

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 101 (2010)
Heft: (10)

Artikel: Prognose können den Autarkiegrad der Monte-Rosa-Hütte noch erhöhen
Autor: Novotny, Radomir
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856137>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Prognosen können den Autarkiegrad der Monte-Rosa-Hütte noch erhöhen

Eine modellbasierte vorausschauende Gebäudeautomation soll die Verwendung der gespeicherten Energie optimieren

Die neue Monte-Rosa-Hütte SAC – eines von 50 Projekten zum 150. Geburtstag der ETH Zürich – deckt bereits heute bei mittlerer Auslastung mit bewährter Gebäudetechnik ihren Energiebedarf zu rund 90 % selbst. Nun läuft an der ETH Zürich ein Projekt, das die Gebäudeautomation um den Faktor «Prognose» erweitern und dadurch die Autarkie der Hütte noch erhöhen möchte. Der Einbezug der Wetter- und Nutzerprognosen soll die Energienutzung intelligent machen.

Radomir Novotny

Fernab der Zivilisation, ohne Zugang zu Strom- und Wassernetz, steht auf 2883 m Höhe die neue Monte-Rosa-Hütte des SAC (Bild 1). Sie bietet Alpinisten eine komfortable Übernachtungsmöglichkeit, bei der die Innenräume den landschaftlich spektakulären Ort architektonisch reflektieren [1]. Bei der Hütte steht auch die Nachhaltigkeit im Vordergrund. Die mit Fotovoltaik, Sonnenkollektoren, Schmelzwassersammelbecken, Gebäudeisolation und ausgeklügelter Gebäudeautomation ausgestattete SAC-Hütte erreicht bei einer mittleren Auslastung (rund 60 Besucher) und gutem Wetter eine energetische Autarkie von rund 90 %. Dies mutet, bei einer solch exponierten Lage und mit den an sie gestellten Ansprüchen bezüglich Komfort, als rekordverdächtig an.¹⁾

Die Gebäudeautomation spielt dabei eine nicht unbedeutende Rolle. Ihre Entwicklung setzt sich aus zwei Phasen zusammen: einer realisierten [2] und einer noch zu realisierenden [3].

Mit Bewährtem Höchstleistungen erzielen

Die erste Phase bestand aus dem Design der konventionellen Gebäudetechnik. In dieser hauptsächlich durch die Fachhochschule Luzern durchgeführten Projektphase (2005 bis 2008) stand das Design des Gebäudes – die Auswahl und Dimensionierung der Komponenten – im Vordergrund. Das Ziel war es, mit be-

währten, zuverlässigen Komponenten eine 90%ige Autarkie bei mittlerer Auslastung des Gebäudes zu erreichen und genügend Frischwasser zur Verfügung zu haben. Eine höhere Autarkie wäre natür-

lich technisch möglich, aber weder ökologisch noch ökonomisch vertretbar. Der Aufwand, um diese Autarkie zu erreichen, würde durch den überproportionalen Mehraufwand an grauer Energie (viel grössere Kollektorfläche und grösserer Speicheraufwand) den Aufwand für die Helikopterflüge übersteigen. Bei mittlerer Auslastung können die sowieso stattfindenden Helikopter-Versorgungsflüge auch zum Transport von Brennstoff für das Blockheizkraftwerk ausgenützt werden. Zusätzliche Brennstoff-Transportflüge müssen nur dann durchgeführt werden, wenn die Auslastung der Hütte hoch bzw. das Wetter schlecht ist.

Ein Aspekt des neuen Konzepts war, die Hütte so zu gestalten, dass sie bereits konstruktionsbedingt möglichst energieeffizient ist. Für das Frischwasser musste beispielsweise bei der alten SAC-Hütte



Bild 1 In der Nacht ist die Monte-Rosa-Hütte (Südostansicht) auf die in den Batterien gespeicherte Energie angewiesen.

ETH-Studio Monte Rosa/Tonatiuh Ambrosetti

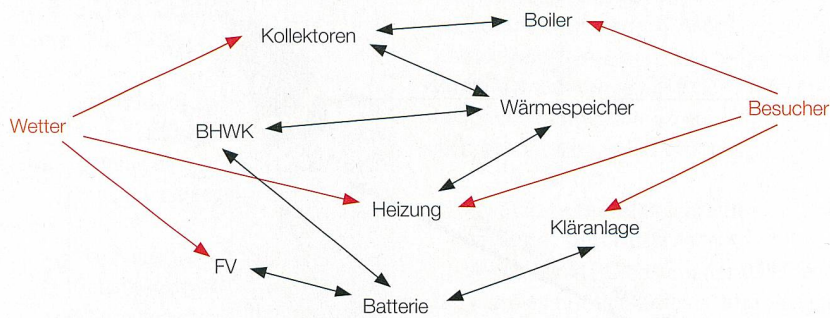


Bild 2 Die Wetter- und Besucherprognosen (rot) werden nun zu den bisherigen Elementen stossen, um das Zusammenspiel im Hinblick auf maximale Autarkie zu optimieren.

viel Energie zum Schmelzen von Schnee eingesetzt werden. Um diese Energie bei der neuen Hütte einzusparen, wurde etwa 50 m oberhalb der Hütte eine 200-m³-Kaverne zum Einfangen von dem während wenigen Monaten anfallenden Schmelzwasser gebaut. Dies ist einer der Gründe, wieso bei der neuen Hütte lediglich ein Drittel der CO₂-Emissionen anfällt wie bei der alten [4].

Bei der Gebäudetechnik hat man sich bewusst für die bewährtesten, qualitativ hochwertigsten Komponenten entschieden, denn Prototypen hätten den Unterhaltsaufwand erhöht – die zusätzlich benötigten Helikopterflüge wären mit der angestrebten Nachhaltigkeit nicht vereinbar gewesen. Zuverlässigkeit war gefragt. Der Einsatz bestehender Kompo-

nenten bedeutet aber nicht, dass keine Forschung betrieben wurde. Die Forschung betrifft das Energiemanagement, d.h. die Steuerung dieser konventionellen Komponenten, um das energetische Optimum für die Hütte zu erzielen.

Die anschliessende Bauphase wurde 2008 mit dem Bau des Fundaments und des Eisengerüsts begonnen. Die eigentliche Hütte wurde 2009 – durch gutes Wetter begünstigt – innerhalb von 21 Wochen gebaut.

Gebäudetechnik

Das in der Monte-Rosa-Hütte installierte System setzt sich zusammen aus einer Fotovoltaikanlage (diffuses Licht kann umgesetzt werden), einem Sonnenkollektor (benötigt für den Betrieb direk-

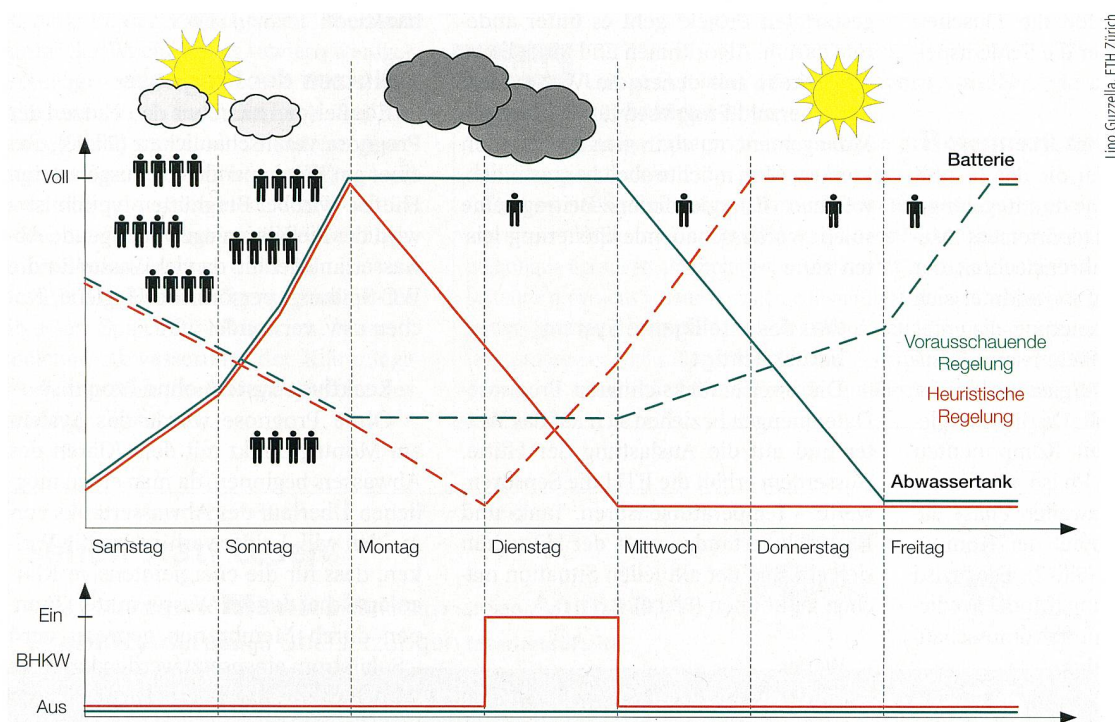
tes Sonnenlicht, durch Wolken verursachtes diffuses Licht kann nicht genutzt werden) und einem Batteriespeicher, der Strom in der Nacht und an bedeckten Tagen liefert.

Bei längeren Schlechtwetterperioden kann das Warmwasser bzw. können die Batterien mit einem zurzeit mit Rapsöl betriebenen Notstromgenerator (Blockheizkraftwerk, BHKW), bei dem auch die Wärme genutzt wird, wieder aufgeladen werden. Da die Verwendung von Rapsöl zur Energieerzeugung aus ethischer Sicht nicht einwandfrei ist – die Verwendung von Lebensmitteln zur Energieerzeugung wird zunehmend heftig kritisiert –, sind Bestrebungen im Gange, diese Biomasse der ersten Generation durch synthetischen Diesel, der auf Biomasseabfall basiert, baldmöglichst zu ersetzen. An der CO₂-Bilanz des Rapsöls gibt es nichts auszusetzen.

Recycling des Wassers

Das aus der Kaverne kommende Wasser wird desinfiziert, vorgeheizt und unter anderem zum Duschen verwendet. Das verbrauchte Wasser wird in einem Tank, der mit einer Biokläranlage verbunden ist, aufgefangen. Das geklärte Wasser wird erneut gespeichert und als Grauwasser für die WC-Spülung und für Waschmaschinen genutzt oder gereinigt an die Umgebung abgegeben.

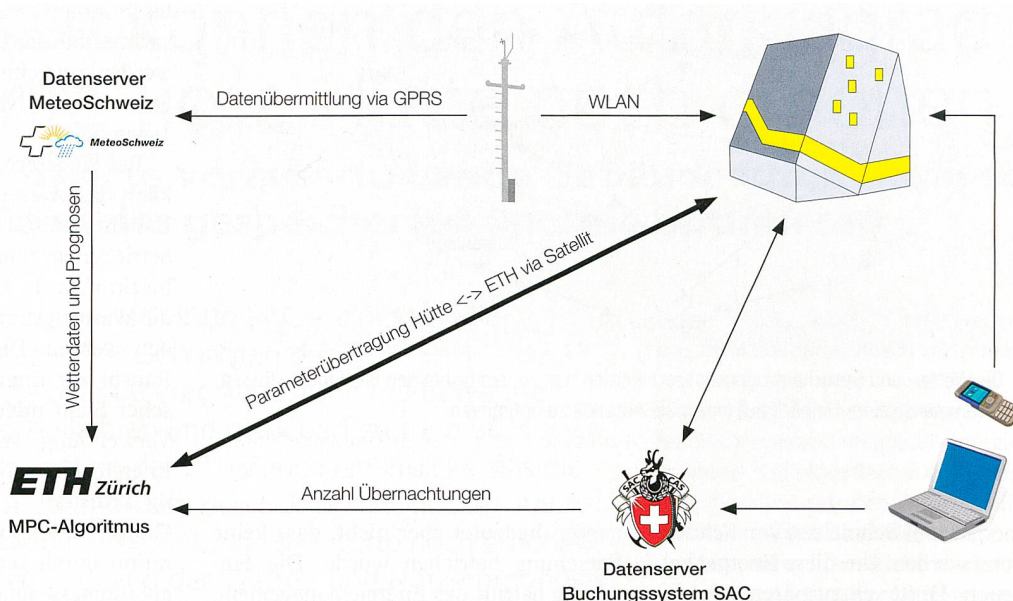
Die Kläranlage ist energieintensiv, da das Wasser durch eine Mikrofilteranlage



Lino Guzzella, ETH Zürich

Bild 3 Der Einbezug der Prognose ermöglicht es dem System, den Betrieb der Kläranlage um zwei Tage zu verschieben (Abwassertank bleibt zwei Tage gefüllt) und so den Betrieb des BHKW zu vermeiden.

Bild 4 Die Wetterprognosedaten basieren auf den durch Meteo Schweiz aufbereiteten Daten der Wetterstation bei der Hütte; die Besucherprognose basiert auf dem SAC-Buchungssystem.



Lino Guzzella, ETH Zürich

auf bakterieller Basis mittels Pumpen gepresst wird.

Recycling der Wärme

Für die Heizung wird die kalte Abluft zuerst durch die warme Abluft vorgewärmt. Dann wird sie mit der Wärme aus den durch die unterhalb der Hütte aufgestellten Solarkollektoren geheizten Schichtspeichern (isolierte Wassertanks) aufgeheizt und über die Lüftungskanäle im Gebäude verteilt. Bei fehlender Sonneneinstrahlung wird mit dem BHKW geheizt.

Das Warmwasser für die Duschen wird hauptsächlich über die Schichtspeicher erzeugt.

Prognosen sparen Brennstoff

Die zweite Phase, für die das Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik (IDSC) am Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETH Zürich zuständig ist, widmet sich der Entwicklung der Steuerung, die unter Berücksichtigung der Wetter- und Besucherprognosen die Energieautarkie der Hütte noch steigern soll. Da die Energieeffizienz der einzelnen Komponenten bereits in der ersten Phase maximiert wurde, geht es in der zweiten Phase darum, das Zusammenspiel der Komponenten zu optimieren (Bild 2). Dies wird mit einer MPC-Steuerung (Model Predictive Control, modellbasierte vorausschauende Regelung) geschehen.

Diese Phase, das letzte noch laufende Projekt jener Projekte, die zur Geburts-

tagsfeier der ETH Zürich lanciert wurden, stützt sich auf die bereits in der SAC-Hütte installierte Hardware ab. Es wird «lediglich» eine neue Software entwickelt, die die Prognose in die Gebäudetechniksteuerung integriert. Die neue Software wird also die bestehende Hardware steuern.

Die Einbindung der Wetterprognose und der künftigen Belegungszahlen (Anmeldungen) macht aus einer rein reaktiven Gebäudeautomation ein intelligentes System, das die Energienutzung noch weiter optimiert. In diesem im Jahre 2008 gestarteten Projekt geht es unter anderem darum, Algorithmen und Modelle zu entwickeln, mit denen die Wetter- und Besucherzahl-Prognosen für das Energiemanagement nutzbar gemacht werden können. Man möchte auch herausfinden, welchen Energieeffizienz-Beitrag eine solche vorausschauende Steuerung leisten kann.

Was das intelligente System berücksichtigt

Die zwei berücksichtigten Prognose-Datenmengen beziehen sich auf das Wetter und auf die Auslastung der Hütte. Ausserdem erhält die ETH die Sensorenwerte – Temperatursensoren, Tank- und Batterieladestände usw. – der Hütte, um sich ein Bild der aktuellen Situation machen zu können (Bild 4).

Wetter

In der Nähe der Hütte befindet sich eine Wetterstation, die Daten an Meteo

Schweiz liefert. Meteo Schweiz schickt die aufbereiteten aktuellen Daten alle 10 Minuten an die ETH und ergänzt sie mit Prognosen.

Besucherzahl

Da sich die Besucherzahl auf die Innentemperatur und auf den Wasserverbrauch der Hütte auswirkt, ist es sinnvoll, die aktuellen und die prognostizierten Besucherzahlen in das System mit einzubeziehen. Die aktuellen Zahlen kommen vom Hüttenwart, die vorhergesagten von der SAC-Buchungsdatenbank.

Nutzen der Prognose

Ein Beispiel kann uns den Nutzen der Prognose veranschaulichen (Bild 3). Bei einer am Wochenende voll ausgelasteten Hütte – was bei Berghütten typisch ist – wird der die Kläranlage versorgende Abwassertank gefüllt, da viel Wasser für die WC-Spülung, persönliche Hygiene, Kochen usw. verwendet wird.

Reaktives System ohne Prognose

Ohne Prognose würde das System am Montag direkt mit dem Klären des Abwassers beginnen, da man einen möglichen Überlauf des Abwassertanks vermeiden will. Leider verhindern die Wolken, dass für die energieintensive Kläranlage – bei der das Wasser mittels Pumpen durch Membranen gepresst wird – Solarstrom eingesetzt werden kann. Es wird Batteriestrom verbraucht. Da am Dienstag die Batterien beinahe leer sind,

Monte-Rosa-Hütte SAC

Technische Daten

Elektrizität:

Fotovoltaik:	84 m ²
Peak-Leistung Fotovoltaik:	16 kW
Batterie:	ca. 250 kWh
Notstromaggregat:	12 kW _{el}

Wärme:

Mechanische Lüftung	
Solkollektoren:	60,5 m ²
Wärmespeicher:	2 × 2200 l
Kombispeicher:	1146 l/286 l
Notstromaggregat:	27 kW _{th}

wird der «Notstromgenerator» eingeschaltet, um sowohl den Klärprozess weiter zu betreiben als auch die Batterie zu laden. Als am Mittwoch die Sonneneinstrahlung die Stromproduktion wieder ermöglicht, ist der Klärprozess bereits abgeschlossen und die Batterien sind zur Hälfte geladen. Nach einem Tag sind die Batterien vollständig gefüllt, und der Überschuss an Sonnenenergie der folgenden Tage kann nicht verwertet werden.

Intelligentes System mit Prognose

Anders sieht es beim vorausschauenden System aus: Da die Prognose eine geringe Auslastung der Hütte in den nächsten Tagen – es fällt kaum Abwasser an – und «Sonne ab Mittwoch» vorausagt, wartet das System mit der Aktivierung der Kläranlage bis Mittwoch, denn es besteht keine Gefahr, dass der Abwassertank in der Zwischenzeit überläuft (unter der Woche hat es sowieso weniger Besucher und das schlechte Wetter hält Alpinisten noch zusätzlich ab). Das Abwasser kann somit mit Solarstrom gereinigt werden, der Tank ist am Freitag leer, bereit für ein gästeintensives Wochenende. Bei dieser Wetter- und Auslastungskonstellation spart man sich den Einsatz des BHKW. Der intelligente Einsatz der diversen Speicher – Batterien, Wärmespeicher, Abwassertank der Kläranlage – erhöht somit die Energieeffizienz des gesamten Systems.

Selbstverständlich lässt sich die Prognose auch für andere Aspekte des Gesamtsystems einsetzen, beispielsweise für das Wärmemanagement der Hütte, wobei die Gebäudehülle so gut isoliert, dass sich das Heizen meist erübrigt.²⁾

Vorausschauendes System entlastet den Hüttenwart

Wenn das MPC-System der ETH fertig ist, kann es mit den Sensor- und Prognosedaten das optimale Stellsignal berechnen und via Satellit an die Hütte senden (Bild 4). Der Hüttenwart wird durch diese optimale Steuerung entlastet und kann sich auf die Bewirtung der Gäste konzentrieren. Samuel Fux, der als Doktorand in diesem Projekt den Algorithmus entwickelt, sieht es als seine Aufgabe, dafür zu sorgen, dass es für die vorausschauende Steuerung keine Supercomputer braucht, die die Nachhaltigkeit des Projekts infrage stellen würden. Seine Herausforderung ist es, «das Problem so zu formulieren, Modelle zu finden [...], dass es ein normaler Computer lösen kann». Dies hat ihn die letzten zwei Jahre beschäftigt und wird ihn noch weiterhin beschäftigen.

Literatur

ETH Zürich (Hrsg.), Neue Monte-Rosa-Hütte SAC. Ein autarkes Bauwerk im hochalpinen Raum, GTA Verlag, 2010.

Links

- www.neuemonterasahuette.ch
- www.idsc.ethz.ch
- www.hslu.ch/technik-architektur

Referenzen

- [1] Andrea Deplazes, Marcel Baumgartner: «Architektur», in Neue Monte-Rosa-Hütte SAC, 101.
- [2] Matthias Sulzer, Urs-Peter Menti: «Energie- und Gebäudetechnik», in Neue Monte-Rosa-Hütte SAC, 172 ff.
- [3] Lino Guzella, Samuel Fux: «Gebäudeautomation», in Neue Monte-Rosa-Hütte SAC, 175 ff.
- [4] Melanie Goymann, Mathias Wittenwiler, Stefanie Hellweg: Environmental Decision Support for the Construction of a «Green» Mountain Hut, Environmental Science and Technology 42 (11), 4060–4067.

Angaben zum Autor



Radomir Novotny, El.-Ing. HTL, ist Redaktor beim Bulletin SEV/VSE. Er war viele Jahre in der technischen Redaktion sowohl bei Dienstleistungs- als auch bei industriellen Unternehmen in den Bereichen Digital Imaging, Medizinal- und Energieerfassungselektronik tätig.

Electrosuisse, 8320 Fehraltorf,
radomir.novotny@electrosuisse.ch

¹⁾ Die 90%-Autarkie kann heutzutage nicht erreicht werden, da die Hütte bei schönem Wetter meist komplett ausgebucht ist und nebst den Gästen, die dort übernachten, nicht angemeldete Tagesgäste, die den 12-stündigen Ausflug auf sich nehmen, sowie Wanderer, die neben der Hütte ihre Zelte aufstellen, die Infrastruktur der Hütte benutzen. Die energieintensive Kläranlage muss fast doppelt so lang betrieben werden wie vorgesehen – der Einsatz des Blockheizkraftwerks ist deshalb unumgänglich.

Genaue Energieautarkiezahlen des Hüttenbetriebs liegen zurzeit nicht vor, da der Ertrag der Solarzellen durch den Helikopterunfall vom 5. Juni 2010 (NZZ, 5. Juni 2010) gemäss Prof. Meinrad Eberle (ETH Zürich) um rund 30 % reduziert wurde.

²⁾ Die Besucher heizen die Hütte durch ihre Körpertemperatur auch mit. Im Winter wird die unbewohnte Hütte aus Frostschutzgründen mit dem Blockheizkraftwerk auf minimal 5 °C gehalten.

Résumé

Les prévisions peuvent encore améliorer la capacité d'autarcie de la cabane du Mont Rose

Un système domotique prédictif modélisé doit permettre d'optimiser l'utilisation de l'énergie stockée

A l'heure actuelle, la nouvelle cabane du Mont Rose CAS couvre elle-même, lors de conditions moyennes d'exploitation, déjà 90 % de ses besoins en énergie grâce à une technologie domotique éprouvée. Un projet est actuellement en cours à l'EPF Zurich afin d'intégrer le facteur « prévisions » dans le système domotique, et ainsi augmenter encore l'autarcie du refuge. La prise en compte des prévisions météorologiques et de taux d'occupation devrait faire progresser l'utilisation intelligente de l'énergie. Cet article présente le système domotique actuel et le futur système de contrôle prédictif modélisé (MPC).

No

Anzeige

Sehen statt Lesen

Fotos + Illustrationen **Manuals** Risikoanalysen **Animation**
Usability GUI Design Übersetzungen **Internetauftritt**



ergo use swiss
ergonomic design and usability

ergo use swiss ag, Luppmenstrasse 1, CH-8320 Fehraltorf, Telefon +41 43 443 86 86, www.ergouse.ch