

## **System-Jahresarbeitszahl grösser 4.0 mit Luft-Wasser Wärmepumpe kombiniert mit Solarwärme**

Michel Y. Haller, Elimar Frank  
Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR  
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 55 222 4836, Fax: +41 55 222 4844  
E-Mail: michel.haller@solarenergy.ch  
Internet: www.solarenergy.ch

### **Abstract**

Eine Kombination aus Luft-Wasser Wärmepumpe und Solarwärme-Anlage wurde in einem Einfamilienhaus in Rapperswil-Jona (Schweizer Mittelland) im Jahr 2009 installiert und von Februar 2010 bis Februar 2012 ausgemessen. Das System liefert Warmwasser und Raumwärme für ein Haus aus dem Jahr 1992 mit einer beheizten Fläche von 200 m<sup>2</sup>. Sowohl die Luft-Wasser Wärmepumpe als auch die Solarwärmekollektoren liefern Wärme an einen Tank-in-Tank-Kombispeicher mit einem Wasservolumen von 1'800 Litern. Wärme für die Raumheizung kann sowohl von diesem Speicher als auch direkt von der Wärmepumpe bezogen werden. Sowohl die Wärmelieferungen an den Speicher wie auch die Wärmeentnahmen vom Speicher wurden gemessen. Die Messung des elektrischen Aufwands umfasst alle elektrischen Leistungen für den Betrieb der Wärmepumpe und des Solarkreises inklusive aller Regler und Pumpen mit Ausnahme der Heizkreis-Verteilung. Für das Jahr 2011 konnte eine System-Jahresarbeitszahl von 4.4 ermittelt werden basierend auf dem gesamten gemessenen Stromverbrauch einerseits und der ab Speicher gelieferten Nutzwärme andererseits. Die für dieses System ermittelte Jahresarbeitszahl ist im Vergleich mit den Ergebnissen verschiedener Feldstudien sehr gut. Dadurch ist belegt, dass es durchaus möglich ist, auch mit einem Kombispeicher mit und rein parallel arbeitenden Wärmeerzeugern Solar-Luft-Wärmepumpe-Systeme mit hohen System-Jahresarbeitszahlen zu realisieren, wie man sie sonst nur von Erdsonden-Wärmepumpen-Systemen kennt. Die Messungen zeigen aber auch, dass das System noch Potenzial für weitere Verbesserungen aufweist.

### **Einleitung**

Im Rahmen der Bestrebungen zur Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen und des Ausstiegs aus der Atomenergie-Nutzung sind in Europa klare Tendenzen ersichtlich, für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser vermehrt Kombinationen von Solarwärmeanlagen und Wärmepumpen einzusetzen. Die verschiedenen Möglichkeiten solcher Kombinationen werden derzeit im Rahmen des

kombinierten IEA Task 44 des Solar Heating and Cooling Programme und Annex 38 des Heat Pump Programme (T44A38) eingehend untersucht [1]. Neben der Forschung und Entwicklung von neuen Systemen ist das Monitoring und die Dokumentation der Leistung von bereits marktreifen Systemen ein wichtiger Bestandteil der Arbeiten im T44A38. Im Rahmen eines Projektes, welches durch das Elektrizitätswerk Jona-Rapperswil (EWJR) finanziert wird, führt das SPF Institut für Solartechnik seit zwei Jahren detaillierte Messungen an eine Anlage zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser durch, welche mit einer Kombination aus Luft-Wasser-Wärmepumpe und thermischer Solaranlage betrieben wird. In diesem Beitrag wird das Systemkonzept sowie basierend auf den Messungen die Bilanzierung der Anlage und eine Analyse der möglichen Verbesserungen vorgestellt.

## Beschreibung von System und Monitoring

### *Hydraulik und Komponenten*

Sowohl die Luft-Wasser Wärmepumpe als auch die verglasten Flachkollektoren liefern Wärme an einen solaren Tank-in-Tank Kombispeicher. Der Kombispeicher liefert Raumwärme und Warmwasser. Abbildung 1 zeigt das Energieflussdiagramm der Anlage mit dem im T44A38 erarbeiteten „square view“ Schema.

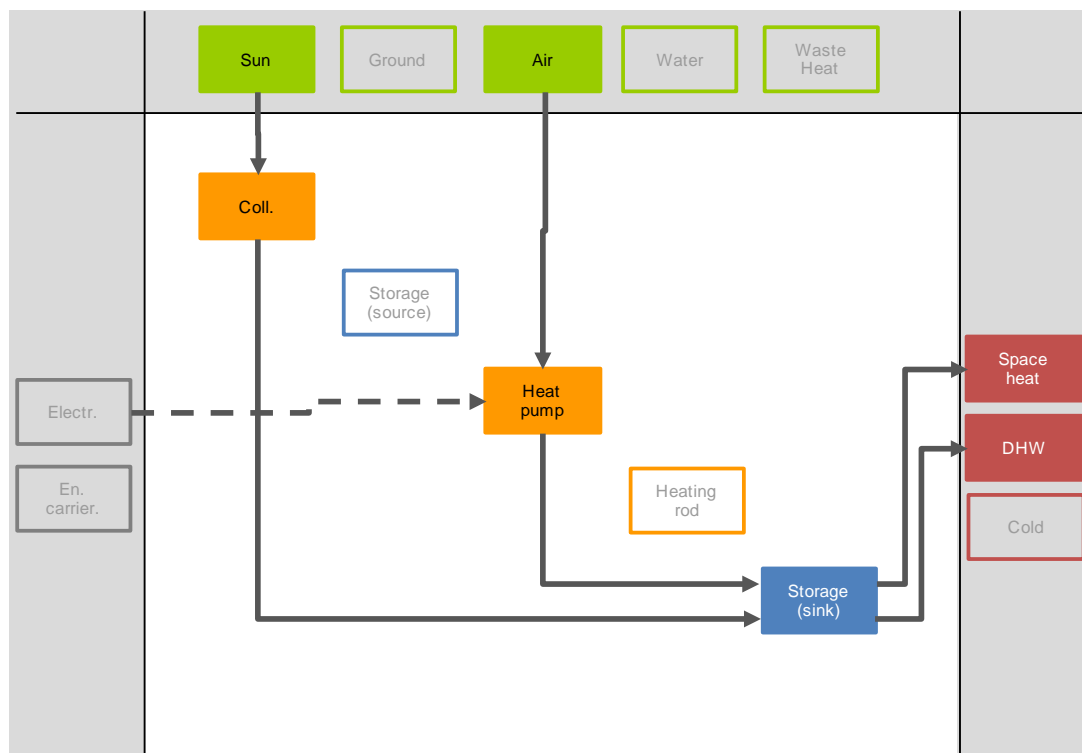


Abbildung 1: Energieflussdiagramm „square view“ nach T44A38 [2].

Auf Grund der vorhandenen Komponenten und deren Verbindungen im Energieflussdiagramm gehört das System gemäss [2] zu den rein parallel verschalteten Systemen vom Typ  $Sol_{skS} SHP_{skS}^{Air}$ . Die Wärme kann den Speicher entweder im oberen Bereich beladen oder im mittleren Bereich (Umschaltung mit zwei 3-Weg-Ventilen), wobei simultan ein Teil der Wärme in den mittleren Bereich und gleichzeitig in den Heizkreis-Vorlauf eingespeist werden kann. Die Solarwärme wird über interne Wärmetauscher entweder nur in den unteren Bereich des Speichers eingebracht oder sowohl in den oberen als auch in den unteren Bereich (Abbildung 2). Abbildung 3 zeigt das Einfamilienhaus mit dem in das Dach integrierten Kollektorfeld.

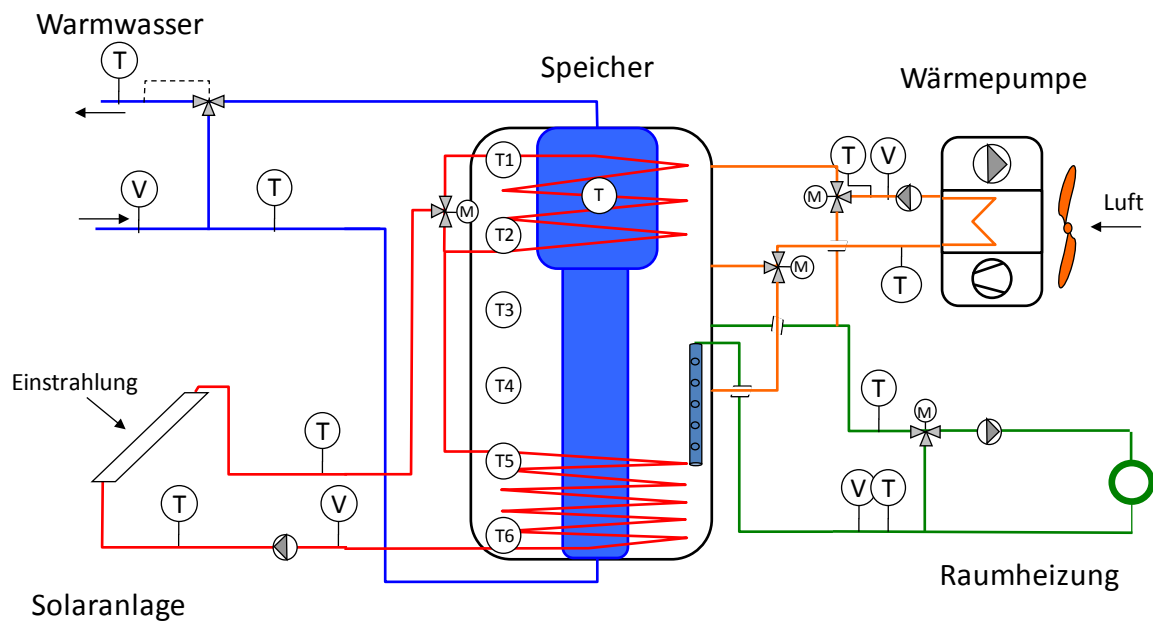


Abbildung 2: Vereinfachtes Hydraulik-Schema der Anlage. V=Volumenmessung, T=Temperaturmessung.



Abbildung 3: Einfamilienhaus mit 15 m<sup>2</sup> Solarwärme-Anlage.

Die technischen Daten sowie die Dimensionierung der einzelnen Komponenten der Heizungsanlage können Tabelle 1 entnommen werden.

**Tabelle 1: Technische Daten der Heizungsanlage**

<b>Luft-Wasser-Wärmepumpe</b>	
Installationsart	Aussen (Kompressor und beide Wärmetauscher)
Kompressor	Scroll, zweistufig
Kältemittel	R404A (10 kg)
Enteisung	Umkehrzyklus
Heizleistung (A2/W35)	19.7 kW / 11.4 kW
COP (A2/W35)	3.8 / 3.9
<b>Kollektorfeld</b>	
Typ	Flachkollektor, verglast, selektiv
Kenndaten	$\eta_0 = 0.83$ , $a_1 = 3.7$ , $a_2 = 0.009$ (bezogen auf Absorberfläche).
Absorberfläche	15 m <sup>2</sup>
Ausrichtung	Neigung 38 °, Orientierung 20 ° West
<b>Speicher</b>	
Typ	Tank-in-Tank
Volumen	1800 Liter

Die Charakteristik des Wärmebedarfs ist aus Tabelle 2 ersichtlich. Der Wärmebedarf wird zu über 90% von der Raumwärme dominiert. Obwohl die Energie-Kennzahl mit 94 kWh/m<sup>2</sup>a weit über den heutigen Standards liegt kann diese Raumwärme mit einer Fussbodenheizung mit relativ niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen geliefert werden.

**Tabelle 2: Charakteristik des Wärmebedarfs**

Typ	Einfamilienhaus, Baujahr 1992
Energiebezugsfläche	200 m <sup>2</sup>
Ort	Rapperswil-Jona (Schweiz)
Höhe über Meer	408 m.
Heizwärmebedarf	18 700 ± 700 kWh/a (gemessen 2011)
Vor- und Rücklauftemperatur	36 / 29 °C bei -10°C Aussentemperatur (Extrapolation aus den gemessenen Daten)
Warmwasser ab Speicher	1400 ± 400 kWh/a (gemessen 2011)
Warmwasser-Temperatur	durchschnittlich ab Speicher / vor Mischer: Jahr: 60.8 °C, Dezember: 46.3 °C.

### **Monitoring**

Ein Monitoring der Anlage wurde durchgeführt von Februar 2010 bis Februar 2012. Die Messpunkte beinhalten Vorlauftemperaturen, Rücklauftemperaturen und Volumenzählung des Solarkreises, des Wärmepumpenkreises, des Raumwärmekreises sowie die Warmwasser- und Kaltwasser-Temperaturen und dessen gezapftes Volumen. Der Volumenzähler im Solarkreis wurde eigens für das im Solarkreis verwendete Frostschutzmittel kalibriert. Umgebungstemperatur und

Feuchte wurde mit einem Rotronic HF-335-WB1 Sensor aufgezeichnet. Für alle anderen Temperaturmessungen wurden 4-Leiter Pt100 Fühler der Klasse 1/3B verwendet. Die Fühler wurden in der Regel als Tauchfühler ausgeführt, mit Ausnahme des Brauchwarmwasser-Fühlers, welcher auf Grund von technischen Problemen bei der Installation an die Aussenwand des Rohres geklemmt werden musste. Deshalb muss für die Warmwasser-Messung eine relativ hohe Unsicherheit angenommen werden, was aber auf Grund der insgesamt untergeordneten Bedeutung der Warmwasser-Mengen im Verhältnis zum Raumwärmebedarf für die Gesamt-System Betrachtungen nicht stark ins Gewicht fällt. Die Solarstrahlung in der Kollektorebene wurde mit einem Kipp & Zonen CM-5 gemessen. Die Messung der elektrischen Leistung erfolgte über Sineax der Firma Camille Bauer. Die Daten wurden im 10-Sekunden-Takt abgefragt, aber nur bei Veränderung gegenüber der letzten Speicherung um eine festgelegte Schwelle abgespeichert. Die Auswertung, inklusive Leistungsberechnung und Berechnung der Mess-Unsicherheit, erfolgte auf Grund von einem Re-Sampling der Werte im Minuten-Takt.

## Resultate

Die Datenverfügbarkeit für das gesamte Jahr 2011 liegt bei über 99.9%. Die gemessene Solarstrahlung in Kollektorebene betrug  $1472 \text{ kWh/m}^2$  und die durchschnittliche Aussentemperatur  $12.0 \text{ }^\circ\text{C}$  (beide Werte liegen leicht über den historischen Mittelwerten welche für diesen Standort zum Beispiel von Meteonorm angegeben werden). Der Solarertrag betrug  $501 \text{ kWh/m}^2$  (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3: Resultate der Feldmessungen für das Jahr 2011.**

Daten-Verfügbarkeit	>99.9% basierend auf Minutenwerten.
Einstrahlung Kollektorebene	$1472 \text{ kWh/m}^2$
Mittlere Aussentemperatur	$12.0 \text{ }^\circ\text{C}$
Raumwärme	$18\,700 \pm 700 \text{ kWh}$
Warmwasser	$1400 \pm 400 \text{ kWh}$ ab Speicher
Vor- und Rücklauftemperatur	Meist tiefer als $35 \text{ }^\circ\text{C}$ / $28 \text{ }^\circ\text{C}$ zwischen Speicher und Rücklauf-Beimischung
Solarertrag	$501 \text{ kWh}$ ( $\pm 3.2\%$ ) pro $\text{m}^2$ Absorberfläche
Elektrischer Bedarf <sup>a)</sup>	$4\,563 \pm 380 \text{ kWh}$
JAZ <sub>sys</sub> vor Speicher	$5.1 \pm 0.4$
JAZ <sub>sys</sub> nach Speicher	$4.4 \pm 0.4$
JAZ <sub>wp</sub>	$3.6 \pm 0.3$
JAZ <sub>sol</sub>	$80 \pm 5$

<sup>a)</sup> Wärmepumpe, Kollektorkreis, alle Regler, Pumpen und sonstige Komponenten der Anlage mit Ausnahme der Heizkreis-Pumpe.

Die in Abbildung 4 dargestellten monatlichen Energiebilanzen des Speichers zeigen, dass in diesem System die Wärmepumpe von Mai bis September praktisch nicht

eingesetzt werden muss. Auch in den Monaten März, April und Oktober vermag die Solaranlage noch substantielle Beiträge zum gesamten Wärmebedarf liefern. Dagegen sind die Beiträge der Solaranlage in den Monaten Dezember und Januar nur noch marginal. Auf Grund des geringen Wärmebedarfs im Sommer (sehr tiefer Warmwasserverbrauch) geht in den Sommermonaten erwartungsgemäss ein beträchtlicher Teil der gelieferten Solarwärme als Speicher-Abwärme verloren. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Wärmepumpe in den Wintermonaten offensichtlich mehr Wärme im Brauchwasser Modus in den oberen Speicherbereich liefert, als Warmwasser vom Speicher bezogen wird. Dies deutet darauf hin, dass ein Teil der Brauchwasser-Bereitung anschliessend für Raumwärme verwendet wird. Aus Sicht der Anlagen-Effizienz besteht hier also durchaus noch Potential für Verbesserungen.

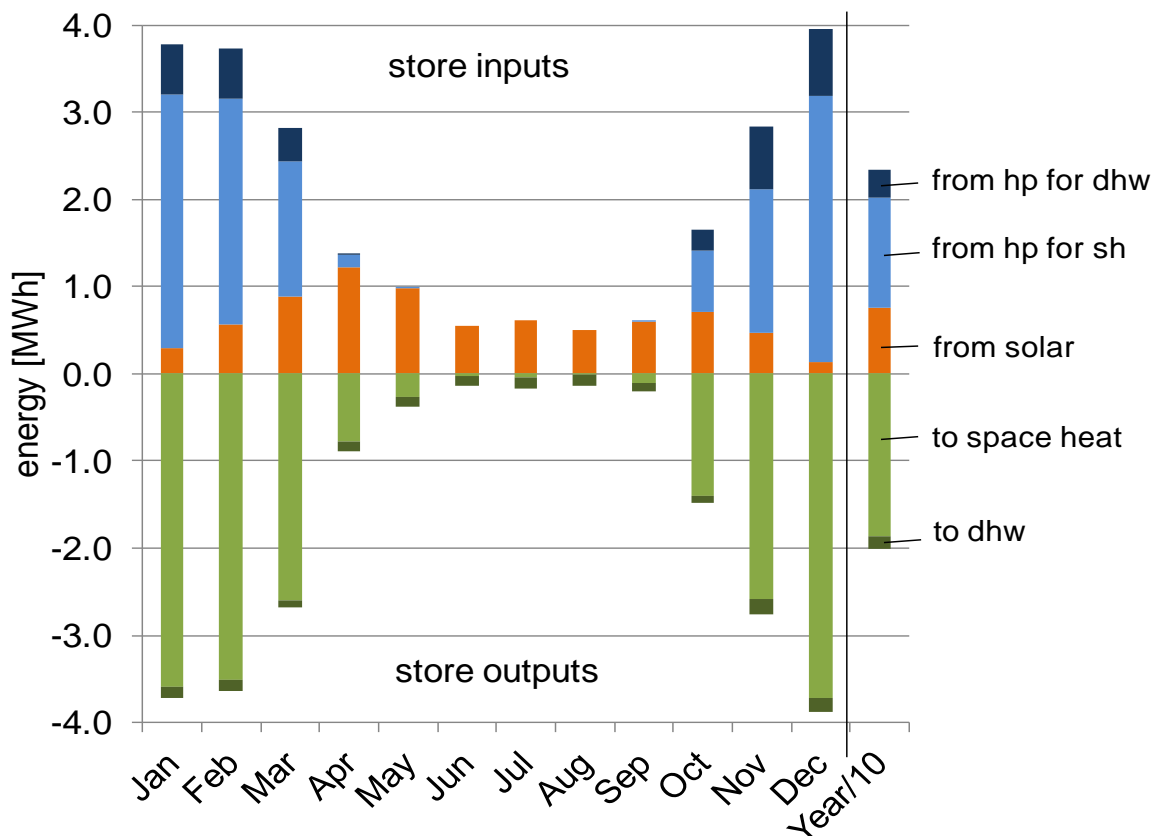


Abbildung 4: Wärmebilanz des Speichers im Jahr 2011.

Die Jahresarbeitszahl des Systems betrug  $5.1 \pm 0.4$  wenn die Wärme bei Lieferung an den Speicher bilanziert wird, und  $4.4 \pm 0.4$  bei Bilanzierung der Wärme welche vom Speicher an die Warmwasserverteilung und die Raumwärme geliefert wird (Abbildung 5). Die Jahresarbeitszahlen der einzelnen Komponenten betragen  $3.6 \pm 0.3$  für die Wärmepumpe und  $80 \pm 5$  für den Kollektorkreis (Abbildung 6). Die Solarwärmanlage verbessert in den meisten Monaten die Arbeitszahl des Systems substantiell. Allerdings fallen die Arbeitszahlen des Systems bilanziert nach dem

Speicher in den Sommermonaten wesentlich tiefer aus als die Arbeitszahl der Solarwärmanlage. Dies deshalb, weil einerseits in diesen Monaten viel Wärme als Speicherverluste verloren geht, andererseits aber bei der Systembetrachtung auch der elektrische Standby-Verbrauch der Wärmepumpe mit berücksichtigt wird.

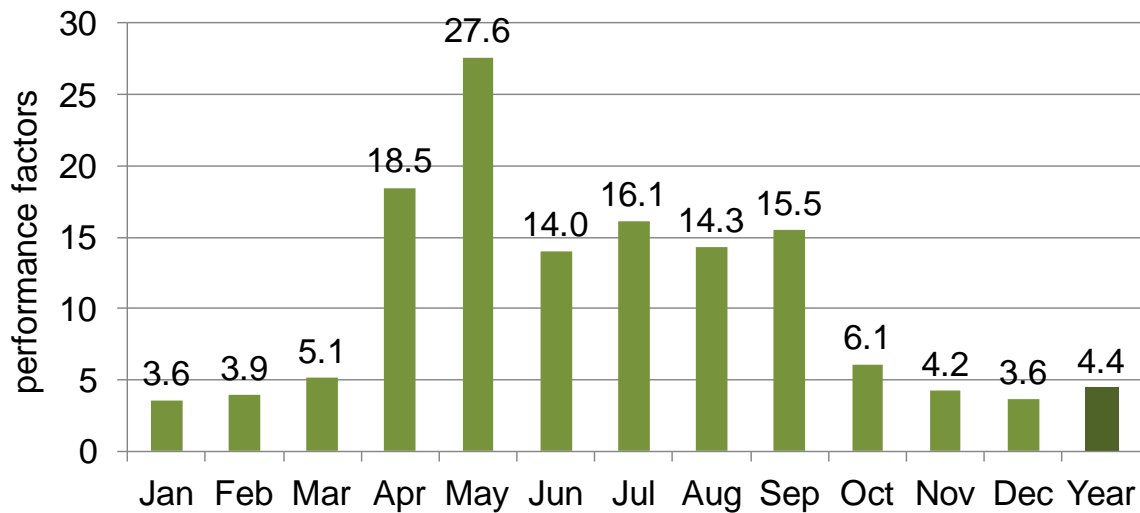


Abbildung 5: Monats- und Jahresarbeitszahlen des Systems (bilanziert nach Speicher).

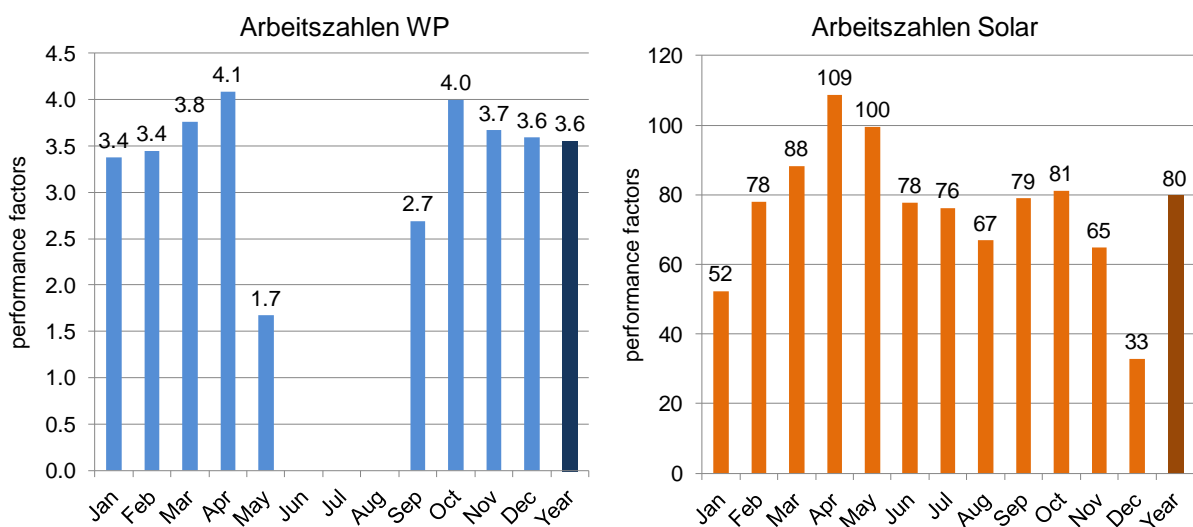
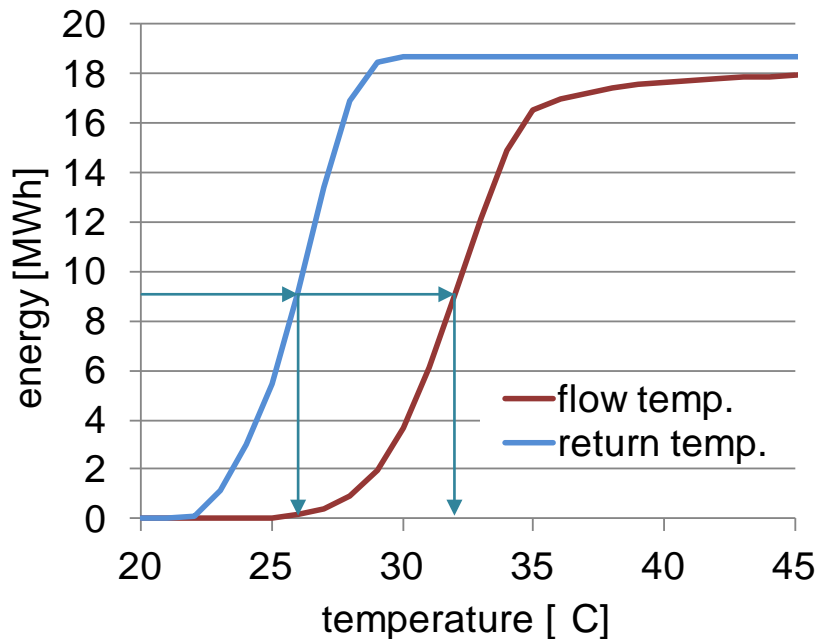


Abbildung 6: Monats- und Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe und der Solarwärme.

Um die Jahresarbeitszahlen richtig einschätzen zu können müssen nicht nur die meteorologischen Rahmenbedingungen (vgl. Tabelle 2) bekannt sein, sondern auch das Temperaturniveau des Wärmebedarfs. Bei dieser Anlage ist auf Grund der geringen Warmwassermengen die Raumwärme entscheidend. Abbildung 7 zeigt die insgesamt gelieferte Wärme einerseits (als Kurvenmaximum bei 18.4 MWh) sowie die Vor- und Rücklauftemperaturen, bei welchen diese Wärme geliefert wurde.



**Abbildung 7: Kumulierte Energiemengen der Raumwärmeverteilung in Abhängigkeit der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen.**

Aus der Abbildung geht hervor, dass die Rücklauftemperatur stets tiefer als 30 °C war, und dass der Median der Vor- und Rücklauftemperaturen bei ca. 32 °C / 26 °C lag. Diese Temperaturen können auf der x-Achse dort abgelesen werden, wo die kumulierte Energiemenge auf der y-Achse die Hälfte der gesamten gelieferten Energie erreicht.

Zwischen dem Passivmischer beim Solarspeicher und dem Warmwasser-Verteilbalken war eine elektrische Begleitheizung installiert, um die Leitung warm zu halten wenn kein Wasser gezapft wird. Der elektrische Bedarf dieser Begleitheizung wurde nicht durchgehend gemessen und weder diese elektrische Energie noch der entsprechende Wärme-Eintrag ins System wurde in den Auswertungen berücksichtigt. Basierend auf einer Messung welche über einen einzelnen Monat vorgenommen wurde kann für diese Begleitheizung ein elektrischer Bedarf von 600 kWh/a angenommen werden. Unter Berücksichtigung dieses Aufwandes sowie der entsprechenden Wärmeeinträge ins System verringert sich die erreichte System-Jahresarbeitszahl von 4.4 auf 4.0.



## **Diskussion und Schlussfolgerungen**

Für das Jahr 2011 konnte eine System-Jahresarbeitszahl von 4.4 berechnet werden basierend auf dem gesamten gemessenen Stromverbrauch einerseits und der ab Speicher gelieferten Nutzwärme andererseits. Vergleicht man diese Werte mit den erzielten Jahresarbeitszahlen aus anderen Feldstudien, so fällt auf, dass sie relativ hoch sind. In einer grösseren Feld-Studie des Fraunhofer ISE [3] haben Luft-Wasser-Wärmepumpen (ohne Solaranlage) im Schnitt eine Jahresarbeitszahl von 2.9 erreicht (Wärme bilanziert vor dem Speicher), und Anlagen mit Kombispeicher haben dort tiefere Werte erreicht als Anlagen ohne Kombispeicher. Ein direkter Vergleich ist jedoch nur möglich, wenn sowohl die meteorologischen Bedingungen als auch die Charakteristik des Wärmebedarfs – insbesondere dessen Temperaturniveau – praktisch identisch sind, denn diese Parameter haben einen entscheidenden Einfluss auf die erreichbaren Jahresarbeitszahlen. Die hier präsentierten Feldmessungen belegen jedoch erstmals, dass es durchaus möglich ist auch mit einem Kombispeicher und rein parallel arbeitenden Wärmeerzeugern Solar-Luft-Wärmepumpe-Systeme für bestehende Gebäude zu realisieren, die hohe System-Jahresarbeitszahlen aufweisen, wie man sie sonst nur von Erdsonden-Wärmepumpen kennt. Die Resultate zeigen aber auch, dass das vermessene System durchaus noch Potenzial für Verbesserungen aufweist.

Der Einsatz von elektrischen Heizbändern zur Warmhaltung von Warmwasser-Verteilleitungen erscheint in Kombination mit Solarwärme-Anlagen als wenig sinnvoll, da die Solarwärme während mindestens sechs Monaten im Jahr im Überfluss vorhanden ist und somit der Energiebedarf für das Warmhalten dieser Leitungen über die Solarwärme praktisch gratis zu haben wäre. Bei kurzen Leitungen wie im vorliegenden Fall könnte mit Naturzirkulation in der Zuleitung zum Verteilbalken die Warmhaltung bewerkstelligt werden. Dabei wird die übliche Siphonierung der Warmwasserleitung nicht am Speicher, sondern erst nach dem Verteilbalken vorgenommen (vgl. [4]). Bei längeren Verteilleitungen in Mehrfamilienhäusern käme an Stelle der Heizbänder eine Zirkulationsleitung mit Zwangsumlauf zum Einsatz.

## **Danksagung**

Die Autoren danken den Elektrizitätswerken Jona-Rapperswil (EWJR) für die finanzielle und logistische Ermöglichung der vorgestellten Untersuchungen.

## Bibliographie

- [1] Hadorn, J.-C., 2011. Solar and Heat Pump Systems - Status of the IEA SHC Task 44 & HPP Annex 38. In: Proc. of the ISES Solar World Congress 2011, Aug. 28 - Sep. 2, Kassel, Germany.
- [2] Frank, E., Haller, M., Herkel, S. & Ruschenburg, J., 2010. Systematic Classification of Combined Solar Thermal and Heat Pump Systems. In: Proc. of the EuroSun 2010 Conference, Graz, Austria.
- [3] Miara, M., Günther, D., Kramer, T., Oltersdorf, T. & Wapler, J., 2011. Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany.
- [4] Nipkow, J., Suter, J.-M. & Mathez, S.A., 2011. Neue Norm SIA 385/1, gültig ab 1. Mai 2011: Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Grundlagen und Anforderungen - Warmwasser: höherer Anteil in Wärmebilanz. HK-Gebäudetechnik, 11(5), p.78–79.