Spitze getrieben, indem als Zusatzziel ein nahezu CO₂-neutraler bzw. autarker Betrieb angestrebt wird.

Ziel des vorliegenden Projektes ist es deshalb, Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, mit denen das Energie- und Stoffmanagement in modernen Gebäuden optimiert und dadurch eine erhebliche Energieeinsparung realisiert werden kann.

Um alle diese Ideen in konkreten Versuchen zu testen, steht in diesem Projekt ein ideales Testobjekt, die **Neue Monte Rosa-Hütte**, zur Verfügung. Die verwendete Technik zeigt mögliche Lösungsansätze für zukünftige Nullenergie-Gebäude. Dabei stellt das komplexe Gebäudesystem der Neuen Monte Rosa-Hütte die Ingenieure vor hohe wissenschaftliche und technische Herausforderungen (Integration von solarelektrischen und –thermischen Kollektoren, Heizungs- und Warmwassersysteme, Blockheizkraftwerk, Brauchwasseraufbereitung, Abwasseraufbereitungsanlage etc.). Die grosse Ausstrahlungskraft dieses „Leuchtturm-Projekts“ wird, im Erfolgsfall, die Verbreitung der technischen Erkenntnisse erleichtern.

Das Projekt Neue Monte Rosa-Hütte im Überblick

Der Neubau der Monte Rosa-Hütte ist ein Gemeinschaftsprojekt der ETH Zürich und des Schweizerischen Alpenclubs (SAC). Die ETH Zürich will an diesem Beispiel die gelungene Verknüpfung von ausgezeichneter Architektur mit Nachhaltigkeit und modernster Technologie zeigen.

Das Projekt ist aufgeteilt in drei Phasen - eine F&E Phase I, eine Bauphase und ein F&E Phase II:

Während der sogenannten Forschungs- und Entwicklungsphase I (Mitte 2005 bis Mitte 2008) wurden grundsätzliche Studien bezüglich Architektur, Konstruktion, Baumaterialien und Haustechnik im Hinblick auf Qualität, Risiko, Logistik, Nachhaltigkeit, Termine und Kosten durchgeführt. Viele Varianten wurden studiert und wieder verworfen. Ein besonderes Augenmerk galt den Themata Logistik und Risiko. Da die Hütte auf 2883 m ü. M abseits von öffentlicher Strom- und Wasserversorgung liegt und nur mit dem Helikopter oder zu Fuss erreichbar ist, bedeutete dies, dass keine Risiken bezüglich Konstruktion, Baumaterial und Haustechnik eingegangen werden durften.

Die Bauphase begann im Sommer 2008 mit den Fundamentarbeiten und wurde im Jahr 2009 mit dem Bau der Hütte abgeschlossen.

Im Rahmen der F&E Phase II wird dieses Projekt die ETH Zürich noch weitere Jahre nach Inbetriebnahme der Hütte beschäftigen. In dieser Phase soll basierend auf der bestehenden Infrastruktur ein optimiertes Energie- und Stoffmanagement entwickelt werden, welches basierend auf den neusten Erkenntnissen der Gebäudeautomation sowie der Mess- und Regelungstechnik, eine optimale Bewirtschaftung der Hütte mit einem maximalen Energie-Autarkiegrad ermöglicht. Projektpartner der ETH Zürich in dieser F&E Phase II sind das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik der Hochschule Luzern und Siemens Building Technologies.

Haustechnik Neue Monte Rosa-Hütte

Das Energiesystem der Neuen Monte Rosa-Hütte ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Zur Energieerzeugung für die Neue Monte Rosa-Hütte stehen 84m² solarelektrische und 60.5m² solarthermische Kollektoren zur Verfügung. Diese sind in eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle integriert, bzw. in einem separaten Kollektorfeld aufgestellt und decken den grössten Teil des Energiebedarfs der Hütte ab. Zur Zwischenspeicherung von elektrischer Energie werden Batterien eingesetzt, wobei total eine Kapazität von 250 kWh zur Verfügung

steht. Für die Speicherung der Wärmeenergie für Raumheizung und Warmwasser stehen Schichtspeicher mit einem Volumen von 5.79m^3 zur Verfügung. Zusätzlich kann zur Spitzendeckung ein mit Rapsöl betriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) eingeschaltet werden. Da der Betrieb dieses Systems aber Treibstoff benötigt, der mittels Helikopter zur Hütte geflogen werden muss, soll das Blockheizkraftwerk nur dann betrieben werden, wenn die anderen Energiequellen und die im Gebäude vorhandenen Energiespeicher nicht mehr genügen.

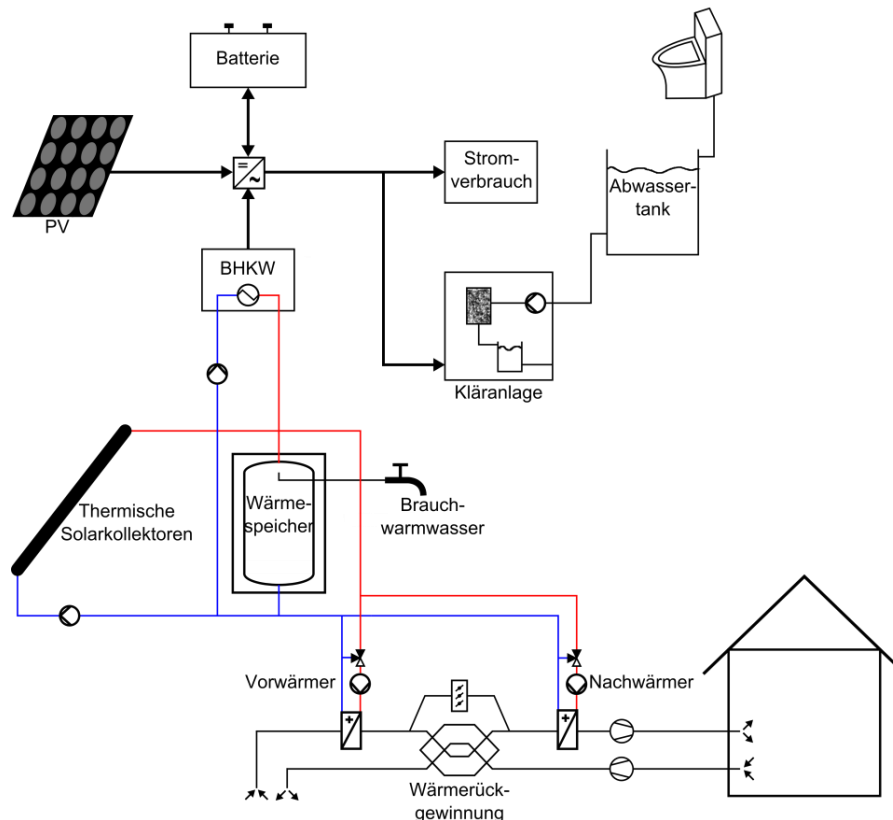


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Energiesystems der Neuen Monte Rosa-Hütte

Die Wasserversorgung erfolgt aus einer Wasserkaverne, die im Sommer mit Schmelzwasser gefüllt wird. Damit das Abwasser nicht unbehandelt in die Natur gelangt, wird es in einer Abwasseraufbereitungsanlage behandelt. Das geklärte Wasser wird anschliessend für die Toilettenspülung genutzt oder in die Umgebung geleitet. Auch dieses Subsystem wird sinnvollerweise in das Energienetz integriert, da zur Wasseraufbereitung grosse Mengen an elektrischer Pumpenergie benötigt werden. Das anfallende Abwasser kann deshalb wenige Tage in einem Abwassertank (3.3m^3 Speichervolumen) gespeichert werden, so dass die Abwasseranlage in Abhängigkeit der verfügbaren Energiemengen betrieben werden kann. Hier besteht eine grosse Einflussmöglichkeit auf die Erhöhung des Autarkiegrades.

Als Basis für das zu entwickelnde Energie- und Stoffmanagement dienen Messdaten aus dem Gebäudeautomationssystem sowie Messdaten der Wetterstation, Wettervorhersagen und Daten aus einem Reservationssystem:

- Vom Gebäudeautomationssystem werden über 150 Datenpunkte wie Messungen von Sensoren, Stellgrößen und Betriebsarten aufgezeichnet und via Satellit an die ETH Zürich überwiesen.
- 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. Die Wetterstation Monte Rosa-Plattje, welche sich ca. 20m neben der Hütte befindet, wurde speziell für dieses

Projekt installiert, um bessere Wetterprognosen für den Standort der Hütte zu erstellen.

- Informationen zu der Anzahl Übernachtungen werden aus einem Buchungssystem des Schweizerischen Alpenclubs (SAC) erhalten. Mit Hilfe dieser Information können Verbraucher-Prognosen erstellt werden.

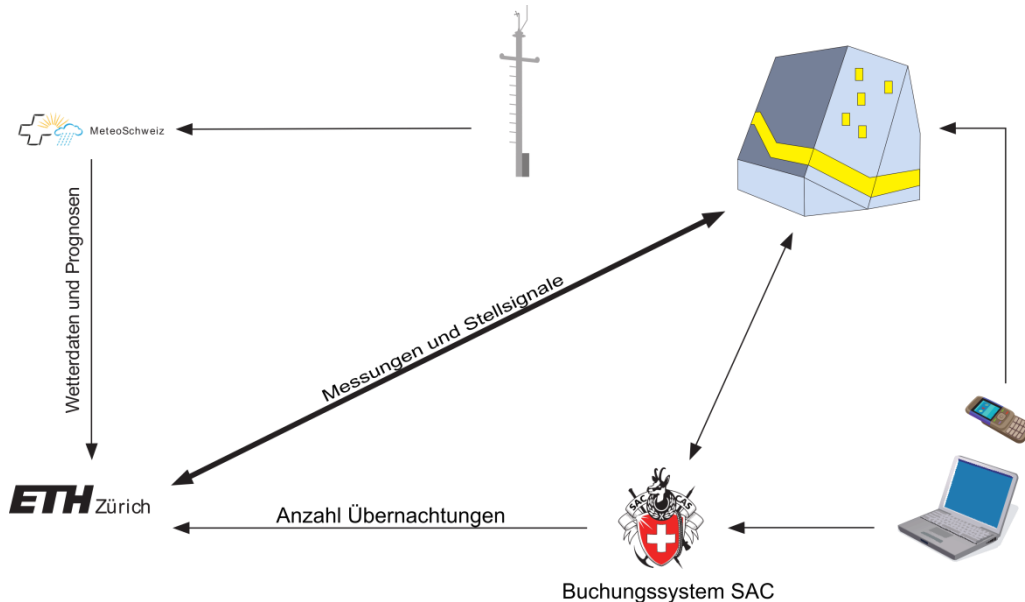


Abbildung 2: Übersicht der verschiedenen Informationskanäle der Neuen Monte Rosa-Hütte (Bildquelle: Novotny R., Bulletin SEV/VSE)

Modellprädiktives Energie- und Stoffmanagement am Beispiel der Neuen Monte Rosa-Hütte

Um all diese zusätzlichen Informationen, wie zum Beispiel die Anzahl Besucher, optimal in die Regelstrategie einzubinden, wird in diesem Projekt eine modellprädiktive Regelstrategie gewählt. Dank der modellbasierten Regelung können die zukünftigen Energieverbräuche und –erträge abgeschätzt werden und ebenfalls in die Regelstrategie einfließen. Der modellprädiktive Regler berechnet dann in jedem Zeitschritt die optimalen Stellsignale für die nächsten fünf Tage. Das Energie- und Stoffmanagement verwendet dann jeweils die für den ersten Zeitschritt berechneten optimalen Stellsignale. Ein Zeitschritt später beginnt das Spiel von vorne und es werden wieder die optimalen Stellsignale für die nächsten 5 Tage berechnet. Mit dieser Strategie kann sich das Energie- und Stoffmanagement immer optimal an neue Gegebenheiten wie z.B. neue Wetterprognosen anpassen.

Das vorteilhafte Verhalten eines solchen modellprädiktiven Energie- und Stoffmanagements ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.

Nach einem Wochenende mit Spitzenbelegung würde eine normale Gebäuderegulierung sofort damit beginnen, das Abwasser im vollen Abwassertank zu klären. Da die Kläranlage viel Energie braucht und die Hütte am Montag und Dienstag keine Energie von der Sonne erhält, sinkt der Batterieladestand gegen Null, so dass am Dienstag das Blockheizkraftwerk zugeschaltet werden muss. Wegen des schönen Wetters in der zweiten Wochenhälfte ist am Ende der Woche die Batterie wieder geladen und der Abwassertank leer, so dass man auf das neue Wochenende vorbereitet ist. Da die Batterie schon ab Donnerstagmorgen voll geladen ist, kann aber die Sonnenenergie von Donnerstag und Freitag nicht mehr genutzt werden.

Die modellbasierte, vorausschauende Regelung hingegen weiss aus Wetter- und Besucherprognosen, dass es in der zweiten Wochenhälfte wieder schönes Wetter geben wird und dass es unter der Woche wenig Gäste haben wird. Da wenig Gäste aber einen kleinen Energieverbrauch und eine geringe Abwasserproduktion bedeuten, wartet die vorausschauende Regelung und fängt erst am Mittwoch, wenn es wieder genügend Sonnenenergie gibt, damit an, das Abwasser im Abwassertank zu klären. Auch mit dieser Regelung ist jedoch am Ende der Woche die Batterie geladen und der Abwassertank leer. Das Resultat der beiden Regelungen ist somit das gleiche – bei der modellbasierten vorausschauenden Regelung musste jedoch das Blockheizkraftwerk nicht in Betrieb genommen werden.

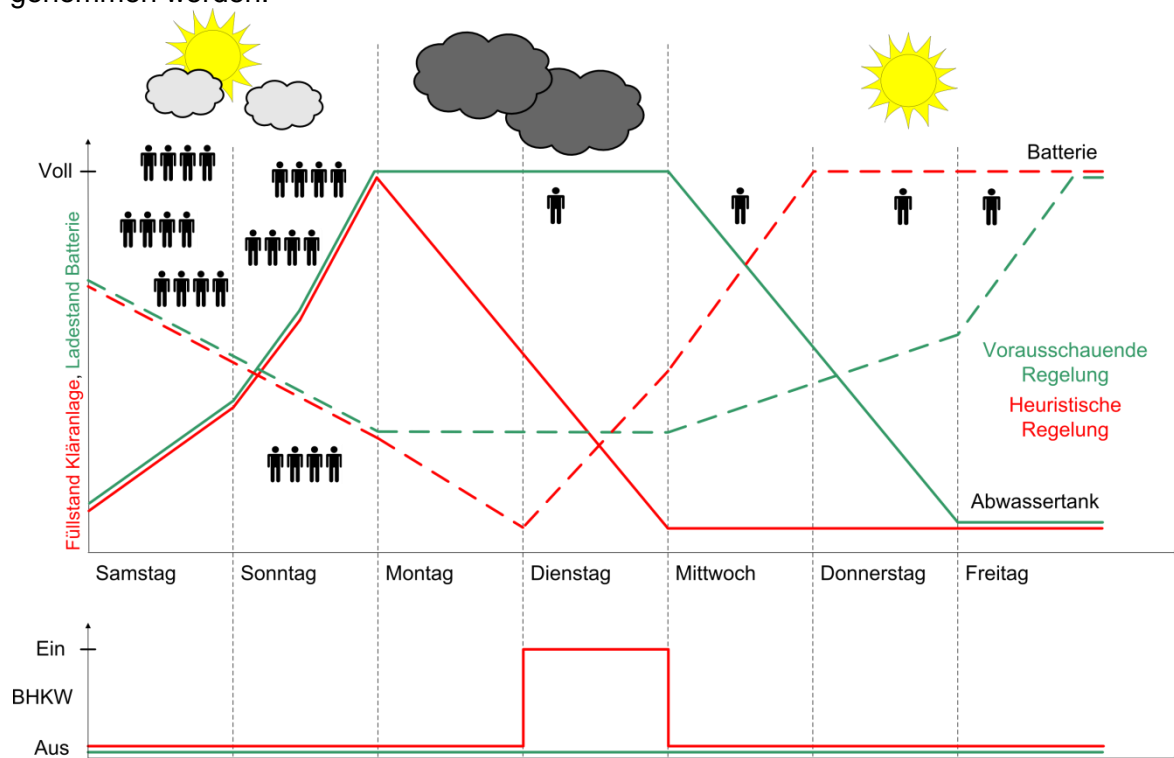


Abbildung 3: Beispielhaftes Verhalten eines modellprädiktiven Energie- und Stoffmanagements

Vorgehen

Das Forschungsprojekt F&E Phase II ist in folgende Arbeitspakete gegliedert:

Vorbereitung Testobjekt

Um die zu entwickelnden Modelle mit realen Messdaten vergleichen zu können, wurden noch während der Realisierungsphase der Neuen Monte Rosa-Hütte zusätzliche Sensoren eingeplant und eingebaut. Ausserdem wurden Schnittstellen vorbereitet, damit das System von der ETH Zürich aus überwacht und die zu entwickelnden Algorithmen in die Standardsteuerung implementiert werden können.

Entwicklung mathematische Modelle

Dieses Projekt verfolgt die Entwicklung von mathematischen 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.

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 numerisch effizient durchgeführt werden kann.

Bevor die entwickelten Algorithmen im Testobjekt implementiert werden, werden sie in Simulationen an den detaillierten Modellen getestet.

Implementierung im Demonstrationsobjekt und Optimierung im Betrieb

Im letzten Arbeitspaket des Forschungsprojektes wird das zu entwickelnde Energie- und Stoffmanagement in die Gebäudeautomation der Neuen Monte Rosa-Hütte integriert und während der ersten Betriebsphase optimiert.