



**Jahresbericht 2010, 31. Dezember 2010**

---

# **Optimierung der Einbindung eines 28m<sup>3</sup> Wasser Speichers in die Beheizung und die WW-Versorgung eines EFH mit W/W- Wärmepumpe und Solarkollektoren**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

Viessmann (Schweiz) AG, CH-8957 Spreitenbach  
EIA-FR (Ecole d'ingénieurs et d'architectes Fribourg), CH-1705 Fribourg  
STE-FR (Service de transports et d'énergie Fribourg), CH-1701 Fribourg

**Auftragnehmer:**

EIA-FR  
Boulevard de Pérolles 80  
CH-1705 Fribourg  
[www.eia-fr.ch](http://www.eia-fr.ch)

**Autoren:**

Peter Kurmann, EIA-FR, [peter.kurmann@hefr.ch](mailto:peter.kurmann@hefr.ch)  
Thierry Ursenbacher, EIA-FR, [thierry.ursenbacher@hefr.ch](mailto:thierry.ursenbacher@hefr.ch)  
Alain Tenconi, EIA-FR, [alain.tenconi@hefr.ch](mailto:alain.tenconi@hefr.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Thomas Kopp

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** SI/500503-01 / SI/500503

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

# Zusammenfassung

Simulationen an einem Pilotobjekt (EFH mit 185m<sup>2</sup> EBF, gebaut nach SIA380/1:2009) mit Solarkollektoren (40m<sup>2</sup>), einer W/W Wärmepumpe (6.4kW) mit einer Erdsonde (150m) sowie zwei thermischen Speicher mit Wasser (1: ungeschichtet, 28m<sup>3</sup>, 2: geschichtet, 1.65m<sup>3</sup>) sollen die Schwachstellen der konventionellen, heute üblichen Systemsteuerungen verdeutlichen.

In der ersten Phase dieses Projekts wurde das Gebäude, welches gleichzeitig das Versuchslabor für die Thermik Abteilung der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (EIA-FR) ist, eine Simulation vom jährlichen Energieverbrauch gemacht. Anschliessend wurden die technischen Einrichtungen, darunter der „saisonale“ 28m<sup>3</sup> Speicher, der Nutzspeicher und die Solar Kollektoren während mehreren Tagen mit und ohne Heizlast simuliert und mit realen Messdaten validiert.

Die Resultate der ersten Simulationen zeigen gute Übereinstimmungen mit der Wirklichkeit, und werden die Optimierung der Ansteuerungsparameter ermöglichen, sobald die restlichen Bauteile vollständig modelliert und validiert wurden.

Die Gesamtbilanz nach den ersten Monaten Betrieb (ohne Optimierungen) zeigt, dass das berechnete Potential des Gesamtsystems (solar und WP) bei weitem nicht ausgeschöpft wurde. Für den berechneten jährlichen Heizwärmebedarf von 10'800 kWh [1] und den WW-Wärmebedarf von 3'400 kWh [2] wurden 3'730 kWh Elektrizität verbraucht, was einer JAZ von 3.8 entspricht. Erfahrungsgemäss wird das Gebäude nach der Trocknungsphase seiner Betonstruktur weniger Wärme benötigen, und eine höhere JAZ (mit Optimierungen JAZ > 8) wird erwartet.

Die Simulationen vom Gebäude werden hauptsächlich mit dem CARNOT Blockset [3] durchgeführt und die Versuchsplanung für die Optimierung der Ansteuerung mit ModeFrontier [4].

## Abstract

Simulations of a pilot object (single family home with 185m<sup>2</sup> heated surface area, built in 2009 respecting the SIA80/1 norm) with solar panels (40m<sup>2</sup>), a W/W heat pump (6.4kW) with a geothermal probe (150m) as well as two thermal storages containing water (1: non-stratified, 28m<sup>3</sup>, 2: stratified, 1.65m<sup>3</sup>) will help identify the weak spots of conventional, commonly used system controls.

In a first stage of this task, the building and its technical installations were examined. Additionally, a simulation of the annual heating energy consumption was established. Furthermore, the seasonal storage, the utility storage and the solar panels were simulated during several days with and without heating load and validated based on real measured data.

The point balance after the first year of operation (without optimisations) shows that the calculated potential is far from being reached. For the calculated annual heating demand of 10'800 kWh [3] and the DHW demand of 3'400kWh [4], 3'730kWh of electricity were consumed, corresponding to a SPF of 3.8. Generally, after the drying phase of its concrete structure, the heating consumption of the building diminishes, and a higher SPF (with optimisations SPF > 8) can be expected.

Simulations of the building are mainly realised by the use of CARNOT Blockset [1] and the design of experiments for the optimisation of the control-system with ModeFrontier [2].

## Einleitung / Projektziele

Die heute zur Verfügung stehenden Anlagen zur „umweltfreundlichen“ Gebäudeheizung und Warmwasser Erzeugung (Wärmepumpen, Erdsonden, Solarkollektoren etc.) sind zwar sehr beliebt und weit verbreitet, oft machen jedoch schlechte Ansteuerungen deren Vorteile zunichte, und die theoretisch mögliche, maximale Leistungen werden nicht erreicht. Die Folge davon ist, dass die Amortisationszeit länger wie vorgesehen ausfällt, und in der Gesamtbilanz der Anlage mehr Non-Renewable-Energy (NRE) verbraucht wird. Auf der Basis von Simulationen auf Matlab-Simulink [4] und Lesosai [1] werden Optimierungs-Algorithmen [4] angewendet um die Steuerung und den Betrieb einer Pilotanlage zu verbessern. Die Hauptziele bei der Optimierung sind: Reduktion des Verbrauchs von Primärenergie und Reduktion der Betriebskosten. Nebenziele vom Projekt sind: Spitzenstromzeiten vermeiden, Risiko-basierte Regelung der WW-Bereitstellung, Lerneffekte von Systemregelung und Wettervorhersagen in Steuerung integrieren.

Insbesondere werden Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Anlagen untersucht um die grössten Verbesserungspotentiale zu finden, und um Konflikte bei der Steuerung zu identifizieren, welche die Energiebilanz verschlechtern. Aus den Resultaten sollen einfache Regeln zur optimierten Steuerung für kombinierte Solar Kollektoren – WP Anlagen, bzw. Integration von Saisonspeichern folgen, welche an heute zur Verfügung stehenden Steuerungen den Stromverbrauch senken und somit die Energiebilanz der Systeme erhöhen.

Die Resultate werden sowohl am Pilotobjekt (unten beschrieben), wie auch an zwei weiteren ähnlichen EFH mit kombinierten Solar Kollektoren – Wärmepumpe getestet und validiert.

## Beschreibung des Pilotobjekts

Das Versuchslabor liegt in Hauteville (FR) beim Greizersee und hat eine EBF von 185m<sup>2</sup>. Es wird von einer 4-köpfigen Familie bewohnt. Das Haus ist an einer sonnigen Lage (leichte Verschattung am Morgen wegen Voralpen im Osten) gebaut und das 30°geneigte Dach mit den Solarkollektoren ist nach Westen ausgerichtet. Das Gebäude wurde bereits in der Planungsphase von der EIA-FR mitgeplant und finanziell unterstützt. Als Bedingung für die Subvention mussten alle Systeme und Kreisläufe mit Temperatursonden, Durchflussmeter und Stromzähler ausgerüstet werden und alle Monitoring Daten vollumfänglich der EIA-FR zur Verfügung gestellt werden.

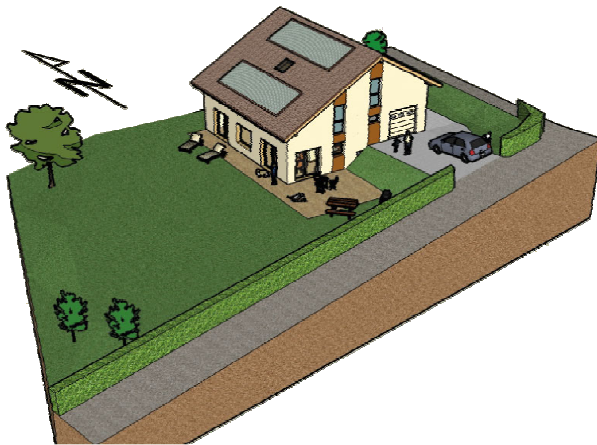


Abb. 1: Pilotobjekt mit Solar Kollektoren, Wärmepumpe und 28m<sup>3</sup> Saisonspeicher

Die Solar Kollektoren sind Flachkollektoren von Winkler Solarsysteme und wurden direkt im Dach integriert. Die Leitungen sind zwischen der Wandstruktur (Backstein-Mauer) und der Isolation verlegt, bzw. unter den Dachziegeln auf dem Dach.

Die Wärmepumpe ist eine NATURA WW106 von SATAG mit 6.4kW Leistung. Sowohl der Quellenseitige wie der Wärmeseitige Kreislauf sind mit Wasser (ohne Antifriermittel) gefüllt. Die Erdsonde hat eine Tiefe von 150m und führt in Sandstein (Subalpine Molasse).

Der Nutzspeicher ist ein „Geysir“ von Zeeh Heiztechnik und hat eine Trennscheibe sowie Leitbleche und einen Wärmetauscher mit Schichteinspeisung für den Solarkreislauf, um die thermische Schichtung zu gewährleisten. Das Sanitäre WW wird mit einem reinen Durchlaufsystem zubereitet. Der „saisonale“ Speicher besteht aus einem 28m<sup>3</sup> Edelstahltank welcher mit einer 8cm dicken Schicht EPS Schicht isoliert wurde (U-Wert: 0.6 W/m<sup>2</sup>K), jedoch keine Schichtentrennung hat.

Das Haus hat in allen Zimmern Bodenheizungen (insgesamt auf einer Fläche von 185 m<sup>2</sup>).

### Hydraulisches Schema

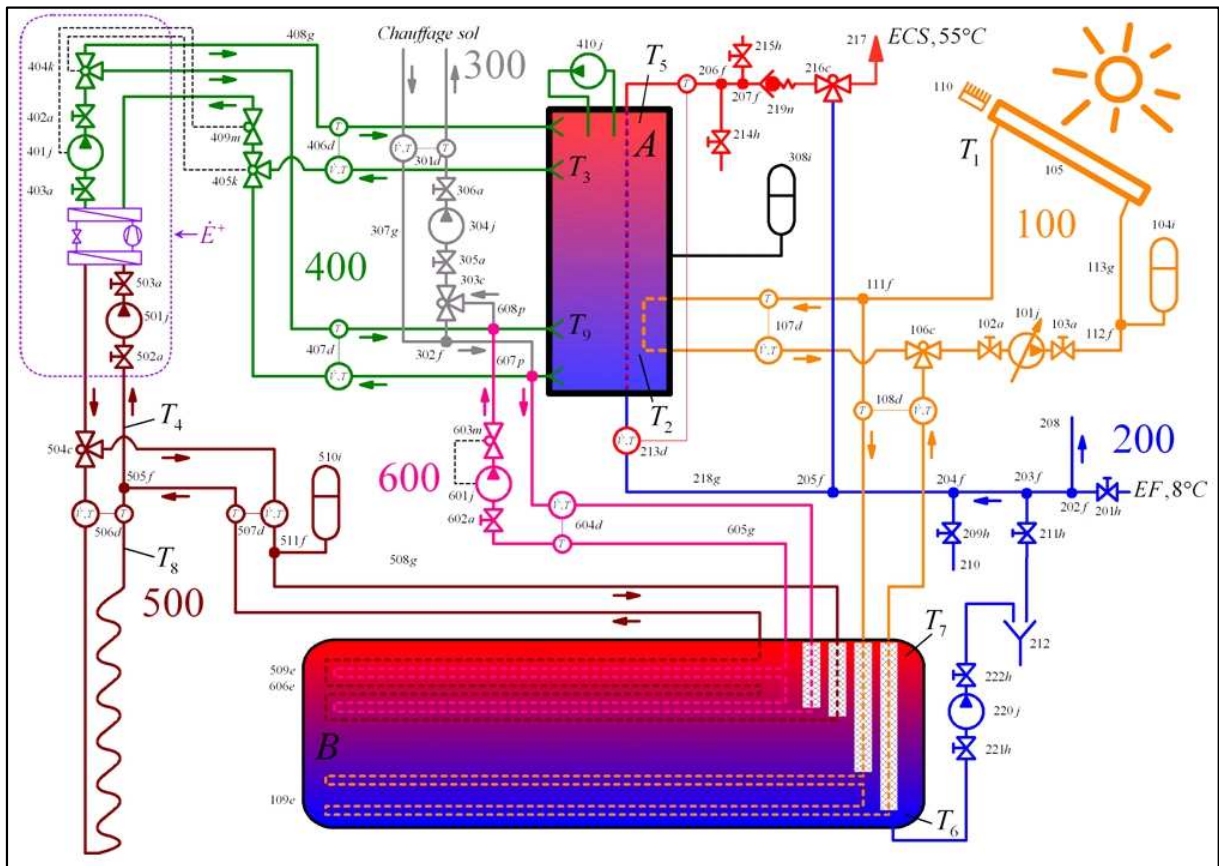
Die komplette Verbindung der verschiedenen Installationen erlaubt viele verschiedene Kombinationen bei der Steuerung des Gesamtsystems. Unten werden tabellarisch die verschiedenen Ansteuerungsmöglichkeiten der einzelnen Anlagen dargestellt.

Anlage	Quellen	Senken
<b>Solarkollektoren</b>	Nutzspeicher	Sonne
	Saisonspeicher	Umgebungstemperatur
<b>Erdsonde</b>	Erdreich	Wärmepumpe
<b>Nutzspeicher</b>	Solarkollektoren	WW
	Wärmepumpe	Bodenheizung
<b>Saisonspeicher</b>	Solarkollektoren	Wärmepumpe
		Bodenheizung
		Nutzspeicher

Tab. 1: Anlagen mit Quellen und Senken

Die Steuerung wurde vorerst nach „normalen“ Einstellungen geregelt. Das heisst, dass die Solaranlage bei einer bestimmten Temperatur den Speicher ein- und auch ausschaltet. Ebenso wird auch die Wärmepumpe ein- und ausgeschaltet um die erforderlichen Temperaturen für WW-Versorgung wie auch Bodenheizung zu gewährleisten (Temperatur-Differenz Regler).

Die Bodenheizung ist mit einer witterungsabhängigen Temperaturregelung gesteuert. Diese läuft unabhängig von den anderen Kreisläufen.



**Abb. 2: Hydraulisches Schema von der technischen Anlage vom Pilotobjekt. Gelb: Solarkreislauf; Blau: Kaltwasser; Pink: Saisonspeicher „B“ zu Nutzspeicher „A“; Braun: Vom Saisonspeicher zur Wärmepumpe; Grün: Von der Wärmepumpe zum Nutzspeicher (zwei Schichthöhen); Grau: Bodenheizung; Rot: sanitäres Warmwasser**

Alle Anlagen, sowie Verbindungsrohre und Zirkulationspumpen sind durch Temperatursonden, Durchflussmesser, Stromzähler etc. angeschlossen und ermöglichen somit eine vollständige Überwachung der Vorgänge.

## Simulation vom Gebäude

Für die Simulation vom Gebäude wurden die exakten Dimensionen den Bauplänen entnommen. Für die Baumaterialien, Türen, Fenster etc. wurden die Herstellerangaben übernommen. Vereinfachungen wurden gemacht bei der thermischen Kapazität der opaken Bauteile (Aussen- und Innenwände, Dach, Böden) sowie vom betonierten Fundament im Keller.

Die meteorologischen Informationen für die Simulation stammen aus der Meteoschweiz Datenbank für die nächstgelegene registrierte Ortschaft (Marsens SIA 381/2).

Mit den folgenden U-Werten für die verschiedenen Bauteile ergeben sich nach der „Nachweis Berechnung“ aus der SIA380/1 Norm [2] ein Heizwärmebedarf von 10'800 kWh [1] und ein WW-Wärmebedarf von 3'400kWh (entspricht 160l WW pro Tag).

Element	Fläche	U-Werte
<b>Dach</b>	66m <sup>2</sup> à 30° West 66m <sup>2</sup> à 30° Ost	0.22 W/m <sup>2</sup> K
<b>Hüllenteile</b>	160m <sup>2</sup>	0.25 W/m <sup>2</sup> K
<b>Fenster</b>	32.6m <sup>2</sup>	1.72 W/m <sup>2</sup> K (Uf)
<b>Boden gegen Erdreich</b>	122m <sup>2</sup>	0.4 W/m <sup>2</sup> K

Tab. 2: U-Werte und Flächen der Gebäudehülle für die Simulationen

### Simulationsprogramme

Das Gebäude wurde zuerst mit Lesosai [1] und Bsol [5] simuliert und anschließend in Simulink mit der Carnot Toolbox [3] modelliert. Während in Lesosai vor allem für den Nachweis nach SIA-Baunormen berechnet wird, spezialisiert sich Bsol darauf, die Schwachstellen des Gebäudes zu finden, um Verbesserungen zu machen, vor allem mit einer effizienten Nutzung der solaren Wärmegewinne. Simulink wurde eingesetzt wegen der vielfältigen Anpassungsmöglichkeiten, der vollständigen Kontrolle der Berechnungen, sowie der Integrierbarkeit des Programms in Modefrontier [4], welches für die optimierte Versuchsplanung mit genetischen Algorithmen verwendet wird.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### Gebäudesimulation

Die Gebäudesimulation gibt sowohl den sommerlichen Wärmeüberschuss wie auch die thermische Trägheit vom Gebäude wieder. Die gemessenen Werte stimmen punktuell mit den Simulationen überein, eine Langzeit Messung konnte aber wegen technischen Problemen mit dem Datenerfassungsmodul noch nicht realisiert werden.

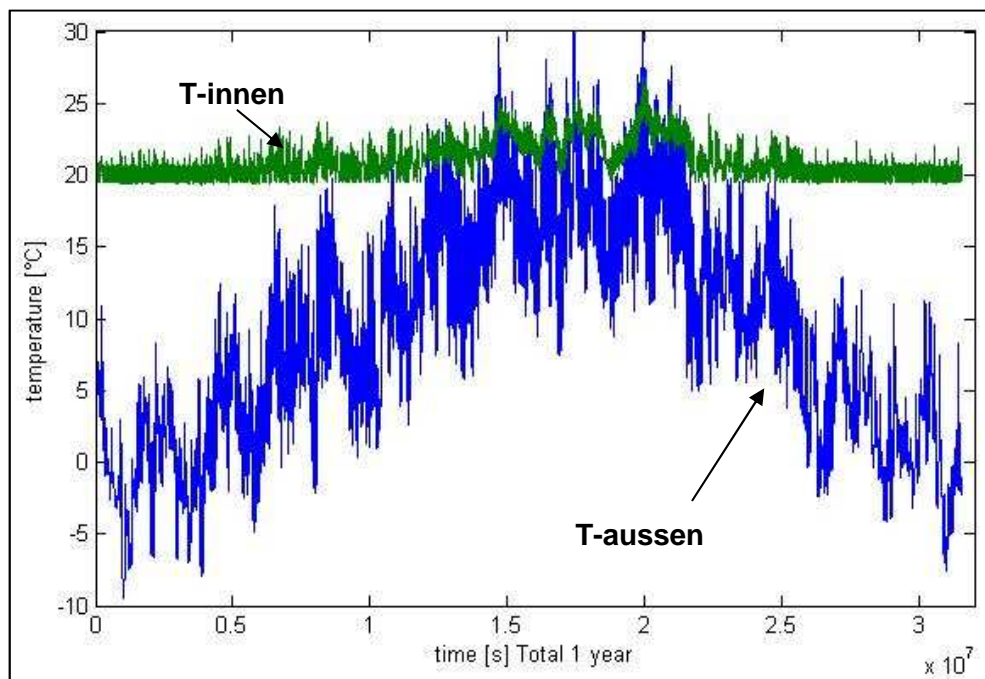
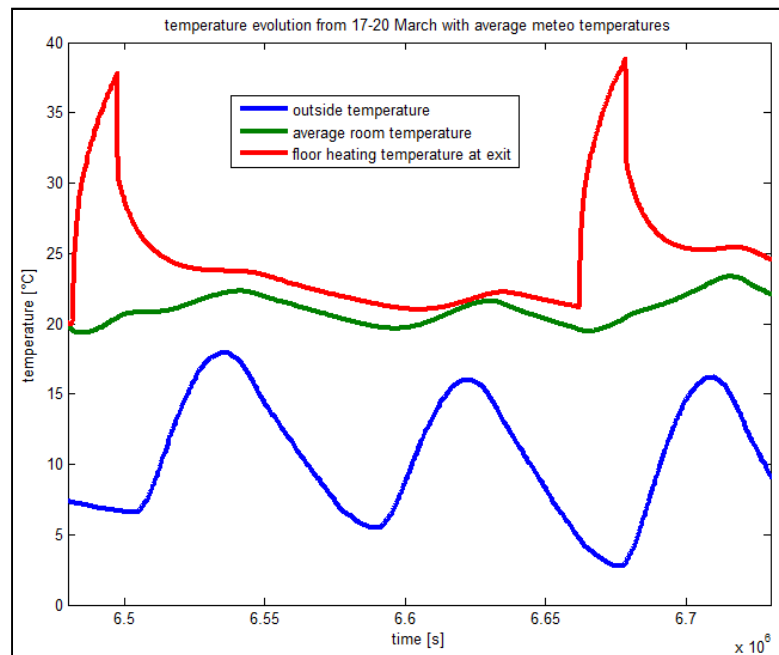


Abb. 3: Simulation der gefühlten Temperatur im Gebäude und der Aussentemperatur während einem Jahr

Die Darstellung der Temperaturen zeigt, dass die Innen-Temperatur eine klare Abgrenzung gegen tiefere, nicht jedoch gegen höhere Temperaturen hat. Daraus kann man folgende Schlüsse ziehen:

- schnelle Reaktionszeit der Heizung
- Die Summe der Überschreitungen der Solltemperatur während der Heizperiode zeigt ein Einsparpotential
- Während mehr als der Hälfte des Jahres muss geheizt werden, dies entspricht der SIA Norm [6] für Heiztage
- Die Aussentemperatur übersteigt die Innentemperatur in einigen Sommertagen



**Abb. 4: Vergleich von Aussentemperatur mit gefühlter Innentemperatur und Bodenheizung beim Austritt**

Die thermische Trägheit des Gebäudes verursacht eine „verspätete“ Reaktion der Raumtemperatur gegenüber der Heiztemperatur. Dieses Verhalten ist im Sommer erwünscht, um im Innern vom Gebäude eine kältere Temperatur zu bewahren. Während der Heizperiode ist das Verhalten allerdings störend für eine direkte Temperaturabhängige Steuerung.

Daher ist die Witterungsabhängige Temperaturregelung heute üblich für Heizkreisläufe.

Weitere Optionen sind die Pulsbreiten Modulation, oder eine Steuerung basierend auf Wettervorhersagen.

Die Simulation vom Gebäude wurde verglichen zwischen Lesosai, Bsol und Matlab/Simulink und die Werte stimmen überein. Das Simulink Modell vom Gebäude wird fortan als Referenz für die weiteren Simulationen eingesetzt.

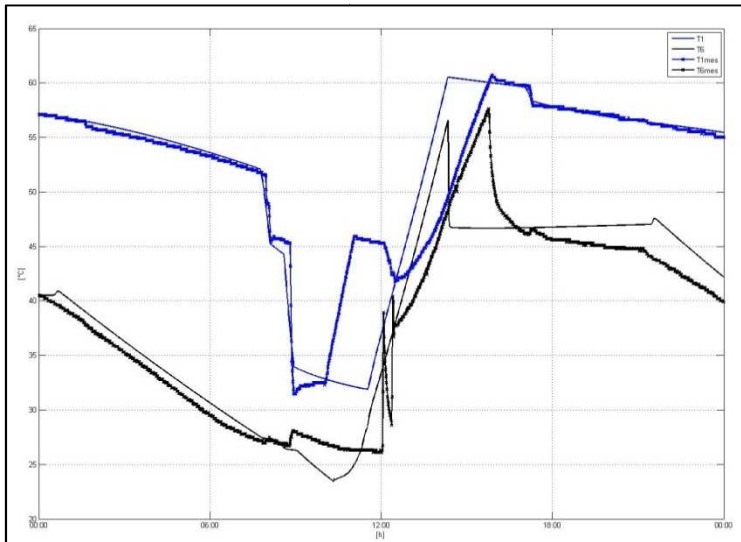
## Nutzspeicher (1'650 Liter)

Für die Modellierung des Nutzspeichers wurde vorerst das 1D Modell von Kleinbach et al. [7] gebraucht. In einer Diplomarbeit wurde das Modell mit Matlab simuliert und mit reellen Messwerten verglichen [8].



Bei der Optimierung des Nutzspeichers muss besonders auf folgende Punkte geachtet werden.

- höhere Temperaturen ergeben höhere Verluste
- aus hygienischen Gründen muss die minimale Temperatur des WW beim Ausgang mindestens 60°C betragen [9]
- Heizbedarf und WW-Bedarf sollten aufeinander abgestimmt sein um Spitzen Bedarfe zu reduzieren.



**Abb. 5:** Die Simulation der Temperaturen in der obersten- und untersten Schicht des Nutzspeichers stimmen gut mit den gemessenen Werten überein.

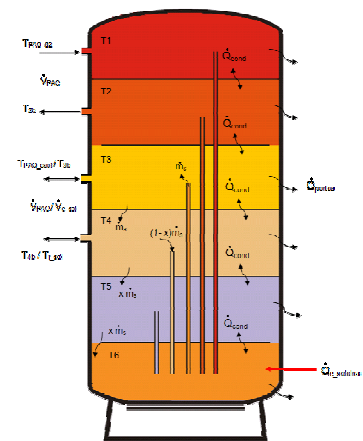
Die Simulationen des Nutzspeichers haben eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten ergeben (siehe Abb. 5). Eindeutig erkennbar sind die Wärmebezüge um 8Uhr morgens, sowie der Wärmegewinn der Solarkollektoren ab 11Uhr. Nach dem Erreichen von 60°C wird der Solarkreislauf in den Saisonspeicher geführt. Der Solarkreislauf sowie der WW-Bedarf wurden simuliert und validiert, während die Integration der Heizung und der Wärmepumpe noch nicht abgeschlossen ist.

## Saisonspeicher (28'000 Liter)

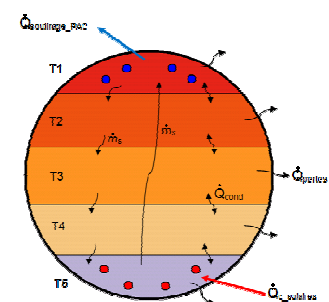
Die Simulation vom Saisonspeicher ist praktisch identisch mit derjenigen des Nutzspeichers. Bei der Auswertung ist aufgefallen, dass die Temperaturdifferenz, je nach Betriebsmodus, zwischen der oberen und der unteren Schicht des Speichers nur 1-4°C beträgt. Messungen im Speicher haben diese Resultate bestätigt.

Bei der Regelung der Anlagen stellt sich die Frage, was effizienter ist, eine reine Speicherung der Solarwärme, oder eine temperatur-abhängige Einspeisung jeweils in den Nutzspeicher, die Bodenheizung oder quellenseitig an die Wärmepumpe.

Dank der Simulation der Grundmodelle können die verschiedenen Möglichkeiten nun mit Simulationen getestet werden, damit nur die vielversprechendsten Lösungen auf dem Pilotobjekt getestet werden. Die Simulationen stimmen sehr gut mit den Messwerten überein.



**Abb. 6:** Für die Simulation wurde der Nutzspeicher in 6 Schichten unterteilt



**Abb. 7:** Der Saisonspeicher wurde für die Simulation in 5 Temperatschichten aufgeteilt

## **Praktische Erkenntnisse**

Für die Optimierung des Gebäudes wird in einer ersten Phase mit dem Monitoring ein Pareto Diagramm mit den wichtigsten Verbraucher und Erzeuger erstellt. Grobe Fehler im Betrieb können somit schnell erkannt und repariert werden. So wurde erkannt, dass das Gebäude in den ersten Monaten des Betriebs einen aussergewöhnlich hohen Heizbedarf hatte. Dieses Phänomen ist bekannt von Neubauten wo die Betonstruktur zuerst trocknen muss. Während den ersten 12 Monaten Betrieb wurden 3'700 kWh Strom für die Anlage gebraucht für 14'200 kWh Wärme (COP von 3.8), in den letzten 5 Monaten wurden mit 829 kWh Strom bereits 4'600 kWh Wärme erzeugt (COP von 5.5). Stabile Daten aus dem Gebäude können also erst ab 2011 erwartet werden.

Weitere unerwartete Probleme wurden bei den Monitoring-Geräten selbst entdeckt. Ein technisches Problem mit dem Erfassungsgerät wurde bemerkt und verhindert vorerst eine kontinuierliche Messung.

Für die Kalibration der Messinstrumente wurde mehr Zeit investiert, um zuverlässige Daten zu haben. Diese Phase wird bis Ende Januar fertig sein.

## **Nationale / internationale Zusammenarbeit**

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit Herr M. Bonvin aus der HEVs in Sion durchgeführt, welcher als Experte für die Gebäudethermik zur Verfügung steht. Als industrieller Partner stellt SATAG Viessman (Schweiz) AG sein Fachwissen zur Verfügung, um die Regelung der Wärmepumpe zu manipulieren. Das „Service de Transport et d'énergie“ (STE) von Fribourg sowie die Fachhochschule für Technik und Architektur Freiburg (EIA-FR) unterstützen das Projekt finanziell.

Im Rahmen des IEA Task 44 [10] wurde das Projekt in einem internationalen Expertenkreis vorgestellt. Die Ergebnisse aus diesem Projekt werden den Task 44 Mitgliedern aktiv vorgestellt und ein enger Informationsaustausch zwischen Forschern aus der Schweiz und anderen, hauptsächlich europäischen Ländern wurde aufgebaut.

Das Projekt wird 2011 am „10th IEA Heat Pump Conference“ in Tokyo vorgestellt. Dazu wurden ein Abstract und eine Publikation eingereicht.

## **Bewertung 2010 und Ausblick 2011**

### **Bewertung 2010**

Während dem ersten Jahr des Projekts wurden die Physik des Gebäudes und die thermischen Speicher mit verschiedenen Simulationsprogrammen genau untersucht und mit Messungen am Modell validiert.

Das Projekt wurde im IEA Task44 [10] integriert und ein reger Austausch zwischen Mitgliedern des Tasks findet nun statt. Technische Probleme am Pilotobjekt wie Kalibration der Messsonden, sowie Datenerfassungsprobleme wurden erkannt und werden Anfangs 2011 behoben sein.

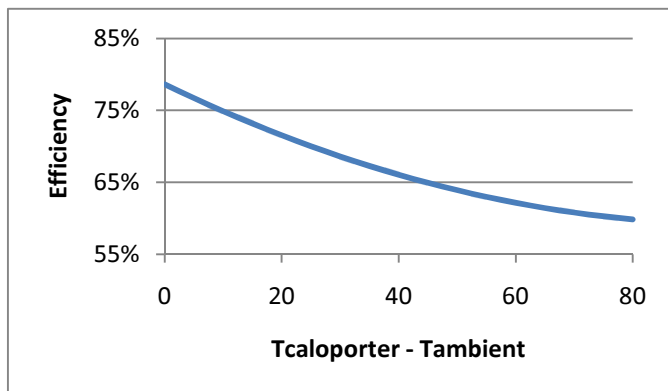
Die Kompatibilität des Simulationsprogramms mit den Optimierungsalgorithmen wurde getestet und funktioniert.

Um die **Solarkollektoren** energetisch zu verbessern wurden mehrere Möglichkeiten untersucht die anschliessend in Simulationen getestet werden:

- Anpassung der Ein- und Ausschaltschwelle – Hysterese
- Temperaturdifferenz zwischen Solar – Wärmeüberträger und Aussentemperatur tief halten, um den Wirkungsgrad der Anlage zu erhöhen
- möglichst hohe Solarerträge, bzw. sommerlicher Überschuss speichern

Mit dem vereinfachten Solarkollektoren Wirkungsgrad, beschrieben z.B. in G.Guihéneuf [11] wurde die Effizienz in Funktion der Temperaturdifferenz berechnet:

$$\eta_c = \eta_0 - \left( \left( a_1 \cdot \frac{\Delta T}{G} \right) - \left( a_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{G} \right) \right)$$



**Abb. 8: Effizienzkurve der Solarkollektoren in Funktion der Temperaturdifferenz**

$\Delta T$ : Temperaturdifferenz zwischen Übertragungsmedium und Aussentemperatur

$G$ : globale Sonneneinstrahlung [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$a_1$ : Verlustfaktor nach SPF [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$a_2$ : Verlustfaktor nach SPF [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^2$ ]

$\eta_0$ : Konversionsfaktor für optischen Wirkungsgrad

Die Verlustfaktoren und der Konversionsfaktor stammen aus dem „Factsheet“ vom Solar Kollektor [12]

Eine kleine Temperaturdifferenz ergibt also einen höheren Wirkungsgrad. Allerdings muss die Solarkreislauf Pumpe in allen Fällen gleich viel pumpen. Daraus ergibt sich ein erster Gegensatz.

Um die **Wärmepumpe** energetisch zu verbessern, gelten ähnliche thermodynamische Gesetze wie bei den Solar Kollektoren. Mit einer kleineren Temperaturdifferenz steigt die theoretisch mögliche COP-Zahl.

$$COP_{reell} \approx 0.5 \cdot COP_{theorie}$$

$$COP_{theorie} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

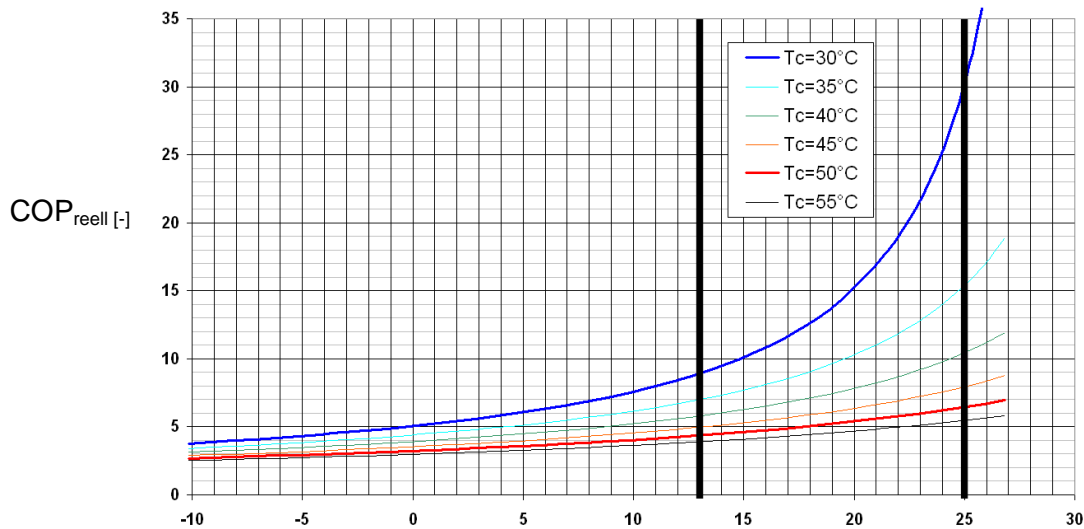


Abb. 9: COP reell in Funktion von T<sub>f</sub> (T<sub>kalt</sub>), T<sub>c</sub> ist Theiss

Wenn die Ausgangstemperatur der Wärmepumpe gegeben ist (z.B. 60°C für die sanitäre WW Vorbereitung), ist die Verbesserung vom COP zwar stark eingeschränkt, aber je nach Wärmepumpen Modell immer noch möglich. Beim hier eingesetzten WW106 von SATAG darf die Eingangstemperatur maximal 25°C betragen.

Wie man auf dem Graph erkennt, wird eine höhere Quelltemperatur höhere COP ermöglichen (für T<sub>f</sub>>15°C, welche vom Saisonspeicher geliefert werden können, steigt die Kurve exponentiell). Falls diese Eigenschaft analytisch bestätigt werden kann, würde eine Erweiterung vom Einsatzbereich der Wärmepumpe weiteres Potential hervorbringen.

## Ausblick 2011

Die nächsten Schritte im Projekt werden sein, verschiedene Kombinationen der Installation zu optimieren (Fallstudie). Zuerst wird die optimale Ansteuerung der thermischen Speicher untersucht, anschliessend werden die energetischen und exergetischen Wirkungsgrade der Wärmepumpe, der Solarkollektoren, und letztendlich der gesamten Anlage untersucht und verbessert.

Die Untersuchungen werden Richtlinien zur Verbesserung der Regelung des Betriebs aufzeigen, die zuerst in Simulationen, und anschliessend im reellen Massstab validiert werden.

## Referenzen

1. E4Tech SS: **Lesosai 7.0**. In: *Software SA E4Tech*. Edited by E4Tech. Lausanne; 2010.
2. SIA380/1:2009: **Thermische Energie im Hochbau**. In: *520 380/1*. Edited by SIA. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; 3.2009.
3. Jülich S-I: **CARNOT-Blockset Version 1.0 User's Guide**. In. Jülich, Germany: Solar-Institut Jülich and Expertcontrol; 2007.
4. ESTECO: **modeFRONTIER v4 User Manual**. In. Edited by ESTECO, vol. v4. Trieste; 2010.
5. HEVs: **Bsol Users Manual**. In. Edited by HEVs. Sion: HEVs; 2002.
6. SIA381/3:1982: **Heizgradtage der Schweiz**. In: *565 381/3*. Edited by SIA. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; 5.1984.
7. E.M.Kleinbach, W.A.Beckman, S.A.Klein: **Performance study of one-dimensional models for stratified thermal storage tanks**. *Solar Energy* 1993, **50**(2):155-166.
8. Tenconi A: **Simulation PAC-DOMO**. *Bachelor*. Fribourg: EIA-FR; 2010.
9. BFE: **Legionellen bleiben gefährlich**. In: *Wissen aktuell und verständlich*. vol. Nr.1 Februar 2007. Bern: ch-forschung; 2007.
10. **Solar and Heat Pump Systems** [<http://www.iea-shc.org/task44/>]
11. G.Guihéneuf: **installations domestiques à énergies renouvelables**, vol. 1: Wilco; 2009.
12. SPF: **Solar collector Factsheet: SPF-Nr.C398, Modell VarioSol E**. In. Rapperswil: SPF; 2008.