



**Jahresbericht 2013, 15. Dezember 2013**

---

## **SOFOWA**

**Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und  
Wärmepumpen**

---

**Auftraggeber:**

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

**Kofinanzierung:**

Viessmann Faulquemont S.A.S., FR-57380 Faulquemont

**Auftragnehmer:**

Fachhochschule Nordwestschweiz - FHNW  
Institut Energie am Bau - IEBau  
Sankt-Jakobs-Strasse 84  
CH-4132 Muttenz  
[www.fhnw.ch/iebau](http://www.fhnw.ch/iebau)

**Autoren:**

Ralf Dott, IEBau-FHNW, [ralf.dott@fhnw.ch](mailto:ralf.dott@fhnw.ch)  
Thomas Afjei, IEBau-FHNW, [thomas.afjei@fhnw.ch](mailto:thomas.afjei@fhnw.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Martin Pulfer

**BFE-Programmleiter:** Stephan Renz

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** SI/500509-01 / SI/500509

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

# Zusammenfassung

Zukünftige Gebäude auf dem Niveau von Netto-Nullenergiehäusern gehen meist mit einer gebäudeintegrierten Solartechnik einher. Ziel des Projekts ist mittels Simulation erfolgversprechende Kombinationen von Wärmepumpe und Solartechnik zu identifizieren, einzelne Modelle mit Labortests zu validieren, die Praxistauglichkeit mit einem Feldtest zu verifizieren und einen Leitfaden zu erstellen.

Im Berichtszeitraum 2013 konnten die Recherche über Wärmepumpen-Modelle abgeschlossen und abschliessende Korrekturen in der Referenzwärmelast-Definition umgesetzt werden. Der Systemvergleich wurde auf alle drei Gebäudetypen erweitert. Dabei wurde eine Tagesbilanzielle Betrachtung des Elektrizitätsbezugs für Haustechnik und Eigenstromerzeugung aus PV eingeführt. Eine ökonomische und ökologische Bewertung der Systeme steht kurz vor dem Abschluss. Ein System mit Eisspeicher und nicht abgedecktem Solarabsorber als Quelle für die Wärmepumpe wurde detailliert untersucht. Dieses dient als Basissystem für den Praxistest im Labor des IEBau-FHNW.

Die Zusammenarbeit sowohl national wie auch international konnte konstruktiv und intensiv fortgeführt werden. Das Projekt stellt einen Beitrag zum IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 „Solar and Heat Pump Systems“ dar, der im Frühjahr 2014 abgeschlossen wird.

## Abstract

Future buildings on the level of net zero energy houses go usually together with a building integrated solar technology. The project aims to identify promising combinations of heat pump and solar technology through simulation, to prove component models with laboratory tests, verify one system in a practical field test as well as to provide a guideline.

In the report period 2013 the heat pump modelling report could be finalised and in the reference building definition final corrections have been made. The system comparison could be extended to all three building types. An evaluation of the electricity demands for building technology and own PV generated electricity on the basis of a daily energy balance has been added. Furthermore an economic and ecological evaluation of the systems is to be finalised soon. A solar heat pump system with ice storage and uncovered solar absorber as heat source for the heat pump has been analysed in detail. This system serves also as basis for the practical test in the system control lab of the IEBau-FHNW.

The collaboration both nationally and internationally could be continued constructive and with the same intensity. The project contributes to the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 "Solar and Heat Pump Systems", which will be finished in spring 2014.

## Projektziele

Niedrigenergiehäuser sind durch die Verschärfung der Energievorschriften zum Standard für Neubauten geworden. Ab 2015 soll in Deutschland das Passivhaus-Konzept zum Standard werden, andere Länder fassen sogenannte Netto-Nullenergiehäuser (engl. Net Zero Energy Buildings - NZEB) ins Auge. Die USA und Frankreich wollen sie 2020 einführen, Kanada will 2030 nachziehen. In der Schweiz wird an neuen Gebäudestandards gearbeitet, welche über die gut etablierten Standards MINERGIE® und MINERGIE-P® hinausgehen, beispielsweise mit dem seit kurzem lancierten MINERGIE-A® als Standard der auf die Energieversorgung mit erneuerbaren Energien Wert legt.

Nach gängiger Definition gehen Netto-Nullenergiehäuser meist mit einer gebäudeintegrierten Solartechnik einher. Immer mehr Anlagen nutzen Wärmepumpen, Solarthermie und auch Fotovoltaik. Solarkollektoren können die Wärme direkt oder indirekt über die Wärmepumpe einspeisen. Der Betrieb einer Fotovoltaikanlage (PV) mit Hinterlüftung oder als Hybrid-Kollektor kann ebenfalls ein attraktives System sein, da neben der Elektrizität durch die Kühlung der PV-Paneele Niedertemperaturwärme anfällt und sich der PV-Wirkungsgrad durch die Kühlung verbessert. Es ist aber noch abzuklären, ob bei höherer Temperatur direkt nutzbare Wärme mit leicht reduziertem PV-Wirkungsgrad nicht zu einem besseren Gesamtertrag führt. Leistungsgeregelte Wärmepumpen eignen sich für die Kombination WP-Solar-PV besonders gut, weil damit besser auf die schwankenden Quellen- und Senkenbedingungen reagiert werden kann.

Ziel des Projekts ist mittels Simulation die erfolgversprechendsten Kombinationen von Wärmepumpe und Solartechnik zu identifizieren, Dimensionierung und Regelung zu optimieren, die Praxistauglichkeit mit Messungen zu verifizieren und einen Leitfaden zu erstellen.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das Projekt SOFOWA teilt sich in zwei Arbeitsschwerpunkte auf:

1. eine Simulationsstudie zur Identifikation der erfolgversprechendsten Kombinationen von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen und
2. Labortest eines Solar-Eisspeicher-Systems.

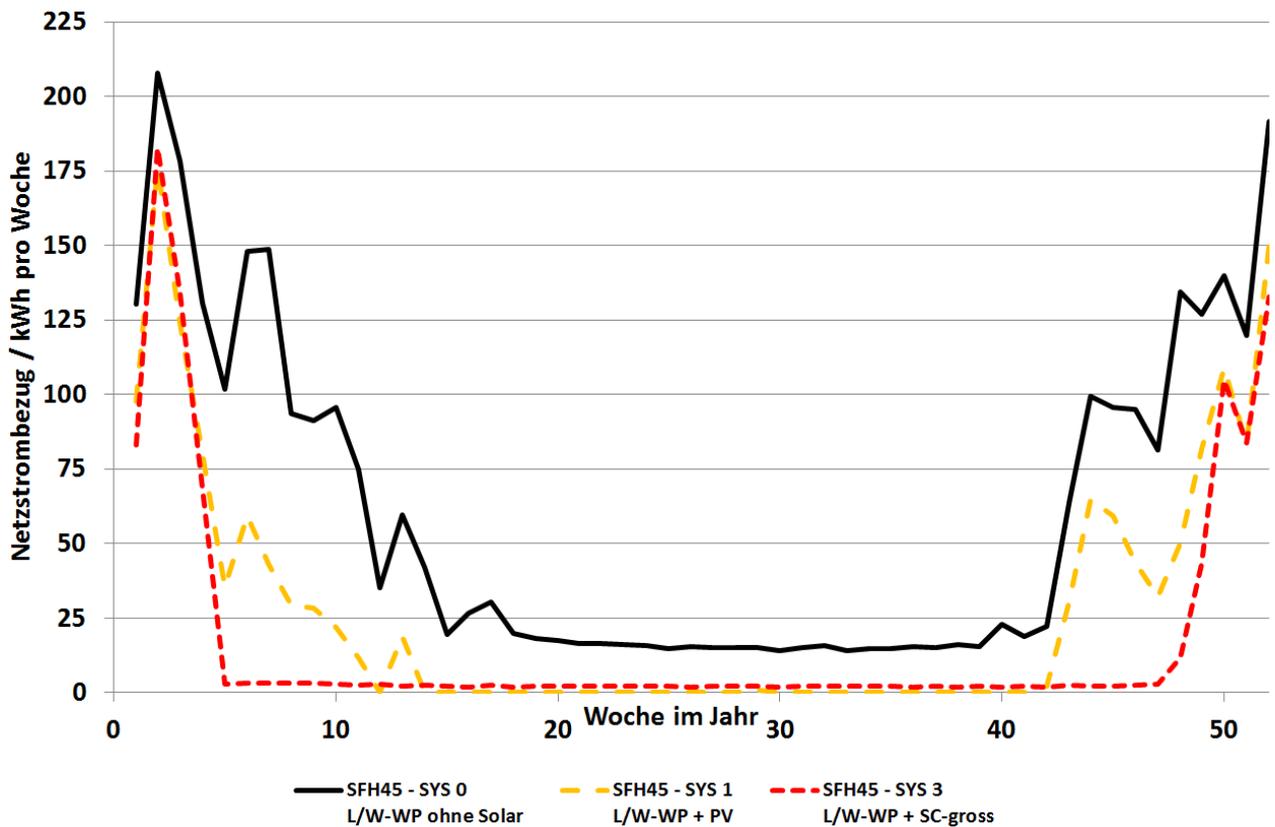
### Simulationsstudie

#### Systemvergleich von kombinierten Solar- und Wärmepumpensystemen

Der Systemvergleich wurde auf alle drei IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 (A38T44) Gebäudetypen (SFH15, SFH45, SFH100 mit Heizwärmebedarf 15, 45, 100 kWh/m<sup>2</sup>/a) erweitert, sowie auf die tagesbilanzielle Betrachtung des Netzstrombezuges. Detaillierte Angaben dazu finden sich in [4] bis [7]. Der Verlauf des Netzstrombezuges nach Abzug des selbsterzeugten PV-Stromes vom Elektrizitätsbedarf in der Heizungsanlage ist für einen Auszug der Systeme in Abb. 1 für das SFH45-Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von 45 kWh/m<sup>2</sup>/a dargestellt. Die Wärmeerzeugung der Systeme besteht aus den in Tab. 1 aufgeführten Hauptkomponenten, eine ausführliche Beschreibung findet sich in [7].

SYS 0	SYS 1	SYS 3
nur Luft/Wasser-Wärmepumpe, keine Solartechnik	Luft/Wasser-Wärmepumpe mit 50 m <sup>2</sup> Photovoltaik	Luft/Wasser-Wärmepumpe mit 50 m <sup>2</sup> Solarthermie & 10 m <sup>3</sup> Wärmespeicher

Tab. 1: Kurzbeschreibung der Systeme SYS 0, SYS 1 und SYS 3



**Abb. 1:** Verlauf des resultierenden Netzstrombezuges nach Abzug des selbsterzeugten PV-Stromes vom Elektrizitätsbedarf in der Heizungsanlage für das A38T44 Referenzgebäude SFH45

Es zeigt sich, dass der grösste Nutzen in Bezug auf die Reduktion des Netzstrombezuges von der Verwendung einer Solartechnologie grundsätzlich abhängt. Die Differenz im verbleibenden Netzstrombezug zwischen Solarthermie und Photovoltaik liegt hauptsächlich in der Wirkung des grossen Wärmespeichers bei der Solarthermie, was sich zum Beispiel in den Wochen 42 bis 48 zeigt. Die resultierende Vermeidung von Netzstrombezug ist ausser der Speicherwirkung für beide Solartechnologien ähnlich. Dabei erzeugt die Photovoltaik zusätzlich noch Überschüsse, welche für diese Konfigurationen im Bereich des 5 bis 10fachen des eingesparten Netzstrombezuges für Heizzwecke betragen.

Eine ökologische und finanzielle Bewertung der Systeme ist noch in Erstellung und steht kurz vor dem Abschluss. Sie wird in den im Frühjahr zu verfassenden Schlussbericht ausführlich dargestellt. Die Ergebnisse des Systemvergleichs mit ökologischer und finanzieller Bewertung sind für einen Beitrag zur IEA Heat Pump Conference im Mai 2014 in Montreal eingereicht und akzeptiert.

### Untersuchung und Optimierung eines Solar-Eisspeicher-Systems

In einer engen Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Viessmann wurde ein System mit Solarabsorber und Eisspeicher als Wärmequelle für die Wärmepumpe mit Simulationen untersucht und optimiert. Grundlage für die Validierung der Simulationen bilden sowohl externe Feldmessungen des Systems als auch Prüfstandsmessungen der Komponenten. Detaillierte Ergebnisse dazu sind in [6], [8] & [9] publiziert und für einen Beitrag zur IEA Heat Pump Conference im Mai 2014 in Montreal eingereicht und akzeptiert.

### Modellierung von Wärmepumpen

Der „Heat pump Modelling report“ [2], welcher in der von Thomas Afjei geleiteten Heat Pump Modelling Group als Teilbericht des Subtask C im A38T44 erarbeitet wurde, erhielt im 2013 einen weiteren modellbeschreibenden Anhang über die Modellgüte bei Variation des

Senkenmassenstromes einer Wärmepumpe. Der ausführliche Bericht ist abgeschlossen, von dem zusammenfassenden Beitrag für das A38T44-Handbuch liegt ein Entwurf vor.

## **Labortest eines Solar-Eisspeicher-Systems**

Für den praktischen Systemtest ist nach Fertigstellung des System-Control-Lab am IEBau-FHNW ein Solar-Eisspeicher-System vorgesehen. Dazu wurde Anfang Juli 2013 ein 10 m<sup>3</sup> Viessmann/Isocal-Eisspeicher geliefert und auf dem Aussenareal des Labors im Erdreich eingebaut. Die Temperatursensoren zur Vermessung der Temperaturen im Speicher und im umliegenden Erdreich sind installiert. Der Eisspeicher ist mit Wasser gefüllt, das Erdreich bis zur Geländeoberkante aufgefüllt. Zurzeit werden die Temperaturen des ungestörten Erdreiches und des unbewirtschafteten Speichers erfasst. Diese Messwerte werden als Referenz für das Verhalten des ungestörten Erdreiches verwendet. Nach Umzug der Laboreinrichtung in das Aussenlabor Anfang 2014 wird das thermische Verhalten des umgebenden Erdreichs bei Nutzung / Bewirtschaftung des Eisspeichers vermessen und damit das Simulationsmodell weiterentwickelt. Ziel ist es primär, die Erdreichwärmegewinne im Eisspeicher-Modell, welche bisher als semi-empirisches Modell auf den 10 m<sup>3</sup> Eisspeicher adaptiert ist, auf eine breiter abgestützte Basis zu stellen.

## **Nationale Zusammenarbeit**

Die Projekte im Wärmepumpen-Solar-Bereich (IEA SHC T44 / HPP A38) erfolgen an den Instituten IEBau (FHNW), SPF (HSR), HEFR (Fribourg), LESBAT (HEIG-VD) und FOREL (Uni-GE) und werden vom SPF koordiniert. Die Zusammenarbeit ist über einen zweimal jährlich stattfindenden Austausch etabliert. Die letzten Treffen fanden im September '12 in Zürich sowie im März '13 in Sierre statt. Das letzte Treffen wird im Februar '14 in Muttenz stattfinden. Die Zusammenarbeit und die Diskussionen werden als sehr konstruktiv, offen kritisch und bereichernd erachtet.

## **Internationale Zusammenarbeit**

Das Projekt stellt einen Beitrag zum IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 „Solar and Heat Pump Systems“ [1] dar. Der Austausch erfolgt einerseits über zweimal jährlich stattfindende Arbeitstreffen mit allen in diesem Rahmen beteiligten Projekten und andererseits über Arbeitsgruppen innerhalb der vier „Subtasks“. Arbeitstreffen des IEA SHC T44 / HPP A38 fanden im Oktober 2012 in Copenhagen (DK) sowie im April 2013 in Mechelen (BE) statt. Mit dem Abschlusstreffen im Oktober 2013 in Chandolin (CH) ist der internationale Austausch beendet. Die Vorliegenden Ergebnisse werden nun in einem Handbuch zusammengefasst, welches im Mitte 2014 verfügbar sein wird. Das Projekt erfolgt mit Unterstützung und in Zusammenarbeit mit der Viessmann Faulquemont S.A.S.. Mit der offenen und konstruktiven Zusammenarbeit trägt der Austausch auch zur Qualitätssicherung des Projektergebnisses bei.

## **Bewertung 2013 und Ausblick**

Im Projekt wurden Beiträge zu Arbeitsgruppen des IEA SHC T44 / HPP A38 vorwiegend im Rahmen der Subtask C „Modeling and Simulation“ geleistet. Darin konnte mit dem Abschluss der Referenz-Wärmelast-Definition ein Beitrag zur Arbeitsgruppe „Boundary Conditions and Platform Independence“ geleistet werden. In der Anwendung der Referenz-Wärmelasten wurden bisher geringer eingeschätzte Einflüsse der Regelung des Wärmeübergabesystems festgestellt. Daraufhin wurden die Beschreibung präzisiert und überarbeitet. Im Verlauf des Jahres wurden in der nationalen und internationalen Zusammenarbeit die Resultate

ausgetauscht und für die Verwendung im Handbuch aufbereitet, welches im Frühjahr 2014 fertiggestellt sein soll.

Von Ende 2012 bis in den Herbst 2013 konnten in einer engen Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Viessmann ein System mit Solarabsorber und Eisspeicher als Wärmequelle für die Wärmepumpe mit Simulationen untersucht und optimiert werden. Grundlage für die Validierung der Simulationen bilden sowohl externe Feldmessungen des Systems als auch Prüfstandsmessungen der Komponenten.

Der Praxistest eines Solar-Eisspeicher-Wärmepumpen-Systems wird nun zeitlich verzögert im Anschluss an die detaillierten Simulationsuntersuchungen durchgeführt. Eine zentrale Komponente, der Eisspeicher mit Vorbereitung der Sensorik, konnte mittlerweile verbaut werden. Eine kostenneutrale Verlängerung des Projekts wurde beantragt um die Messung zum Eisspeicher-System durchführen zu können, wobei der Wärmeaustausch mit dem Erdreich von besonderem Interesse ist.

## Referenzen

- [1] IEA Solar Heating and Cooling – Task 44/ Heat Pump Programme Annex 38: **Solar and Heat Pump Systems**, January 2010 - December 2013, CH (<http://task44.iea-shc.org>)
- [2] Dott R., Afjei T., Genkinger A., Dalibard A., Carbonell D., Consul R., Heinz A., Haller M.Y., Witzig A., Facao J., Ochs F., Pärish P. **Models of Sub-Components and Validation for the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 Part C: Heat Pump Models**. Muttenz, CH, 2013
- [3] Dott R., Haller M.Y., Ruschenburg J., Ochs F. & Bony J., **The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 Part B: Buildings and Space Heat Load A technical report of subtask C Report C1 Part B** 2012
- [4] Dott R., Afjei T. & Genkinger A. 2013. **Systemvergleich von kombinierten Solar- und Wärmepumpensystemen**. In Tagungsband OTTI Thermische Solarenergie 2013, 24.-26. April, Bad Staffelstein, DE.
- [5] Dott R., Afjei T. & Genkinger A. 2013. **System evaluation of combined solar & heat pump systems**. In Proc. of Clima 2013 Conference, 16.-19. Juni, Prag, CZ.
- [6] Afjei T., Dott R., Winteler C. 2013. **Wärmepumpen, Photovoltaik und Eisspeicher – Anforderungen an erfolgreiche Systeme**. In Tagungsband 19. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte des Bundesamts für Energie BFE, 26. Juni, Burgdorf, CH.
- [7] Dott R. & Afjei T. 2013. **System evaluation of combined solar & heat pump systems**. In Proc. of Cisbat 2013 Conference, 4.-6. September, Lausanne, CH.
- [8] Winteler C., Dott R., Afjei T. 2013. **Seasonal performance of a combined solar, heat pump and latent heat storage system**. In Proc. of Cisbat 2013 Conference, 4.-6. September, Lausanne, CH.
- [9] Winteler C., Dott R., Afjei T., Hafner B. 2013. **Seasonal Performance of a Combined Solar, Heat Pump and Latent Heat Storage System**. SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 23.-25. September, Freiburg, DE.