

## **Solare Kombispeicher mit Wärmepumpen: Labormessungen der Jahresleistung zeigen Optimierungspotential**

R. Haberl, M.Y. Haller, A. Reber, E. Frank  
Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR  
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil  
Tel.: +41 55 222 48 32, Fax: +41 55 222 48 44  
E-Mail: robert.haberl@solarenergy.ch  
Internet: www.solarenergy.ch

### **Einleitung**

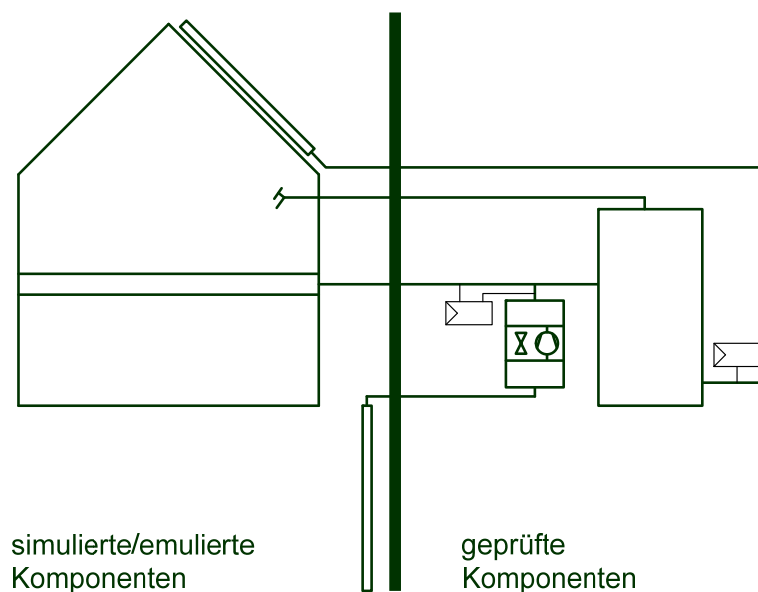
Das effiziente Funktionieren von Wärmebereitstellungssystemen in Wohngebäuden hängt stark von der richtigen Auslegung bzw. Konzeptionierung, Installation und Regelung der Komponenten und der Hydraulik ab. Dies gilt insbesondere für die Kombination von solaren Kombispeichern und Wärmepumpen (WP). Grund dafür ist vor allem die starke Abhängigkeit der Leistungszahl (COP) von der Temperaturspreizung zwischen Quelle und Senke. Feldmessungen, die unabhängig voneinander am 22. Symposium Thermische Solarenergie von Ruschenburg et al. (2012) und Thür et al. (2012) präsentiert wurden, zeigen teilweise unbefriedigende Ergebnisse von Systemen, in welchen Wärmepumpen mit solaren Kombispeichern betrieben wurden, wobei teilweise auf zu hohe Senkentemperaturen hingewiesen wurde, bei denen die WP betrieben wird.

Zur genaueren Analyse und Bewertung des Zusammenspiels der Komponenten wurde eine ausgewählte Anlage, die einen Kombispeicher mit einer Sole/Wasser-WP sowie Sonnenkollektoren kombiniert, im dynamischen Systembetrieb untersucht. Um den hohen messtechnischen Aufwand eines Feldtests und dessen Dauer von mehr als einem Jahr vermeiden zu können, wurde die am SPF entwickelte „Concise Cycle Test“ (CCT) Methode verwendet (Vogelsanger 2002, Haberl et al. 2009, Haberl et al. 2010).

Im Beitrag von Haller et al. (2013) im Tagungsband des 23. Symposiums Thermische Solarenergie wurde ergänzend zu diesem auf Labormessungen basierten Ansatz der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die hydraulische Einbindung und Regelung der Wärmepumpe in Systeme mit solaren Kombispeichern auf die System-Jahresarbeitszahlen und damit auf den elektrischen Energiebedarf der Anlage hat.

## Methode

Den Kern der Methode bildet eine 12-tägige Messung des Systems im dynamischen Betrieb (vgl. Abbildung 1), wobei die Anlage selbständig arbeiten muss, um die Last eines Einfamilienhauses, die durch den Prüfstand emuliert wird, zu decken ( $140 \text{ m}^2$  EBF und  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  Heizenergiebedarf,  $2900 \text{ kWh/a}$  Warmwasser). Die dem Test zu Grunde liegenden Wetterdaten entsprechen in ihrem Verlauf den Klimadaten eines durchschnittlichen Jahres im Schweizerischen Mittelland. Der 12-Tages Test legt das Betriebsverhalten des Systems offen und ist dazu geeignet, Fehlfunktionen zu erkennen und die Funktionalität des Gesamtsystems zu bewerten. Allerdings können die Messergebnisse nicht direkt zu Jahreswerten extrapoliert werden, da die wichtigsten Faktoren des Systems (Heizung, Warmwasserverbrauch, Klimatische Verhältnisse, Gebäudelast) nicht einfachen linearen Abhängigkeiten folgen. Aus diesem Grunde werden im Anschluss an die Messung die aufgenommenen Daten dazu verwendet, ein detailliertes Simulationsmodell der geprüften Anlage zu erstellen, mit dessen Hilfe jahresbasierte Kennwerte ermittelt werden.



**Abbildung 1: Konzept der Laborprüfung. Das Haus mit Heizverteilung (Fussbodenheizung), die Kollektoren sowie die Erdsonden sind simuliert bzw. emuliert. Wärmepumpe und Speicher, Rohrleitungen, Ventile sowie alle Regel- und Steuergeräte sind installiert und werden geprüft.**

## Geprüfte Anlage

In Tabelle 1 sind die Daten der geprüften Anlage zusammengefasst. Zentrales Element der Anlage ist ein Tank-in-Tank Kombispeicher. Zur Erzeugung und Speicherung von Brauch-Warmwasser (Warmwasser) dient im unteren Bereich ein Glattrohr Wärmeübertrager (WÜ), welcher im oberen Bereich in den Innentank mündet. Im Bedarfsfall erfolgt die Erzeugung von Warmwasser mittels der Wärmepumpe durch Wärmeeintrag in den oberen Teil des Kombispeichers und Wärmeübertragung an den Innentank. Ein Thermomischer verhindert zu hohe

Warmwassertemperaturen. Die Umschaltung der Wärmepumpe zwischen den Betriebszuständen „Raumheizung“ (RH) und „Boilerladung“ (WW) erfolgt durch ein 3-Wege-Ventil im Vorlauf der WP. Die Position des Rücklaufs bleibt dabei unverändert (einfache Umschaltung). Die erzeugte Wärme wird im RH-Modus teils direkt an die Heizkreisverteilung geliefert, und teils in den Kombispeicher eingebracht.

**Tabelle 1: Komponenten der WP-Solar Anlage.**

#### **Kombispeicher**

Typ	Tank in Tank Kombispeicher	
Speicher Volumen	[m <sup>3</sup> ]	0.9
Durchmesser des Speichers ohne Wärmedämmung	[m]	0.8
Durchmesser des Speichers mit Wärmedämmung	[m]	1.0
Höhe des Speichers mit Wärmedämmung	[m]	2.1

#### **Kollektorfeld**

Typ	Flachkollektoren	
Brutto-/Aperturfläche Modul	[m <sup>2</sup> ]	2.8/2.5
$\eta_0^{(a)}$	[-]	0.818
$a_1^{(a)}$	[W/(m <sup>2</sup> K)]	3.85
$a_2^{(a)}$	[W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )]	0.0111
Anzahl der Kollektoren	[-]	4
<sup>(a)</sup> bezogen auf Apertur Fläche		

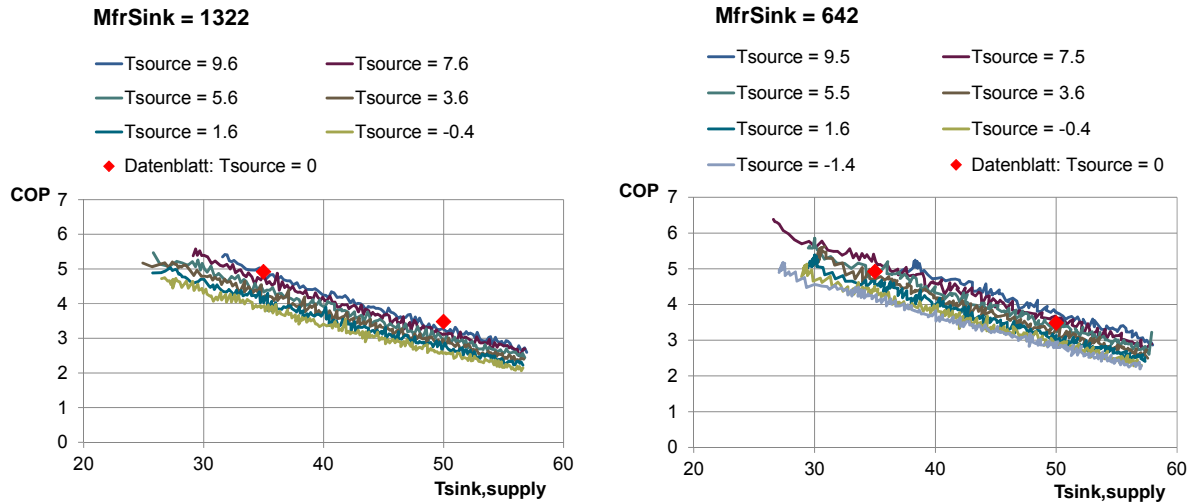
#### **Wärmepumpe**

Typ	Sole/Wasser WP	
Maximale / Minimale Wärme-Leistung (S0/W35)	[kW]	8.2 / 8.2
Maximale elektrische Leistungsaufnahme	[kW]	2.4

## **Resultate der Laborprüfung**

Im Labor wurden Einzel-Messungen an den Komponenten WP und Kombispeicher durchgeführt, sowie das komplett aufgebaute System im 12-Tages-Test (CCT) mit realen Lasten dynamisch vermessen.

Die WP wurde im nicht-stationären Betrieb vermessen. Zur Parametrisierung des Simulationsmodells wurden Ladezyklen eines Warmwasserspeichers erfasst. Dazu wurde der Speicher jeweils mit einer homogenen Temperatur von ca. 20 °C initialisiert und dann die WP zur Boilerladung freigegeben. Daraus resultiert eine kontinuierlich steigende Rücklauftemperatur und in der Folge auch der Vorlauftemperatur. Ergebnisse der Messungen bei zwei verschiedenen Massenströmen auf der Senkenseite der WP (sink) sind in Abbildung 2 dargestellt. Die im Datenblatt der WP verzeichneten COP-Werte liegen um ca. 0.1...0.9 COP-Punkte über diesen Werten. Diese Unterschiede können teilweise durch die in den Messungen vollständig erfassten elektrischen Leistungen für die Quellen- und Senkenpumpe erklärt werden. Nach Prüf-Norm werden diese el. Leistungen nur in dem Masse zum el. Bedarf der WP gezählt, in dem sie durch den Druckverlust der WP-Wärmeübertrager bedingt sind. Ein direkter Vergleich ist deshalb schwierig.



**Abbildung 2: COP der WP während der Speicherbeladung mit zwei verschiedenen Massenströmen (1322 kg/h, resp. 642 kg/h).**

Am Kombispeicher wurden Messungen zur Bestimmung der thermischen Masse und der Wärmeverluste an die Umgebung durchgeführt. Dazu wurde der Kombispeicher in der bestehenden Installation auf eine homogene Temperatur aufgeheizt und anschliessend die Wärmemenge bestimmt, die über den Warmwasser-Kreis entzogen werden konnte. In einem zweiten Schritt wurde das Verfahren mit einer Wartezeit zwischen Konditionierung und Wärmeentnahme durchgeführt. Die so ermittelten Wärmeverluste enthalten neben den Verlusten über die Oberfläche des Kombispeichers auch Anschlussverluste sowie Zirkulationsverluste über die Rohrleitungen. Der ermittelte UA-Wert beträgt 7.7 W/K.

Im 12-Tages Test werden alle zugeführten oder abgegebenen Leistungen an der Schnittstelle zwischen simulierten/emulierten und geprüften Komponenten (vgl. Abbildung 1) sowie die el. Leistungsaufnahme im dynamischen Betrieb gemessen. Für ein besseres Systemverständnis werden innerhalb des geprüften Systems zusätzlich Temperaturen und Volumenströme zwischen WP, Heizkreisverteilung und Kombispeicher sowie die Temperatur im Kombispeicher mittels Kontakt-Anlegefühler gemessen. Ein Überblick über die Tagesresultate des CCT geben die Tabelle 2 sowie Abbildung 3. Die Arbeitszahl der einzelnen Tage wurde dazu über das gesamte System nach Formel 1 gebildet. Berücksichtigt werden in dieser Formel die vom System gelieferte Wärmemenge an das Heizkreis-Verteilsystem  $Q_{SH}$ , die gelieferte Warmwasser Energie  $Q_{DHW}$  sowie der totale Bedarf an elektrischer Energie  $W_{el}$ . Auf Grund dieser Formel werden die Systemgrenzen um alle im Technikraum befindlichen Komponenten gezogen, d. h. auch um den Kombispeicher, dessen Wärmeverluste das Resultat negativ beeinflussen.

**Formel 1**

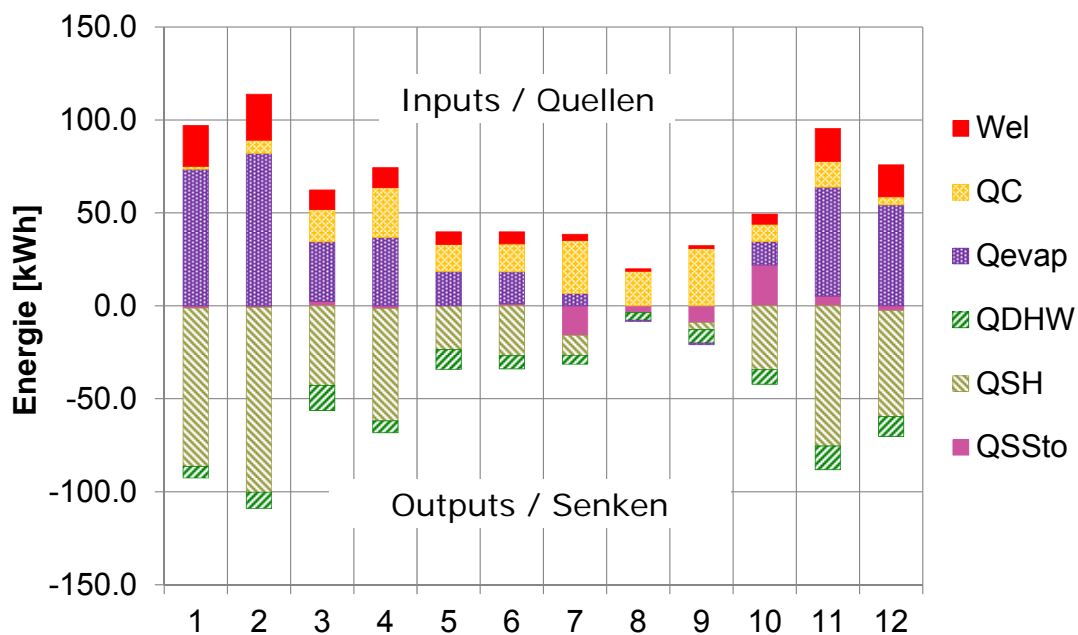
$$AZ_{sys} = \frac{Q_{SH} + Q_{DHW}}{W_{el}}$$

**Tabelle 2: Ergebnisse der 12-Tages Messung des WP-Solar-Systems.**

Tag	$T_{amb,av}$ °C	$I_{hor}$ kWh/m <sup>2</sup>	$Q_{SH}$ kWh	$Q_{DHW}$ kWh	$Q_{WP,SH}$ kWh	$Q_{WP,DHW}$ kWh	$Q_{evap}$ kWh	$Q_C$ kWh	$W_{el}$ kWh	$N_{starts}$ -	$AZ_{sys}$ -
1	1.1	0.621	-85.2	-6.3	78.6	12.5	73.5	1.5	21.9	26	4.2
2	-2.7	1.308	-99.5	-8.8	89.5	12.2	82.0	7.1	24.8	25	4.4
3	7.4	3.643	-42.8	-13.6	24.8	14.0	32.0	17.4	10.6	16	5.3
4	4.4	4.775	-60.5	-6.3	42.3	2.6	36.8	26.7	10.8	17	6.2
5	11.2	3.868	-23.5	-10.6	12.8	9.8	18.5	14.4	6.9	9	5.0
6	10.6	3.329	-26.8	-7.1	13.3	8.0	17.2	15.1	6.4	9	5.3
7	15.3	6.084	-10.8	-4.7	7.7	1.2	6.6	28.6	3.4	7	4.6
8	18.7	4.373	0.0	-4.1	-0.1	-0.4	-0.7	18.6	1.4	2	3.0
9	15.3	5.35	-4.0	-7.3	-0.3	-0.3	-0.9	30.9	1.6	2	7.2
10	7.7	1.612	-34.2	-7.9	8.1	7.7	12.6	9.4	5.4	5	7.7
11	0	1.392	-75.4	-12.7	59.2	12.9	58.5	13.8	17.7	20	5.0
12	4.5	0.815	-57.1	-10.6	46.9	19.7	54.4	4.3	17.3	22	3.9
<b>Gesamt</b>	<b>7.8<sup>(a)</sup></b>	<b>37.170</b>	<b>-519.7</b>	<b>-99.9</b>	<b>382.7</b>	<b>100.0</b>	<b>390.6</b>	<b>187.6</b>	<b>128.0</b>	<b>160</b>	<b>4.8<sup>(a)</sup></b>

<sup>(a)</sup> Mittelwert.

$T_{amb,av}$  = Mittlere Außentemperatur;  $I_{hor}$  = Globalstrahlung auf die horizontale Fläche;  $Q_{SH}$  = Heizenergie;  
 $Q_{DHW}$  = Warmwasserenergie;  $Q_{WP,SH}$  = Im Heizungsmodus gelieferte Wärmeenergie;  $Q_{WP,DHW}$  = Im  
Warmwassermodus gelieferte Wärmeenergie;  $Q_{evap}$  = Wärme aus der Erdsonde;  $Q_C$  = Eingetragene Energie  
durch Kollektorfeld;  $W_{el}$  = Elektrische Energieaufnahme;  $N_{starts}$  = Anzahl Wärmepumpen-Starts;  
 $AZ_{sys}$  = Arbeitszahl über einen Tag bzw. über die 12 Tage.



**Abbildung 3: Ergebnisse der 12-Tages-Messung der WP-Solar Anlage. QSSTo = Änderung des Energieinhaltes des Kombispeichers, weitere Abkürzungen siehe Tabelle 2.**

Abbildung 4 zeigt, dass die WP im RH-Modus durchschnittlich Temperaturen von ungefähr 35 °C liefert (violette Linie), nach dem Mischer / bei Eintritt Fussbodenheizung jedoch nur noch etwa 28 °C vorliegen. Die WP liefert entsprechend Wärme mit einer Temperatur-Überhöhung von 7 K. Geht man davon aus, dass pro K der COP um ca. 2 % sinkt, so resultiert eine COP-Reduktion von ca. 14 %, respektive > 0.5 COP-Punkte bei der Wärmepumpe.

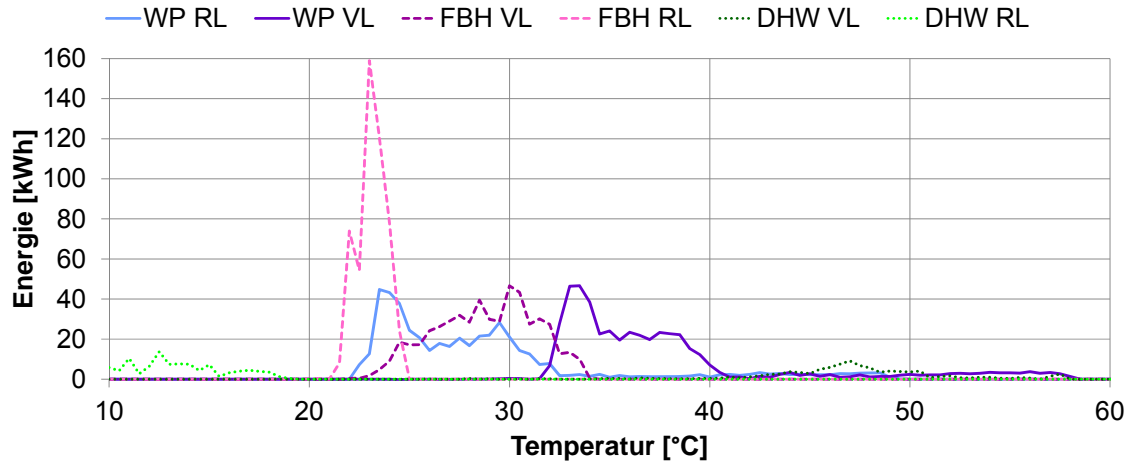


Abbildung 4: Energie-Temperatur Diagramm des gesamten Systems im 12-Tages-Test.

Abbildung 5 zeigt eine Warmwasser-Beladung durch die WP am Testtag 5, beginnend um 15:00 Uhr. Die Temperaturfühler TS4 und TS5 sind im Raumheizungs-Bereich, TS6 ist noch beeinflusst vom Raumheizungs-Bereich. TS5 und TS6 werden durch die Boilerladung auf fast 50 °C gehoben, TS4 auf 40 °C. Wärme auf diesem Niveau wird danach (zwischen 18:00 – 24:00 Uhr) für die Raumheizung (ca. 30 °C Vorlauf) verwendet. In dieser Zeit findet keine Ladung des Raumheizungs-Bereichs durch die Wärmepumpe mehr statt, dafür ist ein starkes absinken von TS5 und TS4 zu erkennen. Die gesamte WW-Beladung an diesem Tag beträgt 7.3 kWh, der WW-Bezug 10.6 kWh. Für die Anhebung von 10 – 30 °C (Vorwärmung im unteren Teil des Kombispeichers durch internen WÜ) sind ca. 5.3 kWh nötig, genauso viel wie für die weitere Erwärmung auf 50 °C nötig sind. Es gibt also ein geschätztes „zu viel“ an Wärmeerzeugung im WW-Modus:  $7.3/5.3-1 = 38\%$ .

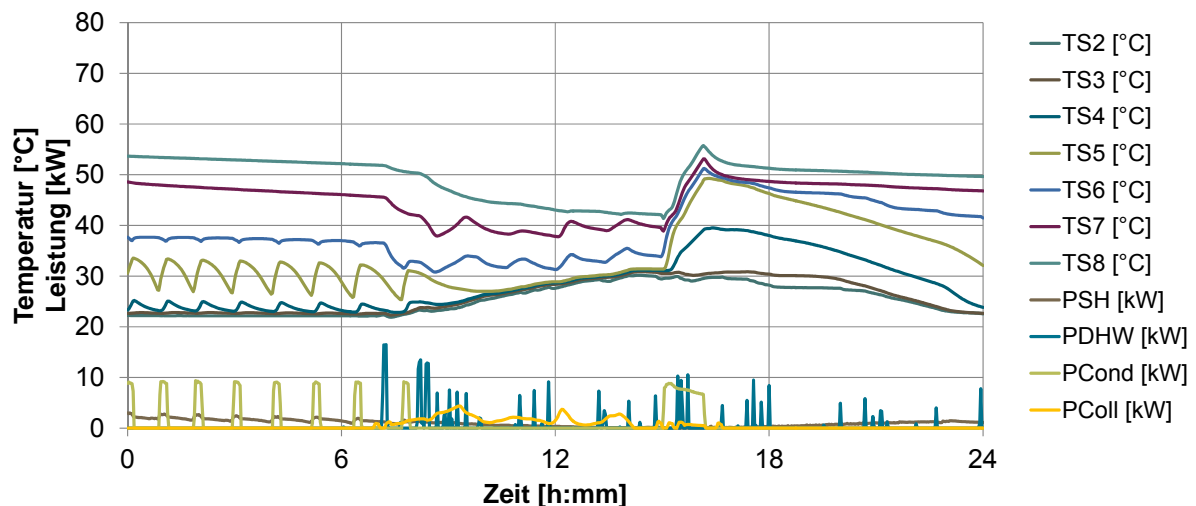
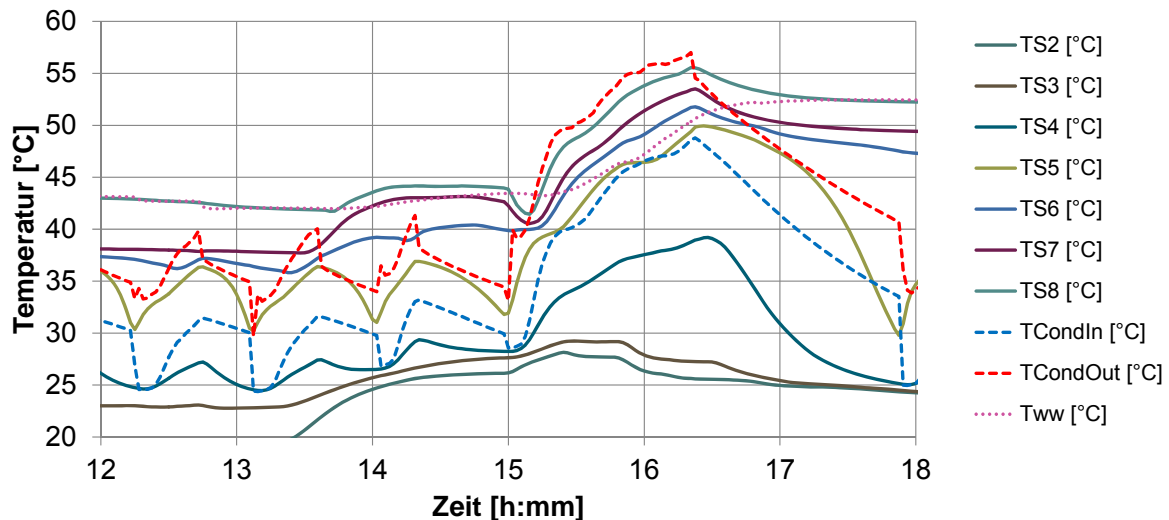


Abbildung 5: Gemessene Temperaturen und Leistungen am Testtag 5. TS2 bis TS8 = Temperaturen im Kombispeicher (mit TS2 = Speicher unten und TS8 = Speicher oben); PSH = Heizleistung; PDHW = Zapfleistung Brauchwarmwasser; PCond = Über den Kondensator gelieferte Wärmeleistung; PColl = Über die Kollektoren eingetragene Leistung.

Abbildung 6 zeigt die Beladung der Warmwasser Zone des Kombispeichers durch die WP. Dabei fällt auf dass die Temperatur an der Hülle (gemessen mit den Kontakt-Anlegefühlern TS6 – TS8) deutlich schneller steigt als im Brauchwasserteil (T<sub>ww</sub>, gemessen mit einer Tauchhülse im Innentank). Nach Abschalten der WP gleichen sich die Temperaturen an, d.h. die Temperatur im Brauchwasserteil steigt und im Pufferteil sinkt. Insgesamt erreicht die WP eine maximale Austrittstemperaturen von ca. 57 °C, während dem die Temperatur im Innentank nur auf 52.5 °C gebracht wird.



**Abbildung 6: Gemessene Temperaturen an Testtag 2 während einer Boilerladung.** T<sub>condIn</sub> = Eintrittstemperatur WP; T<sub>condOut</sub> = Austrittstemperatur WP; T<sub>ww</sub> = Warmwasser Temperatur gemessen mit einer Tauchhülse im Innentank.

Abbildung 7 zeigt das Verhältnis zwischen den Wärmemengen der Boilerladungen ( $Q_{WP,WW}$ ) und des Warmwasserbezugs ( $Q_{WW}$ ) an den einzelnen Testtagen. Geht man davon aus, dass das Warmwasser im unteren Teil des Speichers auf die Temperatur der Raumheizung (ca. 35 °C) vorgewärmt wird, so sollte die gelieferte Wärmemenge selbst im Winter die bezogene Wärmemenge nicht oder (auf Grund der Wärmeverluste) nur wenig überschreiten. Werte von bis zu 200 % sind ein Hinweis darauf, dass eine signifikante Verfrachtung von Energie aus der Warmwasserzone in die Raumwärmezone stattfindet, mit entsprechend negativen Auswirkungen auf die Arbeitszahl der Wärmepumpe.

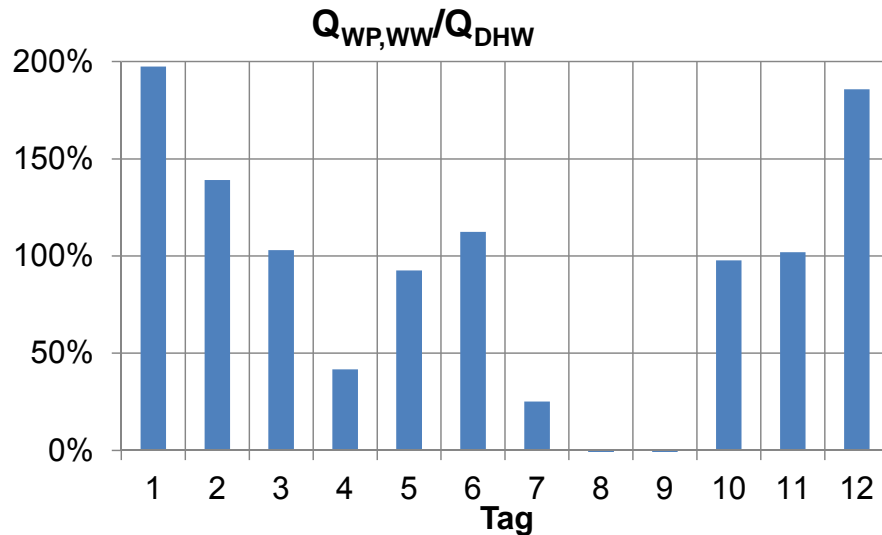


Abbildung 7: Wärmemenge von der Wärmepumpe im Boiler-Lade Modus geliefert ( $Q_{WP,WW}$ ) im Verhältnis zu bezogener Warmwasser-Wärmemenge ( $Q_{WW}$ ). Die einzelnen Testtage 1 bis 12 entsprechen den Monaten Januar bis Dezember eines Jahres.

Bereits in Abbildung 5 ist zu sehen, dass die Laufzeiten der WP im RH-Modus sehr kurz sind. Dies wird in der Abbildung 8 noch einmal verdeutlicht: Die Laufzeiten pro Start sind mit meist < 30 min., in vielen Fällen < 20 min. sehr kurz. Lediglich die Laufzeiten im WW-Modus bilden hier die Ausnahme. Diese finden jeweils nach 15:00 Uhr des jeweiligen Tages statt, wenn durch die Regelung die Boilerladung freigegeben ist.

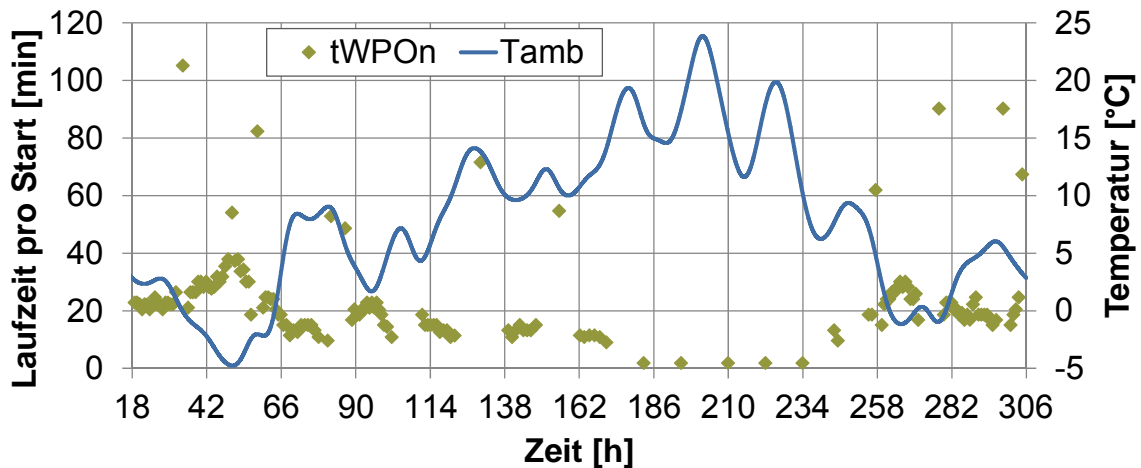


Abbildung 8: Laufzeit der WP pro Start ( $t_{WPOn}$ ) und Aussentemperatur ( $T_{amb}$ ). Längere Laufzeiten nach 15:00 Uhr des jeweiligen Tages (die Stunden 18 bis 42 entsprechen dem ersten Tag von 0 bis 24 Uhr) sind Betriebszeiten im Boilerlade-Modus.



## Resultate der Jahressimulation

Zur Berechnung der Jahreskennwerte wurden im modular aufgebauten Simulationsmodell TRNSYS alle Komponenten des Systems abgebildet und analog der realen Regelung und Hydraulik miteinander verbunden. Auf Basis der Messdaten wurde dieses Simulationsmodell der geprüften Anlage so parametrisiert, dass die Ergebnisse der 12-Tages Messung und der 12-Tages Simulation übereinstimmen. Abbildung 9 zeigt die kumulierte Energie aus der Messung (breite Linien) und der Simulation (dünne helle Linien auf den breiten Linien). Die mit Hilfe dieses Modells bestimmten Jahreskennwerte sind in Tabelle 3 und Abbildung 10 zu sehen. Das Gesamtsystem erreicht somit eine Jahresarbeitszahl von 4.5.

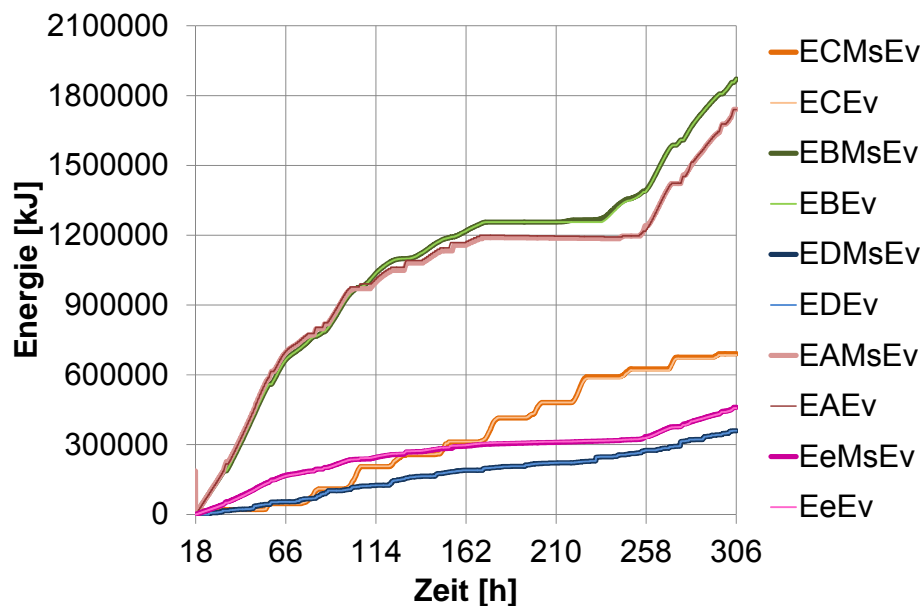


Abbildung 9: Kumulierte Energie aus der 12-Tages Messung und der 12-Tages Simulation.

Tabelle 3: Ergebnisse der Jahressimulation.

Mon.	$T_{amb,av}$ °C	$I_{hor}$ MWh/m <sup>2</sup>	$Q_{SH}$ MWh	$Q_{DHW}$ MWh	$Q_{WP,SH}$ MWh	$Q_{WP,DHW}$ MWh	$Q_{evap}$ MWh	$Q_C$ MWh	$W_{el}$ MWh	$N_{starts}$ -	$AZ_{sys}$ -
1	-0.1	0.037	-2.991	-0.284	2.850	0.344	2.659	0.168	0.801	737	4.1
2	-0.8	0.068	-2.649	-0.264	2.470	0.245	2.266	0.298	0.682	639	4.3
3	5.4	0.111	-1.755	-0.308	1.483	0.276	1.488	0.468	0.455	598	4.5
4	8.9	0.153	-1.022	-0.290	0.697	0.169	0.744	0.562	0.247	369	5.3
5	12.9	0.209	-0.470	-0.244	0.265	0.073	0.305	0.605	0.123	186	5.8
6	14.3	0.205	-0.429	-0.199	0.203	0.127	0.291	0.535	0.126	176	5.0
7	17.0	0.225	0.000	-0.177	-0.026	0.028	0.022	0.471	0.041	59	4.3
8	18.4	0.197	0.000	-0.163	-0.029	0.000	0.000	0.489	0.032	56	5.1
9	15.0	0.155	-0.176	-0.217	0.038	0.043	0.087	0.544	0.062	90	6.3
10	9.3	0.086	-1.154	-0.220	0.838	0.213	0.906	0.435	0.285	451	4.8
11	5.0	0.046	-1.968	-0.253	1.722	0.322	1.729	0.258	0.512	658	4.3
12	2.5	0.027	-2.638	-0.284	2.469	0.416	2.418	0.115	0.713	816	4.1
<b>Tot</b>	<b>9.0<sup>(a)</sup></b>	<b>1.518</b>	<b>-15.252</b>	<b>-2.904</b>	<b>12.980</b>	<b>2.256</b>	<b>12.914</b>	<b>4.948</b>	<b>4.077</b>	<b>4835</b>	<b>4.5<sup>(a)</sup></b>

<sup>(a)</sup> Mittelwert

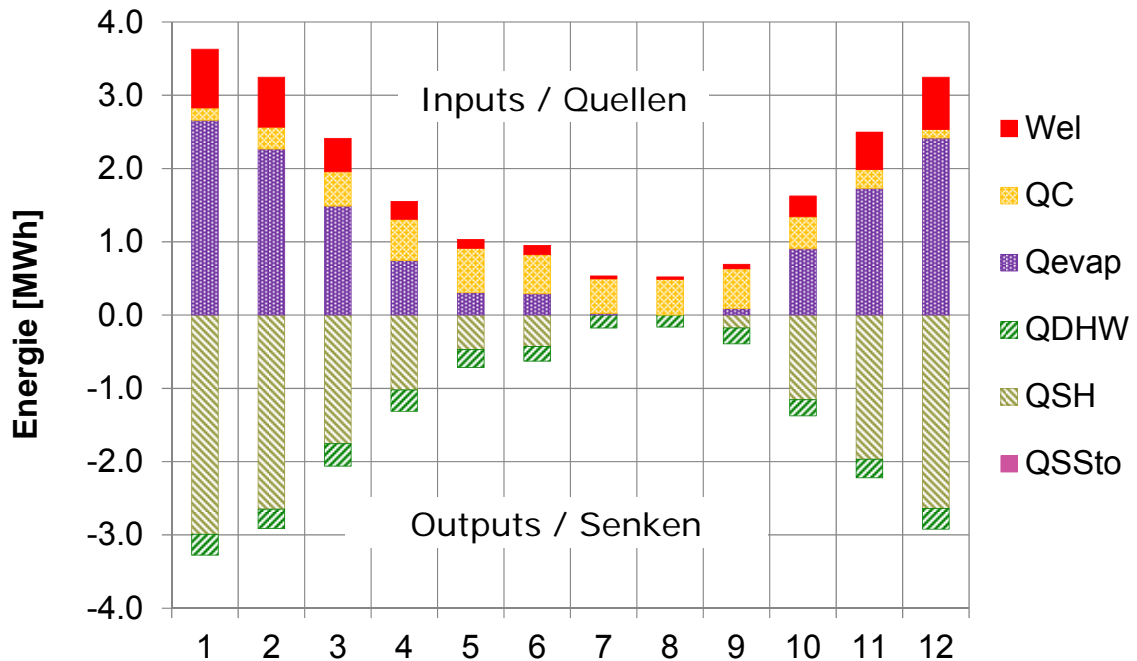


Abbildung 10: Ergebnisse der Jahressimulation des WP-Solar-Kombi-Systems.

## Vergleich mit Feldtests

In einem Feldtest des Fraunhofer ISE (Miara et al. 2011) wurden vier Jahresarbeitszahlen mit unterschiedlichen Systemgrenzen definiert (siehe Abbildung 11). Im Gegensatz zu der in diesem Beitrag angewendeten Definition der Arbeitszahl, wurden die Speicherverluste und der el. Aufwand für die Heizkreis-Verteilung in keiner der Definitionen (AZ 0 bis AZ 3) berücksichtigt.

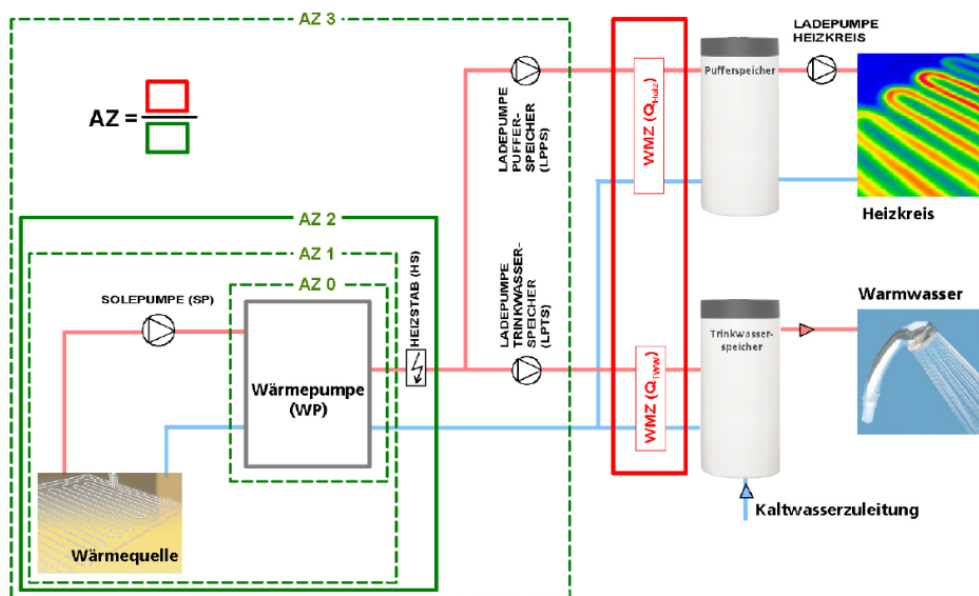


Abbildung 11: Im Feldtest des Fraunhofer-ISE berechnete Jahresarbeitszahlen für Wärmepumpenanlagen (Miara et al. 2011).

Die Durchschnittlich erreichte JAZ3 der vermessenen Wärmepumpenanlagen (ohne Solaranlage) lagen dabei in der Studie bei 3.8 für Sole/Wasser Wärmepumpen. Eine auf gleiche Weise ermittelte JAZ3 der in diesem Beitrag gezeigten Anlage liegt bei 5.3. Ein direkter Vergleich ist jedoch schwierig, da die Jahresarbeitszahlen extrem stark von Randbedingungen wie Aussentemperaturen, Temperaturniveau der Heizlast sowie Anteil Warmwasser am Gesamtwärmebedarf abhängig sind. Auch profitieren die Solar-Wärmepumpen-Anlagen bei einer Berechnung von JAZ3 von hohen Wärmeerträgen der Solaranlage im Sommer, die jedoch zu einem grossen Teil als Speicherverluste wieder verloren gehen.

## **Zusammenfassung**

Die Prüfung des solaren Kombisystems mit Sole/Wasser Wärmepumpe zeigt ein System, das den Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser sicher deckt, und eine gute Jahresarbeitszahl von 4.5 erreicht. Dennoch besteht im Detail noch Verbesserungspotential:

- Es wurde eine signifikante Verfrachtung von Energie aus der Warmwasser Zone in die Raumheizungszone des Kombispeichers festgestellt.
- Die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe im Raumheizungsmodus ist im Schnitt etwa 7 K höher als die tatsächlich von der Raumheizung benötigte Temperatur.
- Die Laufzeiten der Wärmepumpe im Raumheizungsmodus sind sehr kurz mit entsprechend hoher Anzahl an Wärmepumpen-Starts.

Die Verfrachtung von Warmwasser-Energie (Energie welche im Warmwasser-Modus von der Wärmepumpe auf höherem Temperaturniveau bereitgestellt wurde) in die Raumwärmeverteilung des Systems wurde bereits in anderen Studien festgestellt (Haller & Frank, 2012; Thür et al., 2012). Der Beitrag von Haller et al (2013) im Tagungsband des 23. Symposiums Thermische Solarenergie baut auf diesen Ergebnissen auf und zeigt anhand von Simulationsrechnungen, dass durch diesen Effekt der elektrische Jahresenergiebedarf um bis zu 48 % steigen kann, und welche hydraulische und regeltechnische Punkte zu beachten sind um dies zu vermeiden.

## **Danksagung**

Die Autoren danken dem Schweizerischen Bundesamt für Energie (BFE), welches diese Studien im Rahmen des Projektes „SOL-HEAP“ finanziell unterstützt hat.

## **Bibliographie**

- Haberl, R., Frank, E. & Vogelsanger, P. 2009. Holistic System Testing – 10 Years of Concise Cycle Testing. In: Solar World Congress 2009, Johannesburg, South Africa, 351-360.
- Haberl, R., Haller, M.Y., Frank, E., 2010. Systemtests für solarunterstützte Heizungskonzepte mit dem Concise Cycle Test. In 16. Status-Seminar Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt, 2./3. September 2010, ETH Zürich, Switzerland.
- Haller, M. & Frank, E., 2012. System-Jahresarbeitszahl grösser 4.0 mit Luft-Wasser Wärmepumpe kombiniert mit Solarwärme. In: 22. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 9.-11. Mai 2012, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany.
- Haller, M.Y., Haberl, R., Mojic, I., Frank, E., 2013. Solare Kombispeicher mit Wärmepumpen: Scheinbare Details entscheiden über die Performance! In 23. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 24.-26. April 2013, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany.
- 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.
- Ruschenburg, J., Palzer, A., Günther, D. & Miara, M., 2012. Solare Wärmepumpensysteme in Einfamilienhäusern - Eine modellbasierte Analyse von Feldtestdaten. In: 22. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 9.-11. Mai 2012, Bad Staffelstein, Germany.
- Thür, A., Vukits, M., Becke, W., Heinz, A. & Lerch, W., 2012. Ein Jahr Feldmessung von sechs Solar-Kombianlagen mit Wärmepumpen - Langfassung. In: 22. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 9.-11. Mai 2012, Bad Staffelstein, Germany.
- Vogelsanger, P., 2002. The Concise Cycle Test Method – A Twelve Day System Test. IEA SHC Task 26 Technical Report.