

Abschlussbericht zum Förderprojekt:

Solares Vollversorgungs-Heizsystem zur breiten Anwendung im Gebäudebestand

(Kurzbezeichnung VollSolar_Bestand)

Aktenzeichen: 27784

Bewilligungsempfänger: Consolar Solare Energiesysteme GmbH

Gewerbestraße 7

79539 Lörrach

Laufzeit: 1. Januar 2010 – 31. Dezember 2012

Datum: 30. März 2013

Bearbeiter:

Dr.-Ing. Ulrich Leibfried

Tel. 07621 4222 8-34

Fax 07621-42228-31

email ulrich.leibfried@consolar.de

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	27784	Referat	24/2	Fördersumme	185 000,-- €
Antragstitel Solares Vollversorgungs-Heizsystem zur breiten Anwendung im Gebäudebestand					
Stichworte Solarthermie, Wärmepumpe, Heizsystem					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
36 Monate	23.12.2009	31.12.2012	2		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger				Tel 07621/42228-30	
Consolar Solare Energiesysteme GmbH				Fax 42228-31	
Gewerbestr. 7				Projektleitung	
79539 Lörrach				Dr. Ulrich Leibfried	
				Bearbeiter	
				Dr. Ulrich Leibfried	
Kooperationspartner					
<p>Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens</p> <p>Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung eines solaren Vollversorgungssystems zur möglichst breiten Anwendung in Ein- bis Zweifamilienhäusern. Das Projekt baut auf eine von 2003 – 2007 von der DBU geförderten Entwicklung eines Solarsystems mit integrierter, thermisch nur über Hybridkollektoren versorgter Wärmepumpe auf. Im Gegensatz dazu soll das im Rahmen dieses Projekts entwickelte solare Heizsystem ohne größere Einschränkungen für sanierte, d. h. nach heutigem Standard gedämmte Bestandgebäude einsetzbar sein.</p> <p>Hierfür sollen Lösungen für folgende Anforderungen erarbeitet werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eignung für Dachneigungen bis unter 45° durch Schneeräumungssystem, - Hybridkollektoren und Systemtechnik für vielseitige Gebäudekonfigurationen, z. B. unterschiedlich ausgerichtete Felder, - Heizleistung bis 15 kW, Ermöglichung höherer Heizkreisvorlauftemperaturen und - verbesserte Wirtschaftlichkeit. <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <p>Die oben beschriebenen Entwicklungsziele sollen zunächst in theoretischen Untersuchungen, insbesondere mit Systemsimulationen und Bedarfsanalysen bearbeitet werden.</p> <p>Schneeuntersuchungen werden in entsprechenden schneereichen Gebieten (vorzugsweise Hochschwarzwald) durchgeführt. Weiterhin werden Voruntersuchungen z. B. bzgl. Materialumformung oder Korrosion bei neu eingesetzten Materialien bei entsprechenden Fachunternehmen oder Instituten beauftragt.</p> <p>Die anhand von Bewertungsverfahren ausgewählten Lösungen werden für Funktionsmuster konstruiert bzw. die Regellogik programmiert.</p> <p>Manche der ausgearbeiteten Systemlösungen werden im ersten Schritt am Teststand erprobt.</p> <p>In der zweiten Projektphase werden die ausgearbeiteten Systemlösungen in ca. 3 - 4 verschiedenen Pilotanlagen realisiert und erprobt.</p>					
<small>Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de</small>					

Ergebnisse und Diskussion

In den ersten beiden Projektjahren wurden die Lösungen für die obigen Zielsetzungen erarbeitet:

1. Lösungen für schnee- und stagnationssicheren Betrieb bereits ab 40°-Kollektorneigung
 - Konstruktion des Hybridkollektors so, dass der Luftauslass auch bei geringeren Neigungen und bei mehreren Feldern übereinander schneefrei bleibt
 - Entwicklung einer Schneeaantalogik, durch die der Schnee zum Abrutschen gebracht wird.
 - Entwicklung einer Logik zum Stagnationsschutz über die Kollektorlüfter

Die Ergebnisse des Feldtests haben die grundsätzliche Funktion der Neuentwicklungen, aber auch ihre Grenzen in Gegenden mit sehr viel Schnee aufgezeigt.

2. Hydraulik und Logik für unterschiedlich ausgerichtete Teilkollektorfelder
Die entwickelte Zweifeldverschaltung und –logik hat sich im Feldtest bewährt.

3. Höhere Heizleistung bis 20 kW durch Kopplung mit (Bestands-) Kessel
 - Ein Heizkreis bis Vorlauf 55 °C, Rücklauf 35 °C
 - Zwei Heizkreise: Radiator- und Flächenheizung

Die Grundlastversorgung erfolgt durch die WP. Der Kessel springt nur bei Anforderung hoher Leistung und/oder Temperaturen parallel an. Die Funktion wurde – nach mehreren Optimierungen – im Feldtest bestätigt. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz im Gebäudebestand geschaffen.

4. Kostenreduktion und verbesserte Wirtschaftlichkeit
 - Ermöglichung eines Wärmepumpensperrrtarifs
 - Reduktion der Systemkosten durch Vereinfachung (Wegfall von Komponenten)
 - Entwicklung einer kostengünstigeren Konstruktion des Wasser-Eisspeichers
 - Entwicklung kostengünstiger und wartungsfreundlicher Armaturengruppen im Energiezentrum
 - Untersuchung und Entwicklung von Lösungen mit kleineren Kollektorfeldern
 - Untersuchung der Systemkombination mit einem selektiven unabgedeckten Absorber

Durch die nun möglichen reduzierten Anlagengrößen und die Kostenreduktion wurden die Investitionskosten reduziert und die Wirtschaftlichkeit so stark verbessert, dass das System in der Vollkostenrechnung wettbewerbsfähig und teilweise deutlich im Vorteil ist gegenüber konventionellen Heizsystemen.

5. Entwicklung einer effizienteren und leiseren Lüfterregelung
Der Lüfter ist ein zentrales Bauteil sowohl hinsichtlich Effizienz, Akzeptanz (Lautstärke) und Wartung. Die Ergebnisse des Feldtests haben einen grundsätzlich zuverlässigen Betrieb und eine erfolgreich umgesetzte Drehzahlregulierung mit erhöhter Effizienz und geringer Geräuschentwicklung bestätigt.

6. Entwicklung einer neuen Reglerplattform (internetfähig)
 - Umstellung auf Reglerhardware mit einfachem Internet-Anschluss und Zugriff über Portal
 - Implementierung zahlreicher neuer und verbesserter Funktionen dank leistungsfähigerem Prozessor

Mit dem neu entwickelten Internet-Systemregler wurde neben der Funktionserweiterung eine wesentliche Voraussetzung für einen breiteren Einsatz des Solar-Wärmepumpensystems geschaffen: Monitoring und verbesserte Wartung. Der Regler mit neuen Funktionen und neuer hydraulischer Hardware wurde im Feldtest erfolgreich erprobt und optimiert.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Projektergebnisse wurden bei mehreren Fachtagungen und in Fachberichten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, insbesondere:

- 2. und 3. OTTI-Symposium Aktiv-Solarhaus (jeweils Vorträge)
- 20., 21. und 22. Symposium Thermische Solarenergie (Poster)
- Konferenz CEP CLEANENERGY & PASSIVEHOUSE 2011 (Vortrag)
- Veröffentlichung in Erneuerbare Energie (AEE, Österreich)

Fazit

Nach erfolgreicher Durchführung des Projekts sind technisch die Voraussetzungen für einen relativ breiten Einsatz des Solar-Wärmepumpensystems zur deutlichen CO₂-Einsparung gegeben.

Um diese starke Verbreitung zu realisieren und damit auch weitere Kostensenkungen, sollte das System aber zusätzlich über eine stärkere Vertriebsorganisation vermarktet werden. Consolar ist diesbezüglich auf der Suche und in Gesprächen mit potentiellen Partnern.

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	6
2	EINLEITUNG.....	7
3	PROJEKTZIELE	8
4	FELDTTEST	11
4.1	<i>Durchführung des Feldtests</i>	<i>11</i>
4.2	<i>Größere Leistung und höhere Heizkreis-Temperaturen durch Kesselkopplung</i>	<i>12</i>
4.2.1	Kesselkopplung mit einem Radiatorenkreis bei großer Leistung.....	12
4.2.2	Kesselkopplung mit zwei Heizkreisen (davon einem Radiatorenkreis) bei großer Leistung.....	14
4.2.3	Kesselkopplung mit Drehzahlregelung Kesselpumpe	16
4.2.4	Zusammenfassung und Ausblick Kesselkopplung.....	17
4.3	<i>Schnee.....</i>	<i>18</i>
4.3.1	Schutz des Lüfteraustritts.....	18
4.3.2	Schneeabrutschfunktion	20
4.3.3	Schneeflechte bei mehreren Kollektorreihen übereinander	20
4.3.4	Zusammenfassung und Ausblick Schneeschutz	22
4.4	<i>Zweifeldregelung.....</i>	<i>24</i>
4.4.1	Erprobung im Feld	24
4.4.2	Zusammenfassung und Ausblick Zweifeld	27
5	NEUE REGLERENTWICKLUNG	28
5.1	<i>Internet-Anschluss zur Funktionsüberwachung und Fernzugriff</i>	<i>28</i>
5.1.1	Internetportal.....	28
5.1.2	Bedienteil für das Wohnzimmer	30
5.2	<i>Neue und verbesserte Funktionen</i>	<i>30</i>
5.2.1	Heizkreisregelung mit PI-Regler.....	30
5.2.2	WW-Nachheizung > 60 °C.....	32
5.2.3	Neue Anzeigen im Reglerdisplay	33
5.2.4	Sprachauswahl.....	33
5.3	<i>Feldtest.....</i>	<i>33</i>
5.4	<i>Zusammenfassung und Ausblick neuer Regler.....</i>	<i>34</i>
6	KOSTENREDUKTION	35
6.1	<i>Professionelle und montagefreundliche Ausführung Energiezentrum</i>	<i>35</i>

6.2	<i>Hybridkollektor</i>	36
6.2.1	Konstruktions- und Fertigungsprozessvereinfachung	36
6.2.2	Kostenreduzierung durch Neuentwicklung.....	37
6.3	<i>Kleinere Kollektorflächen</i>	37
6.4	<i>Unabgedeckter selektiver Absorber</i>	38
6.5	<i>Zusammenfassung und Ausblick Kostenreduktion</i>	38
7	ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	39
8	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	39
9	DANK	40
10	LITERATUR	40
11	ANHANG	

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Hydraulikschema Kesselkopplung mit 1 Heizkreis (Vorlauf > 40 °C).....	13
Abbildung 2: Temperaturverlauf bei Kesselkopplung mit 1 Heizkreis (Vorlauf > 40 °C).....	14
Abbildung 3: Hydraulikschema Kesselkopplung und 2 Heizkreise, davon einer > 40 °C	15
Abbildung 4: Temperaturverläufe bei Kesselkopplung mit 2 Heizkreisen: Heizkreis 2 mit ca. 60 °C, Heizkreis 1 ca. 40 °C	15
Abbildung 5: Temperaturverlauf bei Kesselkopplung mit drehzahl geregelter Kesselladepumpe. Das Oval zeigt das Absinken der oberen Speichertemperatur zu Beginn des Kesselbetriebs	17
Abbildung 6: Schneebrett rutscht glatt über Luftaustrittsbereich nach unten	18
Abbildung 7: Mit Schnee bedeckte Kollektoren. Der Luftaustritt ist frei	19
Abbildung 8: Mit Schnee bedeckte Kollektoren. Der Luftaustritt ist behindert.	19
Abbildung 9: Kollektoren am Vormittag vor Auslösen der Abrutschfunktion	20
Abbildung 10: Kollektoren am Nachmittag nach Auslösen der Abrutschfunktion	20
Abbildung 11: Schneebleche zwischen oberer und unterer Kollektorreihe	21
Abbildung 12: Schneeabrutschen bei zweireihigem Kollektorfeld (45°): während (oben rechts) und nach Aktivieren der Schneeabrutschfunktion zwischen 12 Uhr und 13 Uhr rutscht der Schnee ab.	22
Abbildung 13: Hybridkollektoren schneesicher auf Gartenhütte montiert	23
Abbildung 14: Der zweite Kollektor von hinten hat eine perfekt glatte Oberfläche, der Schnee rutscht dort schneller ab	23
Abbildung 15: Hydraulikschema Zweifeld: jedes Kollektorfeld hat einen Temperaturfühler und am gemeinsamen Vorlauf wird die Mischtemperatur gemessen (F18).....	24
Abbildung 16: Testanlage (linke Haushälfte) mit zwei verschiedenen ausgerichteten Kollektorfeldern: auf dem Dach mit 60° Neigung und an der Fassade	25
Abbildung 17: Ladevorgang mit Zweifeldlogik: Umschaltung von Kombispeicher auf den Eisspeicher.....	25
Abbildung 18: Ladevorgang mit Zweifeldlogik in den Kombispeicher	26
Abbildung 21: Remote-Portal: Anzeige von Temperaturen und veränderbaren Einstellungen	29
Abbildung 22: Remote-Portal: Anzeige von Bilanzwerten und Ausgängen	29
Abbildung 23: Remote-Portal: Grafische Darstellung von Temperaturverläufen	30
Abbildung 24: Anpassung der Raumtemperatur bei Erhöhung der Soll-Raumtemperatur um 1 K bei dem Heizkreis-PI-Regler.....	31
Abbildung 25: Maximal mögliche Solltemperatur	32
Abbildung 26: SOLAERA mit neuem Regler CONTROL 702 SWP im Feldtest	33
Abbildung 27: Links: Neue Hydraulik des Energiezentrums mit Rohrbiegeteilen und wartungsfreundlicher Armaturenordnung (vor elektrischer Verdrahtung), rechts Ansicht von vorne mit neuem Regler.....	36
Abbildung 28: Hybridkollektor mit schneesicherer und rationell realisierten Konstruktion von Lüfterabdeckung und Luftauslass	37
Abbildung 29: Bypass, der oberhalb des Energiezentrums montiert wird, für 3 – 4 Kollektoren	38

1 Zusammenfassung

Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung eines solaren Vollversorgungssystems zur möglichst breiten Anwendung in Ein- bis Zweifamilienhäusern. Das Projekt baut auf eine von 2003 – 2007 von der DBU geförderten Entwicklung eines Solarsystems mit integrierter, thermisch nur über Hybridkollektoren versorgter Wärmepumpe auf. Im Gegensatz dazu soll das im Rahmen dieses Projekts entwickelte solare Heizsystem ohne größere Einschränkungen für sanierte, d. h. nach heutigem Standard gedämmte Bestandsgebäude einsetzbar sein.

In den ersten beiden Projektjahren wurden die Lösungen für die obigen Zielsetzungen erarbeitet und anschließend erfolgreich im Feldtest erprobt:

1. Lösungen für schnee- und stagnationssicheren Betrieb bereits ab 40°-Kollektorneigung

Die Ergebnisse des Feldtests haben die grundsätzliche Funktion der Neuentwicklungen, aber auch ihre Grenzen in Gegenden mit sehr viel Schnee aufgezeigt.

2. Hydraulik und Logik für unterschiedlich ausgerichtete Teilkollektorfelder

Die entwickelte Zweifeldverschaltung und –logik hat sich im Feldtest bewährt.

3. Höhere Heizleistung bis 20 kW durch Kopplung mit (Bestands-) kessel

Die Grundlastversorgung erfolgt durch die WP. Der Kessel springt nur bei Anforderung hoher Leistung und/oder Temperaturen parallel an. Die Funktion wurde – nach mehreren Optimierungen – im Feldtest bestätigt. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz im Gebäudebestand geschaffen.

4. Kostenreduktion und verbesserte Wirtschaftlichkeit

Durch die nun möglichen reduzierten Anlagengrößen die Kostenreduktion durch Systemvereinfachungen und Neukonstruktionen wurden die Investitionskosten reduziert und die Wirtschaftlichkeit so stark verbessert, dass das System in der Vollkostenrechnung wettbewerbsfähig und teilweise deutlich im Vorteil ist gegenüber konventionellen Heizsystemen.

5. Entwicklung einer effizienteren und leiseren Lüfterregelung

Der Lüfter ist ein zentrales Bauteil sowohl hinsichtlich Effizienz, Akzeptanz (Lautstärke) und Wartung. Die Ergebnisse des Feldtests haben einen grundsätzlich zuverlässigen Betrieb und eine erfolgreich umgesetzte Drehzahlregulierung mit erhöhter Effizienz und geringer Geräuschentwicklung bestätigt.

6. Entwicklung einer neuen Reglerplattform (internetfähig)

Mit dem neu entwickelten Internet-Systemregler wurde neben der Funktionserweiterung eine wesentliche Voraussetzung für einen breiteren Einsatz des Solar-Wärmepumpensystems geschaffen: Monitoring und verbesserte Wartung. Der Regler mit neuen Funktionen und neuer hydraulischer Hardware wurde im Feldtest erfolgreich erprobt und optimiert.

2 Einleitung

Der Solarwärme-Markt befindet sich im Umbruch. In den vergangenen Jahren bestand auf der einen Seite eine starke Abhängigkeit der Marktentwicklung vom Ölpreis und der Fördersituation, auf der anderen Seite entstand eine immer ausgeprägtere Konkurrenzsituation zu anderen Technologien der Erneuerbaren Energien, allen voran der Photovoltaik, aber auch Wärmepumpen oder Pellets. Dies ist eine Konkurrenz in der öffentlichen Wahrnehmung (heute: Solarenergie = Photovoltaik), aber auch der Wettbewerb um Installationskapazitäten, Dachflächen und Endkunden. In Zukunft geht es auch um die direkte ökonomische Konkurrenz für die Wärmeerzeugung, insbesondere durch die Kombination von PV-Anlagen mit Luft-Wärmepumpen.

Auf der anderen Seite wird die solarthermische Energienutzung aufgrund ihres immensen Potentials als schlafender Riese bezeichnet. Grundsätzlich haben Techniken zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme gegenüber der Stromproduktion auch langfristig das Potential, wesentlich kostengünstiger zu sein, und die Speicherung von Niedertemperaturwärme ist ebenfalls deutlich wirtschaftlicher und mit größeren Kapazitäten darstellbar als die Speicherung von elektrischer Energie. Während bei der Photovoltaik mit Netzeinspeisung die Aufgabe des Ausgleichs zwischen Angebot und Bedarf im Moment noch auf übergeordnete Netzstrukturen „abgewälzt“ wird, gehört sie bei der Solarwärme in der Regel grundsätzlich zum Systemumfang dazu, da eine entsprechende Netzstruktur (in diesem Fall: Nah- und Fernwärme) nicht flächendeckend vorliegt.

In dieser Situation stellt sich die Frage, welchen Beitrag die Solarwärmebranche zur Erreichung der Klimaziele bringen wird. Nach wie vor wird ein großer Anteil der Endenergie für Heizwärme im Gebäudebestand verbraucht. Ein wichtiger Ansatz ist daher die Erarbeitung integrierter Lösungen nicht nur für den Neubau, sondern v. a. auch den Gebäudebestand, in der die Techniken, die oben als Wettbewerber beschrieben wurden, in synergetischer Weise kombiniert werden.

Die Solarheizung SOLAERA stellt ein solches integriertes Systemkonzept dar. Sie ermöglicht die vollständige Wärmeversorgung eines Hauses durch den Einsatz von Hybrid-Sonnenkollektoren, die die einzige Wärmequelle für das System darstellen, und eine in das System integrierte Kombination aus Wärmepumpe und Latentspeicher. Hiermit kann eine Primärenergieeinsparung von über 50 % realisiert werden, ohne Wärmepumpen-Erdsonden oder Erdreichwärmetauscher, die im Gebäudebestand nur eingeschränkt realisierbar sind. Im Gegensatz zu üblichen thermischen Solaranlagen zur Warmwasserbereitung oder zur Heizungsunterstützung stellt SOLAERA keine Ergänzung mehr zu einer konventionellen Heizung dar, sondern ist selbst das vollständige Heizsystem.

Trotz hochinnovativer Technologie ist das System nach außen genauso kompakt und einfach anzuschließen und zu betreiben, wie ein konventioneller Wärmeerzeuger: Am Energiezentrum, in dem die komplette Technik untergebracht ist, werden Heizkreisvor- und rücklauf sowie Solarvor- und rücklauf angeschlossen, hinzu kommen 5 kurze Verbindungsstücke zwischen Energiezentrum und Solar-Kombispeicher – fertig!

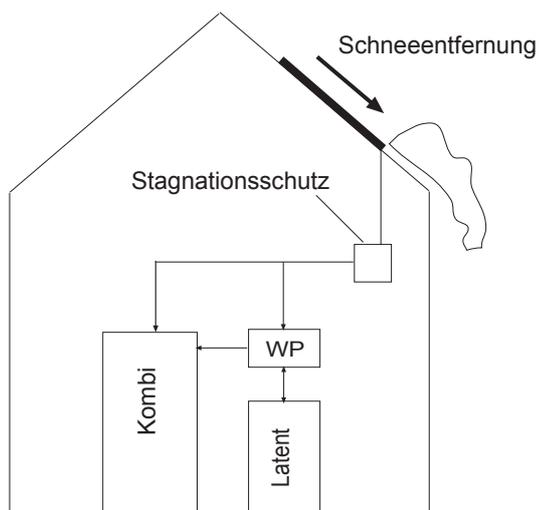
Dennoch war das System in seinen Anwendungs- und Verbreitungsmöglichkeiten zu Beginn dieses Projekts noch sehr eingeschränkt. Im Rahmen dieses DBU-Förderprojektes wurden seit Anfang 2010 Systemlösungen entwickelt, mit denen eine Reihe neuer Anwendungen möglich wird. Ziel ist, auch bei älteren Häusern in Kombination mit Sanierungsmaßnahmen eine drastische Reduktion des Primärenergieverbrauchs zu erreichen.

3 Projektziele

Ziel dieses Projekts war die Entwicklung und Erprobung eines solaren Vollversorgungssystems zur möglichst breiten Anwendung in Ein- bis Zweifamilienhäusern. Dazu soll das im Rahmen eines von der DBU geförderten früheren Projekts entwickelte solare Heizsystem SOLAERA insbesondere auch in Bestandgebäude einsetzbar sein. Durch die Arbeiten soll eine drastische Reduzierung des Primärenergieeinsatzes und des CO₂-Ausstoßes nicht nur im Neubau sondern auch im Gebäudebestand ermöglicht werden.

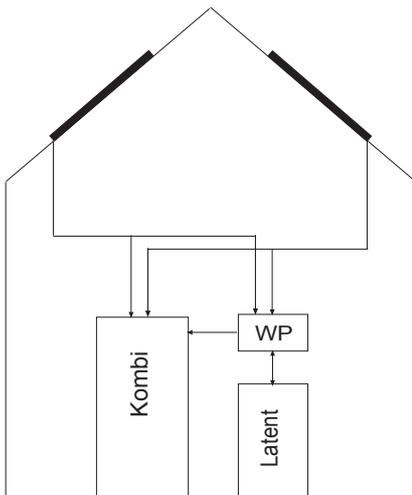
In den ersten beiden Projektjahren wurden die Lösungen für die obigen Zielsetzungen erarbeitet:

1. Lösungen für schnee- und stagnationssicheren Betrieb bereits ab 40°-Kollektorneigung

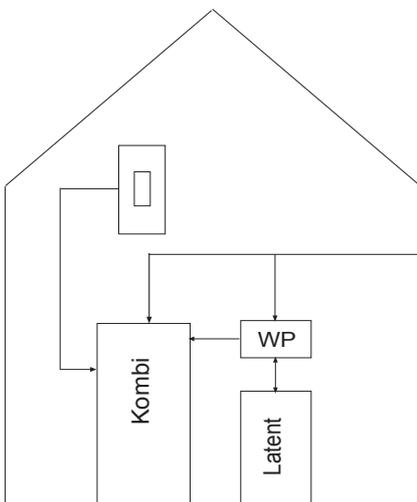


- Konstruktion des Hybridkollektors so, dass der Luftauslass auch bei geringeren Neigungen und bei mehreren Feldern übereinander schneefrei bleibt.
- Entwicklung einer Schneeantalogik, durch die der Schnee zum Abrutschen gebracht wird.
- Entwicklung einer Logik zum Stagnationsschutz über die Kollektorlüfter

2. Hydraulik und Logik für unterschiedlich ausgerichtete Teilkollektorfelder



3. Größere Heizleistung und Vorlauftemperaturen durch Kopplung mit (Bestands-) kessel



- Ein Heizkreis bis Vorlauf 55 °C, Rücklauf 35 °C
- Zwei Heizkreise: Radiator und Flächenheizung

4. Kostenreduktion und verbesserte Wirtschaftlichkeit

- Ermöglichung eines Wärmepumpensperrtarifs
- Reduktion der Systemkosten durch Vereinfachung (Wegfall von Komponenten wie Strahlungssensor)
- Entwicklung eines neuartigen Spritzgussteils zur kostengünstigen Herstellung des Wasser-Eisspeichers
- Entwicklung kostengünstiger und wartungsfreundlicher Armaturengruppen im Energiezentrum
- Materialoptimierung der Kollektormontagesysteme
- Untersuchung und Entwicklung von Lösungen mit kleineren Kollektorfeldern
- Untersuchung der Systemkombination mit einem selektiven ungedeckten Absorber

5. Entwicklung einer effizienteren und leiseren Lüfterregelung

6. Entwicklung einer neuen Reglerplattform (internetfähig)

- Umstellung auf Reglerhardware mit einfachem Internet-Anschluss und Zugriff über Portal
- Implementierung zahlreicher neuer und verbesserter Funktionen dank leistungsfähigerem Prozessor

Die meisten Untersuchungen, Entwicklungsarbeiten und Ergebnisse sind im Einzelnen im Zwischenbericht beschrieben.

Im dritten Projektjahr wurden – neben dem Abschluss einiger Entwicklungsarbeiten – die obigen neuen Konstruktionen und Logiken in einem Feldtest erprobt und weiter optimiert.

Die Ergebnisse werden in dem vorliegenden Bericht vorgestellt.

4 Feldtest

4.1 Durchführung des Feldtests

Zur Erprobung neuer Konstruktionen und Regellogiken wurden mehrere bereits existierende und mit Messtechnik ausgestattete SOLAERA-Anlagen nachgerüstet. Somit konnte der Messtechnikaufwand vergleichsweise klein gehalten werden. Weiterhin wurden auch neue Anlagen für den Feldtest realisiert, insbesondere Anlagen mit dem neuen Internet-Systemregler.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der Feldtestanlagen:

Anlagentyp / Test	Ort	Umbau / Neuinstall.	Feldtest seit
Kesselkopplung			
2 Heizkreise (Radiatoren + Fußboden)	79541 Inzlingen	Umbau	Januar 2011
2 Heizkreise (Radiatoren + Fußboden) / neue Reglerhardw.	72555 Metzingen	Neuinstallation	Dezember 2011
1 Heizkreise (Radiator)	79540 Lörrach	Neuinstallation	Dezember 2011
Zweifeld			
2 Felder (Fassade + Dach)	79540 Lörrach	Umbau	September 2012
Lüftersteuerung mit Trafo			
	79540 Lörrach	Umbau	August 2011
	Limburg	Neuinstallation	September 2011 (nur Beobachtung, keine Messdaten)
	CH-Bern	Neuinstallation	Oktober 2011
Schneetest			
8 Kollektoren, Schrägdach aufgeständert, 59,4°	87634 Obergünzburg	Nur neue Software	Dezember 2011
8 Kollektoren, dachparallel, 53°	79336 Herbolzheim	Nur neue Software	Dezember 2011
8 Kollektoren, Flachdachaufständerung 60°	AU-6521 Kaunerberg	Nur neue Software	Dezember 2011 (nur Beobachtung, keine Messdaten)
8 Kollektoren, 2 Reihen	79288 Gottenheim	Umbau Schneeblech	Januar 2012

übereinander, dachparallel, 45°		+ neue Software	
6 Kollektoren, Schrägdach aufgeständert, 40°	Luxemburg	Neubau	August 2012
8 Kollektoren, Schrägdach aufgeständert, 45°	74... Schwäbische Alb	Neubau (neuer Lüfterauslass)	November 2012 (nur Beobachtung, keine Messdaten)
6 Kollektoren, dachparallel 60°	67663 Kaiserslautern	Neubau (neuer Lüfterauslass)	November 2012
Neue Reglerhardware			
6 Anlage zzgl. 1 Anlage s. o. (Kesselkopplung)			Zweites Halbjahr 2012

4.2 Größere Leistung und höhere Heizkreis-Temperaturen durch Kesselkopplung

Durch die Kombination von SOLAERA mit automatischen Pelletes-Kaminöfen oder Bestandskesseln werden größere Heizleistungen und auch höhere Heizkreis-Vorlauftemperaturen ermöglicht.

Die Kombination ist für ein und zwei Heizkreise möglich. Beide Fälle wurden im Feldtest untersucht.

Die Logik und Hydraulik wurden so entwickelt, dass der Kessel nur dann frei gegeben wird, wenn:

- a) die geforderte Heizleistung größer ist als die von der Wärmepumpe gelieferte. Dies erkennt der Regler am Absinken der Eisspeichertemperatur unter einen einstellbaren Grenzwert, z. B. – 5 °C.
- b) die geforderte Heizkreisvorlauftemperatur über dem max. für den Heizbetrieb der Wärmepumpe zugelassenen Wert (40 °C – 1 K = 39 °C) liegt.

Bei Freigabe springt der Kessel nur dann an, wenn tatsächlich die Vorlauftemperatur bzw. die Temperatur im Heizungspufferbereich des Speichers unter den Sollwert sinkt.

Mit der entwickelten Logik und Hydraulik soll erreicht werden, dass die Wärmepumpe auch bei Unterstützung durch den Kessel im Niedertemperaturbereich weiter Wärme liefert.

4.2.1 Kesselkopplung mit einem Radiatorenkreis bei großer Leistung

Abbildung 1 zeigt das Hydraulikschema für die Kopplung von SOLAERA mit einem Bestandskessel und einem Heizkreis mit maximalen Vorlauftemperaturen über 40 °C. Man sieht in dem Schema, dass der Radiatorenheizkreis über einen Vierwegemischer zunächst Wärme aus dem mittleren, durch die Wärmepumpe nachgeheizten Speicherbereich entnimmt. Liegt die Solltemperatur über der aus diesem Bereich gelieferten Temperatur, wird heißeres Wasser aus dem oberen Speicherbereich dazu

gemischt. Da gleichzeitig der Kessel frei gegeben wird, wird vermieden, dass die Wärmepumpe ständig den oberen Speicherbereich mit schlechter Effizienz nachheizt.

Da der Vierwegemischer in der Praxis nicht perfekt regelt, würde bei regelmäßigen Überschwingern der Mischer vom oberen Speicherbereich Wasser zumischen, obwohl dies eigentlich nicht nötig wäre. Dadurch müsste dann die Wärmepumpe regelmäßig den oberen Speicherbereich mit schlechter Leistungszahl nachheizen. Das Umschaltventil U5 schließt daher den Anschluss zum oberen Speicherbereich, solange die Sollvorlauftemperatur unter der in Speichermitte vorliegenden Temperatur liegt.

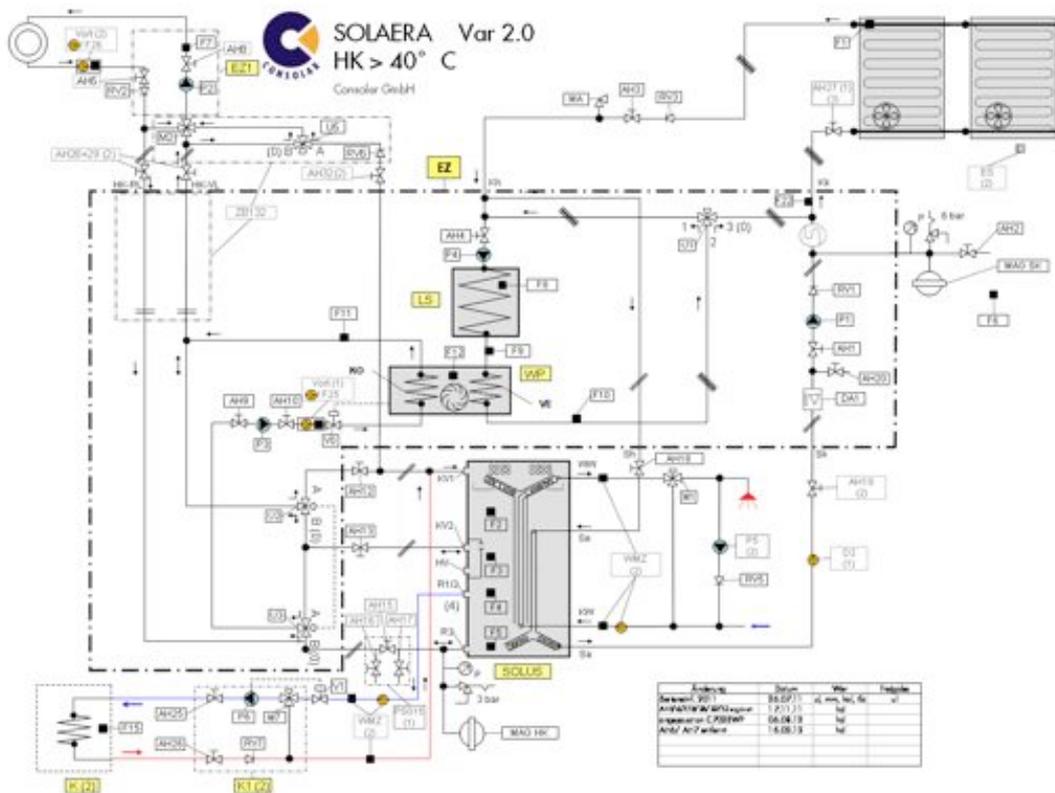


Abbildung 1: Hydraulikschema Kesselkopplung mit 1 Heizkreis (Vorlauf > 40 °C)

Abbildung 2 zeigt, wie trotz einer Heizkreisvorlauftemperatur von ca. 42 °C die Wärmepumpe die meiste Zeit läuft, was den Auslegungszielen entspricht. Die Temperatur im Speicher oben sinkt, zum einen, da der Vierwegemischer vom oberen Speicherbereich heißeres Wasser zumischt, zum anderen – gegen 17:30 – auch wegen Warmwasserentnahme (Temperatur im Speicher unten sinkt). Deswegen springt der Kessel zum Nachheizen des oberen Bereichs an (rote Kurve = Kesseltemperatur).

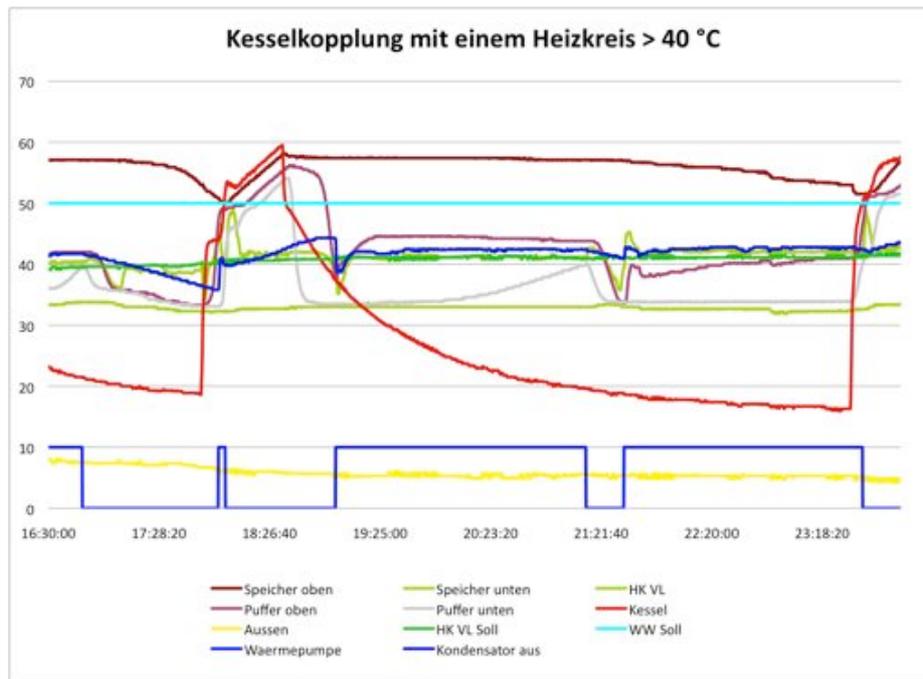


Abbildung 2: Temperaturverlauf bei Kesselkopplung mit 1 Heizkreis (Vorlauf > 40 °C)

Im Rahmen des Feldtests mussten Heizkreiseinstellungen und der Heizpumpenabgleich optimiert werden, um zu erreichen, dass die Rücklauftemperaturen des Heizkreises i. d. R. unter 35 °C liegen. Ansonsten sind die Temperaturen im mittleren Speicherbereich zu hoch um einen Betrieb der Wärmepumpe zu erlauben.

Noch nicht optimal ist, dass die Wärmepumpenaustrittstemperatur ebenfalls über 40 °C liegen. Bei der Soft- und Hardwareversion, die in dieser Anlage installiert sind, wird die Kondensatorkreispumpe auf die Heizkreis-Solltemperatur geregelt, auch wenn diese über 40 °C liegt. Die tatsächlich erreichbare Temperatur ist dann durch die Drehzahlgrenzen begrenzt. Dennoch birgt diese Regellogik insbesondere bei hohen Heizkreistrücklauftemperaturen die Gefahr, dass die Wärmepumpe ständig mit hohen mittleren Kondensatortemperaturen und daher schlechtem COP läuft. Daher wird bei der neuesten Softwareversion die Kondensatorvorlauftemperatur, auf die geregelt wird, auf 40 °C begrenzt. Dies hat zur Folge, dass der Kessel etwas mehr Wärme bereit stellen muss, da mehr heißes Wasser vom oberen Speicherbereich zugemischt wird, in der Primärenergiebilanz ist das jedoch günstiger.

4.2.2 Kesselkopplung mit zwei Heizkreisen (davon einem Radiatorenkreis) bei großer Leistung

In Abbildung 3 ist das Hydraulikschema für Kesselkopplung und zwei Heizkreise, davon ein Radiatorenheizkreis und ein Niedertemperatur- (Flächen-) Heizkreis dargestellt. Die Funktion für den Radiatorenheizkreis entspricht dem oben für einen Heizkreis (VL > 40 °C) beschriebenen Konzept. Der Niedertemperaturheizkreis wird nur von der Wärmepumpe bzw. dem mittleren Pufferbereich des Kombispeichers versorgt.

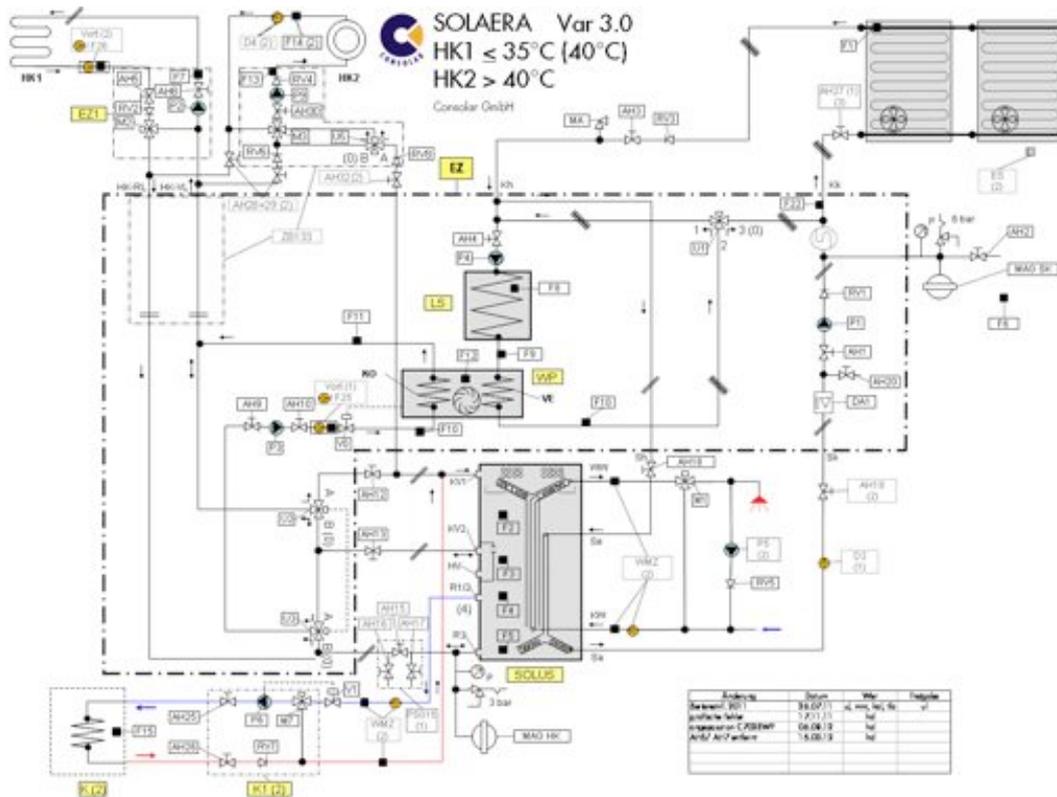


Abbildung 3: Hydraulikschemata Kesselkopplung und 2 Heizkreise, davon einer > 40 °C



Abbildung 4: Temperaturverläufe bei Kesselkopplung mit 2 Heizkreisen: Heizkreis 2 mit ca. 60 °C, Heizkreis 1 ca. 40 °C

Abbildung 4 zeigt die Temperaturverläufe bei der Feldtestanlage mit Kesselkopplung und 2 Heizkreisen: Heizkreis 2 hat eine Vorlauftemperatur von ca. 50 °C, die von Heizkreis 1 liegt bei ca. 37 °C. Die obere Speichertemperatur sinkt durch die kontinuierliche Entnahme für Heizkreis 2 ab bis

die Mindesttemperatur unterschritten wird. Dann springt der Kessel zum Nachheizen an. Die Wärmepumpe läuft in der übrigen Zeit zwischen den kurzen Kesselnachheizungen zur Versorgung der Fußbodenheizung und – durch Zumischung – teilweise auch des Radiatorenheizkreises. Das Anlagenverhalten entspricht somit der gewünschten Funktionsweise.

Ungünstig bei dieser Anlage sind die für den Bedarf zu hohen Kondensatoraustrittstemperaturen (ca. 47 – 48 °C obwohl die Vorlauftemperatur von Heizkreis 1 nur bei ca. 37 °C liegt. Die Ursache hierfür sind zum einen die trotz Fußbodenheizung recht hohen Rücklauftemperaturen (ca. 35 °C, entspricht „Puffer unten“), zum anderen vermutlich Schlammablagerungen im Kondensatorkreis, aufgrund einer alten Stahlrohr-Fußbodenheizung. Hierdurch ist der Durchfluss im Kondensatorkreis zu klein und die Temperaturspreizung zu groß. Dieser Effekt wurde im Laufe des Feldtests größer und konnte im Projektzeitraum noch nicht abgestellt werden.

Ein weiterer Nachteil, der in Abbildung 3 deutlich wird, ist, dass die Restwärme im Kessel ungenutzt bleibt, der Kessel kühlt zwischen seinen Laufzeiten langsam ab und gibt seine Wärme an den Raum ab. Bei der bisherigen Reglerhardware mussten Kessel und Kesselladepumpe mit einem Ausgang geschaltet werden. Somit konnte mit der Pumpe keine Restwärme aus dem Kessel gezogen werden.

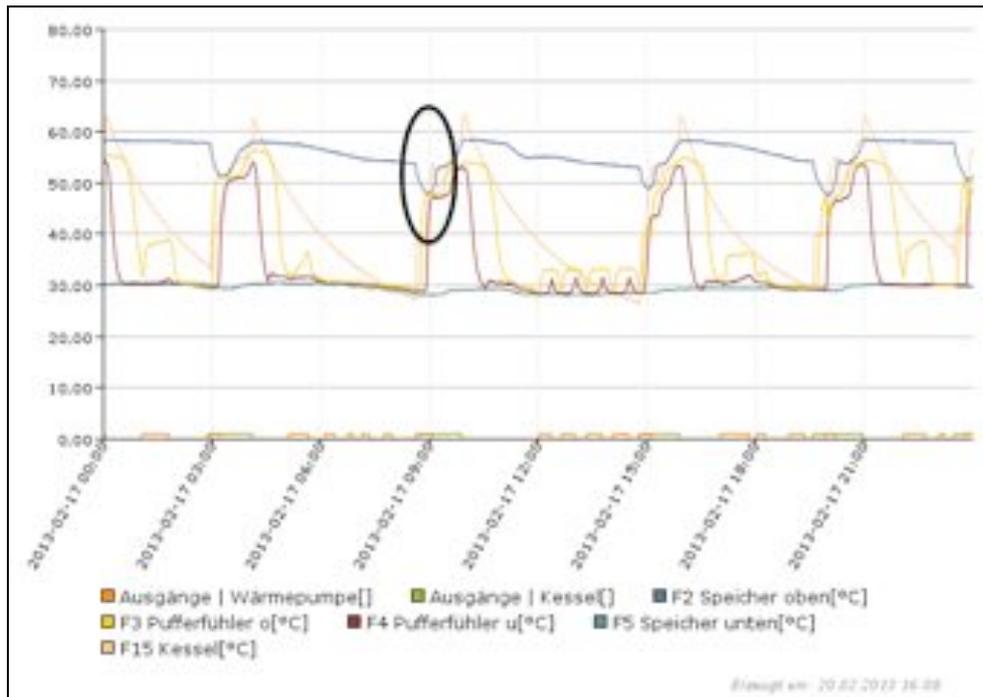
4.2.3 Kesselkopplung mit Drehzahlregelung Kesselpumpe

Mit der neuen Reglerhardware (s. auch Kapitel 5) ist es möglich, Kessel und Kesselladepumpe mit zwei getrennten Ausgängen anzusteuern. Für die Kesselladepumpe wird eine Hocheffizienzpumpe eingesetzt, die stufenlos in der Drehzahl geregelt werden kann. Hierfür wurde eine Logik entwickelt, die es ermöglichen soll, zum einen die Restwärme im Kessel so weit wie möglich zu nutzen, zum anderen den Speicher gezielt mit der Solltemperatur zu beladen.

Die Feldtestanlage, an der diese Logik getestet wurde, hat zwei Heizkreise. Es stellte sich heraus, dass der Kessel einen sehr ungünstig platzierten Kesselfühler hatte, der die Temperatur im Kessel bei Pumpenstillstand nur mit großer Verzögerung erfasste. Daraus folgte ein taktender Betrieb, da der Sicherheitsthermostat des Kessels dann immer vor Erreichen der Solltemperatur auslöste.

Die Logik wurde entsprechend überarbeitet, um auch in solchen Situationen einen zuverlässigen Anlagenbetrieb zu ermöglichen. Abbildung 5 zeigt den Temperaturverlauf nach Durchführung der Überarbeitung: Die Kesselladepumpe läuft immer sofort mit kleiner Drehzahl los, sobald der Kessel gestartet wird, um eine gute Temperaturübertragung zu dem Kesselfühler zu ermöglichen. Ein Nachteil hiervon ist bei der hier getesteten Anlage mit extrem kleinen Kesselvolumen und kleiner Leistung, dass die Temperatur des Wassers, das in den Speicher geschoben wird, zunächst unter der Speichertemperatur liegt und damit den Speicher oben abkühlt.

Weiterhin ist an den Temperaturen zu erkennen, dass die Kesseltemperatur dank der Drehzahlregelung kaum über die Speichertemperatur oben ansteigt. Wunschgemäß wird die Restwärme aus dem Kessel in den Speicher gepumpt, bis die Kesseltemperatur der oberen Speichertemperatur entspricht. Natürlich verbleibt dann immer noch eine größere ungenutzte Wärmemenge im Kessel, die nur durch größeren hydraulischen Aufwand (Umschaltung auf unteren Speicherbereich) genutzt werden könnte.



**Abbildung 5: Temperaturverlauf bei Kesselkopplung mit drehzahl geregelter Kesselladepumpe.
Das Oval zeigt das Absinken der oberen Speichertemperatur zu Beginn des Kesselbetriebs**

4.2.4 Zusammenfassung und Ausblick Kesselkopplung

Die gewünschte Funktion der neu entwickelten Hydrauliken und Logik wurde – nach mehreren Optimierungen – im Feldtest bestätigt.

An den Ergebnissen der Feldtestanlagen ist auch die Grenze der Verschaltung erkennbar: Wenn die Rücklauftemperatur – bzw. die gemischte Rücklauftemperatur von Heizkreis 1 und 2 – über ca. 35 °C liegt, kann die Wärmepumpe nur noch wenig oder überhaupt nicht mehr anspringen. Zu hohe Rücklauftemperaturen können mehrere Ursachen haben:

- Der oder die Heizkreise haben ein zu hohes Temperaturniveau
- Die Temperaturspreizung der Heizkreise ist zu gering (Durchfluss zu groß)
- Heizkreis 2 (Radiatoren) gibt mehr Wärme ab als der Niedertemperaturheizkreis und bestimmt damit die Misch-Rücklauftemperatur

Die obigen Beschränkungen können nur durch eine gute Planung, Einstellung und hydraulischen Abgleich vermieden werden.

Ein sicherer Betrieb auch ohne perfekten hydraulischen Abgleich wäre mit Drehzahlregelung der Heizkreispumpe(n) möglich: Regelung auf eine bestimmte Temperaturspreizung bzw. eine bestimmte Rücklauftemperatur. Bei einer solchen Drehzahlregelung könnte die Hydraulik bei zwei Heizkreisen auch dahin gehend optimiert werden, dass der Rücklauf des Radiatorenheizkreises den Vorlauf der Fußbodenheizung versorgt. Die Drehzahlregelung könnte dann dafür sorgen, dass die Rücklauftemperatur immer ausreichend hoch ist.

Eine weitere Optimierungsoption könnte darin bestehen, die Möglichkeit zu schaffen, modulierende Kessel entsprechend anzusteuern. Hiermit könnte die Anzahl der Kesselstarts reduziert werden. Die Kessel-Wärmeverluste werden hierdurch jedoch nicht reduziert, sondern noch größer, weil der Kessel dann länger auf hohem Temperaturniveau bleibt. Auch ist das Anwendungsspektrum hierfür vermutlich klein, weil die Kombination von SOLAERA mit einem Kessel in erster Linie im Renovierungsfall mit Bestandskessel interessant ist. Die meisten älteren Kessel haben aber noch keine Modulation.

4.3 Schnee

Die im Zwischenbericht beschriebenen neuen konstruktiven und regelungstechnischen Funktionen für einen schneesicheren Betrieb wurden im Winter 2012/13 bei mehreren Anlagen in der realen Anwendung getestet.

4.3.1 Schutz des Lüfteraustritts

Mit dem neu konstruierten Luftaustritt sollte vermieden werden, dass Schnee über den Luftaustritt rutschen und damit die Wärmeversorgung für die Wärmepumpe lahm legen kann.

Im Feldtest wurde die erfolgreiche Funktion nachgewiesen, siehe Abbildung 6 und Abbildung 7.



Abbildung 6: Schneebrett rutscht glatt über Luftaustrittsbereich nach unten



Abbildung 7: Mit Schnee bedeckte Kollektoren. Der Luftaustritt ist frei

Es wurde allerdings bei der gleichen Anlage, die in einem schneereichen Gebiet liegt (über 700 m Höhe auf der Schwäbischen Alb), beobachtet, dass bei extremem Schnee die Kollektoren zeitweise komplett bedeckt waren. Die Luft konnte zwar noch unter und neben den Schneeverwehungen passieren, aber relativ stark behindert (siehe Abbildung 8).



Abbildung 8: Mit Schnee bedeckte Kollektoren. Der Luftaustritt ist behindert.

Die Ursache hierfür ist zum einen, dass der Schnee unterhalb der Kollektoren nicht frei abrutschen kann. In der Technischen Dokumentation wurden entsprechende Hinweise aufgenommen und spezielle glatte Ziegel empfohlen. In der Technischen Dokumentation wird außerdem für Gebiete, die in Schneezonen mit hohem Schneeaufkommen liegen, weiterhin ein Mindestwinkel von 60° vorgeschrieben.

4.3.2 Schneeabrutschfunktion

Die Fotos und Berichte von verschiedenen Feldtestanlagen bestätigen, dass die Antaufunktion in vielen Fällen gut funktioniert, während von älteren Anlagen ohne diese Funktion berichtet wurde, dass der Schnee nicht abrutscht.

Die Antaufunktion wird zwischen 12 Uhr und 13 Uhr aktiviert. Wenn gleichzeitig die Sonne scheint, bleibt kein Schnee mehr auf den Kollektoren.



Abbildung 9: Kollektoren am Vormittag vor Auslösen der Abrutschfunktion



Abbildung 10: Kollektoren am Nachmittag nach Auslösen der Abrutschfunktion

4.3.3 Schneebleche bei mehreren Kollektorreihen übereinander

Im Zwischenbericht wird das Problem des Schneestaus zwischen zwei übereinander montierten Kollektorfeldern beschrieben. Um dies zu vermeiden, wurde eine Lösung entwickelt, bei der zwischen

den beiden Feldern ein Blech montiert wird. Die obere Kollektorreihe wird etwas angehoben, so dass sich eine Überlappung wie bei Dachziegeln ergibt und der Schnee glatt vom oberen Feld auf das untere rutschen kann. Die Luft, die aus dem Luftaustritt unter dem Schneeblech geblasen wird, kann durch den Spalt unter dem Blech und auch seitlich in dem Zwischenraum zwischen den Kollektoren austreten. Ein weiteres Blech verhindert, dass die ausgeblasene kalte Luft vom Ventilator wieder angesaugt wird.



Abbildung 11: Schneebleche zwischen oberer und unterer Kollektorreihe

Die folgenden Abbildungen zeigen das Schneeabrutschen.

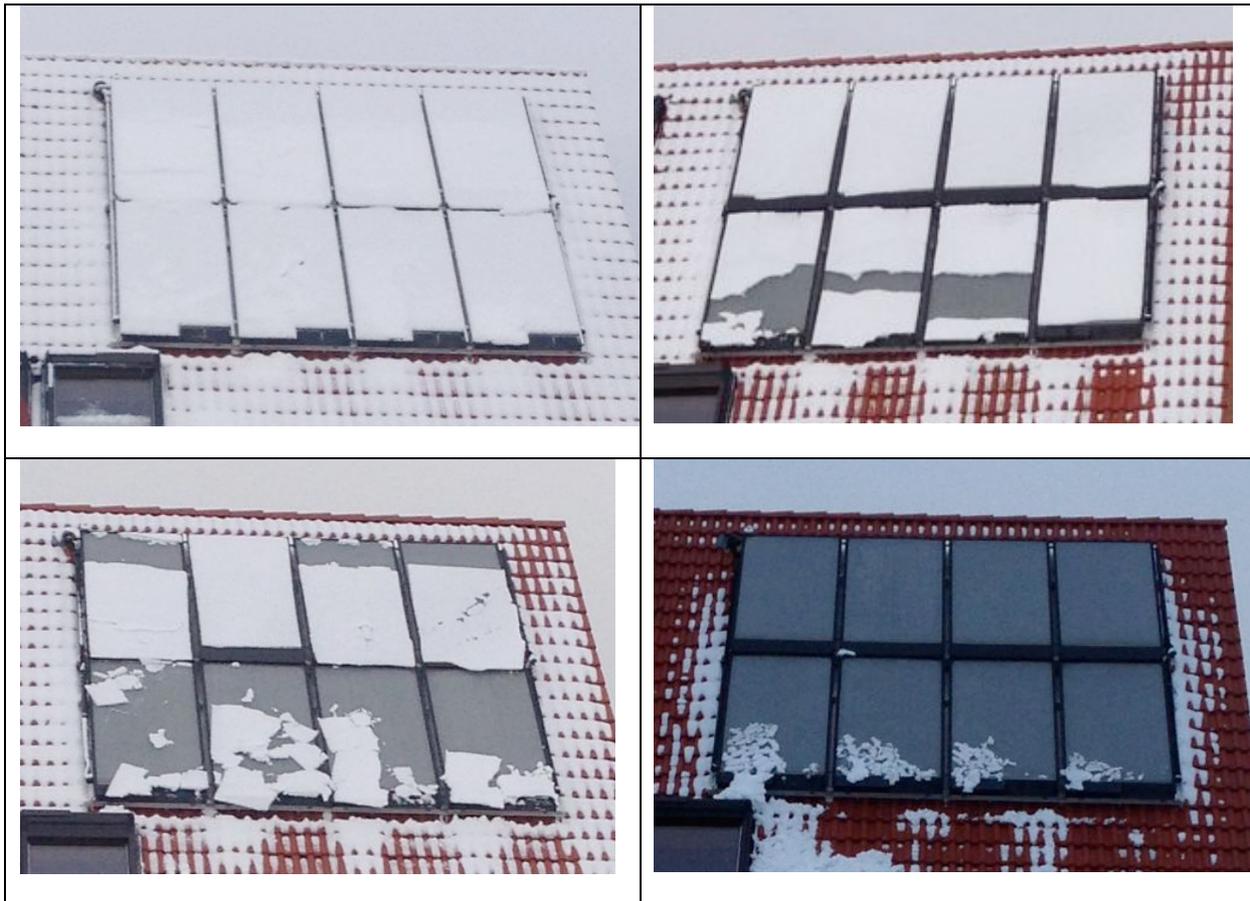


Abbildung 12: Schneabrutschen bei zweireihigem Kollektorfeld (45°): während (oben rechts) und nach Aktivieren der Schneabrutschfunktion zwischen 12 Uhr und 13 Uhr rutscht der Schnee ab.

Solange der Schnee noch nicht abgerutscht ist (links oben), sind die Schlitze zwischen den Schneeblechen und den Kollektoren darunter zu mehr als der Hälfte mit Schnee verschlossen. Man kann davon ausgehen, dass bei mehr Schnee die Schlitze vollständig unter Schnee liegen können. Die Luft kann dann noch seitlich ausströmen, allerdings ist der Luftquerschnitt dabei reduziert.

4.3.4 Zusammenfassung und Ausblick Schneeschutz

Die Ergebnisse des Feldtests haben die grundsätzliche Funktion der Neuentwicklungen, aber auch ihre Grenzen aufgezeigt. In Gegenden mit viel Schnee muss weiterhin ein Mindestaufstellwinkel von 60° vorgeschrieben werden. Ebenso sind Hinweise hinsichtlich zu geben, um sicherzustellen, dass der Schnee unterhalb der Kollektoren ungehindert abrutschen kann (optimal Realisierung z. B. siehe Abbildung 13).



Abbildung 13: Hybridkollektoren schneesicher auf Gartenhütte montiert

Eine Optimierungsmöglichkeit ist noch durch den Einsatz eines glatteren Glases gegeben. Das bislang eingesetzte Glas ist nach innen strukturiert, nach außen glatt – aber nicht perfekt glatt. Bei der Testanlage bei Consolar wurde zum Test ein Kollektor mit ganz glatter Oberfläche eingesetzt. Abbildung 14 zeigt den Unterschied.



Abbildung 14: Der zweite Kollektor von hinten hat eine perfekt glatte Oberfläche, der Schnee rutscht dort schneller ab

4.4 Zweifeldregelung

Die Zweifeldregelung wurde eingeführt, um bei zwei verschiedenen ausgerichteten Kollektorfeldern (z. B. Ost-West) einen effizienten Betrieb zu ermöglichen. Im Zwischenbericht sind die Entwicklung und Untersuchungen mit Simulationsrechnungen und Tests dieser Verschaltung (Abbildung 15) und Regelungslogik erläutert.

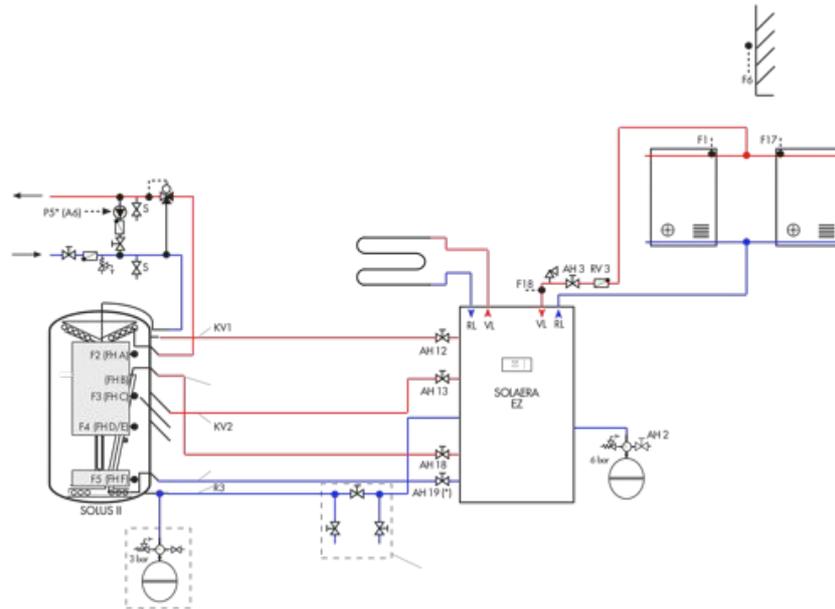


Abbildung 15: Hydraulikschema Zweifeld: jedes Kollektorfeld hat einen Temperaturfühler und am gemeinsamen Vorlauf wird die Mischtemperatur gemessen (F18)

4.4.1 Erprobung im Feld

Um die Funktion zu testen wurde eine Anlage mit Fassadenkollektoren und schräg auf dem Dach aufgeständerten Kollektoren entsprechend umgerüstet. Bislang war diese Anlage mit der Standardregelung über nur einem Kollektorfühler geregelt worden.



Abbildung 16: Testanlage (linke Haushälfte) mit zwei verschieden ausgerichteten Kollektorfeldern: auf dem Dach mit 60° Neigung und an der Fassade

Die solare Beladung von Kombispeicher und Eisspeicher wird durch die höhere Temperatur der beiden Kollektorfelder ausgelöst. Für den Abbruch einer Speicherbeladung wird die Mischtemperatur der beiden Felder herangezogen.

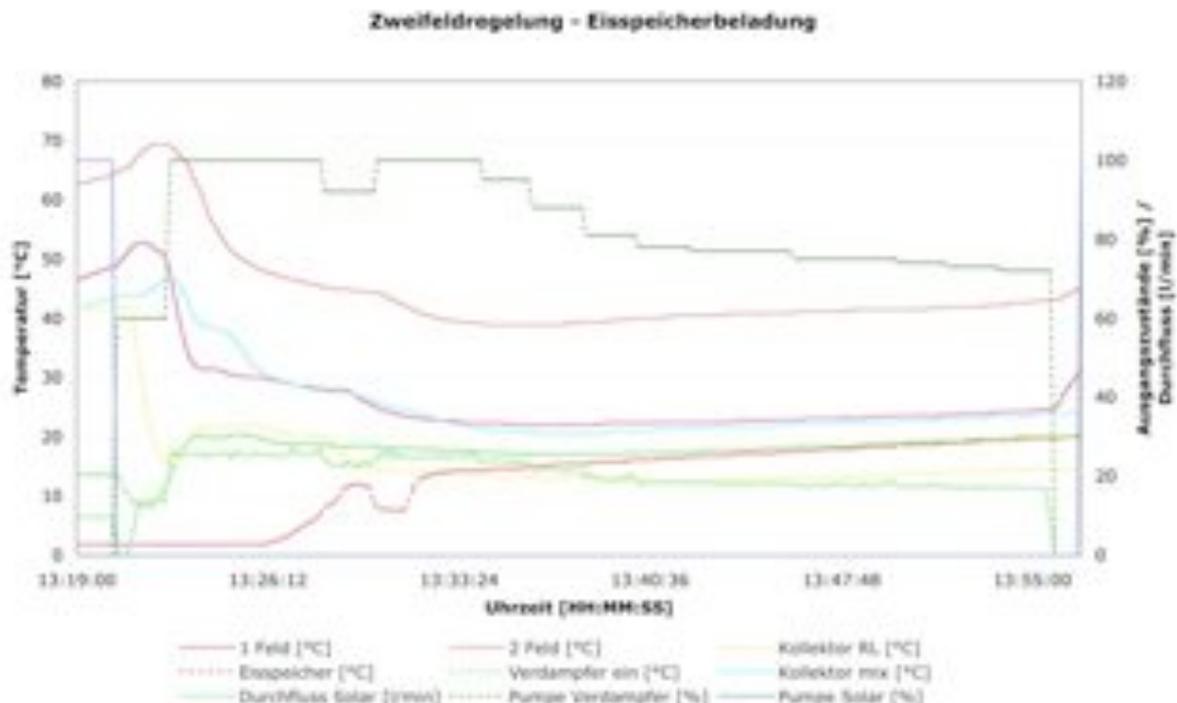


Abbildung 17: Ladevorgang mit Zweifeldlogik: Umschaltung von Kombispeicher auf den Eisspeicher

In der Abbildung 17 ist am Anfang das Ende der solaren Beladung des Kombispeichers zu sehen: Solardurchfluss grün bei knapp 10 l/min, „Pumpe Verdampfer“ (blau gestrichelt, fördert Flüssigkeit von Kollektoren durch Eisspeicher und Verdampfer der Wärmepumpe) läuft nicht. Die solare Beladung wird beendet, da die Differenz zwischen Kollektormischtemperatur (hellblau) und Kollektorrücklauftemperatur (gelb) zu gering ist, d. h. dass kein Ertrag mehr in den Speicher kommt.

Jedoch ist zu diesem Zeitpunkt der zu erwartende Ertrag für die Beladung des Eisspeichers durch das zweite Kollektorfeld hoch. Deshalb wird Eisspeicherbeladung gestartet („Pumpe Verdampfer“ läuft). Die Beladung wird zu dem Zeitpunkt beendet, an dem der Eisspeicher (rot gestrichelt) seine Maximaltemperatur (20 °C) erreicht.

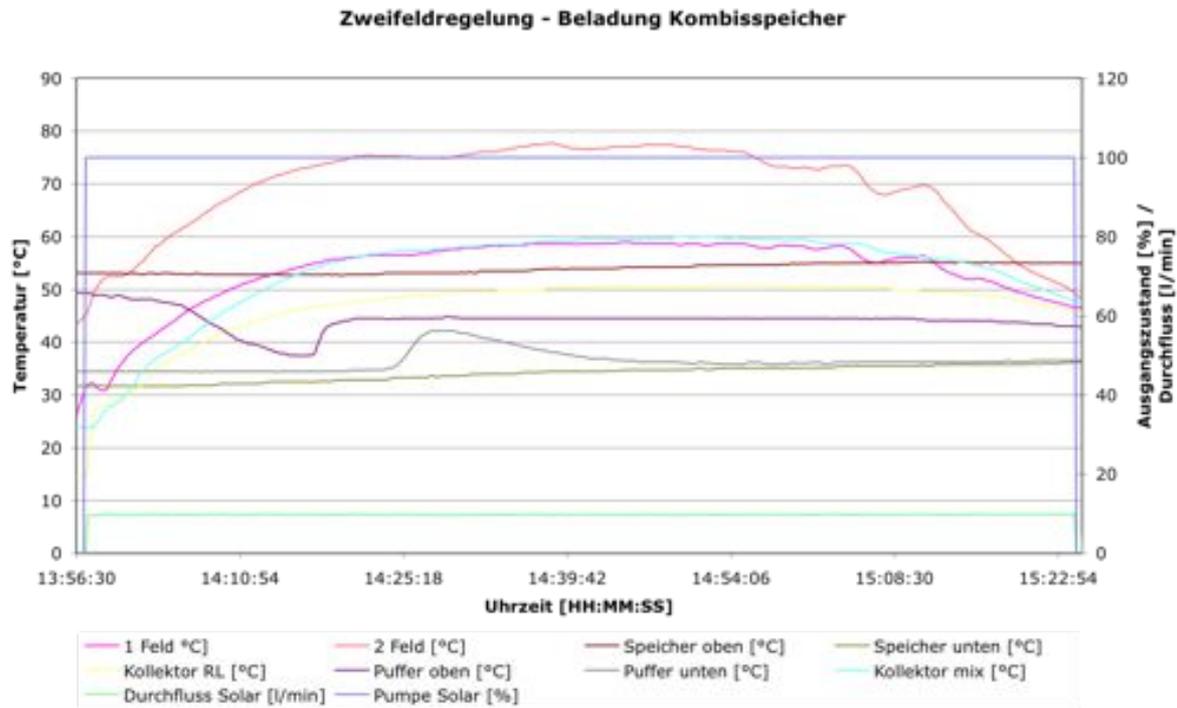


Abbildung 18: Ladevorgang mit Zweifeldlogik in den Kombispeicher

In Abbildung 18 ist die solare Beladung des Kombispeichers dargestellt. Die höhere Temperatur der beiden getrennten Kollektorfühler wird als Startkriterium heran gezogen; somit ist der zu erwartende Ertrag so hoch, dass sich eine Beladung lohnt. Die solare Beladung des Kombispeichers wird gegen Ende des Diagramms beendet, da die Differenz zwischen Kollektormischtemperatur und Kollektorrücklauftemperatur zu gering wird und sich das Beladen nicht mehr lohnt.

Der große Temperaturunterschied zwischen den beiden nicht sehr unterschiedlich ausgerichteten Kollektorfeldern deutet auf einen schlechten hydraulischen Abgleich der beiden Felder hin: Feld 2 mit der höheren Temperatur scheint wesentlich schwächer durchströmt zu sein, weswegen die Mischtemperatur nahe bei der Temperatur von Feld 1 liegt. Vermutlich werden bei dieser Anlage auch beide Kollektortemperaturen etwas zu hoch gemessen, da die Temperatur am Absorber und nicht im Fluid erfasst wird, wie es bei neueren Anlagen der Fall ist.

Die Zweifeldregelung gleicht solche Messfehler aus. Würde die Testanlage ohne Zweifeldlogik und mit dem Kollektorfühler in Feld 2 betrieben, so würde sie meist zu lange laufen, wenn kein Ertrag mehr – ggf. sogar negativer Ertrag – erbracht wird.

Im Feldtest wurden auch an dieser Funktion Optimierungen vorgenommen: Der Stagnationsschutz wurde für die Zweifeldfunktion erweitert, so dass die Temperaturen beider Felder überwacht werden.

4.4.2 Zusammenfassung und Ausblick Zweifeld

Die entwickelte Zweifeldverschaltung und –logik hat sich im Feldtest bewährt. Der überwachte Betrieb weiterer Anwendungen mit stärkeren Unterschieden in der Ausrichtung, z. B. Ost-West, wäre dennoch sinnvoll.

Die Logik ist auch einsetzbar in Einfeld-Anwendungen, bei denen es am Kollektorfühler zeitweise zur Verschattung kommt: wird dann ein zweiter Fühler bspw. am anderen Ende des oberen Sammlers montiert und zusätzlich der Fühler für die Mischtemperatur am Vorlauf, so ist auch hier ein sicherer und effizienter Betrieb möglich.

5 Neue Reglerentwicklung

Ein wesentlicher Teil der beschriebenen Entwicklungsarbeiten betrifft die Regelung: Heizkreis- und Kesselregelung, Schnee- und Stagnationsschutz, Zweifeldlösung, Wärmepumpentarif, Lüfterregelung. Mit der bisher eingesetzten Hardware war die Umsetzung der Entwicklungsansätze begrenzt. Zusammen mit dem Regelungshersteller von Consolar wurde eine neue Hardware-Plattform ausgewählt und die Portierung der Software auf die neue Hardware vorgenommen. Hiermit sind sowohl bzgl. Ein- und Ausgängen, Speicherplatz als auch Internetzugang wesentlich mehr Möglichkeiten gegeben. Somit konnten viele der während des Projekts erkannten Optimierungsansätze umgesetzt werden. Weiterhin ermöglicht der neue Regler den Einsatz neuer hydraulischer Komponenten: die Kondensatorkreispumpe kann nun – als letzte Pumpe – auch in Hocheffizienzbauweise eingesetzt und über eine 0 – 10 V-Schnittstelle drehzahlregelt angesteuert werden (davor per Impulspaketsteuerung). Für die Ermittlung des Durchflusses und der Wärmeabgabe der Wärmepumpe (BafA-Vorschrift) kann nun ein nach dem Vortex-Prinzip arbeitender Sensor eingesetzt werden, der gegenüber dem bisherigen Flügelradensensor, der im Feld mehrmals ausfiel, eine höhere Zuverlässigkeit verspricht.

5.1 Internet-Anschluss zur Funktionsüberwachung und Fernzugriff

Der Ethernet-Anschluss des Reglers CONTROL C702 SWP ermöglicht eine sichere Funktionsüberwachung gegenüber dem bisherigen Regler CONTROL C701 SWP, bei dem vor Ort immer ein PC zur Datenerfassung nötig war.

In Häusern ohne Internetverbindung, z. B. Ferienwohnungen, kann mit Hilfe eines Routers mit USB-Anschluss in Kombination mit einem UMTS-Stick der Regler CONTROL C702 SWP mit dem Internet verbunden werden. Dies ermöglicht eine Überwachung (fast) aller Anlagen. Über diese Internetschnittstelle kann die korrekte Funktion der Anlage per Fernzugriff auf das neu entwickelte Remote-Portal vom technischen Support überprüft werden.

5.1.1 Internetportal

Über das Internetportal können mit unterschiedlich vorgebbaren Zugriffsrechten Endkunde, Installateur oder Service und Hersteller den Betrieb der Anlage überwachen und ggf. beeinflussen. Im Folgenden sind verschiedene Masken des Portals dargestellt.

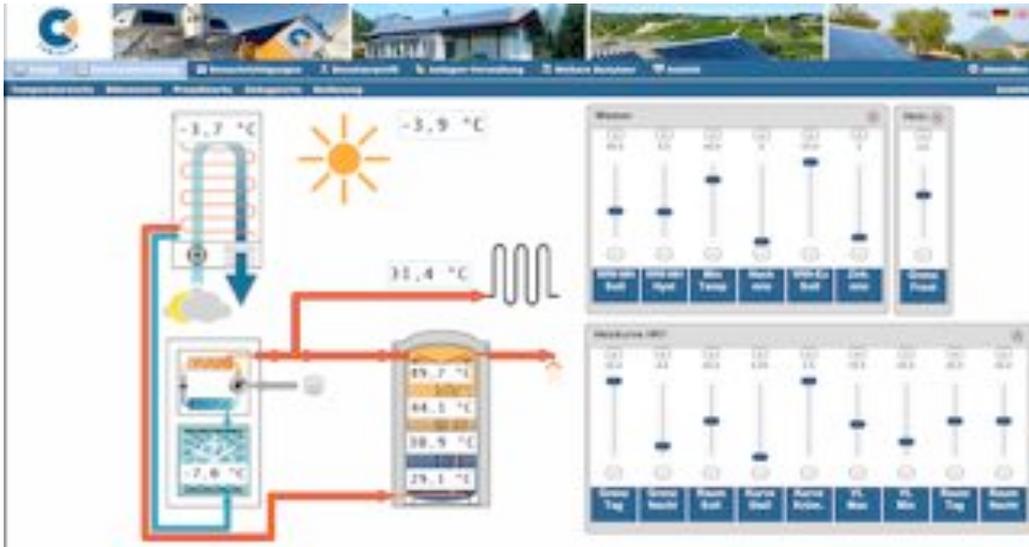


Abbildung 19: Remote-Portal: Anzeige von Temperaturen und veränderbaren Einstellungen

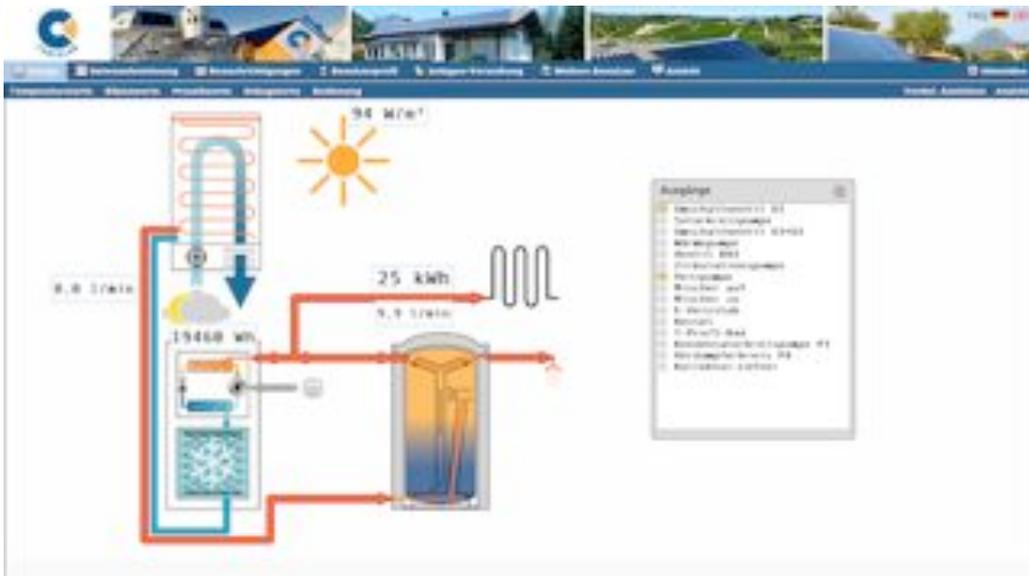


Abbildung 20: Remote-Portal: Anzeige von Bilanzwerten und Ausgängen



Abbildung 21: Remote-Portal: Grafische Darstellung von Temperaturverläufen

5.1.2 Bedienteil für das Wohnzimmer

Für den neuen Regler wurde das Wohnzimmer-Bedienteil TR-CONTROL weiterentwickelt und auch in dem Projekt VollSolar genutzt und in die Software integriert. Der TR-CONTROL II Touch mit Touch-Pad kann z. B. im Wohnraum des Kunden angebracht werden, so kann er aktuelle Temperaturen und Einstellungen sehen und gewünschte Raumtemperaturen schnell ändern, ohne zur Anlage im Aufstellungsraum zu gehen. Mit der Fernbedienung ist es auch möglich, mit einer SOLAERA-Anlage zwei getrennte Heizkreise z. B. in einem Doppelhaus getrennt von jeder Wohnung aus zu bedienen (siehe Zwischenbericht zu dieser Anwendung).

Weiterhin verfügt er über einen integrierten Raumfühler, der dem Regler aufgeschaltet werden kann. Mit dem neuem Regler CONTROL C702 SWP ist es möglich einen zweiten TR-CONTROL II Touch aufzuschalten zur Erfassung der Temperatur im Führungsraum für die Heizkreisregelung wie es für den unten vorgestellten PI-Heizkreisregler nötig ist.

5.2 Neue und verbesserte Funktionen

5.2.1 Heizkreisregelung mit PI-Regler

Ein wesentlicher Schlüssel zur Erhöhung der Systemeffizienz ist die Senkung des Temperaturniveaus des Heizkreises und damit der Wärmepumpe. Wird der Stromverbrauch bei gleichem oder verbessertem Komfort lediglich durch eine optimierte Regellogik – ohne Hardwareinvestitionen – reduziert, so führt das unmittelbar zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit.

Mit diesem Ziel wurden unterschiedliche optimierte Heizkreisregelstrategien untersucht¹. Das Konzept mit der besten Umsetzbarkeit wurde ausgewählt, in dem neuen Regler CONTROL 702 SWP programmiert und in der Testanlage bei Consolar erprobt.

In üblichen Heizkreisregelungen, so auch der bisherigen Regelung für SOLAERA wird die Vorlaufsoltemperatur entsprechend der Heizkennlinie in Abhängigkeit von der Außentemperatur

ermittelt. Dabei werden jedoch keine Effekte wie passive solare Gewinne oder interne Wärmeabgabe berücksichtigt. Mit dem ausgewählten PI-Regler wird in Simulationen eine Stromeinsparung von 4,3 % gegenüber der Referenz mit optimal eingestellter Heizkurve erreicht. Da in der Praxis meist nicht die optimale Kennlinieneinstellung realisiert ist, ist das Einsparpotential deutlich höher, denn der PI-Regler ermittelt unabhängig von Heizkennlinien die Vorlauftemperatur entsprechend der aktuellen Raumtemperatur.

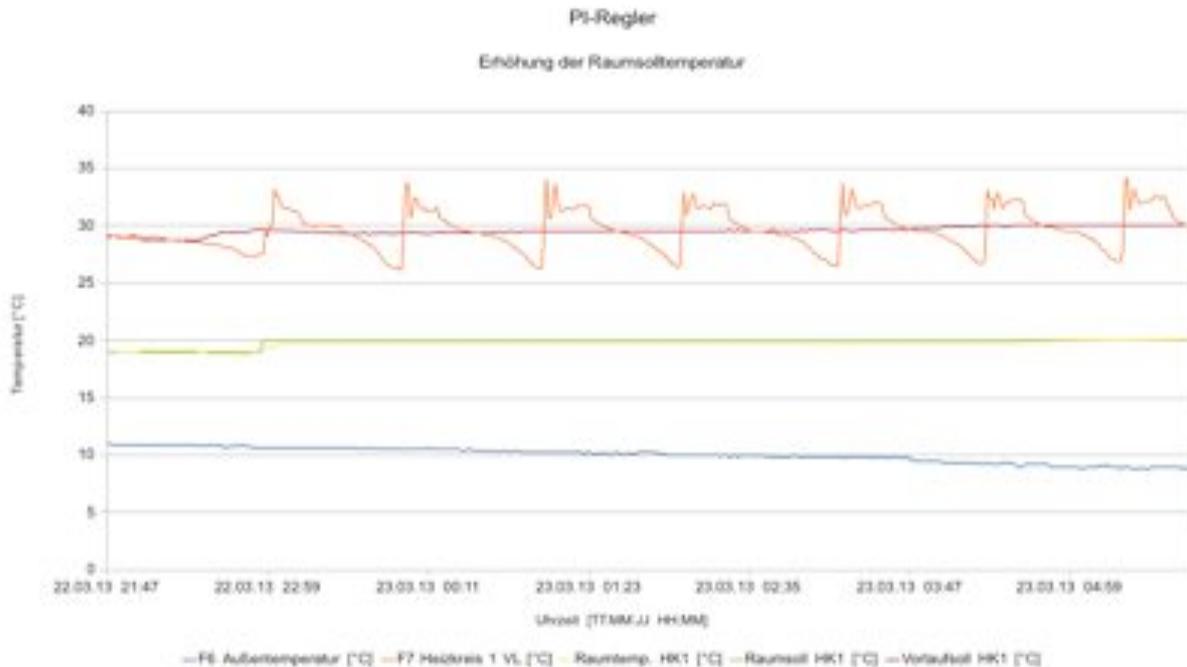


Abbildung 22: Anpassung der Raumtemperatur bei Erhöhung der Soll-Raumtemperatur um 1 K bei dem Heizkreis-PI-Regler

In Abbildung 22 ist die Regelung der Heizung mit einem PI-Regler dargestellt. Um das Regelverhalten zu testen, wird die Raumsolltemperatur um 1 K erhöht. Daraufhin wird die Stellgröße (Heizkreis Vorlauftemperatur) erhöht, um den Sprung von 1 K der Raumsolltemperatur auszugleichen. Der Vorteil des PI-Reglers ist, dass die Raumtemperatur sich der Raumsolltemperatur ohne Überschwingen annähert. Dadurch wird der Raum nicht unnötig überhitzt. Die Heizkreisregelung mit PI-Regler schafft es ohne Probleme die gewünschte Raumtemperatur zu halten.

Die Heizkreisvorlauftemperatur schwankt um +/- 3 K. Die Ursache hierfür liegt aber nicht in der neuen PI-Regellogik für die Soll-Heizkreistemperatur, sondern in der Regelcharakteristik des Heizkreismischers. Im Einzelfall ist hier durch Anpassung des Regelparameters eine Optimierung möglich. Besser wäre jedoch eine adaptive Anpassung, die dann auch in anderen Gebäuden mit anderen Parametern (Trägheit etc.) optimal ist. Diese Untersuchungen werden nach Abschluss des Projekts noch durchgeführt.

5.2.2 WW-Nachheizung > 60 °C

Nach Trinkwasserverordnung für die Warmwasserversorgung für Mehrfamilienhäuser muss der Warmwasserbereich den Speicher mit einer Temperatur > 60 °C verlassen, um Legionellenbildung im Trinkwasser zu vermeiden.

Ein wichtiges Marktsegment für eine breite Anwendung des Solar-Wärmepumpensystems sind Mehrfamilienhäuser. Daher wurde in Abstimmung mit dem Wärmepumpenhersteller die Regellogik mit diversen Einschränkungen so entwickelt, dass maximale Kondensatorvorlauftemperaturen bis 65 °C möglich sind (bislang: 57 °C). Auf diese Weise sollte die Bereitschaftstemperatur im Speicher auf ca. 63 °C gebracht werden. Da der Speicher von oben mit Wärme nachgeladen wird, schiebt sich bei präziser Drehzahlregelung eine Wasserschicht mit ca. 63 ... 65 °C nach unten. Der Temperaturfühler zur Überwachung der Warmwasser-Bereitschaftstemperatur der an der unteren Grenze des Bereitschaftsvolumens liegt, muss aber nicht unbedingt diese Temperatur erreichen. Die maximal mögliche Soll-Temperatur, die die Wärmepumpe noch zuverlässig ohne Störung erreicht, wurde in Tests ermittelt.

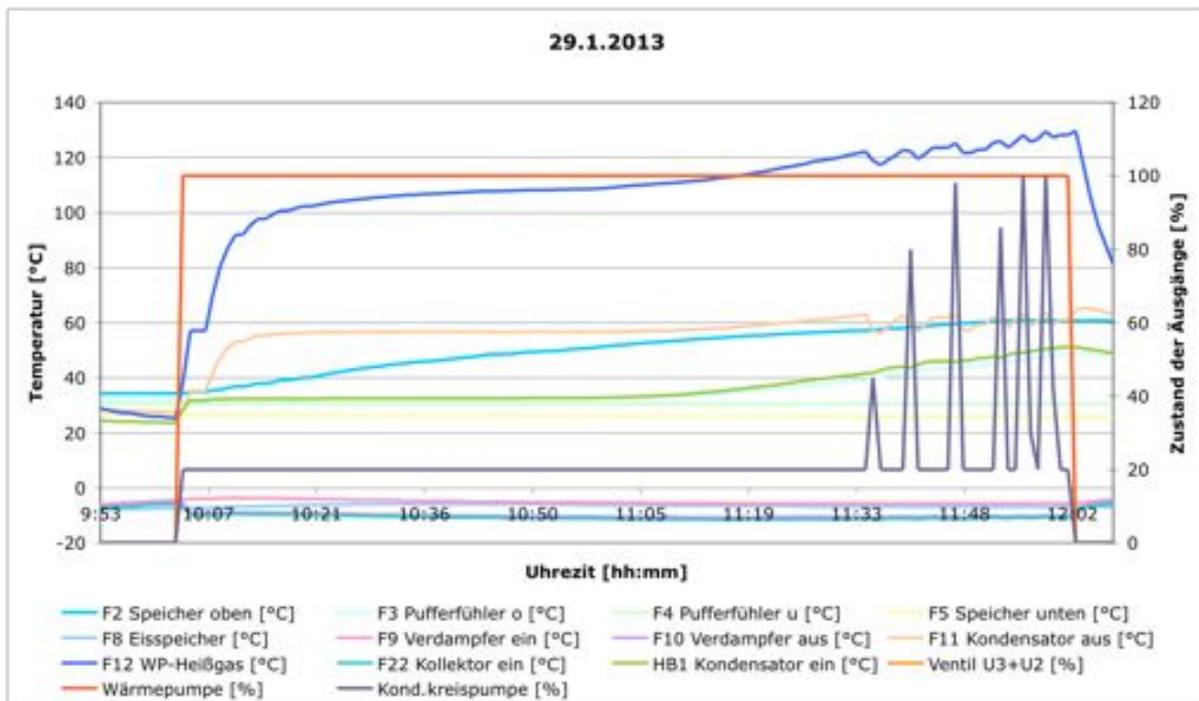


Abbildung 23: Maximal mögliche Solltemperatur

Die Abbildung 23 zeigt einen Test zur Ermittlung der maximal möglichen Solltemperatur. Der Warmwasser-Bereitschaftsteil erreichte zuverlässig eine Temperatur bis 61 °C. Temperaturen von 62 °C wurden in manchen Testdurchläufen erreicht, jedoch traten dort oft Störungen im Wärmepumpenbetrieb auf.

Mit den bisherigen Einschränkungen des Wärmepumpenherstellers wurden Wasserschichten von 63 °C im oberen Bereitschaftsvolumen und 61 °C im unteren Bereitschaftsvolumen zuverlässig und ohne Störungen erreicht.

5.2.3 Neue Anzeigen im Reglerdisplay

Bei Änderungen im Eingabemenü des Reglers, insbesondere im Untermenü Heizung, wurden Hinweise eingebaut, die bei Verstellung der voreingestellten Werte auf einen möglichen höheren Stromverbrauch hinweisen. So soll verhindert werden, dass die Anlage ineffizient arbeitet.

Zur effektiveren Kommunikation zwischen Endkunde und Handwerker wurde die Anzeige bei Fehlermeldungen überarbeitet. Bei einem Auftritt einer Fehlermeldung (Fühlerunterbrechung oder Kurzschluss) oder einer Störmeldung zur Bauteileüberwachung wird die eingestellte Service-Rufnummer des Handwerkers angezeigt.

5.2.4 Sprachauswahl

Für den neuen Regler CONTROL C702 SWP können grundsätzlich Dank des größeren Speicherplatzes mehrere Sprachen ausgewählt werden. Die entsprechende Umsetzung erfolgt nach Abschluss dieses Projekts.

5.3 Feldtest

Der neue Regler und die korrekte Programmierung wurde – nach der Abnahme mit einem Simulationsregler – zunächst an der Testanlage bei Consolar getestet. Der erste Test bei einem Kunden wurde mit einer entsprechenden Elektrik so vorbereitet, dass eine Umstellung auf die bisherige Reglerhardware innerhalb kurzer Zeit möglich war.



Abbildung 24: SOLAERA mit neuem Regler CONTROL 702 SWP im Feldtest

Im Test traten bis auf kleine Fehler, die mit der Verarbeitung von geänderten Hardware-Signalen (z. B. Durchflussmesser) zusammen hingen, keine größeren Probleme auf. Die fehlerhafte Verarbeitung von Signalen wirkte sich darin aus, dass Fehlfunktionen ausgegeben wurden, die jedoch im System tatsächlich nicht vorhanden waren. Zudem ist aufgefallen, dass eventuell kritische Betriebszustände nicht direkt überwacht worden sind. Nach Analyse der Messdaten von Feldtestanlagen wurde die

Überwachung für ein Ventil überarbeitet und für die Überwachung eines bestimmten Aspekts des Wärmepumpebetriebs eine neue Logik eingeführt.

5.4 Zusammenfassung und Ausblick neuer Regler

Mit dem neu entwickelten Internet-Systemregler wurde eine wesentliche Voraussetzung für einen breiteren Einsatz des Solar-Wärmepumpensystems geschaffen:

- Monitoring und verbesserte Wartung
- Ermöglichung der Umsetzung zahlreicher wichtiger Verbesserungen und Funktionen

Der Regler mit neuen Funktionen und neuer hydraulischer Hardware wurde im Feldtest erfolgreich erprobt und optimiert. Noch verfügbare Ein- und Ausgänge sowie Speicherplatz ermöglichen, auch die in den obigen Kapiteln erwähnten bisher nicht realisierten Optimierungsansätze zukünftig umzusetzen.

6 Kostenreduktion

6.1 Professionelle und montagefreundliche Ausführung Energiezentrum

Die Konstruktion des Energiezentrums, in dem die Wärmepumpe, der Wasser-Eisspeicher, sämtliche Armaturen und der Regler vorverdrahtet montiert sind, wurde im Rahmen des Projekts komplett überarbeitet mit den Zielsetzungen Kostenreduktion und Montage- und Wartungsfreundlichkeit bei der Installation.

Insbesondere folgende Maßnahmen wurden umgesetzt:

- Übersichtlicherer einfacherer Aufbau
- Anschlussreihenfolge der Anschlüsse analog zu den Anschlüssen am Speicher
- Alle Wartungskomponenten (Ventile, Pumpen, Durchflussmesser) leicht zugänglich
- Einsatz von Rohrbiegeteilen statt Pressfittings
- Verwendung günstigerer Heizkreisarmaturen
- Ersatz von Klemmfittings mit Kupferringdichtung durch schnell dichtende Bördelanschlüsse mit Überwurfmuttern
- Stanzteile für die Dämmung
- Überarbeitung des Blechgehäuses für rationellere Fertigung
- reduziertes Türmaß (79,5 cm)

Durch die Neukonstruktion (einschließlich der im Zwischenbericht beschriebenen Eisspeicheroptimierung) wurden die Materialkosten gegenüber Projektbeginn trotz wesentlicher Verbesserungen (leistungsfähigerer Regler, zusätzliche Hocheffizienzpumpe) und teilweise gestiegener Materialpreise bei gleicher Stückzahl um fast 10 % und die Montagezeit um 70 % gegenüber Projektstart gesenkt, wobei es sich hier immer noch um eine Manufaktur handelt; bei größeren Stückzahlen ist sowohl bei den Kosten für die Komponenten als auch der Montagezeit nochmals eine drastische Reduktion möglich. Die Konstruktion ist nun für die Fertigung deutlich größerer Stückzahlen als bisher (ca. 50 / a) ausgelegt.



Abbildung 25: Links: Neue Hydraulik des Energiezentrums mit Rohrbiegeteilen und wartungsfreundlicher Armaturenordnung (vor elektrischer Verdrahtung), rechts Ansicht von vorne mit neuem Regler

6.2 Hybridkollektor

6.2.1 Konstruktions- und Fertigungsprozessvereinfachung

Auch der Hybridkollektor wurde konstruktiv und im Fertigungsablauf deutlich vereinfacht (siehe Zwischenbericht). In diesem Zuge wurde die Endmontage des Kollektors von der Fertigungsfirma in der Schweiz zu Consolar verlagert.

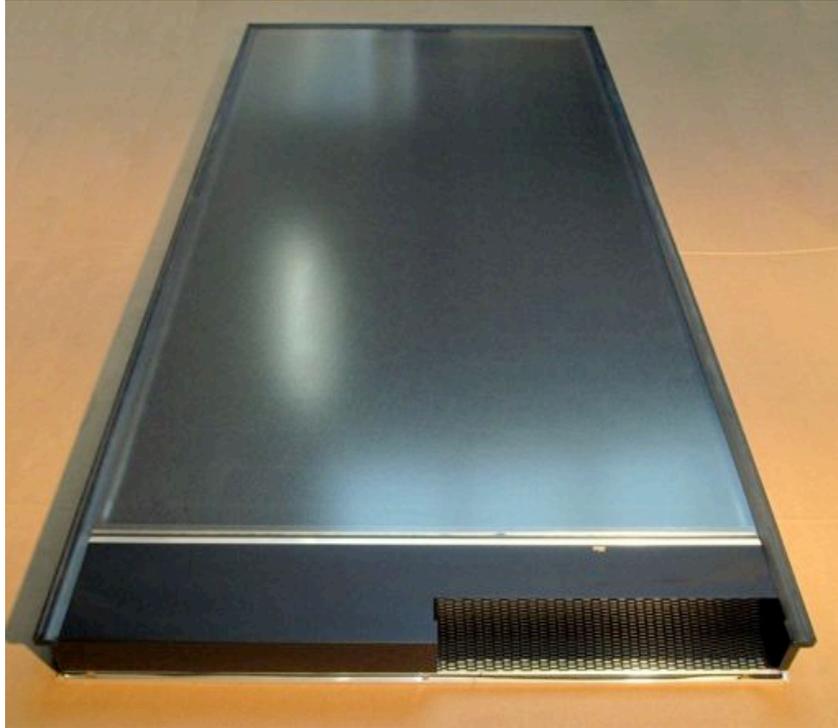


Abbildung 26: Hybridkollektor mit schneesicherer und rationell realisierten Konstruktion von Lüfterabdeckung und Luftauslass

Durch diese Arbeiten konnte eine Kostenreduktion von 8 % erreicht werden (Material + Montage) statt einer ansonsten absehbaren Steigerung aufgrund gestiegener Kupfer- und Währungskurse.

6.2.2 Kostenreduzierung durch Neuentwicklung

Mit den erreichten Ergebnissen wird das Potential, das der Hybridkollektor im Vergleich zur getrennten Realisierung eines Kollektorfelds und eines Luftwärmepumpen-Wärmetauschers birgt, noch nicht realisiert.

Im Zwischenbericht wurden die ersten Untersuchungen und Kostenschätzungen für einen auf Aluminium basierenden Absorber mit kombiniertem Luftwärmetauscher vorgestellt. Die Umsetzung dieser und weiterer Ansätze, die einen kostengünstig in großen Stückzahlen und für vielfältige Anwendungen produzierbaren Kollektor zum Ziel haben, hätten dieses Projekt jedoch weit gesprengt, da es sich um eine komplette Neuentwicklung handelt. Für dieses Entwicklungsprojekt wurde in 2012 ein neues, von der DBU gefördertes Vorhaben gestartet.

6.3 Kleinere Kollektorflächen

Im Rahmen des Projekts wurde nach einer Simulationsstudie, Hydraulikoptimierungen und der Erprobung der Enteisungsfunktion die Realisierung von Anlagen mit kleineren Kollektorflächen ab 5 Kollektoren ermöglicht, und damit eine deutliche Reduktion der Investitionskosten erreicht (siehe Zwischenbericht).

Noch kleinere Kollektorflächen sind insbesondere in Südeuropa sinnvoll, wo (aufgrund schlechterer Dämmstandards) bei gleicher Heizleistung durch die höhere Einstrahlung bereits 3 – 4 Kollektoren für

hervorragende Energieeinsparungen (Systemjahresarbeitszahl über 5) ausreichen. Um bei diesen kleinen Kollektorflächen, deren hydraulischer Gesamtwiderstand aufgrund der Parallelverschaltung steigt, noch den für die Wärmepumpe notwendigen Mindestdurchfluss zu gewährleisten, wurde ein Bypass so entwickelt und getestet, dass er ohne Notwendigkeit der Justierung für 3 und 4 Kollektoren eingesetzt werden kann. Die Montage ist einfach an den beiden Solar-Anschlüssen des Energiezentrums möglich.



Abbildung 27: Bypass, der oberhalb des Energiezentrums montiert wird, für 3 – 4 Kollektoren

6.4 Unabgedeckter selektiver Absorber

Die im Zwischenbericht beschriebene Kombination von SOLAERA mit unabgedeckten selektiven Absorbern von Energie Solaire wurde in 4 weiteren Anlagen realisiert. Die Anlagen funktionieren gut, wenngleich sich Grenzen zeigen bei flacher Absorberneigung und viel Schnee.

Um einen direkten Vergleich der Effizienz und Wirtschaftlichkeit mit einem SOLAERA-Hybridkollektor zu ermöglichen, wurden die Messdaten der ersten detailliert vermessenen Anlage ausgewertet. Ziel ist die Anpassung des Kollektormodells und dessen Parametrisierung so, dass die Simulation das gemessene Anlagenverhalten gut wieder gibt. Dann ist für unterschiedliche Regionen und Klimazonen ein Vergleich der beiden Systeme möglich. Diese Arbeit war zeitaufwändiger als erwartet und konnte im Projektzeitraum nicht mehr abgeschlossen werden.

6.5 Zusammenfassung und Ausblick Kostenreduktion

Durch die nun möglichen reduzierten Anlagengrößen wurden die Investitionskosten reduziert und die Wirtschaftlichkeit so stark verbessert, dass das System in der Vollkostenrechnung wettbewerbsfähig und teilweise deutlich im Vorteil ist gegenüber konventionellen Heizsystemen (siehe Tabelle Vollkostenrechnung in Anlage und Zwischenbericht).

Die Entwicklungsarbeiten haben die Voraussetzungen für die Produktion des Solar-Wärmepumpensystems mit deutlich geringeren Kosten bei deutlich größeren Stückzahlen geschaffen. Beim Hybridkollektor besteht noch ein weiteres großes Einsparpotential, an dem im Rahmen eines anderen Projekts zur Zeit gearbeitet wird. Es ist davon auszugehen, dass der Hybridkollektor dann hinsichtlich breiter Anwendung im Vorteil gegenüber dem unabgedeckten selektiven Absorber sein wird, weil bereits mit wesentlich kleineren Flächen Anlagen realisiert werden können. Dies ist insbesondere für Anlagen im Gebäudebestand eine wichtige Voraussetzung.

7 Öffentlichkeitsarbeit

Die Projektergebnisse wurden bei mehreren Fachtagungen und in Fachberichten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, insbesondere:

- 2. und 3. OTTI-Symposium Aktiv-Solarhaus (jeweils Vorträge) ²³
- 20., 21. und 22. Symposium Thermische Solarenergie (Poster) ^{4 5}
- Konferenz CEP CLEANENERGY & PASSIVEHOUSE 2011 (Vortrag) ⁶
- Veröffentlichung in Erneuerbare Energie (AEE, Österreich) ⁷

Den interessierten Consolar-Gebietsvertretern, Installateuren und Planern wurden die Projektergebnisse in einem Workshop am 1. März 2013 vorgestellt (Programm siehe Anlage)-

8 Zusammenfassung und Ausblick

In dem Entwicklungsprojekt „Solares Vollversorgungs-Heizsystem zur breiten Anwendung im Gebäudebestand“ wurden die gesetzten Ziele erreicht insbesondere durch die Entwicklung neuer Möglichkeiten in vier Bereichen:

1. Einsatz in Gebäudebestand

- Höhere Leistung
- Höhere Vorlauftemperaturen
- flexiblere Kollektorflächen
- geringere Einschränkung bzgl. Kollektorneigung (Schnee)

2. Hohe Akzeptanz

- Günstiger Preis (Kleinere Kollektorflächen und Kostensenkung in Bauteilen)
- Gute Wirtschaftlichkeit auch durch reduzierte Betriebskosten (Wärmepumpentarif, effiziente Lüfterregelung, effiziente Heizkreisregelung)
- Geringe Lüftergeräusche

3. Vielseitige Anwendbarkeit

- Zwei getrennt bedienbare Heizkreise, z. B. Doppelhaus
- Höhere WW-Temperatur für MFH (Legionellen)
- Ermöglichung weiterer Anwendungen u. a. durch Wärmepumpe mit 230 V-Anschluss (insbes. für Ausland, in dem Bericht nicht beschrieben) und Schwimmbaderwärmung

4. Einfache Wartung, sicherer Betrieb

- Fernüberwachung und -zugriff mit Internet-Regler
- Montage- und wartungsfreundliches Energiezentrum

Technisch sind nun die Voraussetzungen für einen relativ breiten Einsatz des Solar-Wärmepumpensystems zur deutlichen CO₂-Einsparung gegeben. Auch organisatorisch insbesondere durch den Aufbau eines Service-Netzes kann das System in größerem Umfang eingesetzt werden.

Um diese starke Verbreitung zu realisieren und damit auch weitere Kostensenkungen, sollte das System aber zusätzlich über eine stärkere Vertriebsorganisation vermarktet werden. Consolar ist diesbezüglich auf der Suche und in Gesprächen mit potentiellen Partnern.

9 Dank

An die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geht unser großer Dank für die Ermöglichung der in diesem Projekt durchgeführten wichtigen Arbeiten!

10 Literatur

1 Faßnacht, Tillman, Dissertation am ITW, Universität Stuttgart und bei Consolar, noch nicht veröffentlicht

2 Leibfried, Ulrich; Faßnacht, Tillman: Vom Standardgebäude zum Aktiv-Solarhaus mit SOLAERA, Tagungsband 2. Symposium Aktiv-Solarhaus, Luzern, OTTI-Technologie-Kolleg, September 2010

3 Leibfried, Ulrich: Solares Heizsystem für Bestandsgebäude, Tagungsband 3. Symposium Aktiv-Solarhaus, Regensburg, OTTI-Technologie-Kolleg, September 2011

4 Leibfried, Ulrich; Stork, Hans: Wirtschaftlichkeit der Solarheizung SOLAERA im Vergleich zu konventionellen Heizungssystemen, Tagungsband 20. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Regensburg, Mai 2010

5 Leibfried, Ulrich: Integrierte Systemlösungen für Bestand und Neubau als Weg zum Erreichen der Klimaziele, Tagungsband 21. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Mai 2011

6 Leibfried, Ulrich: SOLAERA – Neue Einsatzmöglichkeiten für Solares Vollversorgungssystem in Neubau und Bestand, Stuttgart, Tagungsband CEP 2011, Februar 2011

7 Leibfried, Ulrich: solares Heizsystem für Bestandgebäude, Erneuerbare Energie 2011-4, AEE, AU-8200 Gleisdorf, Dezember 2011

9 Anhang

9.1 Zwischenbericht - Auszug

9.2 Tabellenblatt Vollkostenrechnung

9.3 Teilnehmerliste Abschluss-Workshop

Zwischenbericht zum Förderprojekt:

Solares Vollversorgungs-Heizsystem zur breiten Anwendung im Gebäudebestand

(Kurzbezeichnung VollSolar_Bestand)

– Auszug –

Bewilligungsempfänger: Consolar Solare Energiesysteme GmbH
Gewerbestraße 7
79539 Lörrach

Laufzeit: 1. Januar 2010 – 31. Dezember 2012

Datum: 23. Juli 2011

Bearbeiter:
Dr.-Ing. Ulrich Leibfried
Tel. 07621 4222 8-34
Fax 0 7621-42228-31
email ulrich.leibfried@consolar.de

Einleitung

Der Solarwärme-Markt befindet sich im Umbruch. In den vergangenen Jahren bestand auf der einen Seite eine starke Abhängigkeit der Marktentwicklung vom Ölpreis und der Fördersituation, auf der anderen Seite entstand eine immer ausgeprägtere Konkurrenzsituation zu anderen Technologien der Erneuerbaren Energien, allen voran der Photovoltaik, aber auch Wärmepumpen oder Pellets. Dies ist eine Konkurrenz in der öffentlichen Wahrnehmung (heute: Solarenergie = Photovoltaik), aber auch der Wettbewerb um Installationskapazitäten, Dachflächen und Endkunden. In Zukunft geht es auch um die direkte ökonomische Konkurrenz für die Wärmeerzeugung, insbesondere durch die Kombination von PV-Anlagen mit Luft-Wärmepumpen.

Auf der anderen Seite wird die solarthermische Energienutzung aufgrund ihres immensen Potentials als schlafender Riese bezeichnet. Grundsätzlich haben Techniken zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme gegenüber der Stromproduktion auch langfristig das Potential, wesentlich kostengünstiger zu sein, und die Speicherung von Niedertemperaturwärme ist ebenfalls deutlich wirtschaftlicher und mit größeren Kapazitäten darstellbar als die Speicherung von elektrischer Energie. Während bei der Photovoltaik mit Netzeinspeisung die Aufgabe des Ausgleichs zwischen Angebot und Bedarf im Moment noch auf übergeordnete Netzstrukturen „abgewälzt“ wird, gehört sie bei der Solarwärme in der Regel grundsätzlich zum Systemumfang dazu, da eine entsprechende Netzstruktur (in diesem Fall: Nah- und Fernwärme) nicht flächendeckend vorliegt.

In dieser Situation stellt sich die Frage, welchen Beitrag die Solarwärmebranche zur Erreichung der Klimaziele bringen wird. Nach wie vor wird ein großer Anteil der Endenergie für Heizwärme im Gebäudebestand verbraucht. Ein wichtiger Ansatz ist daher die Erarbeitung integrierter Lösungen nicht nur für den Neubau, sondern v. a. auch den Gebäudebestand, in der die Techniken, die oben als Wettbewerber beschrieben wurden, in synergetischer Weise kombiniert werden.

Integrierte Systemlösung zur drastischen CO₂-Reduktion im Bestand

Die Solarheizung SOLAERA stellt ein solches integriertes Systemkonzept dar. Sie ermöglicht die vollständige Wärmeversorgung eines Hauses durch den Einsatz von Hybrid-Sonnenkollektoren, die die einzige Wärmequelle für das System darstellen, und eine in das System integrierte Kombination aus Wärmepumpe und Latentspeicher. Hiermit kann eine Primärenergieeinsparung von über 50 % realisiert werden, ohne Wärmepumpen-Erdsonden oder Erdreichwärmetauscher, die im Gebäudebestand nur eingeschränkt realisierbar sind /1/. Im Gegensatz zu üblichen thermischen Solaranlagen zur Warmwasserbereitung oder zur Heizungsunterstützung stellt SOLAERA keine Ergänzung mehr zu einer konventionellen Heizung dar, sondern ist selbst das vollständige Heizsystem.



Abbildung 1: SOLAERA-Energiezentrum mit Solar-Kombispeicher als kompakte, komplett vormontierte und vollständige Wärmeversorgung

Trotz hochinnovativer Technologie ist das System nach außen genauso kompakt und einfach anzuschließen und zu betreiben, wie ein konventioneller Wärmeerzeuger: Am Energiezentrum, in dem die komplette Technik untergebracht ist, werden Heizkreisvor- und rücklauf sowie Solarvor- und rücklauf angeschlossen, hinzu kommen 5 kurze Verbindungsstücke zwischen Energiezentrum und Solar-Kombispeicher – fertig!

Dennoch ist das System in seinen Anwendungs- und Verbreitungsmöglichkeiten noch sehr eingeschränkt. Im Rahmen des DBU Förderprojektes werden seit Anfang 2010 Systemlösungen entwickelt, mit denen eine Reihe neuer Anwendungen möglich wird. Ziel ist, auch bei älteren Häusern in Kombination mit Sanierungsmaßnahmen eine drastische Reduktion des Primärenergieverbrauchs zu erreichen.

Hierzu wird an folgenden Zielen gearbeitet:

1. Einsatz auch bei geringerer Dachneigung ab ca. 40°: ohne erhöhte Stagnationsproblematik und auch in Gegenden mit regelmäßigem Schneefall.
2. Vielseitige Montage- bzw. Integrationsmöglichkeiten für Kollektorflächen im Bereich 25 m² insbesondere für den Gebäudebestand.
3. Leistungssteigerung ohne Steigerung der Kollektorfläche und ohne deutliche Mehrinvestitionen gegenüber dem System für Niedrigenergiestandard.
4. Optimierung der Wirtschaftlichkeit durch Minimierung der Herstellkosten

1. Systemlösungen für Kollektorflächen ab 40° ermöglichen:

1.1 Lösungen zur Schneentfernung

Einleitung

Die Hybridkollektoren der Solarheizung SOLAERA nutzen neben der Solarstrahlung bei bedecktem Himmel auch die Umgebungswärme der Luft. Die Kollektorflächen wurden bei bisherigen Objekten i. d. R. mit einem steilen Winkel zwischen 60° und 90° angebracht. Der Grund ist v. a. der Schnee: In Regionen, in denen die Kollektoren längere Zeit von Schnee bedeckt sein können, würde der Stromverbrauch über den Reserve-Elektroheizstab ansteigen. Ohne Schnee ist zwar bei einem Winkel von 60° der Ertrag optimal, der Stromverbrauch steigt demgegenüber aber bei 45° nur um ca. ein Prozent. Da viele Bestandshäuser Dachneigungen im Bereich 45° aufweisen und eine Paralleldach-Montage vielfältigere, optisch ansprechendere und auch günstigere Dachnutzungen ermöglicht, wurden verschiedene Techniken entwickelt und erprobt, um Schnee von den Kollektoren bei diesen Winkeln zu entfernen.

Voruntersuchungen und Recherche

Im Betrieb sich befindende SOLAERA-Anlagen wurden teilweise mit zusätzlicher Messtechnik ausgestattet (u. a. Web-cam), überwacht und das Schneeverhalten ausgewertet. Die erfolgreiche Funktion einer neu implementierten Schneeauffunktion konnte im Winter Anfang 2010 bei dem bisherigen Neigungsstandard von 60° nachgewiesen werden.

Für Neigungen ab 40° wurde eine umfangreiche Recherche und interne Variantenbewertung unterschiedlicher Schneentfernungssysteme durchgeführt. Eine Reihe von Untersuchungsergebnissen und Lösungsansätzen insbesondere aus dem PV-Bereich aber auch mit Solarwärmesystemen wurde gefunden und für die Anwendung bei SOLAERA geprüft. Weiterhin wurden Erkenntnisse aus der Schnee- und Lawinenforschung gewonnen.

Aufbau einer Testanlage

Im März 2010 wurde eine mobile Versuchsanlage auf dem Feldberg im Schwarzwald aufgebaut (1500 m). Dort wurde ein mechanisches Schneeräumungsgerät, das für Photovoltaikanlagen am Markt angeboten wird, getestet. Grundsätzlich wird die Funktion erfüllt, allerdings muss der Luftauslass umkonstruiert werden, damit dieser nicht durch herunter geschobenen Schnee verstopft wird. Bei dem

Test einer elektrischen Antauvorrichtung konnten in dem begrenzten Zeitfenster des ersten Projektwinters keine eindeutigen Ergebnisse erzielt werden.

Zur Untersuchung und Erprobung unterschiedlicher thermischer, elektrothermischer und mechanischer Schneentfernungsmechanismen im Winter 2010/11 wurde eine stationäre Testanlage auf 1000 m Höhe im Hochschwarzwald geplant, aufgebaut und im Dezember 2010 in Betrieb genommen. Mit dieser Anlage wurden verschiedene Mechanismen zum Schneeabrutschen mit umfangreicher Messtechnik und permanenter Web-Cam-Überwachung getestet:

- Neue Gestaltung des Luftauslasses zur Verhinderung von Schnee- oder Eisverschluss auch bei flachen Aufstellungswinkeln
- Variante: Lüfterabdeckung und Luftauslass aus Kunststoff (mit günstigerer Fertigungsmöglichkeit)
- Erwärmung des Absorbers über den Kombispeicher
- zusätzlicher schwacher Lüfterbetrieb zur Erwärmung des Luftaustrittsbereichs
- passive Schneeschmelzbleche zwischen den Kollektoren, die über den Schnee heraus ragen
- aktive, elektrisch beheizte Schneeschmelzbleche zwischen den Kollektoren. Der jährliche elektrische Stromverbrauch wurde abgeschätzt und ist vernachlässigbar klein.
- Möglichkeit, die Tests bei unterschiedlichen Neigungswinkeln ab 30° durchzuführen

Vor Aufbau der Testanlage wurden diverse Voruntersuchungen durchgeführt, insbesondere zur Wärmeübertragungsleistung vom Kombispeicher zu den Kollektoren im Antaubetrieb bei beiden Flussrichtungen und zur Erwärmung kalter Luft im Kollektor durch warme Sole.



Abbildung 2: Kollektorfeld der Schneetestanlage: hinten mit passiven Schneeblechen, die über den Schnee ragen, zum Anschmelzen, überall mit Schneeschutz über dem Luftauslass



Abbildung 3: Energiezentrum und Speicher der Schneetestanlage beim Aufbau



Abbildung 4: Elektrische Schneeschmelzbleche, zwischen den Kollektoren zum Anschmelzen

Ergebnisse der Untersuchungen an der Schnee-Testanlage

Der Schneetest von Dezember 2010 bis April 2011 hat die erfolgreiche Schneefremdung bereits allein durch die Erwärmung des Absorbers aufgezeigt, ohne weitere Mechanismen und bereits bei 30° Kollektorneigung.



Abbildung 5: Sukzessives Schneeeabrutschen auf Schnee-Testanlage bei 30° Neigung der Hybridkollektoren mit unterschiedlichen Abrutschtechniken

Dagegen haben weder die passiven Schneeschmelzbleche noch die aktive elektrische Schneeschmelzvorrichtungen eine deutliche Verbesserung zum Schneeeabrutschen gebracht.

Auch der Test der Erwärmung des Luftauslasses mit schwach zirkulierender Luft erbrachte keine überzeugenden Ergebnisse: entweder ist der Luftstrom so groß, dass die Luft nicht genügend vom Absorber erwärmt wird, oder die Luft wird bei kleinerem Durchsatz aufgrund des dann sehr schlechten Wärmeübergangs nicht genügend erwärmt.

Aufgrund der Vielzahl beobachteter Schneeyklen an der Testanlage konnten detaillierte Zusammenhänge zwischen Schneeeabrutschen und Absorbertemperatur sowie Kollektor- und Austrittstemperatur gefunden werden. Hierauf aufbauend wurde eine Antaulogik unter Auswertung der Kollektorvor- und Rücklauftemperaturen entwickelt, bei der bei Bedarf längere Antauzeiten bis zu 60 min realisiert werden. Eine Simulationsuntersuchung zeigte, dass eine grundsätzlichen Antauzeit von einer Stunde (d. h., einstündige Unterbrechung der Versorgung von Wärmepumpe bzw. Eisspeicher) praktisch keine Auswirkungen auf die Versorgungslage und den Jahresstromverbrauch zur Folge hat. Tatsächlich wird der Antauvorgang mit der neuen Logik aber oftmals kürzer sein.

Die neue Antauüberwachungslogik wird aktuell im Regler-Code umgesetzt und abgenommen zur Erprobung im Feld im Winter 2011/21.

Die neu entwickelte Gestaltung des Luftauslasses hat sich an der Schneetestanlage ebenfalls bewährt: Mind. 50 % der Luftauslassöffnung bleiben frei.



Mechanische Schneeräumsysteme wie das getestete wurden nicht weiter verfolgt und sollen in der Serie nicht eingesetzt werden, weil sicherlich nicht von einer generellen Kundenakzeptanz ausgegangen werden kann und die erfolgreich getestete Antaufunktion demgegenüber weit im Vorteil ist.

Im Feldtest wurde bei zwei Kollektorfeldern übereinander als Schwachpunkt deutlich, dass Schnee sich zwischen den Feldern staut und damit auch den Luftauslass versperrt.

Abbildung 6: Stau von abrutschendem Schnee zwischen zwei Kollektorfeldern mit Verschluss des Luftauslasses der Hybridkollektoren

Es wurde ein Blechübergang zwischen zwei Feldern konzipiert, der im Winter 2011/12 im Feld getestet werden soll.

1.2 Stagnationsschutz

Als Stagnationsschutz bietet sich bei den Hybridkollektoren der Einsatz der integrierten Lüfter an. In Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass bereits durch einen minimalen Lüfterbetrieb bei vernachlässigbar kleinem Stromverbrauch eine ausreichende Kühlwirkung erzielt wird.

Der neu entwickelte Stagnationsschutz wurde zunächst an der Testanlage in Lörrach und dann an einer Kundenanlage mit 45° Dachneigung im Sommer während der Urlaubszeit erfolgreich erprobt: ab einer bestimmten Kollektortemperatur starten die Lüfter mit minimaler Drehzahl, die Temperatur wird dadurch sicher begrenzt.

Somit können zumindest in Gebieten ohne starken Schneefall ab dem Einsatz des erfolgreich getesteten Luftaustrittsblechs Kollektorneigungen ab 40° zugelassen werden.

2. Vielseitige Integrationen von Kollektorflächen an Bestandsgebäuden ermöglichen

2.1 Zweifeldlösung

Eine zweite Anforderung zur Kollektorintegration – neben den flacheren Kollektorwinkeln – ist die Ermöglichung unterschiedlich ausgerichteter Kollektorfelder, z. B. Fassade kombiniert mit Dach- oder Freiflächen oder Ost-West-Dächer. Die Realisierung solcher Anlagen erschien mit den Hybridkollektoren, die nicht nur aus der Strahlung sondern auch der Luft Energie gewinnen – aber evtl. bei unterschiedlichen Temperaturniveaus – nicht trivial.

Zum einen muss ein Mindestdurchfluss gewährleistet sein, solange die Wärmepumpe läuft. Da die Kollektoren parallel verschaltet werden, steigt bei kleineren Feldern der Druckverlust. Im Wärmepumpenbetrieb werden daher immer beide Felder frei gegeben. Auf die gleichzeitige Beladung des Kombispeichers auf hohem Temperaturniveau mit dem einen Kollektorfeld und Beladung des Eisspeichers bei niedrigeren Temperaturen mit dem anderen Feld wurde deswegen bzw. wegen des ansonsten nötigen hohen Aufwands für eine entsprechende Hydraulik verzichtet.

Zur direkten Beladung des Kombi- und des Eisspeichers wurde eine Logik in Kombination mit einer Hydraulik mit zwei Ventilen entwickelt, die je nachdem, welches Kollektorfeld einen Ertrag liefern kann, die Felder zu- und wegschaltet.

Die Logik wurde programmiert und an der Testanlage Consolar getestet. Gleichzeitig wurde das TRNSYS-Simulationsprogramm erweitert und der Effekt berechnet. Da sich bei den Simulationen heraus stellte, dass der Effekt der Zweifeldregelung und –hydraulik gegenüber reiner Westausrichtung klein ist, wurde die gleiche Logik (d. h. Ladefunktion in Abhängigkeit von beiden Kollektorausstrittstemperaturen und Mischtemperatur im Vorlauf) aber ohne Ventile simuliert. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse:

Ausrichtung Fläche [m ²]	Süd-Ost / Süd-						Nord/Süd
	West	Ost/West	Ost/West	Ost/West	Ost/West	West	
	20	10/10	10/10	6/6	15/15	10/10	10/10
Ventile Zweifeld	-	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Kollektorminderertrag gegenüber Westfeld in Kombispeicher	-	-8,8 %	-16,7 %	-	-	-	-
Mehrverbrauch Strom gegenüber Westfeld	-	0,7 %	1,1 %	-	-	-	-
Kollektorminderertrag in Kombispeicher gegenüber Zweifeld mit Ventilen			-8,7 %	-9%	-6%	-2%	-15%
Mehrverbrauch Strom gegenüber Zweifeld mit Ventilen			0,5 %	1,6 %	1,0 %	0,6 %	1,5 %

Tabelle 1: Jährliche prozentuale Mehrerträge und Stromeinsparungen

Es zeigt sich, dass die Ventile zwar zu einem höheren Kollektorertrag in den Kombispeicher führen, der Stromverbrauch bei Ost-West-Feld mit Zweifeldregelung ohne Ventile aber nur geringfügig höher ist als

mit Ventilen. Dies liegt an mehreren Gründen: Zum einen kommt ein Teil des Mehrertrages vor allem im Sommer zustande was zu hohen Speichertemperaturen führt, die zum größeren Teil nicht genutzt werden können, aber erhöhte Wärmeverluste bewirken. Weiterhin steigt beim Ost-West-Feld mit Zweifeldregelung der Stromverbrauch der beiden Solarkreisumpen P1 und P4 an, da länger beladen wird, was die positiven Effekte des Stromminderungsverbrauchs der Wärmepumpe wieder etwas kompensiert.

Die Kosten der Ventile für die Zweifeldregelung würden sich auch bei einer zweiprozentigen Stromersparnis innerhalb von 20 Jahren nicht amortisieren. In Anbetracht dieses geringen Nutzens und des gleichzeitig erhöhten Wartungsrisikos wird die Zweifeldregelung in den kommenden Feldtestanlagen lediglich mit zusätzlichen Temperaturfühlern und ohne die Ventile realisiert. Hierzu erhält jedes Kollektorfeld einen Fühler, weiterhin wird ein Kühler an der gemeinsamen Vorlaufleitung vor dem Eintritt in das Energiezentrum montiert. Falls mit der Temperatur des wärmeren Kollektorfelds die Startbedingungen erfüllt sind, wird die Anlage gestartet. Für das Ausschalten ist der Temperaturfühler an der gemeinsamen Leitung relevant: wenn kein Ertrag eingebracht wird, schaltet die Anlage wieder aus. Die oben dargestellten Simulationsergebnisse beziehen sich auf diese Anordnung und Logik.

2.2 Kollektoren mit anderem Rastermaß und Indachintegration

Aufgrund der in dem Förderprojekt reduzierten Mittel wurden die Arbeiten entsprechend der Ergebnisse der Befragung von Installations- und Vertriebspartnern priorisiert. Eine zweite Kollektorgröße soll vorerst nicht entwickelt werden. Ggf. kann – bei erfolgreicher Erprobung der Kopplung mit unabgedeckten selektiven Absorbern, s. u. – die höhere architektonische Flexibilität auch auf diese Weise erreicht werden. Aus den gleichen Gründen wird die Entwicklung der Indachlösung für Hybridkollektoren vorerst nicht angegangen.

3. Größere Heizleistung im Gebäudebestand ermöglichen

3.1 Kopplung mit Bestandskessel für schrittweise Sanierung

Von einer zügigen Reduktion des Heizwärmeverbrauchs im Gebäudebestand hängt maßgeblich das Erreichen der Klimaziele ab. Hierzu ist sowohl die Gebäudesanierung für einen reduzierten Verbrauch als auch der Einsatz moderner und zu einem möglichst großen Anteil regenerativer Heiztechnik nötig. Aufgrund der notwendigen Investitionen wird vom Hausbesitzer oftmals die zeitliche Aufteilung der Maßnahmen angestrebt. Wird zuerst das Gebäude saniert, bleibt zunächst ein überdimensionierter und ineffizienter Wärmeerzeuger (z. B. taktender Ölkessel). Wird erst der Wärmeerzeuger ausgetauscht, so ist die Leistung, für die er ausgelegt werden muss, später zu groß und die Investition unnötig hoch. Als zukunftsfähige Lösung für solche Fälle wird eine Lösung zum Einsatz von SOLAERA in Bestandsgebäuden entwickelt: in der Phase, in der das Gebäude noch nicht saniert ist, kann der Bestands-Heizkessel zunächst für Spitzenlasten verbleiben, die Grundversorgung wird aber in wesentlich effizienterer Weise durch SOLAERA übernommen. So können Häuser mit einem jährlichen Wärmebedarf von 25 MWh für Heizung und Warmwasser versorgt werden, bei entsprechend höherem Kesselanteil auch mehr.

Systemregler und Hydraulik wurden für die effiziente Kombination mit einem Bestandskessel oder auch einem automatischen Pellets-Kaminofen mit geringer Leistung entwickelt. Die innovative Kopplung ermöglicht nicht nur die Abdeckung von Leistungsspitzen, i. d. R. an wenigen Tagen im Jahr, sondern gleichzeitig auch die Versorgung mit ebenfalls nur selten benötigten höheren Vorlauftemperaturen als über die Wärmepumpe alleine möglich bzw. sinnvoll wäre. Somit können auch zwei Heizkreise, z. B. Fußbodenheizung und Radiatorenkreis bedient werden.

Die Hydraulik beinhaltet einen Vierwegemischer, auf dessen Eingangsseite neben Heizkreisrücklauf (linker Anschluss im Schema, s. Abbildung 7) und Vorlauf vom mittleren, von der Wärmepumpe nachgeheizten Speicherbereich (unterer Mischeranschluss) ein weiterer Vorlauf vom oberen Speicherbereich (rechter Mischeranschluss) angeschlossen ist. Solange die Heizkreis-Sollvorlauftemperatur unter der Temperatur in der Speichermitte liegt, funktioniert der Mischer wie ein Dreiwegemischer, d. h., der Heizkreisrücklauf wird bei Bedarf zugemischt. Steigt die benötigte Heizkreisvorlauftemperatur darüber, so wird sukzessive vom oberen Speicherbereich Wasser zugemischt. Die Logik gibt dann den Kessel zum Nachheizen des oberen Speicherbereichs frei. Weiterhin wird der Kessel frei gegeben, wenn die

Eisspeichertemperatur unter einen bestimmten Wert (Voreinstellung: -5°C) sinkt, um ungünstige Betriebszustände der Wärmepumpe zu vermeiden.

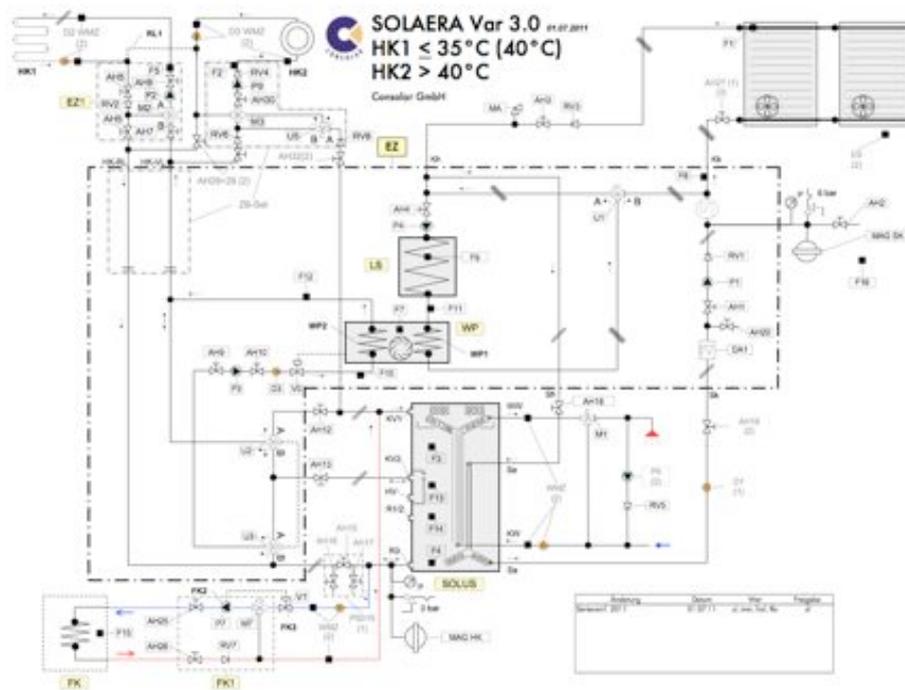


Abbildung 7: Schema für Kombination von SOLAERA mit einem Kessel und Betrieb von einem NT-Heizkreis (z. B. Fußboden) und einem Heizkreis mit höheren Temperaturen (z. B. Radiatoren)

Bei bislang üblichen Kombinationen von Luft-Wärmepumpen und einem fossil befeuerten Kessel übernimmt der Kessel bei Unterschreiten einer bestimmten Außentemperatur – zum Beispiel null Grad Celsius – die Wärmeversorgung vollständig und die Wärmepumpe schaltet sich aus. Bei der Kombination der Solarheizung SOLAERA mit Bestandskesseln hingegen läuft die Wärmepumpe weiter. Dies ist möglich, weil die Wärmepumpe bei SOLAERA im Gegensatz zu Luftwärmepumpen nur zum Teil von der Außenlufttemperatur abhängig ist, darüber hinaus kann ihre Wärme auch von Solarstrahlung und aus dem Eisspeicher bezogen werden.

Tabelle 1 zeigt die für ein Beispielhaus simulierte Energien /3/: Durch die Installation von SOLAERA mit 20 m²_{Ap} Kollektorfläche wird der Ölverbrauch auf 22 % und der CO₂-Ausstoß auf fast die Hälfte reduziert.

Nutz-energie	Heizbedarf	14340 kWh
	WW-Bedarf	2885 kWh
Endenergie	Ölverbrauch ohne SOLAERA	21022 kWh (100 %)
	Ölverbrauch mit SOLAERA	4588 kWh (22 %)
	Stromverbrauch SOLAERA	2548 kWh
CO ₂ -Ausstoß	CO ₂ -Emission Kessel ohne SOLAERA	6549 kg (100 %)
	CO ₂ -Emission des Kessels gekoppelt mit SOLAERA	1630 kg (25 %)
	CO ₂ -Emission Gesamtsystem mit SOLAERA	3243 kg (51 %)
	CO ₂ -Reduzierung	49 %

Tabelle 2: Jährliche Energieverbräuche und CO₂-Emissionen eines Hauses mit Ölheizung vor und nach Kombination mit SOLAERA (Simulation)

Die Energie- und CO₂-Einsparung ist deutlich höher als bei einer konventionellen solaren Heizungsunterstützung.

Die neue Hydraulikgruppe und Regellogik wurde sowohl an der dafür umgebauten Testanlage bei Consolar als auch an einer bestehenden und dafür umgebauten Kundenanlage bei Lörrach getestet (Messdatenerfassung mit Datenübertragung über Internet). Durch den Test ergaben sich eine Reihe von notwendigen Verbesserungen an Logik und Hydraulik. Unter anderem erwies sich der Einbau des Umschaltventils U5 als nötig: der Vierwegemischer müsste sowohl hydraulisch (kvs-Wert) als auch regeltechnisch sehr präzise an jede konkrete Anlage angepasst werden, um ein perfektes Regelverhalten zu haben. Andernfalls kann es zu regelmäßigen Überschwingern kommen, bei denen der Mischer vom oberen Speicherbereich Wasser zumischt, obwohl dies eigentlich nicht nötig wäre. Dadurch muss dann die Wärmepumpe regelmäßig den oberen Speicherbereich mit schlechter Leistungszahl nachheizen. Das Umschaltventil schließt den Anschluss zum oberen Speicherbereich, solange die Sollvorlauftemperatur unter der in Speichermitte vorliegenden Temperatur liegt. Die Testphase wird aktuell abgeschlossen und die Zubehörsätze soweit konfiguriert und dokumentiert, dass Feldtestanlagen damit ausgerüstet werden können.

4. Kostenreduktion

4.1 Wirtschaftlichkeitsrechnung

Zur Ermittlung der Kostenziele wurde Anfang 2010 in einer ausführlichen Vollkostenrechnung ein Systemvergleich mit herkömmlichen Heizsystemen mit solarer Heizungsunterstützung angestellt /4/.

Annahmen

Für SOLAERA und im Vergleich dazu für vier herkömmliche Wärmeversorgungssysteme (Gas- und Ölheizung, Erdsonden- sowie Luft-Wärmepumpe, jeweils mit solarer Heizungsunterstützung) wurde eine Vollkostenrechnung über 20 Jahre unter Berücksichtigung der Investitionskosten, Zinsen, Installation, Material, Wartung und Brennstoff/Strom, Preissteigerungen und der aktuellen Förderungen erstellt.

Der Vergleich wurde beschränkt auf Heizsysteme mit Solarthermie-Unterstützung, da dies insbesondere bei Neubauten im untersuchten Gebäudetyp im Hinblick auf das Erneuerbare Wärmegesetz dem üblichen (und i. d. R. vorgeschriebenen) Stand entspricht. Gewählt wurde das von Stiftung Warentest verwendete Referenzgebäude in Würzburg:

Referenzgebäude Würzburg (Stiftung Warentest)		
Anzahl der Personen	4	
Wohnfläche / Gebäudenutzfläche	ca. 150 / 128	m ²
Jahres-Heizwärmebedarf	9.090	kWh
Jahres-Wärmebedarf für Warmwasser	2.945	kWh
Spezifischer Heizwärmebedarf	71,02	kWh/m ² a

Die Vollkostenberechnung wurde nach der Barwertmethode unter Berücksichtigung von Zins, Inflation und steigenden Energiekosten durchgeführt:

Annahmen bzgl. zukünftiger Kostenentwicklung		
Energiepreissteigerung Heizöl	12,60 %	durchschnittliche Preissteigerung in 10 Jahren seit 1999 /5/
Energiepreissteigerung Gas	8,60 %	
Energiepreissteigerung Strom	3,30 %	
Inflationsrate	2,00 %	
kalkulatorischer Zins	3,04 %	KfW-Kredit Wohnraum Modernisieren - Standard (141), Stand 12.3.2010
Lebensdauer	20 Jahre	

Folgende Energiekosten wurden angesetzt (jeweils Stand März 2010):

Energiekosten		
Strom konventionell, ohne WP-Sperrzeiten	0,180 €	Durchschnittswert günstigste Anbieter aus www.stromvergleich-24.de
Strom konventionell, mit WP-Sperrzeiten	0,132 €	EnBW, Tarif "EnBW WärmePlus" Mittelwert aus Hoch- und Niedrigtarif
Ökostrom (100 % regenerativ), mit WP-Sperrzeiten	0,149 €	Energiedienst Rheinfelden, Tarif "Natur-Energie Silber", Mittelwert aus Hoch- und Niedrigtarif
Heizöl	0,064 €	Durchschnittspreis für Heizöl in Deutschland (Quelle: www.tecson.de)
Erdgas	0,054 €	Badenova, Tarif "medi-PUR", (Quelle: www.badenova.de)

Die Investitionskosten für die vier konventionellen Systeme wurden einer Studie des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg entnommen /6/, wobei bei den beiden Wärmepumpensystemen zusätzliche Kosten entsprechend den Ergebnissen einer aktuellen Untersuchung der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz berücksichtigt wurden /7/ (siehe hierzu auch Diskussion unten). Hinzu kommen die Kosten für eine Solaranlage zur Heizungsunterstützung (Stiftung Warentest Kombi-Solaranlagen /8/), wobei durch die Kombination beider Systeme zum einen der Warmwasserspeicher, zum anderen 500 € für den Regler von den konventionellen Kosten abgezogen wurden. Neben den Kosten für die Wärmeerzeuger wurde die Wärmeverteilung berücksichtigt: Bei den Heizsystemen mit Wärmepumpe wurden 1.000 € mehr angesetzt wegen der notwendigen Flächenheizung (Preise jeweils zzgl. MwSt.).

Investitionskosten (zzgl. MwSt.)					
System	Öl-Heizung + Solar	Gas-Brennwert + Solar	Luft-WP + Solar	Erdsonden-WP + Solar	SOLAERA
Wärmeerzeuger komplett (inkl. Wärmequelle + Solaranlage)	14.180 €	15.480 €	22.020 €	29.400 €	30.870 €
Gasanschluss / Öltank + Schornstein	4.000 €	1.500 €	0 €	0 €	0 €
Montage Heizungs- + Solaranlage	3.300 €	3.300 €	5.000 €	4.600 €	3.500 €

Weitere in der Vollkostenrechnung berücksichtigte kleinere Faktoren wie Wartung, Schornsteinfeger, Grundpreis und Zählergebühren sowie Stromanschluss werden hier der Übersichtlichkeit halber nicht vorgestellt.

Die für die Heizsysteme angesetzten Wirkungsgrade beruhen auf unterschiedlichen unabhängigen Testergebnissen: Stiftung Warentest /8/ für den Solarertrag, Wärmepumpen-Feldteststudie der Agenda 21-Gruppe Lahr /9/ für die Systemjahresarbeitszahlen (Luft-Wärmepumpe: 2,5, Erdsondenwärmepumpe: 3,2). Für SOLAERA wurde das Testergebnis des ITW, Universität Stuttgart, das unter analogen Bedingungen wie für Stiftung Warentest ermittelt wurde, verwendet /10/. Diese Ergebnisse beruhen auf Komponententests und einer anschließenden Systemsimulation. Die Simulationsergebnisse wurden im Rahmen einer von Consolar und dem ITW betreuten Promotion verifiziert /11/. Für die Öl-Heizung wurde ein Jahres-Wirkungsgrad von 85 % angesetzt (üblicher Wert zur Berechnung der anteiligen Energieeinsparung z. B. bei Stiftung Warentest), für den Gas-Brennwertkessel 95 %.

Die Systemjahresarbeitszahl ist wie folgt definiert:

$SJAZ = (\text{Wärmeverbrauch Heizung} + \text{WW}) / \text{Stromverbrauch}$.

Bei der Definition der beiden Quotienten werden im Detail oftmals Unterschiede gemacht, da es noch keine einheitlich genormte Definition hierfür gibt.

In der Definition, die Consolar verwendet, beinhaltet der Wärmeverbrauch auch die Bereitschaftsverluste eines 200 l-Warmwasserspeichers, die in der Standard-Referenzanlage anfallen, in Anlehnung an die Definition der anteiligen Energieeinsparung des ITW-Stuttgart. Bei der Definition der Agenda 21-Gruppe ist dieser Wärmeverbrauch nicht enthalten.

Beim Strom rechnet Consolar den Verbrauch von Verdichter, Solepumpe, Solarpumpe, Lüfter, Enteisung, E-Stab. Bei der Agenda 21-Gruppe ist zusätzlich noch der Verbrauch der Speicherladepumpe enthalten. Bei der Berechnung der anteiligen Energieeinsparung gemäß ITW-Definition wird der Strom für die Ladepumpe nicht berücksichtigt, da er auch bei der Standard-Referenzanlage anfällt.

Die Systemjahresarbeitszahl für SOLAERA beträgt nach Definition der Agenda 21-Gruppe 4,8 statt 5,2 nach Consolar-Berechnung. In der Vollkostenrechnung sind die unterschiedlichen Definitionen berücksichtigt.

Für die BAFA-Förderung liegen den Ergebnisse die zum Zeitpunkt der Wirtschaftlichkeitsberechnung (Anfang 2010) aktuellen Bedingungen vor. Mittlerweile (Stand Juli 2011) werden nur noch Solaranlagen und Wärmepumpen in Bestandsgebäuden gefördert. Die vorgeschriebenen Mindest-Jahresarbeitszahlen betragen aktuell 3,5 für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe und 3,8 für eine Sole/Wasser-Wärmepumpe, wobei hier nur das Verhältnis von Wärmeabgabe der Wärmepumpe zur Stromaufnahme für Verdichter und Wärmequelle (Solepumpe, Lüfter) gemeint ist. Nach den Ergebnissen der Agenda 21-Gruppe entspricht eine Erzeuger-JAZ von 3,5 für Luft-Wärmepumpen einer Systemjahresarbeitszahl von ca. 3. Der Erzeuger-JAZ von 4,0 einer Sole-Wärmepumpe entspricht eine SJAZ von ca. 3,7. Dennoch wurde in dem Wirtschaftlichkeitsvergleich davon ausgegangen, dass die eingesetzte Luft- und Erdreich-Wärmepumpe jeweils als effiziente Wärmepumpenanlage gefördert wird.

Ergebnisse der Vollkostenrechnung

In Abbildung 8 sind die jährlichen Gesamtkosten der unterschiedlichen Heizsysteme dargestellt. Bei SOLAERA gibt es drei Varianten: konventioneller Stromtarif mit Wärmepumpen-Sperrzeiten (gleicher Tarif wie für Luft- und Erdsonden-WP angesetzt) sowie ein Öko-Stromtarif mit Sperrzeiten. SOLAERA konnte zu Projektbeginn noch nicht mit Sperrzeiten betrieben werden, weswegen auch ein konventioneller Stromtarif ohne Sperrzeiten betrachtet wurde.

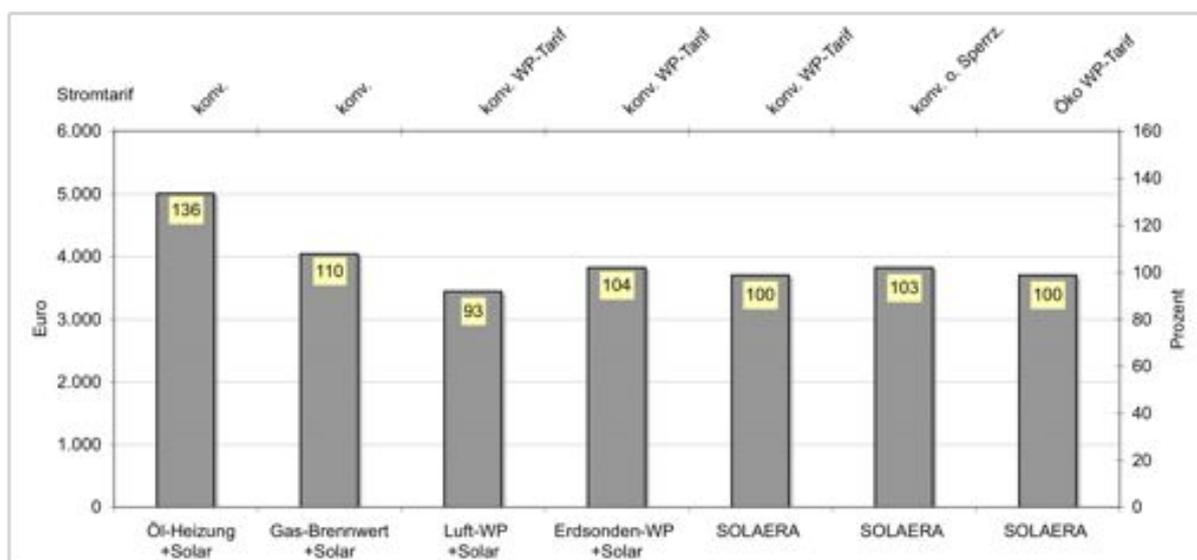


Abbildung 8: Gesamtkosten pro Jahr der fünf Heizsysteme mit Solaranlage

Die Ergebnisse zeigen, dass SOLAERA deutliche Kostenvorteile gegenüber einer Ölheizung und – in geringerem Maße – gegenüber einer Gasheizung mit Solaranlage aufweist. Auch im Vergleich zu einer Erdsonden-Wärmepumpe ist SOLAERA – bei gleichem Stromtarif – 4 % günstiger. Lediglich die Kosten einer Luftwärmepumpe liegen unter denen von SOLAERA. Die Gesamtkosten beinhalten neben den annuisierten Investitionen und den Energie- und Wartungskosten auch die in Deutschland erteilte BAFA-Förderung (Solarkollektoren, Wärmepumpe, Kombinationsbonus und Hocheffizienzpumpe).

Diskussion

Die Ergebnisse der Vollkostenrechnung hängen von vielen Annahmen ab. Wird beispielsweise für die Ölpreis-Steigerungsrate 10 % statt 12,6 % angesetzt, sinken die jährlichen Gesamtkosten dieses Systems auf 4.385 €, was immer noch 19 % über den Kosten von SOLAERA liegt.

Ebenfalls zeigen die Beispielrechnungen bei SOLAERA den spürbaren Einfluss des gewählten Stromtarifs. Der mittlerweile mögliche Wärmepumpen-Sperrtarif verbessert die Wirtschaftlichkeit um 3 %.

Werden für die beiden konventionellen Wärmepumpenanlagen die für die BAFA-Förderung bis Mai 2010 vorgeschriebenen Mindest-Jahresarbeitszahlen eingesetzt bzw. die entsprechenden Systemjahresarbeitszahlen (Luft-WP: 3,5, Sole-WP: 4,0), so sinken die Gesamtkosten der Luftwärmepumpe auf 3.311 €/a (10 % weniger als SOLAERA) und die der Erdreich-Wärmepumpe auf 3.739 €/a (1 % über SOLAERA).

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung stellen besonders lukrative Finanzierungsmöglichkeiten dar: Beim KfW-Kredit "Energieeffizient Sanieren (151)" wurde für alle Sanierungsmaßnahmen (wie z. B. Dämmung, Heizungserneuerung, Fensteraustausch, Lüftungseinbau), die das Wohneigentum zum KfW-Effizienzhaus machen, ein Kredit bis zu 75.000 € bei Zinssatz ab 1,41 % effektiv gewährt (Stand März 2010). Die jährlichen Gesamtkosten sinken damit bei SOLAERA auf 3.277 € (WP-Tarif) und sind damit sogar günstiger als bei der Luft-Wärmepumpe.

Bei den angenommenen Investitionskosten (einschließlich Montage) sind in der Praxis natürlich auch große Spielräume möglich. Nach einer Untersuchung von bundesweit über 50 Angeboten verschiedener Fachunternehmen gehen Verbraucherzentralen davon aus, dass die tatsächlichen Kosten für Wärmepumpenanlagen höher liegen als die typischen, anbieterseitigen Zahlen vermuten lassen. Je nach Wärmepumpensystem liegen die Kosten im Durchschnitt 2.000 € bis 7.000 € über den pauschal angegebenen Marktpreisen. Die Angebote für Luft-Wärmepumpen beliefen sich durchschnittlich auf 17.000 € und lagen damit um rund 2.000 € höher als von der Anbieterseite angegeben. Bei Erdreich-Wasser-Wärmepumpen wiesen die geprüften Angebote mit 7.000 € Euro eine noch höhere Differenz auf. Die Angebote zu Erdreich-Wasser-Wärmepumpen ergaben einen durchschnittlichen Preis von 25.000 €. Häufig seien wichtige Positionen in den Angeboten nicht enthalten. Dazu gehören zum Beispiel Wärmemengenzähler, Erdarbeiten oder wasserrechtliche und geologische Gutachten. In der Vollkostenrechnung ist von den oben angegebenen Preisen ausgegangen worden.

Über diese von der Verbraucherzentrale angegebenen Gründe hinaus entstehen in der Praxis oft Mehrkosten durch Abstimmungsdefizite verschiedener Gewerke, z. B. Heizungsbaubetrieb und die für die Erdarbeiten zuständige Firma. Dies stellt einen wichtigen Bremsfaktor für die Verbreitung von Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen dar. Hinzu kommen zunehmende Akzeptanzprobleme und Auflagen für Erdsonden aufgrund bekannt gewordener Problemfälle in der Vergangenheit: Erdhebung und massive Gebäudeschäden im denkmalgeschützten Staufen (Baden), Erdsenkung und Grundwasserabsenkung bei Schorndorf und Wasserfontaine durch einen angebohrten Grundwasserspeicher bei Wiesbaden.

Ein letzter Gesichtspunkt wird bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen i. d. R. nicht berücksichtigt: der Restwert bzw. die Entsorgungskosten der Anlage nach Ablauf der Lebensdauer. Erdsonden bleiben nach Ende ihres Betriebs entweder im Boden und könnten evtl. für folgende Generationen zu Altlasten werden, oder

die Entsorgungskosten müssten mit einkalkuliert werden. Sonnenkollektoren dagegen stellen am Ende ihrer Lebensdauer mit ihrem Kupferabsorber einen beachtlichen Materialwert dar, insbesondere, da von einem auch in Zukunft steigenden Kupferpreis ausgegangen werden kann. In stärkerem Maße gilt das für SOLAERA-Hybridkollektoren mit ihren integrierten Kupferlamellen-Luftwärmetauschern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass SOLAERA bei einer Vollkostenbetrachtung bereits heute wirtschaftlich gegenüber herkömmlichen Heizsystemen kombiniert mit einer Anlage zur Solaren Heizungsunterstützung ist.

Dies wird auch anhand des folgenden Vergleichs deutlich: Simuliert wurde eine Solaranlage zur Heizungsunterstützung mit 25 m² Kollektorfläche, zwei Kombispeichern à 1800 l und den Energieverbräuchen des Referenzhauses von Stiftung Warentest.



Abbildung 9: Vergleich der Kollektorerträge einer großen Anlage zur solaren Heizungsunterstützung (links) und SOLAERA (rechts) während der vier Wintermonate (Würzburg)

Abbildung 9 zeigt die Kollektorerträge dieser Anlage im Vergleich zu der SOLAERA-Referenzanlage aus der ITW-Simulationsstudie (gleiche Lastannahmen) [2]. Das integrierte System SOLAERA setzt im Januar mehr als doppelt so viel Strahlung in nutzbare Wärme um als die heizungsunterstützende Solaranlage, im Mittel aller vier Monate sind es 54 % mehr. Dank der zusätzlichen Nutzung der Wärme aus Umgebungsluft wird insgesamt der vierfache Ertrag mit der gleichen Kollektorfläche erwirtschaftet. Die Nutzung der Umgebungsluft erfolgt insbesondere an strahlungsärmeren Tagen mit moderaten Außentemperaturen und i. d. R. auch kombiniert mit gleichzeitiger Erwärmung durch Strahlung, so dass hier wesentlich bessere Verhältnisse (höhere Verdampfertemperaturen) für die Wärmepumpe herrschen als bei einer Luftwärmepumpe. Das integrierte System ermöglicht die Vollversorgung ohne zusätzlichen Wärmeerzeuger, die herkömmliche Systemkombination deckt im Winter nur einen vergleichsweise kleinen Teil des Wärmebedarfs solar ab.

Allerdings stellt die absolute Höhe der Investitionskosten dennoch ein deutliches Hindernis für eine Verbreitung dieser Technik dar. Außerdem ist die Wirtschaftlichkeit des Systems im Vergleich zu Standard-Heizsystemen ohne Solaranlage weniger gut.

Als Entwicklungsziel für die Kostensenkung wurde daher eine Investitionssumme in der Höhe der Kosten für eine Erdsonden-Wärmepumpenanlage gewählt.

4.2 Vergleich Treibhausgas-Effekt und Energieeinsparung

Vorgaben und Ergebnisse

Neben den jährlichen Gesamtkosten wurde der CO₂-Ausstoß aus den CO₂-Äquivalenten der GEMIS-Studie 4.5 für den jeweiligen Energieträger ermittelt und gegenübergestellt.

CO ₂ -Äquivalente und Kumulierter Energieaufwand (KEA)				
System	Heizöl	Erdgas	Strom-Mix (D)	Ökostrom (100 % reg.)
CO ₂ -Äquivalent (g/kWh _{End})	302	244	633	0
KEA (kWh _{Prim} /kWh _{End})	1,11	1,12	2,96	1

In Abbildung 10 sind die damit berechneten CO₂-Emissionen dargestellt.

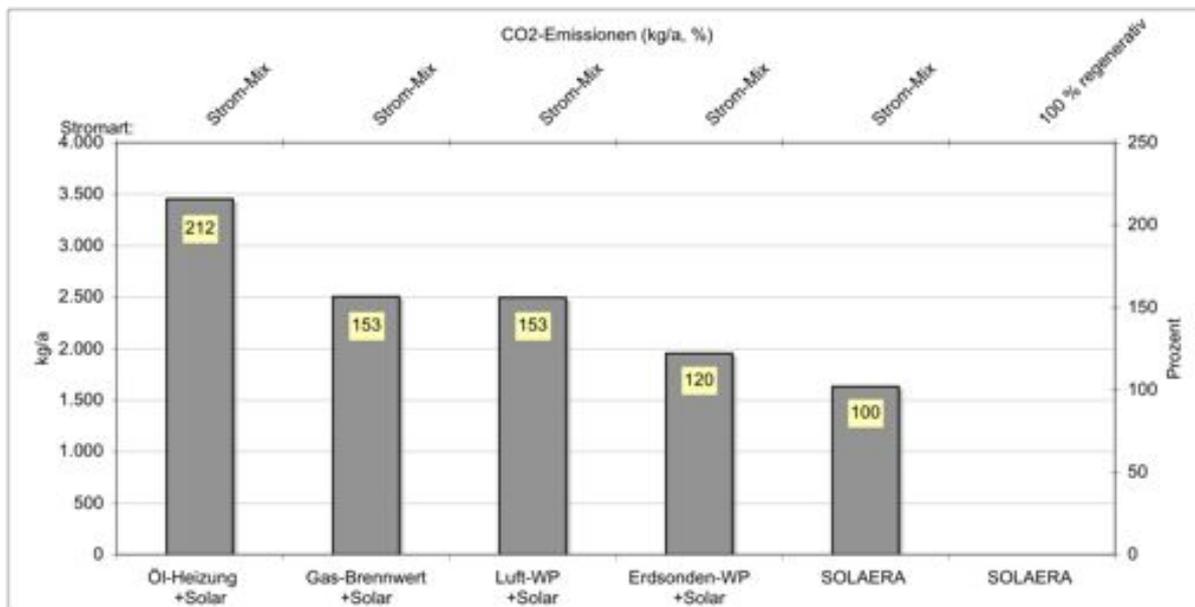


Abbildung 10: CO₂-Emissionen pro Jahr der fünf Heizsysteme mit Solaranlage

Durch den hohen solaren Anteil ermöglicht SOLAERA CO₂-Einsparungen von mehr als 60 % im Vergleich zu Ölheizungen ohne solare Heizungsunterstützung und um 35 % im Vergleich zu Gasheizungen und Luftwärmepumpen, jeweils in Kombination mit einer thermischen Solaranlage. Erdsonden-Wärmepumpen mit Solaranlage haben einen 20 % größeren CO₂-Ausstoß gegenüber SOLAERA. SOLAERA ist damit die umweltfreundlichste Heizung im Vergleich.

In Abbildung 11 sind Endenergie- sowie Primärenergieeinsparung im Vergleich zu einer Ölheizung ohne Solaranlage dargestellt. Bei SOLAERA sind die Werte sowohl für konventionellen Strom als auch für 100 % regenerativen Strom angegeben, wobei für den regenerativen Strom entgegen der offiziellen Definition der Primärenergiefaktor 1 (statt annähernd 0) eingesetzt wurde, d. h., die Endenergie entspricht der eingesetzten Primärenergie (z. B. Wasserkraft). Die Primärenergieeinsparung ist aufgrund des (konventionellen) Stromanteils für Umwälzpumpen bei der Referenzheizung noch etwas größer als die Endenergieeinsparung.

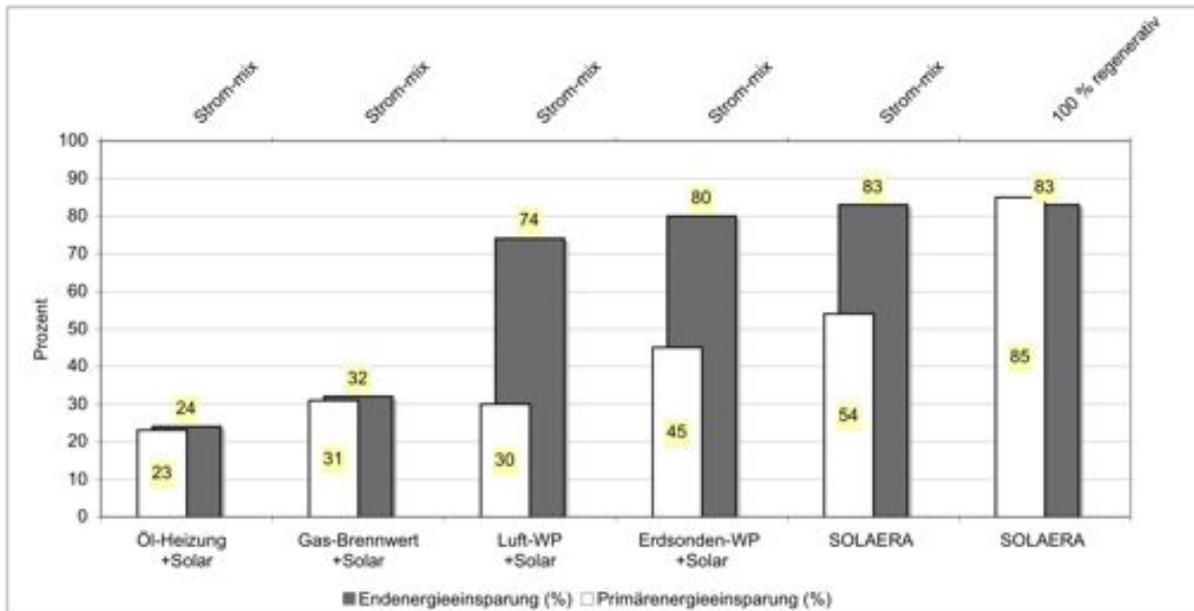


Abbildung 11: Endenergie- und Primärenergieeinsparung der fünf Heizsysteme mit Solaranlage im Vergleich zu Ölheizung ohne Solar

Im Vergleich ist SOLAERA das einzige System, das eine Primärenergieeinsparung von 50 % überschreitet, eine auch psychologisch wichtige „Schallmauer“, die klar macht, dass es sich um eine konventionell unterstützte Solarheizung handelt und nicht – wie bei den anderen Systemen – um eine solar unterstützte konventionelle Heizung.

Diskussion

Der Umweltnutzen von Wärmepumpen wird kontrovers diskutiert. Während Wärmepumpenanbieter teilweise mit hohen COP- bzw. Leistungsziffern werben, die sich aber nur auf einen bestimmten – optimalen – Betriebspunkt beziehen, sprechen die Untersuchungsergebnisse von Feldtests wie dem der Agenda 21-Gruppe eine andere Sprache. Hier werden System-Jahresarbeitszahlen über ein Jahr bei Heizung *und* Warmwasserbereitung gemessen, einschließlich aller zusätzlichen für das System nötigen Stromverbräuche. Es ist sicher richtig, die Latte bzgl. einer zu erreichenden Jahresarbeitszahl hoch zu legen, denn während bei einer schlecht funktionierenden Solaranlage der Klimanutzen im schlechtesten Fall gegen Null gehen kann, ist es bei einer schlecht arbeitenden Wärmepumpenanlage möglich, dass der Klimanutzen sich sogar ins Negative dreht. Neben der Effizienz von Wärmepumpen sind die CO₂-Emissionen, die mit der Stromproduktion verbunden sind, entscheidend für ihren Klimanutzen. Das Worst-Case-Szenario geht davon aus, dass der für Wärmepumpen zusätzliche Strombedarf v. a. durch fossile Kraftwerke gedeckt wird, d. h. mit schlechten Auswirkungen für das Klima. Dann müsste die Jahresarbeitszahl mindestens 3,8 betragen, um die gleichen Treibhausgas-Emissionen wie eine durchschnittliche Erdgas-Heizung zu haben, und wäre immer noch schlechter als eine Brennwert-Gasheizung /12/.

In allen obigen Betrachtungen wurde von den mittleren CO₂-Emissionen des aktuellen deutschen Strom-Mix ausgegangen. Eigentlich sollte in solchen Vergleichen auch der Anteil an radioaktivem Abfall, der pro kWh produziert wird, mit berücksichtigt werden, denn andernfalls könnte z. B. in Ländern wie Frankreich eine völlig verzerrte Situation entstehen: selbst ökologisch unsinnige Elektroheizungen würden – betrieben mit Generationen bedrohendem Atomstrom – als umweltfreundliche Lösung da stehen.

Auch die Kombination von elektrischen Wärmepumpen und Photovoltaik muss kritisch betrachtet werden: grundsätzlich sind hiermit in der Jahresbilanz CO₂-neutrale Heizungen möglich. Allerdings ist eine solche Lösung nicht im großen Stil möglich: Solarstrom wird hauptsächlich im Sommer produziert, Heizungs-

wärmepumpen benötigen Strom im Winter. Die Speicherproblematik wird hier in den Stromsektor verschoben, wo sie noch schwieriger bzw. aufwändiger zu lösen ist als im Wärmebereich.

In einem zukünftigen hauptsächlich regenerativen Energieversorgungssystem im Wärme- und Strombereich wird es keine einfachen Standardlösungen, die auf einer einzigen Technologie beruhen, geben. Ein Mix aller modernen Technologien der Erneuerbaren Energien wird nötig sein, zum einen übergeordnet, zum anderen aber auch in stärkerem Maße als bisher in den Systemen selbst: Z. B. kann ein integriertes System wie SOLAERA dank der unterschiedlichen genutzten Energiequellen und der beiden integrierten Speicher intelligent so betrieben werden, dass zu Zeiten mit Spitzen im Strombedarf das System vom Netz genommen wird und zu Zeiten mit Überangebot auf Vorrat geheizt wird. Bei einer einfachen Luftwärmepumpe ist das nur begrenzt und auf Kosten der Effizienz möglich.

Wärmepumpensysteme mit Photovoltaik zu kombinieren macht unter Klimagesichtspunkten v. a. dann Sinn, wenn der Stromverbrauch des Heizsystems im Winter minimiert ist durch eine hohe Systemeffizienz und einen möglichst hohen solarthermische Beitrag, also bei Systemen wie SOLAERA, nicht aber bei Luftwärmepumpen.



Abbildung 12: Mit SOLAERA und PV versorgter Neubau

4.3 Reduktion der Investitionskosten durch kleinere Kollektorflächen und Untersuchung weiterer Dimensionierungsparameter

Kollektorfeldgröße

Zur Verringerung der Investitionskosten wurden an verschiedenen, weiter unten vorgestellten Ansätzen gearbeitet. Die Maßnahme mit der schnellsten und größten Wirksamkeit besteht in der Verkleinerung der Kollektorflächen. Ein weiterer Grund, diesen Ansatz zu untersuchen liegt in teilweise insbesondere im Gebäudebestand begrenzten Flächen für Hybridkollektoren. Während die meisten bisher realisierten Anlagen zwischen 8 und 11 Kollektoren haben, was 18 – 25 m² Apertur entspricht, war das Entwicklungsziel, bereits Anlagen mit 5 Kollektoren (11,5 m²_{Ap}) möglich.

Kleinere Kollektorflächen im Verhältnis zur Leistung, die sie dem System liefern, führen zu einem größeren Anteil an Energie, die im Niedertemperaturbetrieb eingefangen wird, insbesondere auch im Luftbetrieb der Hybridkollektoren. Dies führt zu einer verstärkten Eisbildung an den Luft-Lamellen unterhalb des Absorbers. Daher wurden Untersuchungen zum Vereisungsverhalten sowohl durch Feldtestauswertung als auch spezielle Tests und darauf aufbauenden Simulationen angestellt. Das Ergebnis zeigt, dass das Vereisungsverhalten – zum Beispiel im Vergleich mit dem Luftverdampfer einer Luft-Wärmepumpe – sehr unkritisch ist, und dies aus mehreren Gründen: zum einen findet durch die kombinierte Erwärmung des Luftwärmetauschers im Hybridkollektor durch Strahlung regelmäßig ein passives Antauen und Ablösen von Eis statt. Zudem sind die Abstände zwischen den Wärmetauscherla-

mellen wesentlich größer als bei einem Luftverdampfer. Somit ist auch der Betrieb von Anlagen mit kleineren Kollektorflächen in Verbindung mit der im Systemregler implementierten Überwachungs- und Enteisungsfunktion (s. o.) möglich. Zur Enteisung wird max. einmal am Tag Wärme aus dem Solar-Kombispeicher durch die Kollektoren gepumpt, was mit einem viel geringeren Energieaufwand verbunden ist als die elektrische Enteisungsfunktion von Luftwärmepumpen.

In einer Simulationsstudie wurde der Stromverbrauch und damit CO₂-Ausstoß der Solarheizung bei unterschiedlich großen Kollektorflächen und kleineren Speichervolumina ermittelt und mit herkömmlichen Wärmeerzeugern verglichen /13/. Die Annahmen entsprechen weitgehend den in oben erläuterten Randbedingungen, jedoch wurde davon ausgegangen, dass es keine Fördergelder gibt und für die Preissteigerungen wurden andere Zahlen angesetzt:

- Wärmebedarf: Jahres Heizwärmebedarf 9090 kWh (für 160 m²) + Warmwasserbedarf 3480 kWh
- Investitionskosten: Kessel/Wärmepumpen + Tank (bei Öl), Wärmeverteilsystem + Montagekosten
- Keine Förderung
- Energiepreise: Strompreis 13 ct/kWh (WP-Tarif), Ölpreis 7,4 ct/kWh, Gaspreis 6,0 ct/kWh
- Preisänderungen: Strom: 3,8 / 6 % p. a., Heizöl: 7,0 / 12,5 % p. a. Gas: 7,5 / 12,5 % p. a.

Abbildung 13 zeigt die Solarheizung im Vergleich zu Öl- und Gasheizungen, jeweils mit und ohne Solaranlage zur Heizungsunterstützung. Die kumulierten Energiekosten sind zum einen für eine eher moderat angesetzte Preissteigerung angenommen (mittlerer Wert von 2000 – 2009 /14/, 2009 war der Ölpreis eingebrochen, wodurch die mittlere Steigerung nach unten gezogen wird) und für eine stärkere Steigerung. Zum einen wird deutlich, dass bereits mit einer kleinen Solarheizung mit 5 Hybridkollektoren ein wesentlich geringerer CO₂-Ausstoß erreicht wird als mit fossil befeuerten Heizungen, auch wenn sie eine solare Heizungsunterstützung haben. Nur mit 11 Hybridkollektoren wird ein CO₂-Ausstoß von 10 kg/m² Wohnfläche unterschritten, ein Wert, der als Zielsetzung für eine nachhaltige Beheizung von Wohnflächen bei einer Begrenzung der Klimaerwärmung auf max. 2 K ermittelt wurde¹.

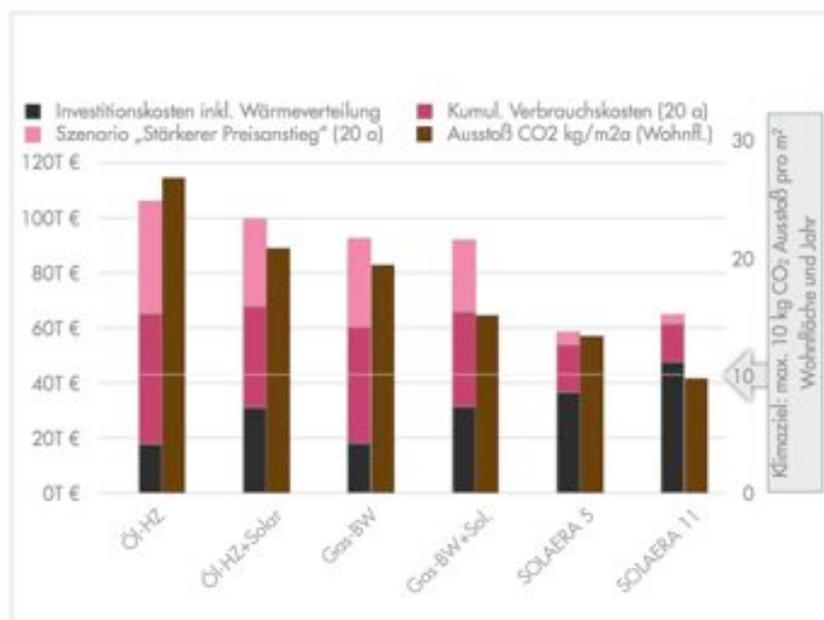


Abbildung 13: CO₂-Ausstoß, Investitionskosten und kumulierte Energiekosten für fossile Heizsysteme ohne und mit solarer Heizungsunterstützung im Vergleich zu SOLAERA mit 5 bzw. 11 Hybridkollektoren

¹ Aus der Zielsetzung der Enquete-Kommission und IPCC von 2,4 t CO₂-Äquivalent/Kopf wurde der Wert 10 kg CO₂/(m²a) abgeleitet /15/. Seit 2009 wird im Planungsleitfaden für NRW-Solarsiedlungen 9 kg CO₂/(m²a) für Neubauten und 12 kg CO₂/(m²a) bei A/V <0,5 für den Bestand angegeben /16/.

Die Gesamtkosten über 20 Jahre sind sowohl bei moderater als auch stärkerer Preissteigerung bei „SOLAERA 5“ am geringsten. Aufgrund des geringen Stromverbrauchs wirken sich steigende Energiekosten bei SOLAERA viel schwächer aus als bei den fossil befeuerten Heizungen.

Abbildung 14 zeigt den Vergleich mit Wärmepumpen-Heizsystemen. Auch hier ist SOLAERA mit 11 Kollektoren das einzige System, das den CO₂-Zielwert erreicht. Die Luftwärmepumpe hat im Vergleich den größten Ausstoß (doppelt gegenüber Zielwert). In den Gesamtkosten liegen Luftwärmepumpe, Erdsonden-Wärmepumpe und SOLAERA mit 5 Hybridkollektoren nahe beieinander, bei geringstem CO₂-Ausstoß von „SOLAERA 5“. Nur die Erdsonden-Wärmepumpe mit solarer Heizungsunterstützung hat einen geringeren CO₂-Ausstoß als SOLAERA mit 5 Kollektoren, allerdings bei deutlich höheren Investitionen und Gesamtkosten. SOLAERA mit 11 Kollektoren erreicht im Vergleich dazu bei etwa gleichen Investitionen und geringeren Gesamtkosten eine deutlich geringere CO₂-Emission.

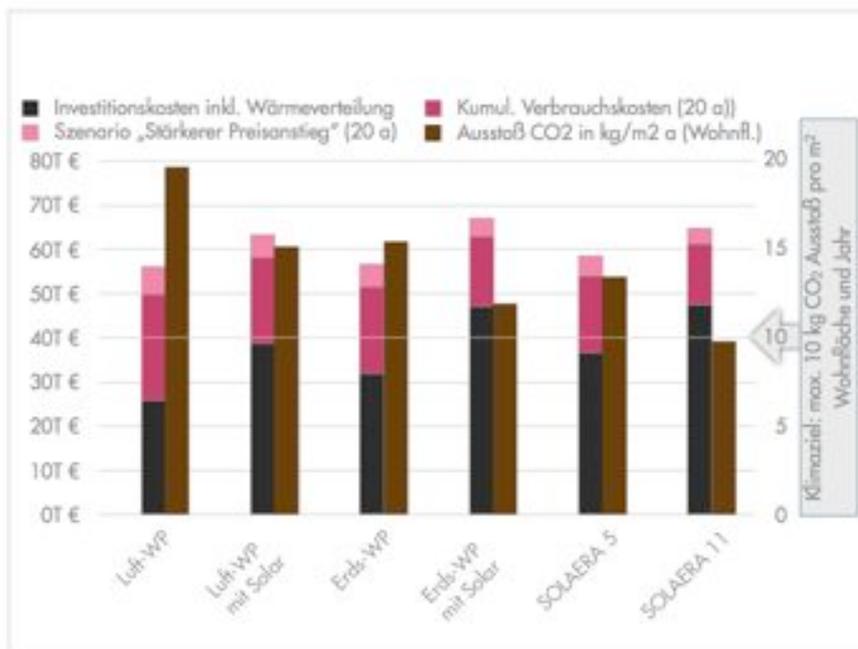


Abbildung 14: CO₂-Ausstoß, Investitionskosten und kumulierte Energiekosten für Wärmepumpen-Heizsysteme ohne und mit solarer Heizungsunterstützung im Vergleich zu SOLAERA mit 5 bzw. 11 Hybridkollektoren

Im Gebäudebestand wird SOLAERA durch die BAFA gefördert, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit gegenüber den anderen Heizsystemen im Vergleich nochmals deutlich verbessert (hier nicht berücksichtigt).

Soweit es die baulichen Verhältnisse zulassen, ist ein „kleines“ Hybridkollektorfeld später noch ausbaubar. Damit wird nicht nur der direkt eingespeiste und genutzte Solarertrag, sondern auch die Effizienz der integrierten Wärmepumpe erhöht, und zwar sowohl durch ein Anheben des Temperaturniveaus durch Solarabsorption als auch durch die Verbesserung des Luft-Sole-Wärmeübergangs. Im Gegensatz zu anderen Heizsystemen, die für die gesamte Lebensdauer eine bestenfalls gleich bleibende Effizienz ermöglichen (bei Erdsonden-Wärmepumpen oft auch nachlassend), kann bei SOLAERA im Nachhinein der Stromverbrauch und CO₂-Ausstoß reduziert werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass bereits mit 5 Hybridkollektoren ein vergleichsweise guter CO₂-Ausstoß bei guter Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Allerdings entspricht die erreichte CO₂-Einsparung nicht der Zielsetzung des Projekts und der Consolars. Es ist jedoch wichtig, günstigere Systemvarianten anbieten zu können mit der Chance, dann in der Beratung eine größere Anlage zu bewirken, als von vorn herein im Wettbewerb auszuschneiden.

Weitere Dimensionierungsparameter

In weiteren Simulationsuntersuchungen wurden neben der Kollektorfläche und darauf abgestimmter Speicherkapazitäten des Kombispeichers weitere Dimensionierungsparameter wie Eisspeicherkapazität, Wärmetauscherflächen untersucht. Hieraus konnte kein Handlungsbedarf für eine andere Dimensionierung abgeleitet werden. Auch der Schmelzpunkt des Latentspeichers wurde bei gleicher spezifischer Speicherkapazität variiert. In dem System SOLAERA mit Hybridkollektor und dem damit realisierten hydraulischen und regelungstechnischen Konzept liegt Null Grad liegt nahe am Optimum, wobei die Abhängigkeit der Effizienz von der Phasenwechseltemperatur ein relativ flachen Verlauf hat.

4.4 Häuser mit sehr geringem Heizwärmebedarf im Neubau

Im Neubau führt die EnEV zu Häusern mit sehr geringem Wärmebedarf, der Trend geht in Richtung Passiv-Standard. Der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung macht hier einen wesentlichen Anteil aus und übliche Heizsysteme wie auch das SOLAERA-Standardsystem mit 8 kW Heizleistung sind oft überdimensioniert bzw. zu teuer.

Für den häufigen Fall von Doppel- oder Reihenhäuser wurde daher der SOLAERA-Systemregler weiterentwickelt, so dass zwei unabhängige Heizkreise gesteuert werden können. Somit können mit einem System zwei Wohnungen wirtschaftlich versorgt werden. Tabelle 3 zeigt die simulierten Ergebnisse für ein Doppel-Passivhaus, das mit nur 7 SOLAERA-Hybridkollektoren ($16 \text{ m}^2_{\text{Ap}}$) betrieben wird.

Nutz- energie	Heizbedarf	6090 kWh
	WW-Bedarf	5315 kWh
Endenergie	Gasbrauch Referenz (inkl. Wärmeverluste von 2 x 200 l-WW-Speichern)	14933 kWh
	Stromverbrauch SOLAERA	2852 kWh
	Endenergieeinsparung	12081 kWh (81 %)
CO ₂ -Ausstoß	CO ₂ -Emission Gasheizung Referenz	3345 kg
	CO ₂ -Emission SOLAERA	1825 kg
	CO ₂ -Einsparung gegenüber Referenz	1520 kg
	CO ₂ -Einsparung relativ	45 %

Tabelle 3: Jährliche Energieverbräuche und CO₂-Emissionen eines Passiv-Doppelhauses mit SOLAERA im Vergleich zu einer Gasheizung (Simulation)

Auch diese Hydraulik- und Regellogikerweiterung wurde in der Testanlage bei Consolar umgesetzt und erprobt. Sie steht nun ebenfalls für Feldtestanlagen zu Verfügung.

4.5 Maßnahmen zur Reduktion der Investitions- und Betriebskosten

Ermöglichung eines Wärmepumpen-Sperrtarifs

Der gewählte Stromtarif hat einen signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Systems. Verbreitet sind günstige so genannte Wärmepumpentarife, bei denen das EVU die Stromversorgung des Systems für bestimmte Zeiten unterbrechen kann. Bei SOLAERA war zu Projektbeginn eine solche Stromunterbrechung am Tag nicht möglich.

In Simulationen wurde die Auswirkung von drei täglichen Sperrung der Wärmepumpe à 2 h zu unterschiedlichen Zeiten untersucht. Die Auswirkung ist im ungünstigsten Fall eine geringfügige Unterdeckung der Warmwasserversorgung, in der Praxis unkritisch.

Ein Sperrtarif wurde durch die Schaffung einer Schnittstelle für einen Rundsteuerempfänger und die entsprechende Entwicklung und Implementierung der Reglerlogik ermöglicht. In verschiedenen Anlagen im Feld wurde die neue Elektrik und Logik realisiert und in einem problemfreien Betrieb bestätigt.

Reduktion der Systemkosten durch Vereinfachung

Der Einfluss unterschiedlicher Komponenten auf die Systemeffizienz wurde untersucht:

- Umschaltventil zur temperaturorientierten Einspeisung und Entnahme des Heizkreis- bzw. Kondensatorvorlaufs
- Strahlungssensor zur Berechnung des möglichen Wirkungsgrads der unterschiedlichen Beladeoptionen (WW-Bereich, Heizungsbereich des Kombispeichers und Eisspeicher) im aktuellen Systemzustand

In beiden Fällen ist der Erhöhung des Stromverbrauchs bei Wegfall vergleichsweise gering und konnte – im Fall Strahlungssensor – durch eine Anpassung der Regellogik minimiert werden. Der Wegfall der Komponenten bedeutet nicht nur eine direkte Kostenersparnis, sondern auch eine Verringerung der Komplexität und des möglichen Ausfallrisikos, so dass im statistischen Mittel davon ausgegangen werden kann, dass die Vereinfachung eher zu einer Steigerung der CO₂-Einsparung führt.

Reduktion der Herstellkosten für Energiezentrum und Eisspeicher

Aus einer Analyse des Fertigungsprozesses und der Herstellkosten für das Energiezentrum und den Eisspeicher wurde ein Maßnahmenplan mit Priorisierung und Einzelzielen erstellt.

Ein sehr großes Kosteneinsparpotential bestand beim Wasser-Eisspeicher, da diese Komponente praktisch noch auf dem Entwicklungsstand eines Prototyps stand. Durch die Konstruktion eines neuartigen Spritzgussteils wurde beim Wasser-Eisspeicher der Schritt von handwerklicher zeitaufwändigen Einzelfertigung zu einer rationelleren Kleinserienfertigung ermöglicht. Das Spritzgussteil ist im Grundprinzip Teil der Patentanmeldung für den Eisspeicher.

Auch an der Armaturengruppe und Hydraulik des Energiezentrums wurde eine Reihe von Vereinfachungen durchgeführt, ebenfalls im Fertigungsablauf. Die Fertigungszeiten konnten in 2010 um > 40 % reduziert werden.

Reduzierung des Stromverbrauchs des Lüfters

Ein weiteres Ergebnis der theoretischen Untersuchung der Dimensionierungsparameter des Hybridkollektors war das Zusammenspiel zwischen Querschnitt des Luftkanals und Leistungsaufnahme des Lüfters. Es wurde deutlich, dass ein spürbares Stromeinsparpotential durch einen erhöhten Teilzeitbetrieb des Lüfters möglich ist, insbesondere in Verbindung mit einer effizienten Leistungsregelung. Bisher werden die Lüfter über eine Impulspaketsteuerung in der Drehzahl geregelt. Demgegenüber führt die Drehzahlreduzierung über einen Stufentrafo zu einer geringeren Stromaufnahme, einem viel leiseren Betrieb und einer höheren Lebensdauer für die Lüfter. Daher wurde die Umstellung der Elektrik und Regellogik auf einen Stufentrafo vorbereitet, dies soll im kommenden Halbjahr umgesetzt und im Feld erprobt werden. Parallel hierzu findet im Rahmen der Doktorarbeit eines Mitarbeiters eine Untersuchung zur Optimierung der Regellogik für einen Betrieb mit minimiertem Gesamtstrombedarf (Lüfter und Wärmepumpe) statt.

Materialoptimierung der Kollektor-Montagesysteme

Die Kostenanalyse zeigte auf, dass auch die bisher eingesetzten Montagesysteme ein großes Material- und Kosteneinsparpotential durch eine optimierte statische Auslegung aufweisen. In einem ersten Schritt wurde bei den Aufständersystemen durch eine statisch optimierte Konstruktion und etwas reduzierte Auslegungsvorgaben (Aufstellungshöhe) eine Material- und Kostenreduktion von ca. 30 % erreicht. Im nächsten Schritt soll eine weitere Optimierung stattfinden, hierzu werden aber noch die Ergebnisse eines vom Bundesverband Solarwirtschaft beauftragten Statikgutachtens zur Auslegung von Solaranlagen abgewartet. Bei der zweiten Optimierungsstufe soll dann auch durch Konstruktion der Montageelemente in einer Weise, dass sie möglichst für eine Vielzahl von Kollektortypen eingesetzt werden können und die Bündelung der Mengen mit einer Partnerfirma (Westfa) erreicht werden.

Kombination mit unabgedecktem selektivem Absorber

Im Rahmen des Projektes wird als Alternative zu den „aktiven“ Hybridkollektoren der Einsatz von „passiven“ selektiven unverglasten Edelstahlabsorbern von „Energie Solaire“ (CH) untersucht. Grundsätz-

lich besteht hierdurch ein großes Einsparpotential. Allerdings war zu Projektbeginn unklar, ob ein sicherer Winterbetrieb damit möglich ist (Vereisung, schneebedeckte Absorber) und wie hoch Effizienz und Versorgungssicherheit sind, insbesondere in Regionen mit länger anhaltend bedecktem Himmel oder Nebel.

Eine Testanlage mit wurde im März 2010 von Energie Solaire mit Unterstützung von Consolar aufgebaut und wird messtechnisch vom SPF Rapperswil, Energie Solaire und Consolar betreut. Die Ergebnisse nach dem ersten Betriebsjahr sind sehr gut. Es wird eine Systemjahresarbeitszahl von 4 erreicht, trotz eines relativ ungünstig orientierten Dachs: 30 m² Kollektorfläche (Solardach) nach Ost/Süd-Ost.

Heizwärmeverbrauch: 10630 kWh
Warmwasserverbrauch: 1670 kWh
Stromverbrauch: 3068 kWh



In dieser Kombination können nach den ersten Ergebnissen die Systemkosten um 10 – 20 % reduziert werden. Offen ist noch das Schneeverhalten: bei der Testanlage sind die Sammlerrohre so montiert, dass sie als Schneefänger wirken. Schnee wurde vom Hausherrn daher wenige Male von Hand entfernt. Bei steileren Winkeln und ohne Schneefänger könnte die entwickelte Antaufunktion auch hier wirksam eingesetzt werden.



Um diese Fragen zu klären, soll der Test mit dieser und einer weiteren Anlage mit 60° Kollektorneigung im nächsten Winter fortgesetzt wird.

Abbildung 15: vereiste Absorberfläche am frühen Morgen und durch Solarstrahlung aufgetaut 2 h später

Weiterhin ist geplant, durch eine Parameteranpassung das Hybridkollektormodell im Simulationsprogramm an die Messergebnisse der Testanlagen anzupassen. Dann kann ein direkter Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsvergleich bei unterschiedlichen Randbedingungen erstellt werden.

Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen haben ein großes Einsparpotential insbesondere bei den Hybridkollektoren und dem Eisspeicher aufgezeigt. Beim Eisspeicher wurde bereits ein Teil des Potentials realisiert.

Zur der Frage des Kostenoptimierungspotentials noch folgende Anmerkung:

1. Grundsätzlich ergeben sich bei SOLAERA im Vergleich zur Kombination einer Luft-Wärmepumpe mit thermischen Solarkollektoren vom Effizienzvorteil abgesehen Synergien im Bereich Materialeinsatz, Fertigungstechnik und Montage:

- Doppelnutzung von Absorber und Kollektorgehäuse als Solarabsorber und Luft-Wärmetauscher
- Nur die Hybridkollektoren müssen montiert werden, nicht noch ein separater Luft-Wärmetauscher, ebenfalls entfällt die hydraulische und regelungstechnische Verschaltung der beiden Anlagenteile.

2. Bei neuen Technologien wie SOLAERA ist natürlich das Optimierungspotential wesentlich größer als bei Systemen, die bereits seit Jahren in großen Serien produziert werden.

Somit wird bei entsprechenden Stückzahlen ein Hybridkollektor auf jeden Fall im Vorteil gegenüber einer Kombination von thermischer Solaranlage und Luft-Wärmepumpe sein. Ob der Kostenvorteil auch gegenüber einer Luftwärmepumpe alleine erreicht werden kann, hängt von den weiteren Entwicklungsergebnissen v. a. beim Hybridkollektor und natürlich von der Strompreisentwicklung ab.

5. Entwicklung einer neuen Reglerplattform

Ein wesentlicher Anteil der Entwicklungsarbeiten betrifft die Regelung: Zweifeldlösung, Wärmepumpentarif, Lüfterregelung, Heizkreis- und Kesselregelung. Mit der bisher eingesetzten Hardware sind wir an Grenzen gestoßen. Zusammen mit dem Regelungshersteller von Consolar wurde eine neue Hardwareplattform ausgewählt und die Portierung der Software auf die neue Hardware vorbereitet. Hiermit sind sowohl bzgl. Ein- und Ausgänge, Speicherplatz als auch Internetzugang wesentlich mehr Möglichkeiten gegeben. In den kommenden Wochen soll die Portierung umgesetzt und abgenommen werden, und die Elektrik und Blechkonstruktion des Energiezentrums soll angepasst werden. Anschließend sind mehrere Feldtestanlagen mit dem neuen Regler geplant.

Im Gegensatz zum bisherigen Regler, bei dem immer vor Ort ein PC zur Datenerfassung nötig ist, wird hier ein direkter Internetanschluss möglich sein und damit eine komfortable Überwachung (fast) aller Anlagen.

6. Feldtest

Für das kommende Halbjahr ist der Start der ersten Feldtestphase mit folgenden Systemvarianten (teilweise mehrere Merkmale in der gleichen Anlage) geplant:

- Dachneigung ab 40°
- kleinere Kollektorfläche
- Kesselkopplung mit ein oder zwei Heizkreisen
- Zweifeldkonfiguration
- Effiziente Drehzahlregelung des Kollektorlüfters mit Stufentrafo
- Neue Reglerhardware

Hierzu wurden die neuen Systemmöglichkeiten den Vertriebs- und Installationspartnern kommuniziert und mit Projekten in den nächsten Wochen wird gerechnet. Ein erstes Projekt mit kleiner Kollektorfläche (6 Kollektoren) und einer Neigung von 40° wird in Kürze realisiert.

Fazit

Mit den bisher durchgeführten umfangreichen Arbeiten wurden die wesentlichen für diese Projektphase geplanten Projektziele erreicht. Die Untersuchungen und Entwicklungsergebnisse zeigen, dass integrierte Systemlösungen, in denen die Solarthermie eine zentrale Rolle spielt, bereits heute konkurrenzfähig gegenüber herkömmlichen Heizsystemen sind und in vielfältigen Anwendungen eingesetzt werden können (allerdings bei noch zu kleinen Margen zwischen Herstellkosten und Verkaufspreis). Diese Systeme können einen wichtigen Beitrag leisten zu der im Hinblick auf die Klimaziele notwendigen raschen Reduzierungen der CO₂-Emissionen v. a. im Gebäudebestand.

Die bisherigen Entwicklungsergebnisse sollen ab dem zweiten Halbjahr 2011 im Feld erprobt werden.

Dank

Dank an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt für die Förderung der Entwicklungsarbeiten zum breiten Einsatz eines Solaren Vollversorgungssystems im Gebäudebestand.

Literatur

- /1/ Leibfried, Ulrich; Günzl, Arno; Sitzmann, Bernd: SOLAERA: Solar-Wärmepumpensystem im Feldtest, Tagungsband 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Regensburg., Mai 2008
- /2/ Simulationsstudie Solar-Wärmepumpensystem zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung, Prüfbericht-Nr.: 07SIM109/1, ITW, Stuttgart, 2008
- /3/ Leibfried, Ulrich; Faßnacht, Tillman: Vom Standardgebäude zum Aktiv-Solarhaus mit SOLAERA, Tagungsband 2. Symposium Aktiv-Solarhaus, Luzern, OTTI-Technologie-Kolleg, September 2010
- /4/ Leibfried, Ulrich; Stork, Hans: Wirtschaftlichkeit der Solarheizung SOLAERA im Vergleich zu konventionellen Heizungssystemen, Tagungsband 20. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Regensburg, Mai 2010
- /5/ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Energiedaten, 17.2.2009
- /6/ Wirtschaftlichkeitsanalyse in "Energiesparen durch Wärmepumpenanlagen", Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2005
- /7/ Pressemitteilung der Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz, Wärmepumpen-Angebote auf dem Prüfstand: Schätzkosten der Anbieter liegen unter tatsächlichen Marktpreisen, 17.11.2009
- /8/ Stiftung Warentest Kombi-Solaranlagen, März 2009
- /9/ Lokale Agenda 21 Gruppe Lahr, Feldtest Wärmepumpen 2006-2008, Abschlußbericht, 2008
- /10/ Simulationsstudie Solar-Wärmepumpensystem zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung, Prüfbericht-Nr.: 07SIM109/1, Stuttgart, 2008
- /11/ SOLAERA – Solares Heizen mit Solar-Wärmepumpensystem, CEP-Tagung Solarthermie + Wärmepumpe ..., Tagungsband, Februar 2010
- /12/ M. Pehnt u. a.: Energiebalance. IFEU / Wuppertalinstitut, 2009
- /13/ Leibfried, Ulrich: Integrierte Systemlösungen für Bestand und Neubau als Weg zum Erreichen der Klimaziele, Tagungsband 21. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Regensburg, Mai 2011
- /14/ Energiekosten in Deutschland - Entwicklungen, Ursachen und internationaler Vergleich, Frontier Economics Ltd, London, 2010
- /15/ Ortjohann, Jörg; Solarenergie – Fortbildungsveranstaltung Regenerative Energien des VDI Kölner Bezirksverein, November 2006
- /16/ Boermans, Thomas et al.: 100 Klimaschutzsiedlungen in Nordrhein-Westfalen, Planungsleitfaden, Cluster EnergieWirtschaft.NRW, Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes NRW, September 2009

DBU-Zwischenbericht VollSolar_Bestand_2011_07_23.doc25

Anlagen Solarwärme und Solarstrom

Stand: 22. Januar 2013

ITW Referenzgebäude

Wohnanlage Cabaudes (DIN 4701)

7,00	kW
4	
170	m ²
128	m ²
6000	kWh
2,945	kWh
644	kWh
71,02	MWh/a
21,0	MWh/a
3,950	kWh
2,399	kWh
10,20%	p.a.
5,40%	p.a.
5,20%	p.a.
3,04%	p.a.
19,00%	p.a.

Lebensdauer 20 Jahre

Folgende:

Solarstrom	1
Anlage mit PV	50%
Anlage mit ST	0

Energetischer

Strom konv. o. Speicher	0,297	(48)
Strom konv. WP tariff	0,146	(32)
Übersstrom mit Speichern	0,149	(33)
Übersstrom	0,070	(31)
Übersstrom o. Speichern	0,164	(33)

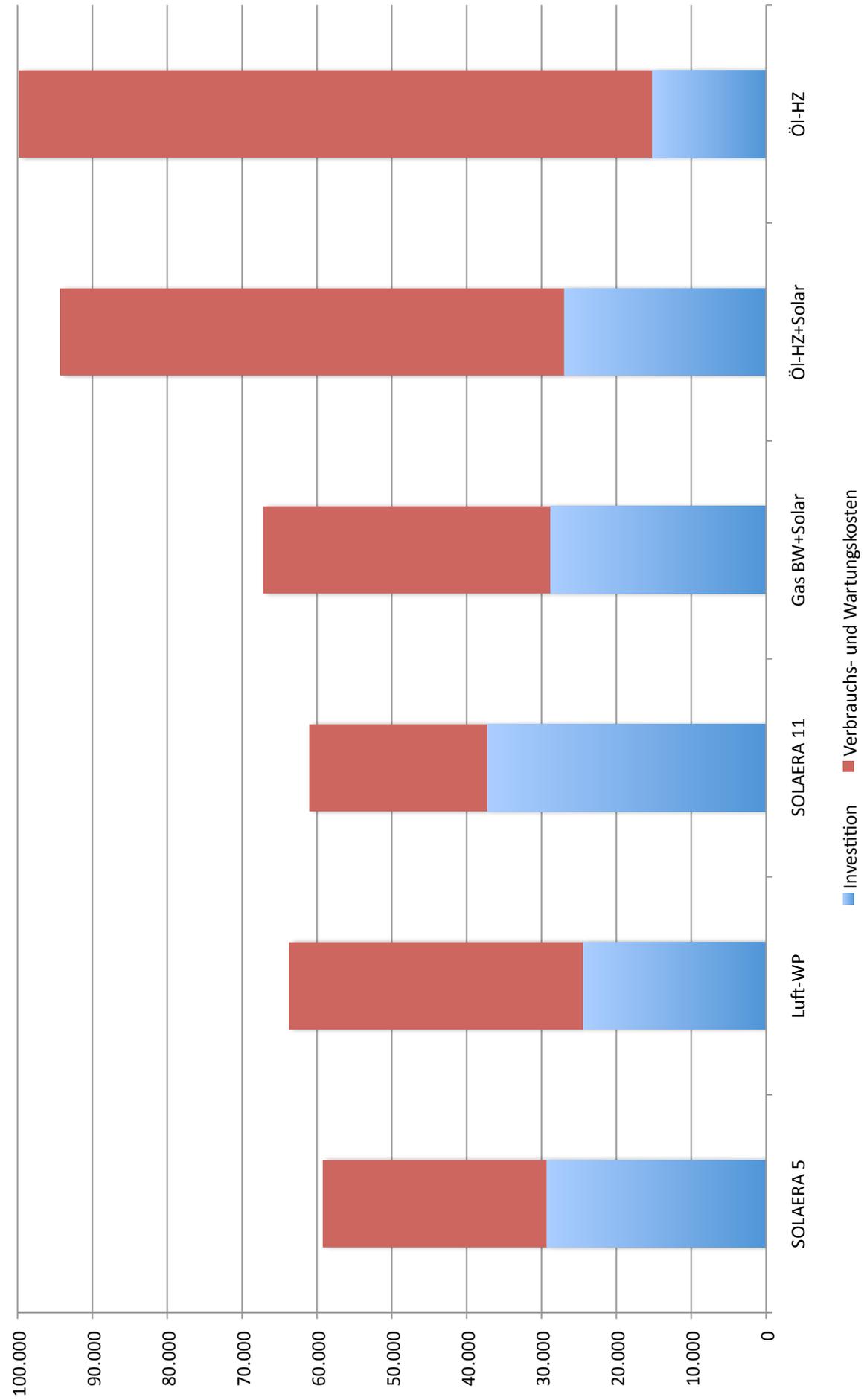
Filch 1
Kosten PV
6.986 € in €
4.305 in kWh

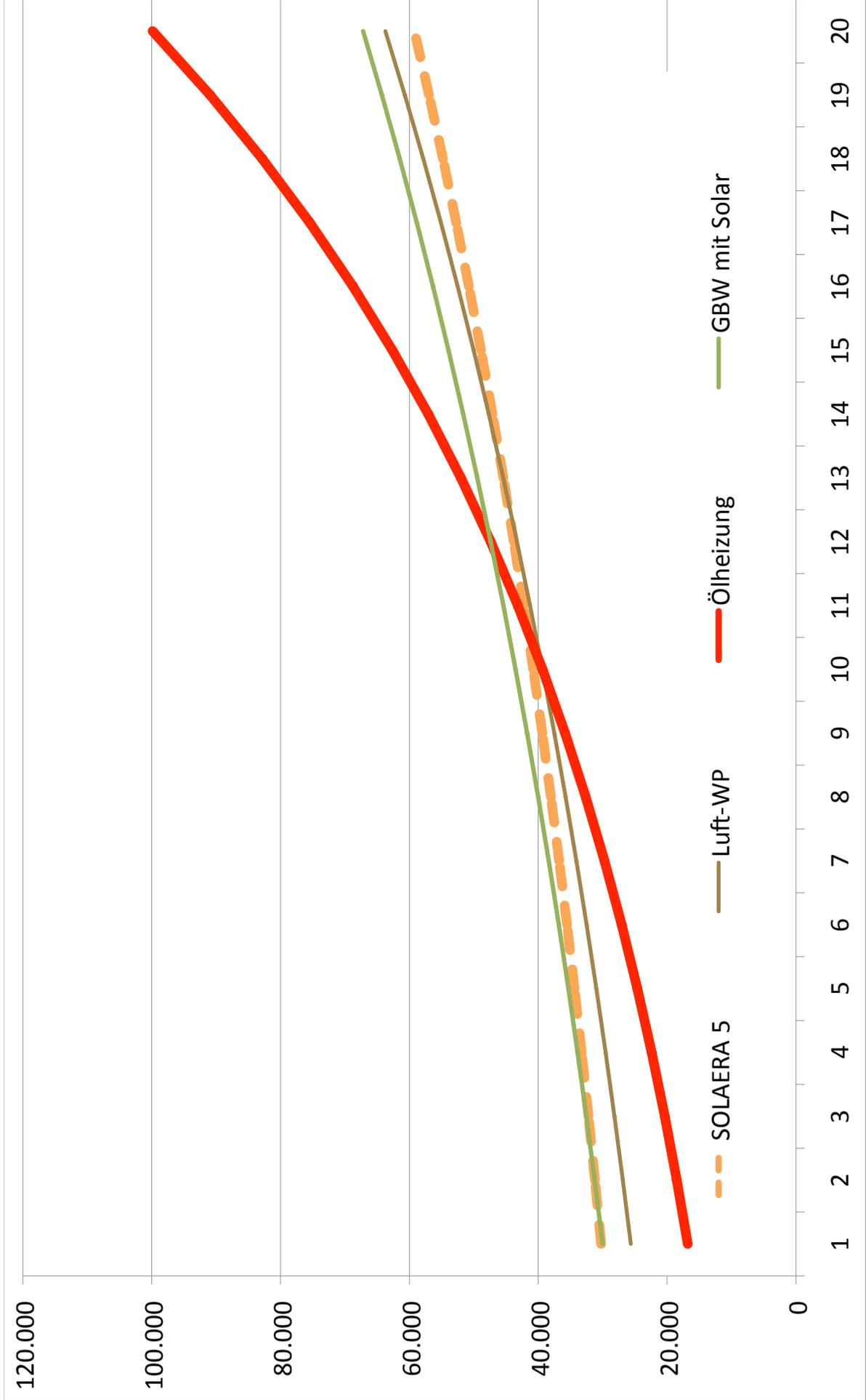
Heizungssysteme	Öl-Zentral-Heizung	Öl-Zentral-Heizung mit Solar	Gas-Brennwert-Heizung	Gas-Brennwert-Heizung (Kohleerz PV)	Gas-Brennwert-Heizung mit Solar	Gas-Brennwert-Heizung mit Solar + PV	Wärmepumpe Luft-Wasser	Wärmepumpe Luft-Wasser + Solar + PV	Wärmepumpe Luft-Wasser + PV	SOLAERA 11 (25kW) mit konv. Strom mit Speichern	SOLAERA 5 (13kW) + PV (3kW) mit konv. Strom mit Speichern
-----------------	--------------------	------------------------------	-----------------------	-------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	------------------------	-------------------------------------	-----------------------------	-------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

Kostendaten	6,09	0,69	0,07	0,07	0,07	0,07	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Energiepreis Wärmepumpe	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Grundpreis/Zählergebühr pro Jahr (29)	0,00	0,00	145,20 (31)	145,20 (31)	145,20 (31)	145,20 (31)	121,30 (33)	121,30 (33)	121,30 (33)	121,30 (33)	121,30 (33)
Wirkungsgrad Heizungsanlage (6)	0,85 (5)	0,85 (5)	0,85 (47)	0,85 (47)	0,85 (47)	0,85 (47)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
System Jahres-Arbeitszahl Agenda Z1 (2) / Consolar (3)	3,500 (11)	3,000 (11)	4,800 (11)	4,800 (11)	4,300 (11)	4,300 (11)	8,700 (11)	8,700 (11)	8,700 (11)	20,328 (1)	20,328 (1)
System Jahres-Arbeitszahl Agenda Z1 (2) / Consolar (3)	4,500 (12)	4,500 (12)	4,500 (12)	4,500 (12)	4,500 (12)	4,500 (12)	5,500 (13)	5,500 (13)	5,500 (13)	5,500 (13)	5,500 (13)
Wärmewasserspeicher	1,500 (11)	1,500 (11)	1,500 (11)	1,500 (11)	1,500 (11)	1,500 (11)	1,800 (11)	1,800 (11)	1,800 (11)	0	0
Gesamtschub	1,250 (11)	1,250 (11)	750 (11)	750 (11)	750 (11)	750 (11)	1,800 (11)	1,800 (11)	1,800 (11)	0	0
Solarstrom	0 (11)	0 (11)	0 (11)	0 (11)	0 (11)	0 (11)	1,800 (11)	1,800 (11)	1,800 (11)	0	0
Wärmepumpeanlage	1,300 (11)	1,300 (11)	1,300 (11)	1,300 (11)	1,300 (11)	1,300 (11)	3,000 (11)	3,000 (11)	3,000 (11)	3,500	3,500
Montage Solaranlage	0 (4)	0 (4)	0 (4)	0 (4)	0 (4)	0 (4)	11,176 (4)	11,176 (4)	11,176 (4)	0	0
Montage Solaranlage	0 (17)	0 (17)	0 (17)	0 (17)	0 (17)	0 (17)	2,000 (17)	2,000 (17)	2,000 (17)	0	0
Engpasspater Regler durch Solaranlage	0	0	0	0	0	0	500	500	500	0	0
Material komplett	5,000	14,176	6,300	15,476	6,300	15,476	13,140	23,817	23,817	27,927	20,828
Montage komplett	1,300	3,300	1,300	3,300	1,300	3,300	3,000	5,000	3,500	3,500	2,850
Summe	€ 12,800	€ 23,976	€ 13,600	€ 14,350	€ 25,526	€ 25,526	€ 21,640	€ 34,317	€ 21,640	€ 36,927	€ 29,178
Solarstromanlage inkl. MwSt	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€
Investitionskosten ohne Förderung inkl. MwSt	15,232	28,532	16,184	17,077	30,377	37,362	47,823	32,738	43,943	50,929	34,722
3. Bundes-/EVU-Förderung	€ 15,232	€ 26,362	€ 16,184	€ 17,077	€ 28,827	€ 35,872	€ 24,482	€ 31,438	€ 37,253	€ 44,239	€ 29,322
Investitionssumme inkl. MwSt	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€
4. Betriebsgebundene Kosten (inkl. MwSt.)	€ 130,00 (11)	€ 180,11+40 (11)	€ 130,00 (11)	€ 180,11+40 (11)	€ 130,00 (11)	€ 180,11+40 (11)	€ 65,00 (11)	€ 160,00 (11)	€ 110,00 (11)	€ 115,00	€ 160,00
Wartung p.a.	€ 70,00 11+41	€ 70,11+41	€ 50,00 11+42	€ 50,11+42	€ 50,00 11+42	€ 50,11+42	€ 50,00 (11)	€ 50,00 (11)	€ 50,00 (11)	€ 50,00 (11)	€ 50,00 (11)
Summe p.a.	€ 200,00	€ 250,00	€ 180,00	€ 230,00	€ 180,00	€ 230,00	€ 65,00	€ 160,00	€ 110,00	€ 115,00	€ 160,00
5. Verbrauchgebundene Kosten	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090	kWh 9,090
Jahres-Wärmebedarf für Heizung (20)	kWh 3,589	kWh 2,945	kWh 3,589	kWh 2,945	kWh 3,589	kWh 2,945	kWh 3,589	kWh 2,945	kWh 2,945	kWh 2,945	kWh 2,945
Jahres-Wärmebedarf für Warmwasser (21) + (kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679	kWh 12,679
Erpassung durch Solaranlage	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 9,636	kWh 12,035	kWh 12,035
von Wärmepumpe zu füllende Nutzfläche	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 12,679	kWh 9,636	kWh 9,636	kWh 12,035	kWh 12,035
Eigenbedarfsanlage Wärmepumpe	kWh 14,916	kWh 11,337	kWh 14,916	kWh 11,337	kWh 14,916	kWh 11,337	kWh 14,916	kWh 11,337	kWh 11,337	kWh 14,916	kWh 14,916
Eigenbedarfsanlage Wärmepumpe	kWh 136,142	kWh 103,468	kWh 136,142	kWh 103,468	kWh 136,142	kWh 103,468	kWh 136,142	kWh 103,468	kWh 103,468	kWh 136,142	kWh 136,142
Hilfsenergie Zusatzheizung (Strom) (44)	kWh 0	kWh 44	kWh 0	kWh 44	kWh 0	kWh 44	kWh 0	kWh 44	kWh 0	kWh 44	kWh 44
Hilfsenergie Solaranlage (Strom)	kWh 0,00	kWh 11,31	kWh 0,00	kWh 11,31	kWh 0,00	kWh 11,31	kWh 0,00	kWh 11,31	kWh 0,00	kWh 11,31	kWh 11,31
Energiekosten Hilfsenergie (Wärmeleistung)	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0
Energiepreisbezug p.a.	€ 490	€ 491	€ 4895	€ 3775	€ 4822	€ 4822	€ 3520	€ 5112	€ 4461	€ 3648	€ 4581
Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum	€ 97,895	€ 98,201	€ 97,893	€ 98,201	€ 97,893	€ 98,201	€ 79,403	€ 102,231	€ 89,230	€ 101,901	€ 85,904
Zinsen über den Betrachtungszeitraum	€ 5,320	€ 9,425	€ 5,653	€ 10,869	€ 5,653	€ 10,869	€ 8,541	€ 16,728	€ 10,891	€ 15,912	€ 10,242
Berwert mit Investitionszeitpunkt mit Preissteigerung	€ 72,627	€ 72,760	€ 48,233	€ 55,950	€ 48,233	€ 55,950	€ 52,178	€ 75,766	€ 66,131	€ 67,906	€ 50,461
Berwert der Energiekosten zum Investitionszeitpunkt mit P	€ 57,395	€ 45,798	€ 32,049	€ 27,123	€ 35,657	€ 30,744	€ 27,726	€ 34,693	€ 34,693	€ 23,667	€ 21,139
6.2 Annahemethode mit Preissteigerung	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82	€ 14,82
Rechnemethode	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82	€ 1,82
Annahemethode	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,07
Jährliche Gesamtkosten	€ 490	€ 491	€ 4895	€ 3775	€ 4822	€ 4822	€ 3520	€ 5112	€ 4461	€ 3648	€ 4581
Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum	€ 97,895	€ 98,201	€ 97,893	€ 98,201	€ 97,893	€ 98,201	€ 79,403	€ 102,231	€ 89,230	€ 101,901	€ 85,904
Zinsen über den Betrachtungszeitraum	€ 5,320	€ 9,425	€ 5,653	€ 10,869	€ 5,653	€ 10,869	€ 8,541	€ 16,728	€ 10,891	€ 15,912	€ 10,242

Strom konv. o. Speicher	0,297	(48)
Strom konv. WP tariff	0,146	(32)
Übersstrom mit Speichern	0,149	(33)
Übersstrom	0,070	(31)
Übersstrom o. Speichern	0,164	(33)
Filch 1		
Kosten PV		
6.986 € in €		
4.305 in kWh		
SOLAERA 11 (25kW) mit konv. Strom mit Speichern	6.650	5.400
SOLAERA 5 (13kW) + PV (3kW) mit konv. Strom mit Speichern	37.253	29.322
Investitionssumme inkl. MwSt	€ 44.239	€ 36.307,70
4. Betriebsgebundene Kosten (inkl. MwSt.)	€ 115,00	€ 160,00
Wartung p.a.	€ 50,00 (11)	€ 50,00 (11)
Summe p.a.	€ 115,00	€ 160,00
5. Verbrauchgebundene Kosten	kWh 9,090	kWh 9,090
Jahres-Wärmebedarf für Heizung (20)	kWh 3,589	kWh 2,945
Jahres-Wärmebedarf für Warmwasser (21) + (kWh 12,679	kWh 12,679
Erpassung durch Solaranlage	kWh 12,679	kWh 9,636
von Wärmepumpe zu füllende Nutzfläche	kWh 12,679	kWh 9,636
Eigenbedarfsanlage Wärmepumpe	kWh 14,916	kWh 11,337
Eigenbedarfsanlage Wärmepumpe	kWh 136,142	kWh 103,468
Hilfsenergie Zusatzheizung (Strom) (44)	kWh 0	kWh 44
Hilfsenergie Solaranlage (Strom)	kWh 0,00	kWh 11,31
Energiekosten Hilfsenergie (Wärmeleistung)	€ 0	€ 0
Energiepreisbezug p.a.	€ 490	€ 491
Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum	€ 97,895	€ 98,201
Zinsen über den Betrachtungszeitraum	€ 5,320	€ 9,425

Heizungssysteme	Öl-Zentral-Heizung	Öl-Zentral-Heizung mit Solar	Gas-Brennwert-Heizung	Gas-Brennwert-Heizung (Referenz PV)	Gas-Brennwert-Heizung mit Solar	Gas-Brennwert-Heizung mit Solar + PV	Wärmepumpe Luft-Wasser	Wärmepumpe Luft-Wasser + Solar + PV	Wärmepumpe Luft-Wasser + PV	SOLAERA 11 mit konv. Strom mit Sperrzeiten	SOLAERA 11 mit konv. Strom mit Sperrzeiten	SOLAERA 5 mit konv. Strom mit Sperrzeiten	SOLAERA 5 (kWh) + PV (kWh) mit konv. Strom mit Sperrzeiten
Endenergieverbrauch (Öl, Gas, Strom)	kWh	14.916	11.381	14.916	11.381	11.381	5.072	3.989	4.763	2.657	1.927	3.473	2.541
Endenergieeinsparung im Vergl. zu konv. Öl	%	82%	-76%	-82%	-76%	-76%	-47%	-25%	-45%	0%	40%	-22%	6%
Endenergieeinsparung im Vergl. zu konv. Öl	%	83%	42%	83%	42%	42%	188%	133%	176%	104%	81%	129%	85%
14,916 kWh/a		0%	24%	0%	24%	24%	86%	76%	86%	86%	87%	77%	85%
Primärenergiebedarf	kWh	16.557	12.688	16.408	12.585	12.585	13.186	9.332	12.383	6.625	5.009	9.029	6.606
Einsparung an Primärenergie von SOLAERA im Vergleich zu Öl	%	-48%	-48%	-60%	-47%	-47%	-50%	-29%	-46%	0%	32%	-27%	0%
Primärenergieverbrauch im Vergleich zu Öl	%	250%	192%	248%	190%	190%	199%	141%	187%	100%	76%	136%	100%
Primärenergieeinsparung im Vergl. zu konv. Öl	%	0%	23%	1%	24%	24%	20%	44%	25%	60%	70%	45%	60%
16,557 kWh/a													
CO2-Ausstoß gesamt	kg/a	4.505	3.452	3.640	2.784	2.784	3.246	2.297	3.048	1.631	1.233	2.222	1.626
Einsparung an CO2 von SOLAERA im Vergleich zu Öl	%	-82%	-80%	-53%	-39%	-39%	-47%	-25%	-43%	6%	40%	-	-
CO2-Ausstoß im Vergleich zu SOLAERA	%	281%	200%	211%	162%	162%	188%	133%	177%	94%	71%	129%	94%
CO2-Einsparung im Vergl. zu konv. Ölkessel	%	0%	23%	19%	38%	38%	28%	49%	32%	12,74	10	17,36	12,70
4,505 kWh/a		26	20	21	16	16	19	14	18	10	7	13	10
Energiekosten der Anlage kumuliert in 20	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energiekostenverhältnis im Vergleich zu Öl	%	209%	161%	183%	146%	146%	172%	221%	256%	96%	170%	123%	188%
Energiekosten der Anlage p.a.	€	1.361	1.046	1.189	2.154	2.154	1.116	1.437	1.665	621	1.108	803	1.229
Einsparungsvergütung p.a.	€	0	0	0	0	0	0	-425	-464	-374	-374	-324	-324
Energiekosten pro m² Wohnfläche p.a.	€/m²	8,01	6,15	7,00	12,67	12,67	6,57	8,45	9,79	3,65	6,52	4,72	7,23
Energiekosten pro kWh Wärmeleistung	€/kWh	0,11	0,09	0,09	0,17	0,17	0,09	0,12	0,13	0,05	0,09	0,07	0,10
Gesamtkosten der Anlage p.a. (Annuität)	€	4.900	4.910	3.254	4.895	3.775	3.520	5.112	4.461	3.648	4.581	3.404	4.290
Gesamtkostenverhältnis im Vergleich zu SOLAERA	%	138%	139%	92%	136%	107%	99%	144%	126%	103%	129%	96%	121%
Gesamtkosten pro m² Wohnfläche p.a.	€/m²	28,82	28,88	19,14	28,79	22,20	20,71	30,07	26,24	21,46	26,95	20,03	25,24
Wärmepreis (€/kWh) für Heiz- und WW-Bedi	€/kWh	0,41	0,41	0,27	0,41	0,31	0,29	0,42	0,37	0,30	0,38	0,28	0,36





Programm Jahrestreffen 2013 1. - 2. März 2013				
Start	Dauer	Ende	Präsent. Nr.	Themen / Inhalte
13:30	00:10	13:40		Eintreffen/ Registrierung
13:40	00:05	13:45	01	Vorstellung Agenda und Begrüßung
13:45	00:20	14:05	02	Vorstellung der GVs insb. der Neuen
14:05	00:20	14:25	03	Begrüßungs-Ansprache (inkl. 10 min Diskussion)
14:25	00:10	14:35	04	Änderungen und Neuheiten Standardprodukte
14:35	00:30	15:05	05	<p>SOLAERA: Ergebnisse von Entwicklungsprojekt zur breiteren Anwendung</p> <p>1. Erfahrungen und Ergebnisse mit den neuen Funktionen (mit Fotos und ggf. Messkurven): Größere Leistung und höhere VL-Temp.: - Kesselkopplung mit 2 Heizkreisen bei großer Leistung und einem Radiatorenkreis - Kesselkopplung mit 1 Heizkreis bei großer Leistung und einem Radiatorenkreis - Drehzahlregelung Kesselpumpe mit C702SWP</p> <p>Schnee: - Schutz des Lüfteraustritts - Schneeabrutschfunktion - Schneebleche bei mehreren Kollektorreihen übereinander Zweifeldregelung und Tipps zur Anwendung bei Feldern mit Teilbeschattung</p> <p>Lüftersteuerung - Drehzahlregelung mit Trafo und neueste Erkenntnisse - Effekte der Lüftervereisung und neueste Erkenntnisse</p> <p>2. Neue Reglergeneration C702SWP - Internet-Anschluss => siehe workshop - Neue und verbesserte Funktionen - Möglichkeiten + Grenzen WW-Nachheizung > 60 °C</p> <p>3. Neue Hardware Energiezentrum (am Objekt zeigen) - Professionellere und montagefreundlichere Ausführung nochmals vorstellen</p> <p>4. Weitere Neuerungen - Bypass für 3 bis 4 Kollektoren (auf Anfrage noch nicht Serienprodukt) - EZ mit 230 V-WP (auf Anfrage noch nicht Serienprodukt) - Beispiel Sonderanpassung für Großprojekt: zweiteiliges EZ - Möglichkeit für dezentrale WW-Bereitung über 2-Leiter-System</p>
15:05	00:30	15:35	06	SOLAERA Wirtschaftlichkeit Wirtschaftlichkeit und Primärenergie-Einsparung
15:35	00:30	16:05		Kaffeepause mit Stückchen
16:05	00:30	16:35	07	Internet-Regler-Portal: Präsentation
16:35	01:30	18:05	08+10	<p>Workshop 1: Neue Regler-Funktionen und Portal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einloggen der Partner - Konzept TR-Touch - Portal-Weiterentwicklung - Bus Anbindung <p>Parallel mit folgendem Workshop zwei etwa gleich große Gruppen, Wechsel am Samstag</p> <p>Workshop 2: Qualitätsverbesserungs mit Regler-Portal</p> <p>Erarbeitung von erweiterten Maßnahmen zur Qualitäts- und Ertragssicherung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Funktionsüberwachung mit Störmeldungen per SMS / Email - Ertrags-/Verbrauchs-/Einsparkontrolle über Portal
18:05	00:45	18:50	09	Vortrag Gerhard Stry-Hipp: Perspektiven der Solarthermie im Kontext der Erneuerbaren Energien
18:50				Ende des 1. Tages