

EIN JAHR FELDMESSUNG VON FÜNF SOLAR-KOMBIANLAGEN MIT WÄRMEPUMPEN

Alexander Thür*, Martin Vukits, Walter Becke
AEE Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)
Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf, Österreich
E-Mail: a.thuer@aee.at

* Universität Innsbruck, AB Energieeffizientes Bauen

1. Einleitung

Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme basierend auf Kombinationen aus Solarthermie und Wärmepumpen werden aktuell am Markt mehr und mehr nachgefragt und inzwischen auch von vielen Systemanbietern angeboten. Die Integration der Wärmepumpe in ein Solarkombisystem ist aber um einiges komplexer als andere Zusatzheizenergiequellen, da auch die Energiequelle der Wärmepumpe (Verdampferkreis) mit dem gesamten System verknüpft sein kann. Neben den typischen Quellen Umgebungsluft oder Erdreich kann auch der Solarkollektor oder auch der Pufferspeicher als Energiequelle in unterschiedlichsten Schaltungen genutzt werden.

Um sicher zu stellen, dass die auf dem Markt angebotenen Systeme auch das Ziel der Primärenergieeinsparung bestmöglich erfüllen, ist es notwendig die Qualität der angebotenen und installierten Systeme wissenschaftlich zu analysieren und sie untereinander aber auch gegenüber Referenztechnologien zu vergleichen.

Im Rahmen des Projektes SolPumpEff – „Hocheffiziente Kombinationen von Solarthermie- und Wärmepumpenanlagen“ werden 8 Solar-Kombianlagen von AEE INTEC in einer 2 bis 3-jährigen Feldmessung evaluiert, analysiert und nach Möglichkeit optimiert und nach einer weiteren Messperiode ein weiteres mal evaluiert. Parallel dazu werden vom Projektpartner TU-Graz / IWT die interessantesten Anlagentypen in TRNSYS modelliert und die Simulationsmodelle an Hand der Messergebnisse validiert. Darauf aufbauend werden theoretisch mittels Parametervariationen Optimierungspotentiale ermittelt.

Inhalt dieses Beitrages sind die praktischen und messtechnischen Erfahrungen von 5 Anlagen aus dem ersten Messjahr, welches je nach Anlage zwischen 1.10. und 1.12.2010 bzw. bei einer Anlage am 1.3.2011 begann. Neben rein messtechnischen Ergebnissen kann auch über diverse praktische betriebstechnische Erkenntnisse berichtet werden, welche einen erheblichen Einfluss, wenn nicht sogar den Größten, auf die Gesamteffizienz solcher Anlagen haben.

Die Messdaten liegen durchwegs in 5-Minutenzeitschritten vor und erlauben damit eine detaillierte Analyse des Betriebsverhaltens der einzelnen Anlagen. Neben der Messung sämtlicher thermischen Energieflüsse (Solareinträge, erzeugte Wärme der Wärmepumpe, Heizenergieverbrauch, Warmwasserverbrauch, Zirkulationsverluste) und deren zugehöriger Temperaturen werden auch die Stromverbräuche aller wesentlichen Einzelverbraucher (Kompressor, Solepumpe, Luftventilator, Heizungspumpe, Warmwasserbereitungspumpen, elektrische Zusatzheizung, etc.) sowie Klimadaten und Raumtemperaturen erfasst.

2. Kurzbeschreibung der 5 Messanlagen

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Kenndaten der fünf Messanlagen dargestellt.

Tabelle 1: Fünf Messanlagen mit der jeweiligen Messdauer:

System A (Luft/Wasser) In Trofaiach (Stmk)	A_{Koll} : 16m ² V_{Puffer} : 1000 Liter $WP\text{-}P_{\text{Nenn}}$: 9 kW _{th}	Messung seit Okt 2010
System B (Luft/Wasser) In Gleisdorf (Stmk)	A_{Koll} : 20m ² V_{Puffer} : 1500 Liter $WP\text{-}P_{\text{Nenn}}$: 19 kW _{th} $PV\text{-}P_{\text{Nenn}}$: 15 kW _{el}	Messung seit Dez 2010
System C (Erdreich/Wasser) In Kammern (Stmk)	A_{Koll} : 24m ² V_{Puffer} : 1500 Liter $WP\text{-}P_{\text{Nenn}}$: 15 kW _{th}	Messung seit Okt 2010
System D (Luft/Wasser) Aschbach (OÖ)	A_{Koll} : 8m ² V_{Puffer} : 800 Liter $WP\text{-}P_{\text{Nenn}}$: 19 kW _{th}	Messung seit Mär 2011
System E (Luft/Wasser) In Axams (Tirol)	A_{Koll} : 15m ² V_{Puffer} : 1000 Liter $WP\text{-}P_{\text{Nenn}}$: 8 kW _{th}	Messung seit Dez 2010

3. Qualitative Auswertungen der 5 Messanlagen

Nachfolgend sind zur Charakterisierung der Anlagentypen die Blockschaltbilder verwendet, wie sie als „Square-Views“ im Rahmen der IEA SHC Task44 „Solar and Heat Pump Systems“ zur einheitlichen Darstellung entwickelt worden sind.

Zur qualitativen Bewertung des jeweiligen Anlagenverhaltens wurden Energie-Temperatur-Diagramme erstellt, in welchen die übertragene Energie eines Hydraulikkreises nach Temperaturklassen (in 1 Grad Schritten) jeweils für die Vorlauftemperatur wie auch für die Rücklauftemperatur sortiert dargestellt ist. Die

Fläche unter jeder Linie entspricht also der gesamten übertragenen Energie über den Betrachtungszeitraum. Damit lässt sich auf einen Blick erkennen, bei welchen Temperaturniveaus die Energie von der Wärmepumpe erzeugt wurde bzw. bei welchem Temperaturniveau die Energie für Heizung bzw. als Warmwasser verbraucht wurde. Da die Effizienz von Wärmepumpen grundsätzlich sehr stark vom Temperaturhub abhängig ist, sollte es das Ziel sein, mit der Wärmepumpe so wenig wie möglich „Übertemperatur“ zu erzeugen, die dann durch Mischventile wieder heruntergemischt werden muss. Nachfolgend werden nun an Hand dieser Diagramme die fünf Anlagen analysiert.

3.1. Anlage A

In dieser Anlage (Abb. 1) ist es möglich, dass die thermische Solaranlage die Luft, aus welcher die Luft-Wärmepumpe die Verdampfer-Energie bezieht, direkt vorwärmt. Wenn das Temperaturniveau der Solaranlage ausreicht, wird die Energie direkt in den Pufferspeicher geschichtet über zwei interne Glattrohr-Wärmetauscher abgegeben. Die Wärmepumpe lädt den Pufferspeicher einmal in den oberen Bereich auf erhöhtem Temperaturniveau für die Warmwasserbereitung und im mittleren Bereich zur Versorgung des Heizkreises. Die Warmwasserbereitung wird durch eine Frischwasserstation mittels Plattenwärmetauscher bewerkstelligt, das Heizsystem besteht aus einem Fußbodenheizkreis. Als Back-Up ist in den Pufferspeicher eine Elektro-Heizpatrone eingebaut. Die möglichen Energie- und Stoffströme sind im Blockschaltbild in Abb. 1 dargestellt.

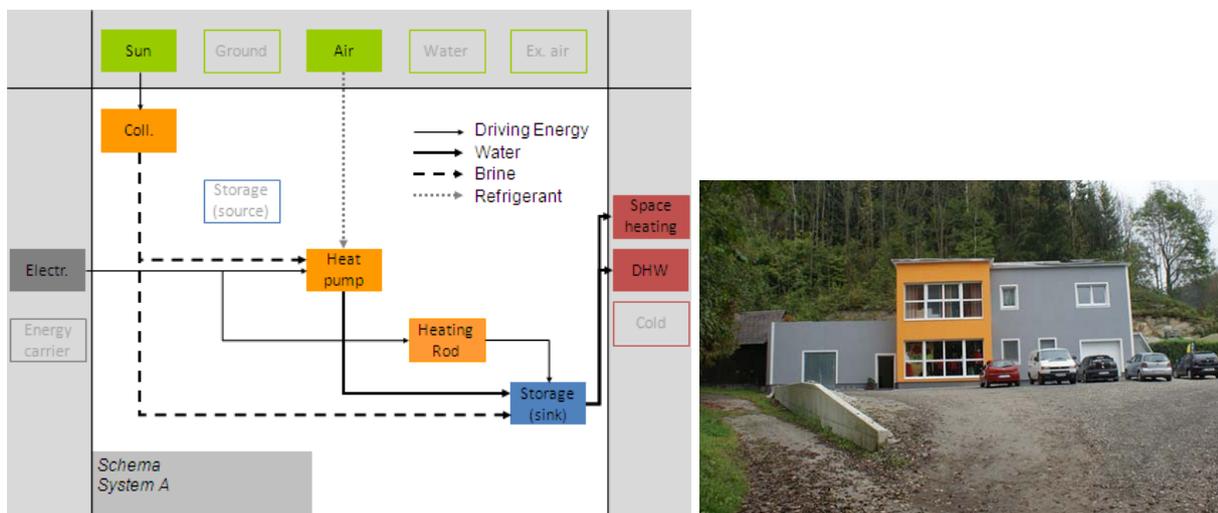


Abb. 1 Blockschaltbild der Anlage A (links) und Südansicht des Gebäudes (rechts).

Im Energie-Temperatur-Diagramm (Abb. 2) zeigt die durchgezogene rote Linie (heat pump flow), dass die Wärmepumpe die Wärme im Bereich zwischen 30 und 60 °C erzeugt hat, wobei das Maximum bei knapp unter 50 °C liegt. Ein zweiter Peak liegt bei 55 bis 60°C, der offensichtlich die Warmwasserbereitung darstellt. Der Warmwasserverbrauch findet aber bei rund 10 K tiefer, also bei 45 bis 50°C statt

(gelb strichlierte Linie). Die Differenz ist der Tribut, der in dieser Anlage dem externen Plattenwärmetauscher gezahlt wird.

Die rot punktierte Linie (floor heating flow) zeigt das Temperaturniveau bei welchem die Heizenergie dem Speicher entnommen wird, für eine Fußbodenheizung ist der Temperaturbereich von 40 bis 50 °C doch recht hoch. Wenn man die Rücklauftemperatur und typische Temperaturspreizungen für Fußbodenheizungen von rund 5 K betrachtet, dann liegt die Vorlauftemperatur bei 35 bis 40 °C, also um mindestens 5 bis 10 K tiefer, als die Entnahmetemperatur aus dem Speicher. Diese Übertemperatur in der Wärmeerzeugung durch die Luft-WP stellt ein Optimierungspotential für höhere Arbeitszahlen dar.

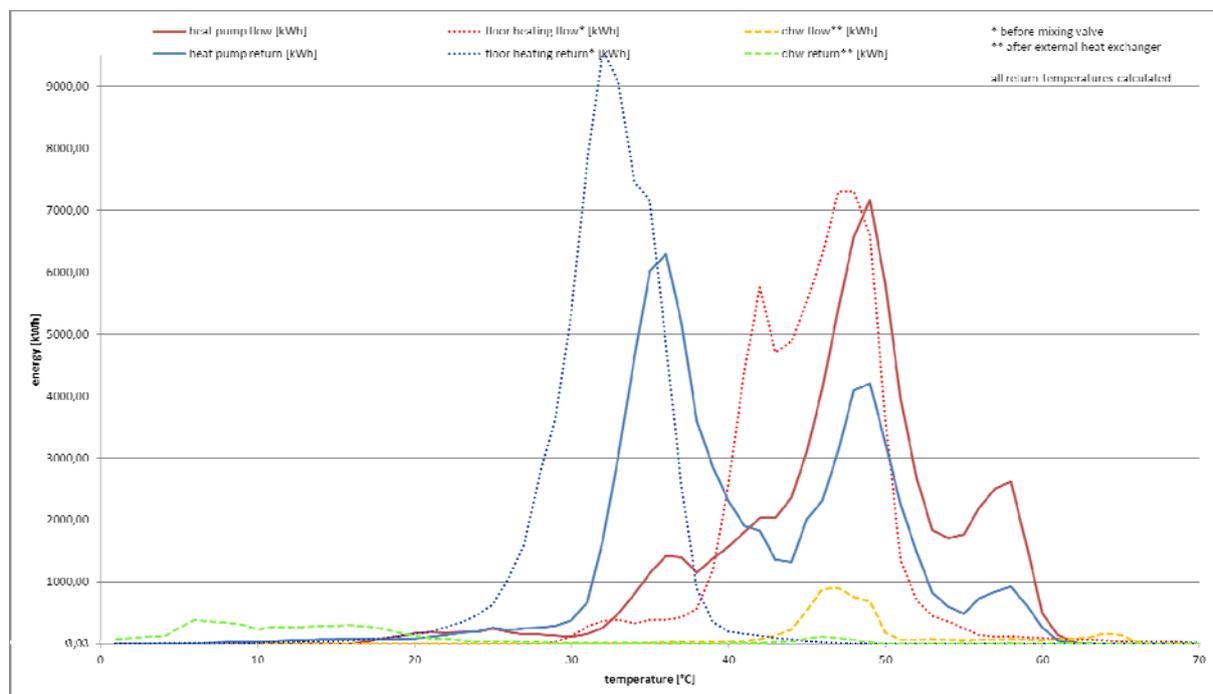


Abb. 2 Energie-Temperatur-Diagramm der Anlage A

Die blaue (heat pump return) und die rote Kurve (heat pump flow) der Wärmepumpe im Bereich 45 bis 60 °C weisen einen interessanten parallelen Verlauf auf. Dies lässt sich damit erklären, dass die Umwälzpumpe von der Wärmepumpe in den Speicher immer in Betrieb ist, und damit im Schnitt nur sehr kleine Temperaturspreizungen erreicht werden. Weiters bedeutet dies, dass die Rohrleitungsverluste in dieser Anlage (und damit eben auch die Gesamtsystemverluste) verhältnismäßig hoch sind. Die Systemverluste liegen bei ca. 450 bis 700 kWh pro Monat bzw. knapp 6700 kWh über ein Jahr, was 17% der gesamten erzeugten Wärme entspricht.

In Abb. 3 ist extra die Solaranlage ausgewertet, welche direkt die der Wärmepumpe als Energiequelle zugeführte Luft vorwärmen kann. Im Temperaturbereich von 5 bis 30°C (...return) bzw. 15 bis 40°C (...flow) ist deutlich ein Solarertrag zu erkennen der nur der Luftvorwärmung für die Wärmepumpe zugeordnet werden kann (punktierte

Linie). In Summe konnte in dieser Betriebsweise ein Solarertrag von rund 55 kWh/m² erzielt werden. Im Vergleich zum Gesamtsolarertrag von 487 kWh/m² entspricht dies einem Anteil von 11%, der als Zusatznutzen Dank der Luftvorwärmung von der Solaranlage gewonnen werden konnte.

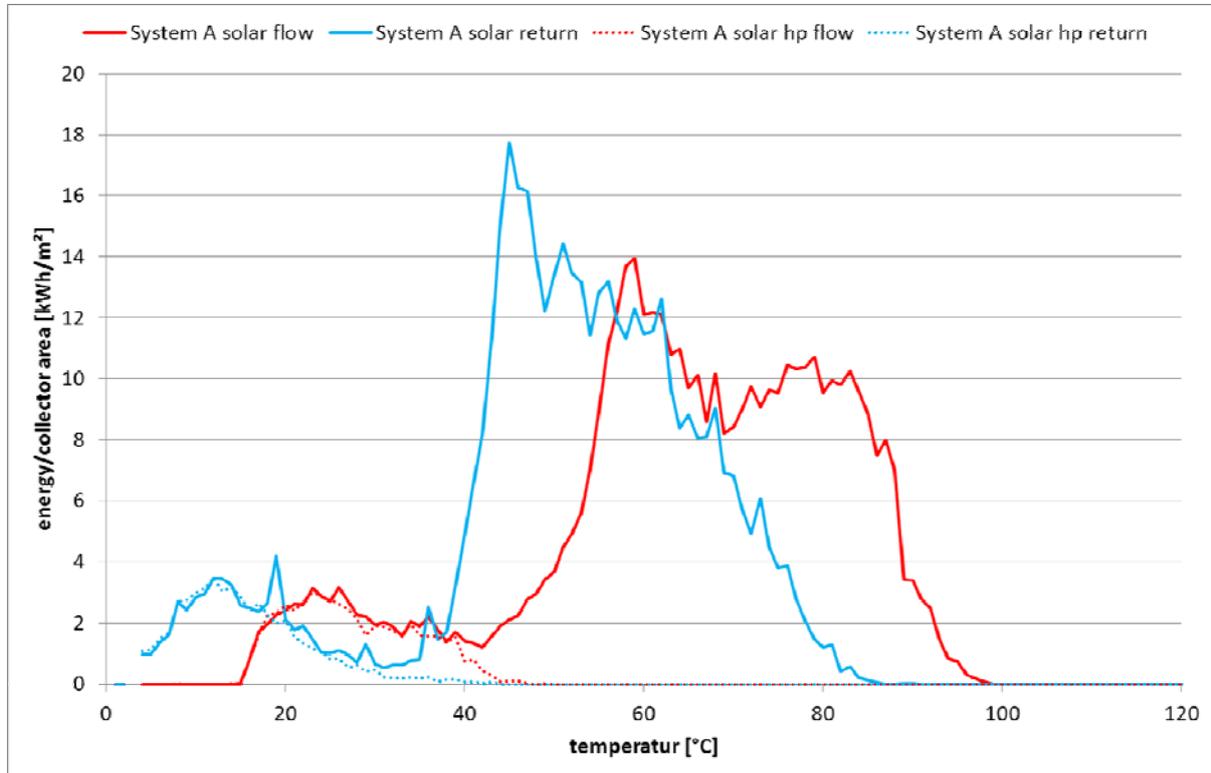


Abb. 3 Energie-Temperatur-Diagramm des Solarkreises in Anlage A

3.2. Anlage B

In dieser Anlage wird Solarwärme über einen internen Glattrohr-Wärmetauscher und durch die Luft-WP erzeugte Wärme parallel und unabhängig voneinander in den Pufferspeicher eingebracht. Die Luft-WP lädt den Pufferspeicher in 2 Bereichen: oben für die Warmwasserbereitung und in der Mitte für die Heizung. Die Warmwasserbereitung wird durch eine Frischwasserstation mittels Plattenwärmetauscher bewerkstelligt. Es gibt auch eine Warmwasserzirkulationsleitung. Das Heizsystem besteht aus einem Fußbodenheizkreis und einem Niedertemperatur-Radiatorheizkreis dessen Radiatoren mit eigenen Lüftern versehen sind. Als Back-Up ist in den Pufferspeicher eine Elektro-Heizpatrone eingebaut. Die möglichen Energie- und Stoffströme sind im Blockschaltbild in Abb. 4 dargestellt.

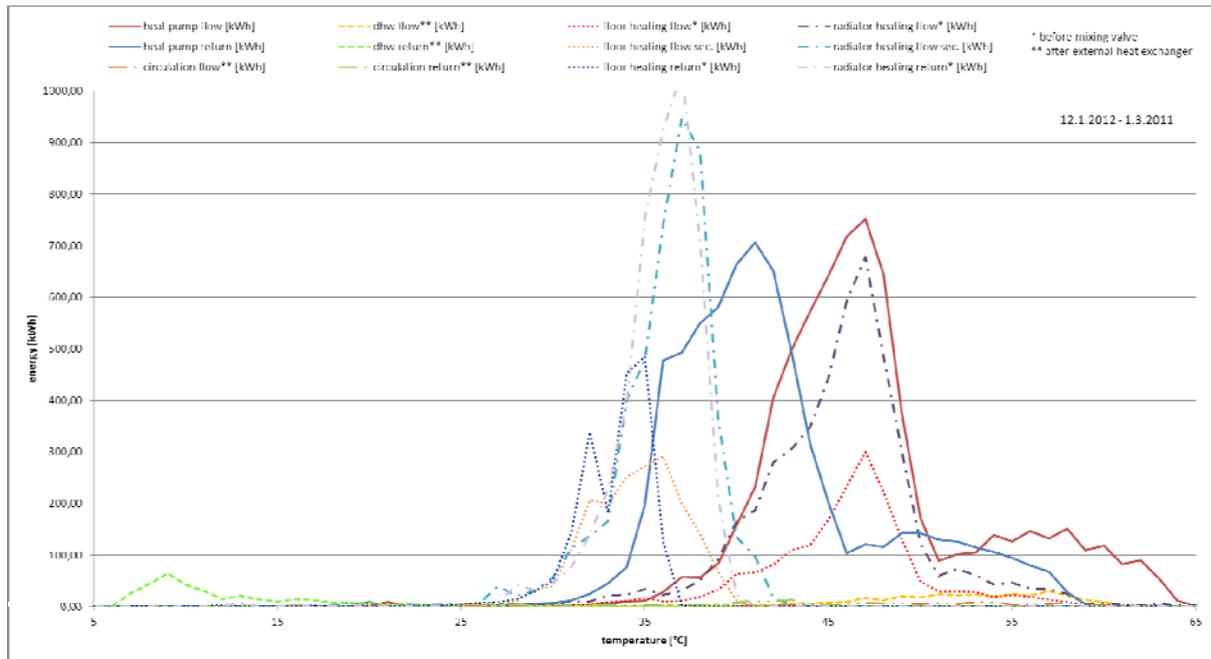


Abb. 6 Energie-Temperatur-Diagramm der Anlage B nach den Optimierungsmaßnahmen

3.3. Anlage C

In dieser Anlage wird Solarwärme über einen internen Rippenrohr-Wärmetauscher mit integrierter Schichtbeladeeinrichtung und durch die monovalent betriebene Erdreich-WP erzeugte Wärme parallel und unabhängig voneinander in den Pufferspeicher eingebracht. Die Erdreich-WP lädt den Pufferspeicher in 2 Bereichen: oben für die Warmwasserbereitung und in der Mitte für die Heizung. Die Warmwasserbereitung wird durch ein im Pufferspeicher integriertes Edelstahlwellrohr bewerkstelligt. Es gibt auch eine Warmwasserzirkulationsleitung, diese ist aber nicht in Betrieb. Das Heizsystem besteht aus einem Fußboden- bzw. Wandflächenheizkreis und einem Radiatorheizkreis für den Keller. Die möglichen Energie- und Stoffströme sind im Blockschaltbild in Abb. 7 dargestellt.

Bei dieser Anlage sind deutlich die zwei unterschiedlichen Betriebsweisen Warmwasserbereitung („heat pump flow“ bei 45 bis 55°C und „heat pump return“ bei 40 bis 50 °C) und Heizenergiebereitstellung („heat pump flow“ bei 32 bis 42°C und „heat pump return“ bei 26 bis 34 °C) zu erkennen. Besonders die fast exakte Überdeckung der beiden Rücklauftemperaturen „heat pump return“ und „floor heating return“ zeigt, dass das Speichermanagement in dieser Anlage sehr gut funktioniert. Optimierungspotential dürfte es noch geben, die Betriebszeiten für die Warmwasserbereitung weiter zu reduzieren, da doch deutlich mehr Energie auf hohem Temperaturniveau von der Wärmepumpe erzeugt wird, wie als Warmwasser verbraucht wird (Vergleich der Flächen unter „dhw flow“ von 40 bis 53 °C und „heat

pump flow“ im Bereich 45 bis 57 °C). Besonders im Vergleich zu Anlage A ist hier die Übertemperatur zur Warmwasserbereitung mit rund 5 K nur halb so groß.

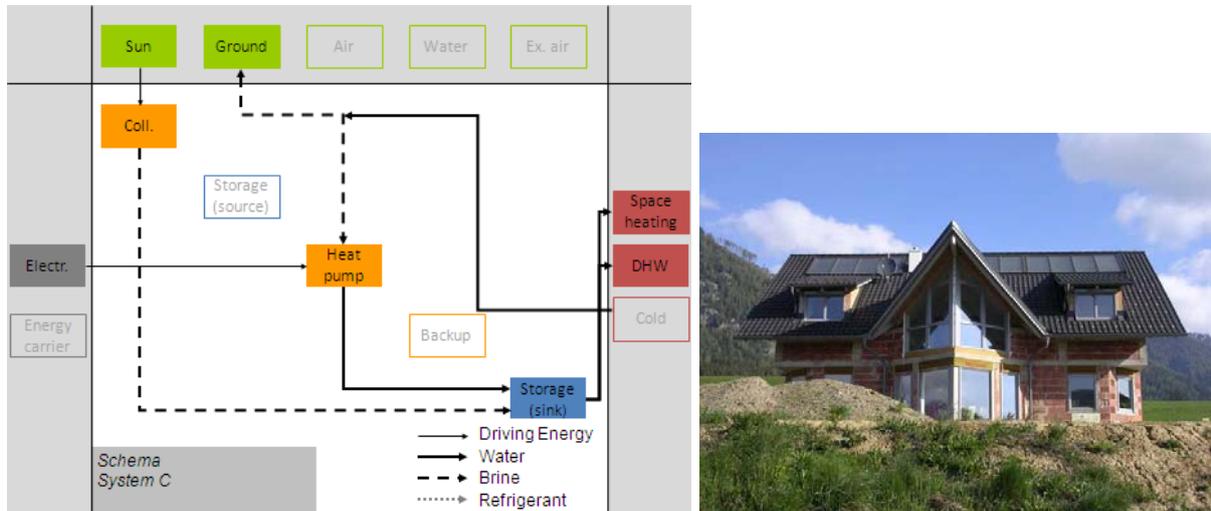


Abb. 7 Blockschaltbild der Anlage C (links) und das Einfamilienhaus (rechts).

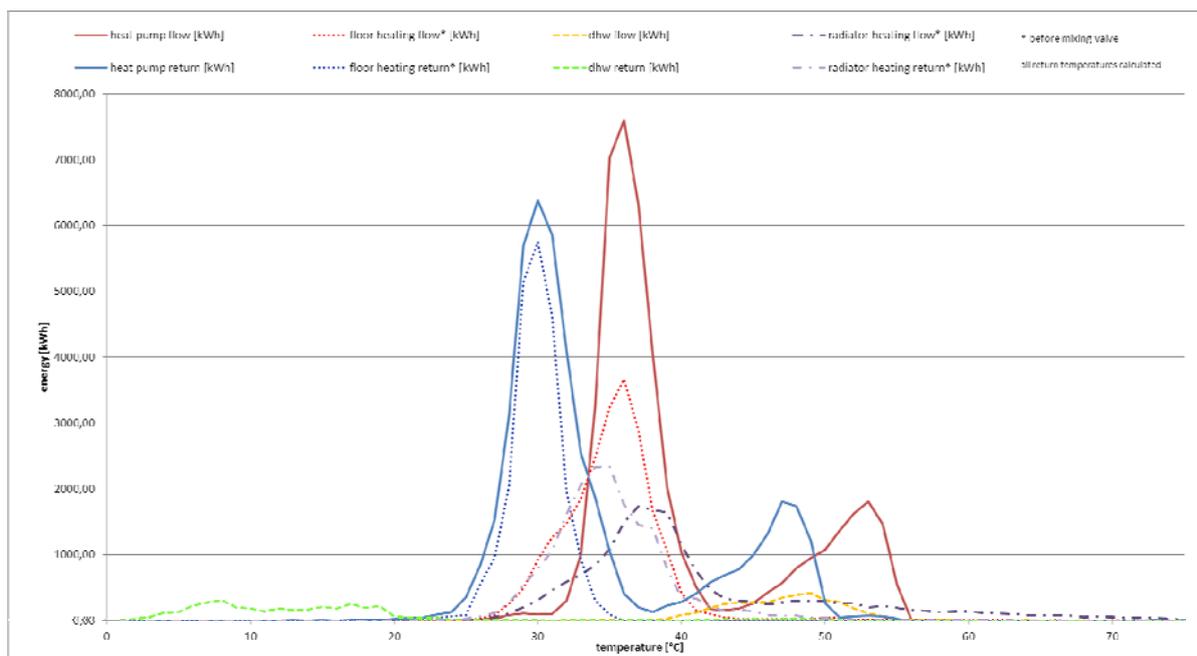


Abb. 8 Energie-Temperatur-Diagramm der Anlage C

3.4. Anlage D

In dieser Anlage wird Solarwärme über einen internen Glattrohr-Wärmetauscher und durch die Luft-WP erzeugte Wärme parallel und unabhängig voneinander in den Pufferspeicher eingebracht. Die Luft-WP lädt den Pufferspeicher in 2 Bereichen: oben für die Warmwasserbereitung und in der Mitte für die Heizung. Die Warmwasserbereitung wird durch ein im Pufferspeicher integriertes Edelstahlwellrohr bewerkstelligt. Das Heizsystem besteht aus einem Fußbodenheizkreis und einem Radiatorheizkreis. Als Back-Up ist die bereits länger bestehende Gas-

Brennwerttherme in den Pufferspeicher integriert. Die möglichen Energie- und Stoffströme sind im Blockschaltbild in Abb. 9 dargestellt.

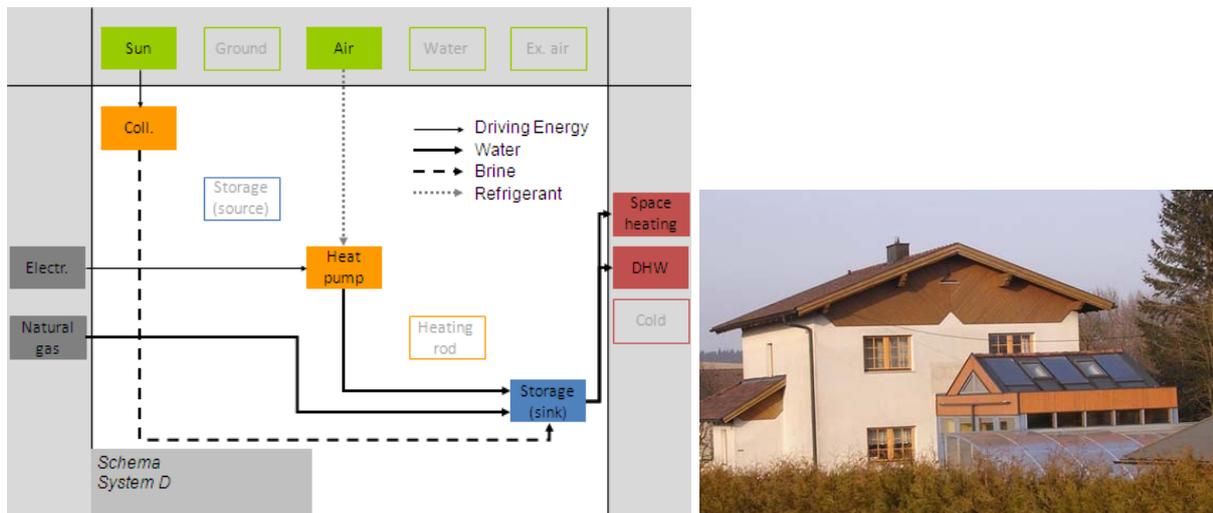


Abb. 9 Blockschaltbild der Anlage D (links) und das Einfamilienhaus (rechts).

Wie in Abb. 10 zu sehen, ist bei dieser Anlage der Radiatorkreis dominant und die Wärmepumpe kann von der Fußbodenheizung nicht profitieren.

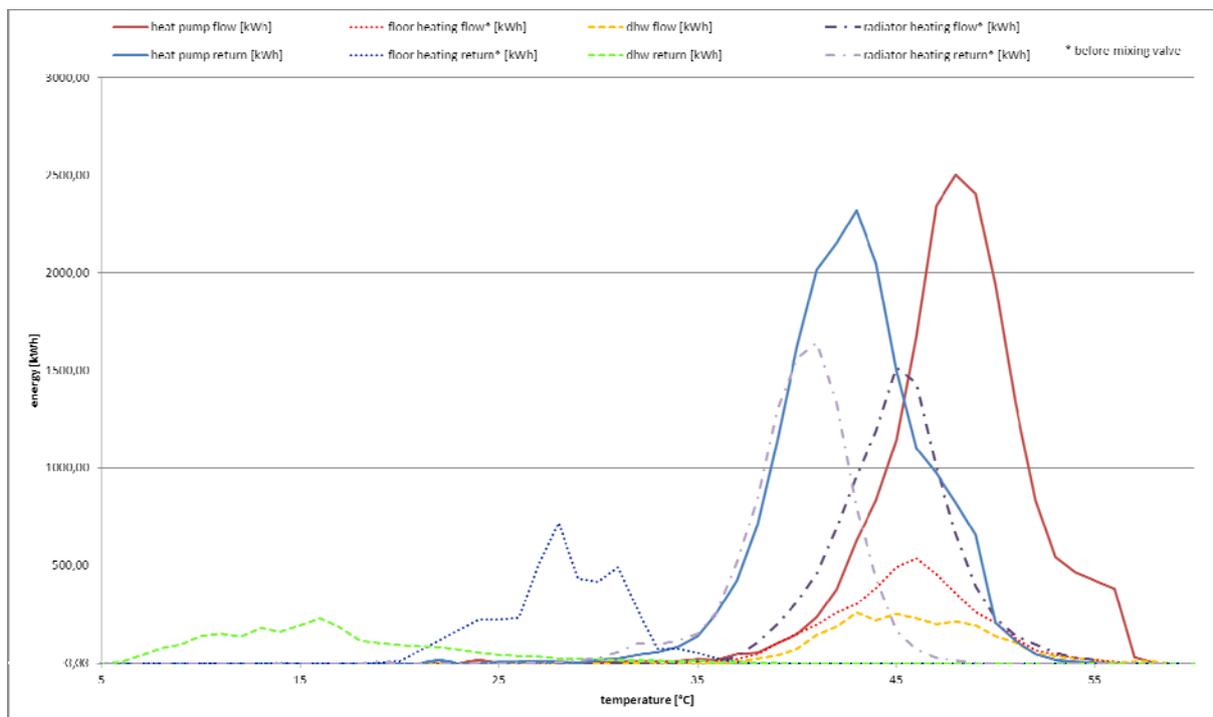


Abb. 10 Energie-Temperatur-Diagramm der Anlage D

3.5. Anlage E

In dieser Anlage (Abb. 11) ist es möglich, dass die thermische Solaranlage die Sole, aus welcher die Luft-Wärmepumpe die Verdampfer-Energie bezieht, zusätzlich

vorwärmt. Wenn das Temperaturniveau der Solaranlage ausreicht, wird die Energie direkt in den Pufferspeicher einen internen Glattrohr-Wärmetauscher abgegeben. Die Wärmepumpe lädt den Pufferspeicher einmal in den oberen Bereich auf erhöhtem Temperaturniveau für die Warmwasserbereitung und versorgt den Heizkreis direkt. Die Warmwasserbereitung wird durch eine Frischwasserstation mittels Plattenwärmetauscher bewerkstelligt, das Heizsystem besteht aus einem Fußbodenheizkreis. Als Back-Up ist der Wärmepumpe eine Elektro-Heizpatrone nachgeschaltet. Die möglichen Energie- und Stoffströme sind im Blockschaltbild in Abb. 11 dargestellt.

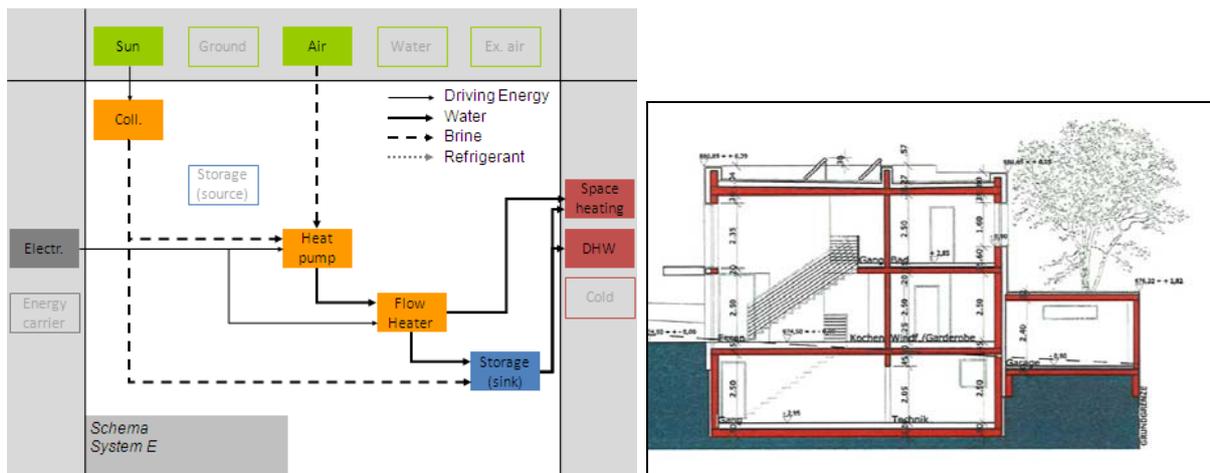


Abb. 11 Blockschaltbild und Schnitt des Einfamilienhauses der Anlage E.

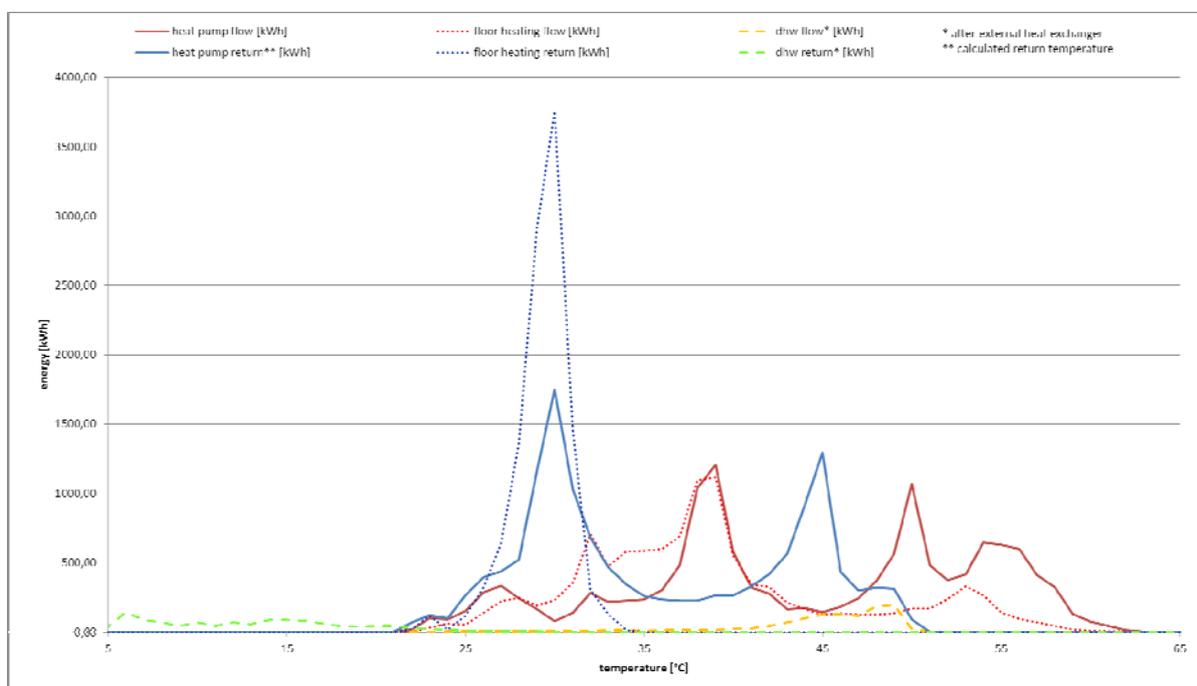


Abb. 12 Energie-Temperatur-Diagramm der Anlage E

In Abb. 12 sieht man deutlich den direkten Heizbetrieb im Bereich 35 bis 45 °C durch die fast übereinander liegenden Kurven für „heat pump flow“ und „floor heating flow“.

Es kann aber auch hier beobachtet werden, dass die Wärmepumpe deutlich mehr Wärme im Bereich 45 bis 60 °C erzeugt als Warmwasser verbraucht wird, ein erheblicher Teil wird dann auf unnötig hohem Temperaturniveau in die Fußbodenheizung geschickt.

4. Vergleich aller Anlagen

In Abb. 13 ist im Vergleich aller fünf Anlagen ersichtlich, dass die Anlagen A und E Dank der Luftvorwärmung für die Luft-Wärmepumpe Solarerträge im Bereich von 5 bis 30°C Rücklauftemperatur erzielen konnten, während die konventionellen Anlagen (C, D und F) erst bei Rücklauftemperaturen ab rund 40°C Solarenergie gewinnen konnten. Der solare Mehrertrag beträgt bei den Anlagen A und E rund 11%.

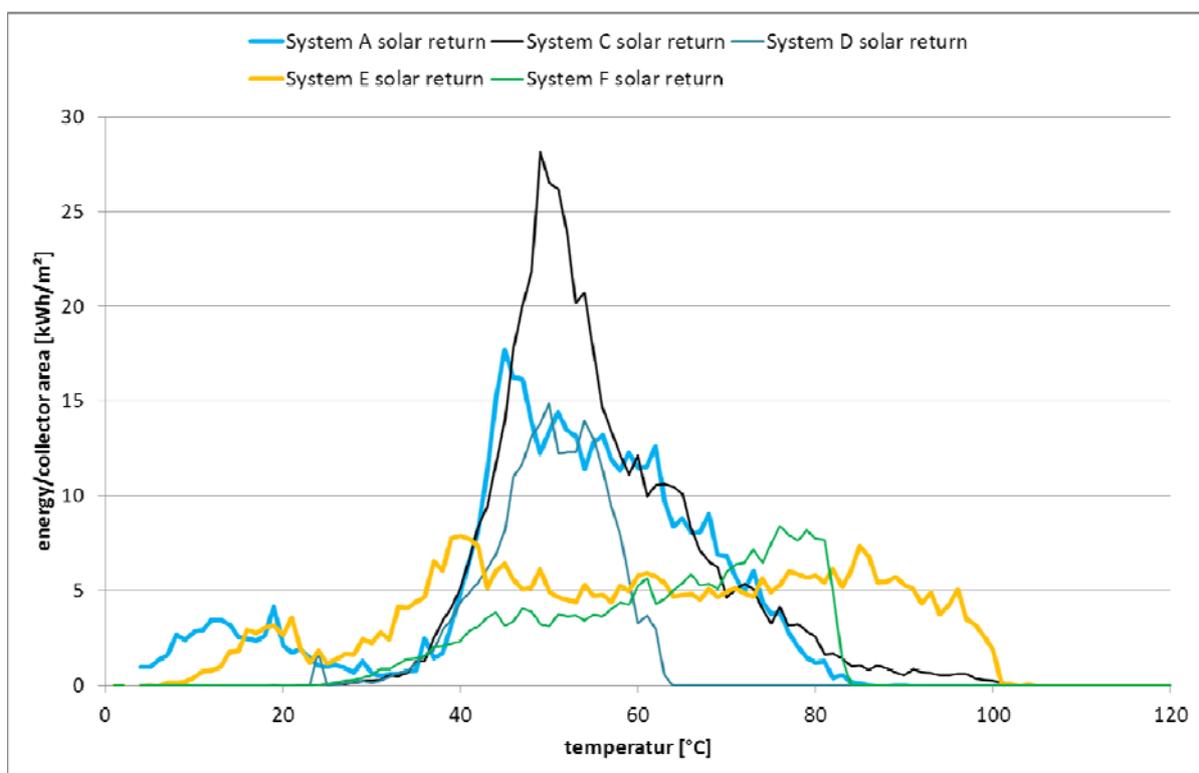


Abb. 13 Energie-Temperatur-Diagramm der Solar-Rücklauftemperaturen aller fünf Anlagen

In Tabelle 2 sind die Jahresarbeitszahlen der fünf gemessenen Anlagen für unterschiedliche Systemgrenzen dargestellt. Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen nur auf Basis des Kompressor Stromverbrauchs (JAZ 1) liegen im Bereich zwischen 2,7 und 4,3, die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen inklusive aller Hilfsaggregate (Solepumpe, Aussenluftventilator, Pufferladepumpe aber ohne Heizungspumpe) liegen bei Werten zwischen 2 und 2,8 (JAZ 2).

Die Systemjahresarbeitszahlen auf Basis Nutzenergiebedarf zu sämtlichen Stromverbrauchern inkl. Solar- und Verteilpumpen wurden Werte zwischen 1,9 und 3,9 (JAZ 3) ermittelt.

Tabelle 2: Jahresarbeitszahlen der fünf Messanlagen:

		JAZ 1:	JAZ 2:	JAZ 3:	
		Q_WP / E_Kompr	Q_WP / E_WP	Q_Nutz / E_Tot	
System A	2011:		2,65	2,59	Luft-WP
System B	2011:		2,84	2,38 (2,69)	Luft-WP
System C	2011:	4,34		3,94	Erd-WP
System D	2011/12:	2,71	2,23	1,92	Luft-WP
System E	2011:	4,10	2,01	2,04	Luft-WP

5. Schlussfolgerungen

Ein durchwegs in praktisch allen Anlagen vorhandenes Problem sind die hohen Anteile an Warmwasserbetrieb mit entsprechend hohen Vorlauftemperaturen, welche die Wärmepumpe damit erzeugen muss. Zumindest ein Beispiel (Anlage C) zeigt, dass es aber auch anders und damit deutlich effizienter geht. Auch das Pufferlademanagement wird in den unterschiedlichen Anlagen mit sehr unterschiedlichen Strategien bzw. Sorgfältigkeit bewerkstelligt. Trotz thermischer Solaranlage (mit typischen Arbeitszahlen von 50 bis 100!) konnten wegen teilweise hoher thermischer Systemverluste mit Ausnahme von Anlage C keine zufriedenstellenden Systemjahresarbeitszahlen (JAZ 3) erreicht werden.

Die bisherige Analyse deutet darauf hin, dass die Qualität der Installation und ganz besonders der Inbetriebnahme und Betriebsführung einen massiven Einfluss auf die Systemeffizienz hat. In diesem Bereich besteht hohes Verbesserungspotential.

6. Referenz

IEA SHC Task44: „Solar and Heat Pump Systems“, <http://www.iea-shc.org/task44/>

SolPumpEff – Hocheffiziente Kombinationen von Solarthermie- und Wärmepumpenanlagen, FFG Projekt-No 825546.

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt.