

NEUE MONTE-ROSA-HÜTTE: SIMULATIONEN FÜR EINE ENERGIEAUTARKE ALPENHÜTTE

Urs-Peter Menti¹, Iwan Plüss¹, Matthias Sulzer²
¹Hochschule Luzern – Technik & Architektur
 Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw, Switzerland
 Kontakt: urs-peter.menti@hslu.ch
²Lauber IWISA, Naters, Switzerland

KURZFASSUNG

Die Neue Monte-Rosa-Hütte soll in der Jahresbilanz zu 90% energieautark sein. In der Konzeption wird weniger auf Experimente und Highend-Technologie gesetzt sondern auf bewährte Komponenten, welche aber intelligent kombiniert werden. Für die Dimensionierung der Komponenten, aber auch für die Modellierung des Systemverhaltens wurden Simulationen eingesetzt. Die Simulationen dienen einer hohen Planungssicherheit zur Erreichung der ambitionierten Ziele.

Nach Inbetriebnahme der Hütte (Frühjahr 2010) hat eine zweite Forschungsphase begonnen: Mit einer vorausschauenden Regelung (model predictive control) soll die Energieeffizienz weiter erhöht werden. Die entwickelten Regelstrategien werden vorerst mittels Simulationen getestet, bevor sie ins Energiemanagement der Hütte implementiert werden.

ABSTRACT

The new Monte Rosa Hut fulfills not only aesthetic demands, it is expected to reach a 90 percent self-sufficiency in energy. The way to reach this aim consists not of experiments or high-end components: it's the intelligent combination of all the subsystems into a fully integrated system. Simulations are not only used to dimension the components, they are also used to optimize the interaction of all elements of the system. The simulations provide accurate predictions of performance and hence permit to achieve the ambitious goals.

Energy management plays an important part in achieving a high degree of self-sufficiency. Optimized energy management employs technology that is conventional and tried and tested, such as the smart integration of all components into a complex overall system, resulting in a high energy efficiency. For instance, data such as weather forecast and expected visitor numbers will be fed into the energy management system for model predictive control. In other words, dynamic boundary conditions will be taken into account. Before implemented in the energy management system, newly developed strategies are tested by simulation.

EINLEITUNG

Die Neue Monte-Rosa-Hütte steht quasi auf einer Insel: Sie ist nur zu Fuss, auf Skiern oder per Helikopter erreichbar. Eine Anbindung an eine Energieversorgung ist ebenso wenig vorhanden wie der Anschluss an ein Wasser- oder Abwassernetz. Um die Anzahl der Versorgungsflüge per Helikopter möglichst gering zu halten, wird betreffend Wasser- und Energiehaushalt eine hohe Autarkie von 90% (ohne Kochen; mit Kochen: 60-70%) angestrebt. Dies bedeutet, dass nur 10% des Energiebedarfs mit dem Helikopter eingeflogen werden sollen.

Diese „Insel-situation“ hat aber noch eine weitere Konsequenz: Es ist nicht opportun, an diesem Standort neue Komponenten und Geräte zu erforschen oder noch nicht ausgereifte Spitzentechnologie einzusetzen, was beides mit einem hohen Betreuungsaufwand verbunden wäre. Gesucht sind zwar effiziente, aber gleichermassen robuste sowie zuverlässige Komponenten. Massgebend ist deshalb vielmehr die optimale Einbindung dieser Komponenten ins System.

FRAGESTELLUNG

Die Gebäudetechnik der Neuen Monte Rosa-Hütte ist zentrales Element bei der Erfüllung der hohen Anforderungen. Energieeffiziente Anlagen und Geräte sorgen für einen tiefen Energiebedarf. Aber es stehen weniger die einzelnen Komponenten im Vordergrund, sondern die Optimierung des Gesamtsystems Gebäude. Dabei wird auf bewährte Komponenten gesetzt, Ventile und Pumpen werden möglichst eliminiert, auf ein konventionelles Heizsystem wird verzichtet und Luftverteilkänaäle werden weggelassen. So können die Zielsetzungen primär mit Intelligenz statt mit Technik zuverlässig erreicht werden.

Simulationen sollen bei diesem fein austarierten System eine hohe Planungssicherheit gewährleisten. Die Komponenten (vor allem die Speicher) werden so optimal dimensioniert, um nicht unnötigen Platzbedarf bzw. unnötige Kosten zu generieren. Mit Hilfe von Grenzkostenüberlegungen auf Basis von Simulationsergebnissen sind die richtigen (d.h. wirtschaftlichsten) Massnahmen zu suchen.

KONZEPT

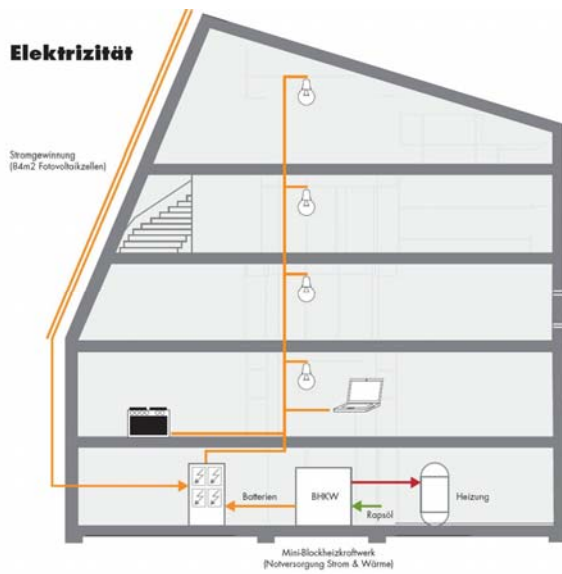


Abb. 2: Konzept Elektrizität (Bild Lauber IWISA)

Mittels der in die Südfassade integrierten Photovoltaikanlage (84 m² aktive Fläche) wird Strom erzeugt und in Batterien gespeichert. Aufgrund der Höhenlage und der Reflexion des umliegenden Schnees ist der Ertrag dieser Anlage bis doppelt so hoch wie im Flachland. Die Elektrizität wird für die Beleuchtung, fürs Kochen und für den Betrieb der verschiedenen Geräte und Anlagen verwendet. Neben dem Kochen ist vor allem die Abwasserreinigungsanlage ein grosser Stromverbraucher. Gekocht wird so oft wie möglich mit Strom – eine Anzeige informiert den Hüttenwart, wann er aufgrund eines zu tiefen Ladezustandes der Batterien auf Gasbetrieb umstellen soll.

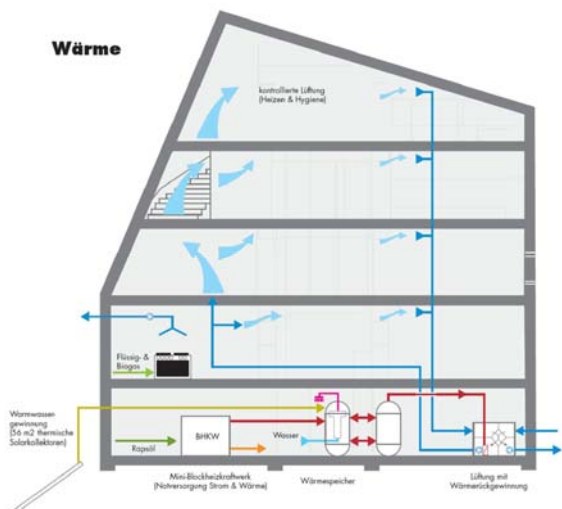


Abb. 3: Konzept Wärmeversorgung (Bild Lauber IWISA)

Unterhalb der Hütte an eine Felswand montierte Solarkollektoren (56 m² aktive Fläche) gewinnen solare Wärme und führen diese den Wärmespeichern zu. Damit wird Warmwasser erzeugt und die Zuluft der Lüftungsanlage erwärmt, um die Räume zu temperieren. Die Lüftung dient gleichzeitig der Wärmeverteilung im Gebäude. Die Zuluft strömt via Treppenhaus in die einzelnen Räume, wird dort abgesogen und zentral über eine WRG (mit Bypass) geführt. Das Warmwasser wird zum Kochen und – falls überschüssige Energie vorhanden ist – für die vier Warmwasserduschen im Gästebereich verwendet.

Aus Sicherheitsgründen und für Perioden mit ungenügendem Energieertrag steht ein mit Rapsöl betriebenes Blockheizkraftwerk zu Verfügung, welches im Bedarfsfall sowohl Wärme als auch Strom produziert.

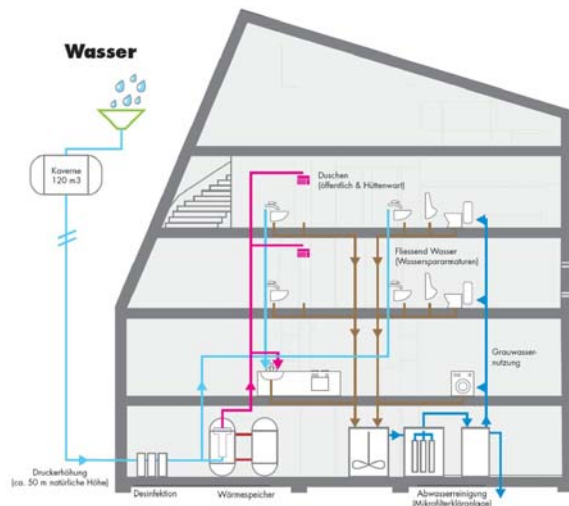


Abb. 4: Konzept Wasser / Abwasser (Bild Lauber IWISA)

Das während wenigen Monaten im Jahr anfallende Schmelzwasser wird gesammelt und in einer Kaverne (200 m³ Bruttovolumen) oberhalb der Hütte gespeichert. Die natürliche Höhendifferenz von 40m zwischen Kaverne und Hütte sorgt für genügenden Wasserdruck so dass keine Druckerhöhungsanlage notwendig ist (Reduktion Energieverbrauch, weniger Technik). Das dank der Kaverne ganzjährig verfügbare Frischwasser wird zum Kochen, Waschen, Putzen und für die Körperhygiene verwendet. Das Abwasser wird in einer Mikrofilteranlage auf bakterieller Basis gereinigt, als Grauwasser für die WC-Spülung und zum Waschen wiederverwendet oder gereinigt an die Umgebung zurück gegeben. Fließendes Wasser und wassergespülte Toiletten sind Annehmlichkeiten, welche sowohl die Gäste wie der Hüttenwart zu schätzen wissen werden.

SIMULATIONEN

Simulationen werden hauptsächlich für folgende fünf Fragestellungen eingesetzt:

- Ermittlung der thermischen Behaglichkeit in einzelnen Räumen
- Dimensionierung der einzelnen Anlagen (insbesondere der Speicher)
- Variantenentscheide unter Berücksichtigung der Grenzkosten (maximale Energieeinsparung bei minimalen Investitionen)
- Ermittlung der Luftqualität im Schlafraum bei unkonventioneller Luftführung
- Testen und optimieren des Energiemanagement-Systems

Die Fragestellungen a) und b) werden mittels konventionellen thermischen Raumsimulationen mit dem Programm „IDA Klima und Energie“ (Version 4.0) beantwortet. Aufgrund der Situation, dass fast jeder Raum unterschiedliche Randbedingungen (Geometrie, Nutzung, etc.) aufweist, ist ein aufwändiges, mehrzoniges Simulationsmodell nötig (siehe Abbildung 5).

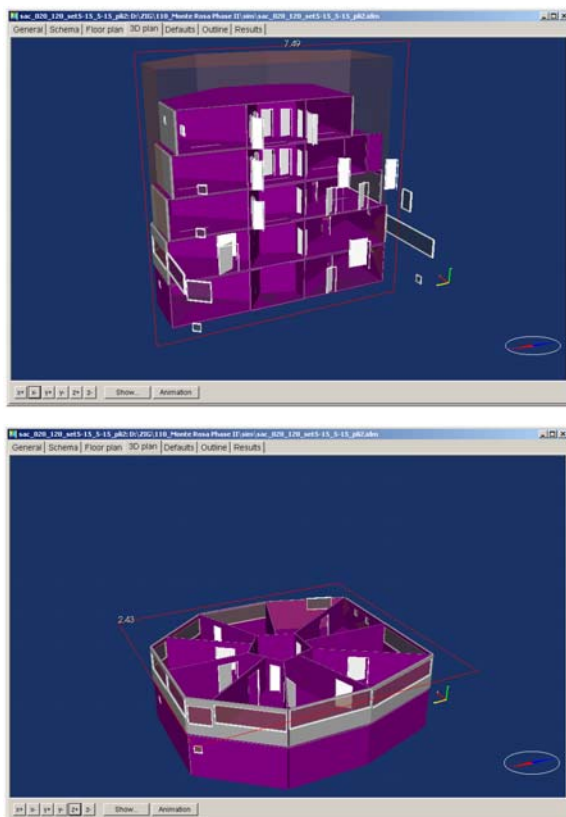


Abb. 5: Darstellung des Simulationsmodells der Neuen Monte-Rosa-Hütte (Simulationen mit IDA Klima und Energie 4.0)

Eine Frage aus dem Bereich c) (Variantenentscheide) war, ob besser in eine sehr gute Gebäudehülle investiert wird oder ob mit der gleichen Investitionssumme besser mehr Solarfläche (thermisch und/oder Photovoltaik) installiert wird. Da die Hütte nur von März bis Oktober in Betrieb ist, zeigt die Grenzkostenbetrachtung, dass besser in mehr solare Gewinnflächen investiert wird als in eine auf Stand Minergie-P (bzw. Passivhaus) gedämmte Gebäudehülle. Abbildung 6 zeigt stellvertretend für die Untersuchungen die Abhängigkeit zwischen Dämmstandard, Flächenbedarf für die Solaranlagen (thermisch und Photovoltaik), den Investitionen auf Seite Gebäudetechnik und dem damit erzielbaren Autarkiegrad.

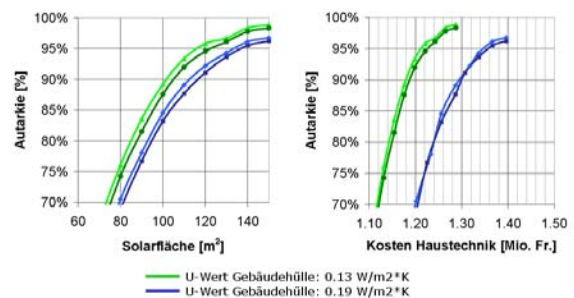


Abb. 6: Abhängigkeiten zw. Autarkiegrad, Solarfläche (thermisch / Photovoltaik), Dämmstandard der Gebäudehülle und Investition Gebäudetechnik

Eine weitere Fragestellung war die Luftführung in den Schlafräumen (d): Um auf Kanäle in den Zwischendecken verzichten zu können, war es wünschenswert, die Abluft direkt oberhalb der Zimmertüren abzusaugen und die (nachts relativ zur Raumlufttemperatur eher kühle) Zuluft über Türschlitze unten nachströmen zu lassen. Diese Luftführung birgt jedoch das Risiko, dass es zu einem Strömungskurzschluss kommt und somit der Raum nur ungenügend durchströmt wird.

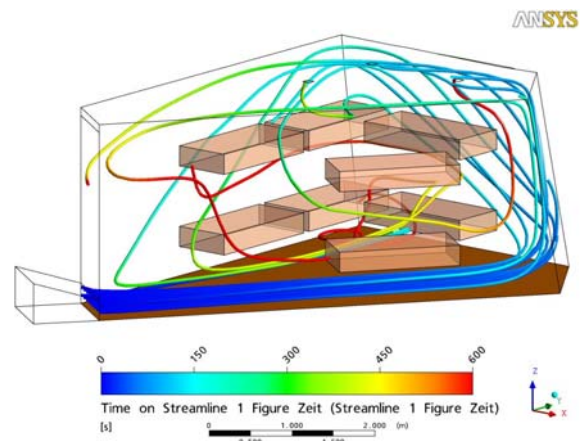


Abb. 7: Luftströmungssimulationen für einen Schlafraum (Simulationen mit ANSYS)

CFD-Simulationen mit ANSYS zeigten jedoch, dass der Kurzschlussanteil bei belegtem Raum relativ gering sein wird und mit dieser Luftführung eine genügende Lüftungseffizienz gewährleistet ist. Somit konnte auf eine Abluftabsaugung im Fensterbereich verzichtet werden und es brauchte keine Lüftungskanäle in der Zwischendecke, was den (Holz-)Bau kompliziert und verteuert hätte.

Die ersten thermischen Simulationen zeigten schnell, dass für die Erreichung der Autarkieziele dem Energiemanagement, also der Verknüpfung der einzelnen Komponenten, eine grosse Bedeutung zukommen wird. Neben der Verknüpfung der Komponenten soll das Energiemanagement zusätzlich die Wetterprognosen und die erwarteten Gästezahlen berücksichtigen (siehe Abbildung 8). Mit dieser vorausschauenden Regelung (model predictive control) können vor allem die Speicher (Wärmespeicher, Batterien, Tanks der Abwasseranlage) optimal bewirtschaftet werden. Damit lässt sich der von aussen zuzuführende Energiebedarf nochmals reduzieren.

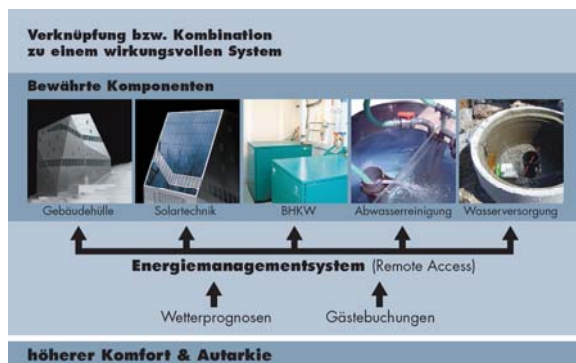


Abb. 8: Energiemanagement als zentrales Element einer hohen Energieeffizienz, inkl. Berücksichtigung der Besucher- und Wetterprognosen

Das Prinzip und der Vorteil der vorausschauenden Regelung gegenüber einer „konventionellen“ Regelung wird in Abbildung 9 erläutert.

Die konventionelle Regelung kennt nur den aktuellen Zustand des Gebäudes und der Speicher. Nach einem Wochenende mit hoher Belegung, vollem Abwassertank und halbleeren Batterien folgt eine Schlechtwetterperiode. Der Betrieb der Abwasserreinigungsanlage lässt den Batteriestand gegen Null sinken, worauf das Blockheizkraftwerk (BHKW) in Betrieb genommen wird. Am darauffolgenden Wochenende sind die Batterien voll und der Abwassertank leer.

Die vorausschauende Regelung kennt die Wetter- und die Besucherprognosen: Im Wissen, dass unter der Woche wenig Gäste die Hütte besuchen werden

und in der zweiten Wochenhälfte wieder schönes Wetter vorherrschen wird, wartet das Energiemanagement mit der Reinigung des Abwassers zu und leert die Batterien fast komplett. Am Wochenende sind aber auch so die Batterien wieder voll und der Abwassertank leer – jedoch ohne dass das BHKW in Betrieb genommen werden musste.

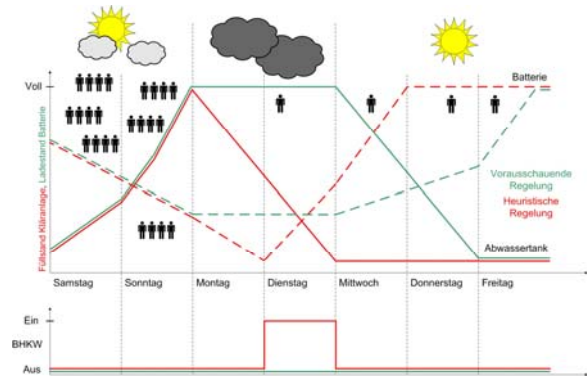


Abb. 9: Funktionsweise der vorausschauenden Regelung im Vergleich zu einer „konventionellen“ Regelung (vereinfacht) (Bild: ETH Zürich, Prof. L. Guzzella, D-MAVT)

Die Implementierung der vorausschauenden Regelung erfolgt erst in den ersten Betriebsjahren der Hütte und ist Bestandteil eines aktuell laufenden Forschungsprojektes (ETH Zürich, Siemens, Hochschule Luzern; Co-Finanzierung durch Bundesamt für Energie). Die im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Regelalgorithmen und Parametereinstellungen werden vorerst am Simulationsmodell getestet und dann im realen Betrieb der Hütte verwendet. Ausführliche Messungen begleiten diese Projektphase und ermöglichen es, die Simulationsmodelle auch entsprechend zu validieren.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die Betrachtung und Optimierung des Gebäudes als System überfordert das menschliche Hirn. Nur dank Simulationen können die komplexen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Systemkomponenten erfasst, modelliert und analysiert werden. Dank dieser gesamtheitlichen Betrachtung kann eine präzisere Planung erfolgen und ansonsten unberücksichtigte Phänomene können im Planungsprozess entsprechend berücksichtigt werden.

Die Einzigartigkeit der Situation erfordert diese präzise Planung. Simulationen leisten einen wichtigen Beitrag zu einer hohen Planungssicherheit und bieten hohe Gewähr, dass das System optimal ausgelegt ist. Aber auch für den Betrieb lassen sich dank Simulationen frühzeitig die bestmöglichen Einstellungen ermitteln, so dass die zwangsläufig notwendige Pha-

se der Betriebsoptimierung nach Inbetriebnahme reduziert werden kann.

Oft wird auch die Frage gestellt, ob es legitim ist, an einem so extremen, speziellen Standort Forschung zu betreiben oder neue Lösungen bzw. neue Lösungsansätze auszuprobieren. Forschung bedeutet aber immer, an die Grenzen des Möglichen zu gehen, um neue Ansätze zu entwickeln. Ohne diese Herausforderung bleibt die Forschung ohne Ergebnis. Gleichzeitig darf dadurch aber das Projekt und der eigentliche Zweck einer SAC-Hütte nicht gefährdet oder tangiert werden. Diese Gratwanderung zwischen Forschung (Fortschritt) und Standard (Robustheit) galt es in diesem Projekt zu meistern. Die Erkenntnisse aus dem ganzen Projekt und der Ansatz, das Gebäude als Gesamtsystem zu betrachten und zu optimieren haben grosse Chancen, auch bei Objekten im Flachland nutzbringend umgesetzt werden zu können. Die Neue Monte-Rosa-Hütte ist zwar eine Insellösung, aber durchaus mit Festlandpotenzial.

BETEILIGTE

An Planung und Bau der Neuen Monte-Rosa-Hütte waren unter anderem die folgenden Institutionen beteiligt:

Forschungsphase I

Studio Monte Rosa, CH-8093 Zürich

Assistenzprofessur für Architektur und Digitale Fabrikation, Departement Architektur (D-ARCH), ETH Zürich, CH-8090 Zürich

Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), Departement Bau, Umwelt und Geomatik (BAUG), ETH Zürich, CH-8090 Zürich

Institut für Mess- und Regeltechnik, Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik (D-MAVT), ETH Zürich, CH-8090 Zürich

Institut für Umweltingenieurwissenschaften (IfU), Departement Bau, Umwelt und Geomatik (BAUG), ETH Zürich, CH-8090 Zürich

Empa Materials Sciences & Technology, CH-8600 Dübendorf

Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG), Hochschule Luzern – Technik & Architektur, CH-6048 Horw

Generalplaner Monte Rosa

Bearth & Deplazes Architekten AG, CH-7000 Chur
architektur + bauprozess!, CH-8093 Zürich

Architektur + Design GmbH, CH-3920 Zermatt

Lauber IWISA AG, CH-3904 Naters

Forschungsphase II

Institut für Mess- und Regeltechnik, Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik (D-MAVT), ETH Zürich, CH-8090 Zürich

Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG), Hochschule Luzern – Technik & Architektur, CH-6048 Horw

Siemens (Suisse) SA, Building Technologies Group, CH-6300 Zug

SOFTWARE

EQUA Simulation AB, 2010, IDA Indoor Climate and Energy 4.0.

ANSYS Inc., 2010, ANSYS 12