



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 19.12.2014

Einbindung von Solarabsorbern mit Wärmepumpe in einen Nahwärmeverbund

Baugenossenschaft Sonnengarten in Zürich

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Solarwärme und Wärmespeicher
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

naef energietechnik ag
Jupiterstrasse 26
CH-8032 Zürich
www.naef-energie.ch

Autoren:

René Naef, naef energietechnik ag, naef@naef-energie.ch
Sybille Stemmler, naef energietechnik ag, stemmler@naef-energie.ch

BFE-Bereichsleiter:	Walter Eckmanns Sektion Energieforschung, Mühlestrasse 4, 3063 Ittingen
BFE-Programmleiter:	Jean-Christoph Hadorn Base consultants SA, 8 rue du Nant, 1207 Genève
BFE-Vertragsnummer:	SI/500631-01

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

Zusammenfassung

Viele Siedlungen in der Schweiz sind in einem Nahwärmeverbund zusammengeschlossen. Im Rahmen dieses Pilot- und Demonstrationsprojekts wurde eine bestehende Warmwasser-Unterstation in einem Nahwärmeverbund mit Solarabsorbern und einer Wärmepumpe nachgerüstet. Ziel ist es, die Fernleitung im Sommer abzustellen und im Winter nach der Heizkurve der Wärmeverteilung betreiben zu können.

Für die ca. 66 Bewohner kann mit 65 m² Absorberfläche und der Wärmepumpe ein Solarertrag von 450 kWh/m² (optimiert ca. 540 kWh/m²) erreicht werden. Die Direktnutzung der Solarwärme (ohne den Betrieb der Wärmepumpe) betrug 244 kWh/m². Insgesamt läuft die Anlage zufriedenstellend.

Es wird davon ausgegangen, dass mit einer optimierten Regelstrategie der Ladung des bestehenden Boilers in den Tageszeiten mit hoher Globalstrahlung der solare Ertrag und die Arbeitszahl der Wärmepumpe um knapp 20% gesteigert werden kann. Damit Anlagen dieser Art in Zukunft realisiert werden können, müssen die Anlagekosten mit Vereinfachungen verringert werden.

Résumé

En Suisse, beaucoup de quartiers sont reliés à un petit réseau de chauffage urbain.

Dans le cadre de ce projet pilote, une sous-station de réseau de chauffage urbain a été modernisée avec des capteurs solaires et une pompe à chaleur travaillant en local, pour le bâtiment relié. L'objectif était de pouvoir arrêter la fourniture par le réseau en été, et en hiver de mieux suivre la courbe de chauffage pour l'immeuble concerné et non pas la consigne du réseau qui peut péjorer les pompes à chaleur.

Pour environ 66 résidents, 65 m² d'absorbeurs solaires ont été mis en œuvre. La productivité mesurée a été de 450 kWh/m² (si on optimise elle pourrait monter à environ 540 kWh/m²). L'utilisation en direct de la chaleur solaire (soit sans passer par la pompe à chaleur) a été de 244 kWh/m². Dans l'ensemble, le système fonctionne de manière satisfaisante.

Il est probable qu'avec une meilleure stratégie de réglage, notamment en ce qui concerne la charge du boiler existant par le solaire en direct, les apports solaires puissent être augmentés de près de 20%. A l'avenir pour généraliser de telles installations, il faut encore réduire encore les investissements nécessaires ou augmenter la productivité par une meilleure stratégie de gestion des sources.

Abstract

A lot of residential developments in Switzerland join a little local heating plant. In the context of this pilot and demonstration project, an existing substation to generate hot water was upgraded with solar collectors and a heat pump. It is the goal to shut down the trunk line during summer time and to operate the facility in winter according to the heat curve of the thermal distribution.

With 65m² surface of solar absorbers and the heat pump, a solar gain of 450 kWh/m² (optimised approx. 540 kWh/m²) can be generated for the 66 residents. The direct use of the solar heat (without the operation of the heat pump) added up to 244 kWh/m². At large the facility works satisfactorily.

With an optimised regulation of the charge of the existing boiler in times of day with high global radiation, the solar gain could probably be raised by about 20%.

In order that facilities of this kind can be realised in the future, installation costs have to be reduced with simplifications.

Inhalt

1.	Ausgangslage	5
1.1.	Relevanz der Fragestellung	5
1.2.	Die Beispielsiedlung: Siedlung Rütihof 2	6
2.	Ziel der Arbeit	7
2.1.	Kurzbeschreibung der Anlage	7
2.2.	Projektziele	8
3.	Vorgehen / Methode	9
3.1.	Installation der Anlage	9
3.2.	Auswertung der Daten	10
3.2.1	Datengrundlage	10
3.2.2	Auswertung der Daten	10
3.2.3	Simulation mit Polysun	10
4.	Ergebnisse / Erkenntnisse	11
4.1.	Installierte Anlage	11
4.1.1.	Unverglaste Kollektoren	12
4.1.2.	Wärmepumpe	13
4.1.3.	Warmwasser-Speicher (Vorwärmer 1 + 2)	13
4.1.4.	Steuerung	13
4.2.	Regelbeschreibung	14
4.3.	Ergebnisse: Jahresbetrachtung	15
4.3.1	Energieflüsse im ersten Betriebsjahr	15
4.3.2	Solarertrag der unverglasten Kollektoren	16
4.4.	Ergebnisse: verschiedene Betriebszustände	17
4.4.1	Ladung der Vorwärmer 1 + 2	18
4.4.2	Solarabsorber als Wärmequelle der Wärmepumpe	20
4.4.3	Solarabsorber in der Nacht (über Wärmepumpe betrieben)	24
4.4.4	Rücklauf der Fernleitung als Wärmequelle der Wärmepumpe	25
4.5	Ergebnisse der Polysun-Simulation	27
5.	Diskussion	29
5.1	Gesamtbetrachtung der Energieflüsse	29
5.2	Beurteilung des Solarertrags	31
5.3	Regelungsstrategie: Verbesserungspotential	34
5.4	Vergleich Energiekosten	35
6.	Schlussfolgerungen / Ausblick	36
6.1	Vereinfachung der Anlage	36
6.2	Planungsgrundsätze	36
6.2	Ausblick	37
	Referenzen	38
	Anhang	39

1. Ausgangslage

1.1. Relevanz der Fragestellung

Die Schweiz verfügt über ungefähr 1.67 Mio. Wohnbauten, wovon beinahe 9% (147'909 Gebäude) eine „Zentralheizung für mehrere Gebäude“ aufweisen [1]. Es dürfte sich dabei in der Mehrzahl um Ein- und Mehrfamilienhäuser handeln, die in einem Nahwärmeverbund zusammengeschlossen sind.

Es existieren verschiedene Varianten, wie ein Nahwärmeverbund ausgestaltet sein kann:

- Heizung und Warmwasser zentral für mehrere Gebäude
- Heizung zentral für mehrere Gebäude, Warmwasser pro Gebäude dezentral
- Heizung zentral für mehrere Gebäude, Warmwasser wohnungsweise (eher selten)
- Warmwasser zentral für mehrere Gebäude, Heizung pro Gebäude dezentral (selten)

Insbesondere wenn nicht nur die Heizung, sondern auch das Warmwasser zentral für mehrere Gebäude bereitgestellt wird, stellen sich Probleme:

- In vielen Siedlungen mit Warmwasser-Unterstationen werden die Öl- und Gaskessel selten oder nie in einer kondensierenden Phase betrieben, da die Warmwasserbereitstellung höhere Temperaturen erfordert. Die Kondensation bei Gas-Brennwertkesseln beginnt erst bei Rücklauftemperaturen unterhalb von ca. 55°C. Der Kesselwirkungsgrad erhöht sich ab einem Wirkungsgrad von ca. 95% mit tiefer werdender Rücklauftemperatur (z.B. 40°C) auf ca. 106%.
- Die Fernleitungen sind ganzjährig im Betrieb. Zusätzlich werden sie wegen der häufigen Anforderungen der Warmwasserspeicher der Unterstationen praktisch ganzjährig auf hohem Temperaturniveau betrieben. Entsprechend sind auch die Verluste über die Fernleitung relativ hoch.

Es müssen Lösungen gefunden werden, die Fernleitungen nur wenn nötig und auf möglichst tiefem Temperaturniveau zu betreiben. Ein Lösungsansatz besteht in der solarthermischen Nachrüstung von Nahwärmeverbänden. Eine solche Nachrüstung sollte technisch einfach und kosteneffizient sein. Allerdings ist die Integration von Solarthermie in einen Nahwärmeverbund eine anspruchsvollere Aufgabenstellung als die solarthermische Nachrüstung einer Zentralheizung. Es fanden in der Vergangenheit bereits Pilot- und Demonstrationsprojekte zu diesem Thema statt [2, 3]. Insgesamt ist die Literatur zu diesem Thema aber begrenzt und primär auf Neubauten ausgerichtet [z.B. 4], in Deutschland wurde/wird ferner die saisonale Wärmespeicherung von solarer Nahwärme erforscht [5, 6].

Dieses P&D-Projekt beschreibt ferner die Kombination von Wärmepumpe und Solaranlage. Es gibt sehr unterschiedliche Varianten, diese beiden Technologien zu kombinieren und die Effizienz solcher Anlagen ist von zahlreichen Parametern abhängig, was in verschiedenen Forschungsberichten untersucht wurde (beispielsweise IEA Task 44 / Annex 38 „Solar and Heat Pump Systems“ [7]). Für den vorliegenden Bericht wurden insbesondere die Resultate des Projektes SOL-HEAP berücksichtigt [8].

1.2. Die Beispielsiedlung: Siedlung Rütihof 2

Als Beispiel für eine typische Siedlung mit einem Nahwärmeverbund kann die Siedlung Rütihof 2, 8049 Zürich der Baugenossenschaft Sonnengarten gelten. Die Kenndaten der Siedlung finden sich in Tabelle 1.

Die Siedlung besteht aus mehreren Mehrfamilienhäusern und wird durch einen Nahwärmeverbund mit Wärme beliefert (siehe Abbildung 1). Sowohl die Raumwärme wie auch das Warmwasser werden zentral durch einen Gaskessel bereitgestellt und die Fernleitung ist ganzjährig in Betrieb. Das Warmwasser wird in Unterstationen gespeichert. Die in Kap. 1.1 skizzierten Probleme treffen auch auf diese Siedlung zu.

Aufgrund eines Antrags von einem Mitglied erhielt die Baugenossenschaft den Auftrag, die vermehrte Nutzung von Sonnenenergie zu prüfen. In der Folge wurde für die Siedlung Rütihof 2 das in Kap. 4 beschriebene Projekt ausgearbeitet mit dem Ziel, die Verluste aufgrund der Fernleitung zu reduzieren. Es wird davon ausgegangen, dass die Siedlung Rütihof 2 typisch ist für eine Siedlung mit Nahwärme und die Resultate an anderen Orten daher gut replizierbar sind.

Baujahr	1997
Energiebezugsfläche EBF	ca. 3570m ²
Anzahl Personen	ca. 66
Wärmeverteilung	Radiatoren
Wärmeverbrauch Heizung + Warmwasser	240'000 kWh/a
Wärmeverbrauch Warmwasser	78'000 kWh/a Messung 2010 Messungen ca. 165 kWh/d
Wärmeverbrauch Warmwasser (Messungen)	Min. 143 kWh/d Max. 236 kWh/d

Tabelle 1 - Kenndaten der Siedlung Rütihof 2, Wohnblock Geeringstr. 57/59/61



Abbildung 1 – Karte Siedlungen Rütihof (roter Kreis: Geeringstr. 61)

2. Ziel der Arbeit

2.1. Kurzbeschreibung der Anlage

Ziel der installierten Anlage:

- die Fernleitung kann im Sommer abgestellt werden
- die Fernleitung wird im Winter mit tieferen Temperaturen betrieben (ca. 40°C – 50°C für die Radiatoren-Gruppe, Heizkurve Radiatoren)

Die Siedlungen Rütihof 1/2/3 bestehen aus mehreren Mehrfamilienhäusern. Die Baugenossenschaft hat sich entschlossen, eine Pilotanlage für die drei Mehrfamilienhäuser Geeringstrasse 57/59/61 zu bauen. Wenn sich das System bewährt, können die übrigen Gebäude der Siedlung Rütihof mit identischen oder ähnlichen Anlagen nachgerüstet werden.

Die drei gewählten Mehrfamilienhäuser weisen eine bestehende gemeinsame Unterstation für Warmwasser auf. Im Rahmen dieses Pilotprojekts wurden auf dem Flachdach der Geeringstrasse 61 unverglaste, selektiv beschichtete Solarabsorber installiert. Im Technikraum wurden neu zusätzlich eine Warmwasser-Wärmepumpe sowie zwei Speicher als solare Vorwärmer installiert.

Diese Anlage stellt das Warmwasser auf drei verschiedene Varianten bereit:

- die Solarenergie kann in die Vorwärmer abgegeben werden
- an schönen Tagen im Sommer: Die Solarwärme wird direkt in den bestehenden Warmwasser-Speicher abgegeben
- alternativ kann die Solarwärme als Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt werden.
- Im Winter dient der Rücklauf der Fernleitung als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Die Heizung wird über das Nahwärmenetz betrieben und mit dieser Massnahme wird die Rücklauf-Temperatur der Fernleitung gesenkt.

Der technische Beschrieb der Anlage findet sich in Kap. 4.1 und Kap. 4.2.

Durch diese technische Nachrüstung soll die Fernleitung im Sommer abgestellt werden können und im Winter auf tieferer Temperatur gefahren werden können. Damit dies möglich wäre, müssten alle Gebäude der Siedlung Rütihof mit einer entsprechenden Anlage nachgerüstet werden.

2.2. Projektziele

Dieser Projektbericht gibt Antworten auf folgende Themen:

Technische Einbindung von Solarwärme und Wärmepumpe in einen bestehenden Nahwärmeverbund:

- Wie ist die Einbindung von Solarabsorbern mit Wärmepumpe in ein System mit Unterstationen in einem Nahwärmeverbund hydraulisch und regeltechnisch zu lösen?
- Bis zu welchen klimatischen Aussenbedingungen soll der Solarabsorber zusammen mit der Wärmepumpe betrieben werden? Wann ist der Betrieb mit der Fernleitung energetisch sinnvoller?
- Eignen sich die eingesetzten Kollektoren (unverglaste, selektiv beschichtete Solarabsorber) für diese Anlage? Lassen sich die Kondensationswärme-Gewinne dieser Solarabsorber ermitteln, bzw. sind sie relevant?

Bestimmung des energetischen Verbesserungspotentials mit der Einbindung von Solarwärme in Wärmepumpensysteme

In diesem Projekt wurde eine MFH-Siedlung mit zentraler Heizung und Warmwasser-Versorgung mit Unterstationen umgerüstet, so dass das Warmwasser nun dezentral bereitgestellt wird. Welche Energieeinsparung (in kWh) kann damit erreicht werden und wie viel Primärenergie wird dabei eingespart? Wie hoch sind die damit verbundenen Treibhausgasemissionen?

Vergleich des Simulationsprogramms Polysun mit den effektiv gemessenen Werten

Die Simulation mit Polysun dient dazu, die Messwerte mit den theoretisch zu erzielbaren Werten zu vergleichen. So sollen in einem zweiten Schritt verschiedene Regelstrategien ausgetestet werden können.

Entwicklung einer replizierbaren Methodik, um ähnliche Projekte effizient anzugehen.

Im Kap. 6.2 finden sich Planungsgrundsätze für die Einbindung von Solarabsorbern in ein System mit Fernleitung und Wärmepumpe.

Dieses P- & D-Projekt betrachtet eine bestehende Anlage, die solarthermisch nachgerüstet wird. Das Projekt soll aber auch Hinweise geben, worauf bei der Planung von neuen Anlagen zu achten ist und wie diese Anlagen kostengünstiger realisiert werden können.

3. Vorgehen / Methode

3.1. Installation der Anlage

Im Rahmen dieses P&D-Projektes wurde die Anlage mit zusätzlichen Wärmezählern und Fühlern ausgestattet. Diese Zähler und Temperaturen werden mit einer SPS erfasst, ein Online-Zugriff auf die Anlage erlaubt es, die Werte abzulesen und auszuwerten. Der Ablauf der durchgeführten Arbeiten und die verantwortlichen Personen / Firmen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Zeitpunkt	Arbeit	Firma / Ansprechpartner
Ende 2010 / Anfangs 2011	Planung der Anlage (Gesuch für P&D-Projekt eingereicht)	
März 2011	Kontrolle Hydraulik	Jürg Marti (Marti Energietechnik)
2011	Projektverzögerungen aufgrund Baubewilligung	
Aug./Sept. 2011	Übergabe der Ausführung an die Firma Müller.Bucher, Zürich	Peter Schiller (Müller.Bucher)
	Erarbeitung Regelbeschrieb	Urs Howald (KWT) René Naef (naef energietechnik ag)
Ende Okt. 2013	Installation der Kollektoren, Wärmepumpe und Anpassungen im Technikraum, inkl. Fühler und Wärmezähler + Inbetriebnahme abgeschlossen	Richard Güttinger (Solarline)
Sommer 2014	Online-Zugriff auf Daten wird eingerichtet	Urs Howald (KWT)
Sommer 2014	Installation Fühler für Globalstrahlung	
Dez. 2014	Abschlussbericht P&D-Projekt	Sybille Stemmler, René Naef (naef energietechnik ag)

Tabelle 2 – Ablauf der Arbeiten und zuständige Personen

3.2. Auswertung der Daten

3.2.1 Datengrundlage

Die Datengrundlage für die in Kapitel 4.3ff. aufgeführten Resultate lassen sich in zwei Phasen einteilen:

Ab 25.11.2013: Ablesungen „von Hand“

Der Online-Zugriff auf die Anlage war noch nicht möglich. Der Hauswart der Siedlung hat an ausgewählten Tagen die Zähler abgelesen und die Daten notiert.

15.9.2014 – heute: Ablesungen Online

Der Online-Zugang (ausgeführt durch den Wärmepumpen-Hersteller KWT) auf die Anlage ist nun möglich. Die Daten werden in der Messperiode für die Auswertungen alle 10 Sekunden abgespeichert und liegen für die Auswertung als CSV-File vor. Die Messdaten mussten uns von der Firma KWT zur Verfügung gestellt werden.

Am Anfang der Auswertung wurden nicht alle gewünschten Temperaturen übermittelt.

3.2.2 Auswertung der Daten

Die Online-Messwerte wurden nach Betriebszuständen der Anlage ausgewertet:

- Sommer (solar direkt)
- Die Solarabsorber dienen als Wärmequelle der Wärmepumpe
- Winter: der Rücklauf der Fernleitung dient der Wärmepumpe als Wärmequelle
- Nachtbetrieb mit Solarabsorber als Wärmequelle der Wärmepumpe

Weiter wurde das Gesamtsystem über ein Jahr bilanziert und mit dem bisherigen Energieverbrauch verglichen.

3.2.3 Simulation mit Polysun

Die Anlage wurde simuliert mit der Software *Polysun*, Version 7.1.10 vom 21.11.2014. Zur Simulation musste die Anlage vereinfacht werden.

4.1.1. Unverglaste Kollektoren

Auf dem Flachdach der Geeringstr. 61 wurden unverglaste, selektiv beschichtete Solarabsorber installiert:

Hersteller: Energie Solaire SA, Sierre
Produkt: AS (SPF C1209)
Fläche: ca. 65m² (2 Felder à je 4 x 4 Kollektoren)
Neigung: 15°
Ausrichtung: -6° (O=+90°, S=0°, W=-90°)

Das Datenblatt des eingesetzten Kollektors befindet sich im Anhang II.

Die eingesetzten Solarabsorber bieten einige Vorteile:

- Sie eignen sich gut als Wärmequelle für die Wärmepumpe, da sie bei tiefer Absorbtemperatur (wie das als Vorlauftemperatur für die Wärmepumpe ausreichend ist) hohe Erträge liefern. Es ist davon auszugehen, dass der Jahresertrag der gewonnenen Wärme des Solarabsorbers wegen den tieferen Systemtemperaturen höher ist als bei verglasten Kollektoren, die nur für die Warmwasserbereitung genutzt werden. Bei unverglasten Kollektoren (Absorbern) der Betrieb unter der Aussentemperatur möglich. Eine Kondenswasserbildung ist bei unverglasten Kollektoren kein Problem. Eine Kondenswasserbildung wäre aber bei verglasten Kollektoren nicht zulässig.
- Sie sind günstiger als verglaste Kollektoren (Kosten Absorber: ca. 320.-- /m²). Heute konkurrenzieren sich Wärmepumpe und Solarkollektoren wegen den hohen Investitionskosten oftmals. Wären die Kosten für Kollektoren tiefer, dann könnten allenfalls mehr Bauherrschaften von einer Kombination von Wärmepumpe und Kollektoren überzeugt werden.
- Der Solarabsorber ist ein betreffend Stillstandstemperatur unproblematischer und solider Kollektor.
Unverglaste, selektive Kollektoren weisen erheblich tiefere Stillstandstemperaturen (ca. 105°C) auf als verglaste Kollektoren oder Vaku umröhrenkollektoren. Dies verhindert Überhitzungsprobleme, wie sie bei grossflächigen Sonnenkollektoranlagen mit zu kleinen Speichern und bei geringem Warmwasserbedarf (im Sommer bei Ferienabwesenheiten) auftreten können. Dies führt zu Problemen wie Verkalkung von Wärmetauschern, Dampfschlagern in Anlagen (wenn Dampf in eine Flüssigkeit transportiert wird) und Verkokung der Leitungen und Kollektoren wegen zu hohen Temperaturen des Wasser/Glykol-Gemisches. Die damit verbundenen Ertragseinbussen werden oft nicht rechtzeitig erkannt. und die Anlagen erreichen die prognostizierten Werte nicht, worunter auch die Wirtschaftlichkeit leidet.
- Weiter ist davon auszugehen, dass die Unterhaltskosten (Auswechslung Frostschutz) für die unverglasten Solarabsorber tiefer liegen.
- Die Solarabsorber können auch bei Absorbtemperaturen unterhalb der Aussentemperatur (z.B. in der Nacht oder an bewölkten Tagen) betrieben werden und sind dann mit Luft/Wasser-Wärmetauschern gleichzusetzen.



Abbildung 3 – die Kollektoren sind aufgeständert auf dem Flachdach



Abbildung 4 – Kollektorenfeld: 4 x 4 Kollektoren (installiert wurden 2 Kollektorenfelder dieser Grösse)

4.1.2. Wärmepumpe

Eine für diese Anwendung geeignete Wärmepumpe muss hohe Quelltemperaturen (Temperaturniveau VL ca. 30°C) nützen können.

Hersteller: KWT Kälte-Wärmetechnik AG, Worb
 Produkt: Spezialprodukt, Bitzer, Verdichtertyp 4DES-5Y
 Heizleistung: 16.1kW (bei B10/W60)
 COP: 3.24
 Kältemittel: R134a
 Betrieb: 1-stufig

4.1.3. Warmwasser-Speicher (Vorwärmer 1 + 2)

Es wurden 2 Email-Speicher à je 800 Liter als Vorwärmer eingebunden. Ursprünglich war ein 1500-Liter-Speicher geplant gewesen, aus Platzgründen wurde dann ein Konzept mit zwei kleineren, in Reihe geschalteten Speichern gewählt.

Hersteller: Speicher-Technik AG, Adliswil
 Produkt: ATV800

4.1.4. Steuerung

Eine frei programmierbare SPS Steuerung (Spezial-Steuerung Saia) ist in Wärmepumpe integriert. Der Regelbescrieb findet sich in Kapitel 4.2.

4.2. Regelbeschreibung

Das Ziel ist, die Fernleitung im Sommer abzustellen, sowie im Winter auf niedriger Temperatur betreiben zu können. Die Absenkung der Temperatur im Winter hätte weniger Verluste durch die Fernleitung zur Folge. Ausserdem steht im Rütihof in den kommenden Jahren der Ersatz des Gaskessels an. Mit einer Absenkung der Temperatur könnte der neue Gaskessel öfter in der kondensierenden Phase betrieben werden, der Wirkungsgrad wäre besser und der Gasverbrauch tiefer.

Die installierte Anlage erwärmt das Warmwasser auf drei verschiedene Arten (Beschrieb siehe unten). Der Regelbeschrieb der Anlage findet sich in Anhang III.

Vorwärmer 1 + 2 erwärmen (Priorität 4)

Steigt die Temperatur an einem der beiden Solarabsorber 6K über die Temperatur des Vorwärmers 1 oder 2, dann beginnt die Ladung der Vorwärmer (über einen externen Plattenwärmetauscher). Die Ladung wird beendet wenn:

- die Temperatur am Solarpanel weniger als 3K über der Temperatur unten im Vorwärmer 1 liegt oder
- die Temperatur vor dem Plattenwärmetauscher höher ist als der Sollwert des Boilers. Dann wird umgeschaltet auf solare Direktnutzung (siehe Variante 1).
- die Bedingungen für Variante 2 eintreten

Variante 1: Solare Direktnutzung (Hochsommer) (Priorität 3)

Wird beim Erwärmen der Vorwärmer 1 + 2 auf die solare Direktnutzung umgeschaltet (siehe oben), dann wird der 2000-Liter-Boiler direkt (über den externen Plattentauscher) geladen. Auf diese Weise werden alle Brauchwarmwasser-Speicher durchgeladen.

Variante 2: Solarabsorber als Wärmequelle der Wärmepumpe (Übergangszeit) (Priorität 1)

Dieser Fall tritt ein, wenn die Temperatur oben im Boiler 6K unter dem Sollwert des Boiler und die Aussentemperatur oberhalb des Sollwerts für die Freigabe der Wärmegewinnung ab Solarabsorber liegt. Nun dienen die Solarabsorber direkt als Wärmequelle für die Wärmepumpe.

Die BWV-Vorlauftemperatur wird so geregelt, dass der Boiler in einem Durchgang (auf ca. 50°C) geladen wird.

Variante 3: Rücklauf der Fernleitung als Wärmequelle der Wärmepumpe (Winter) (Priorität 2)

Dieser Fall tritt ein, wenn die Temperatur oben im Boiler 6K unter dem Sollwert des Boiler und die Aussentemperatur unterhalb des Sollwerts für die Freigabe der Wärmegewinnung ab Solarabsorber liegt. Nun dient der Rücklauf der Heizung (betrieben über den Nahwärmeverbund) als Wärmequelle für die Wärmepumpe.

Die BWV-Vorlauftemperatur wird so geregelt, dass der Boiler in einem Durchgang (auf ca. 50°C) geladen wird.

Sollwerte:

- Boiler oben: 55°C
- Freigabe der Wärmepumpe zur Wärmegewinnung ab Solarabsorber:
Aussentemperatur $\geq 8^\circ\text{C}$

4.3.2 Solarertrag der unverglasten Kollektoren

Der gemessene Solarertrag betrug im ersten Betriebsjahr im Durchschnitt 453 kWh/m². Der Verlauf des Solarertrags ist ersichtlich aus Abbildung 6.

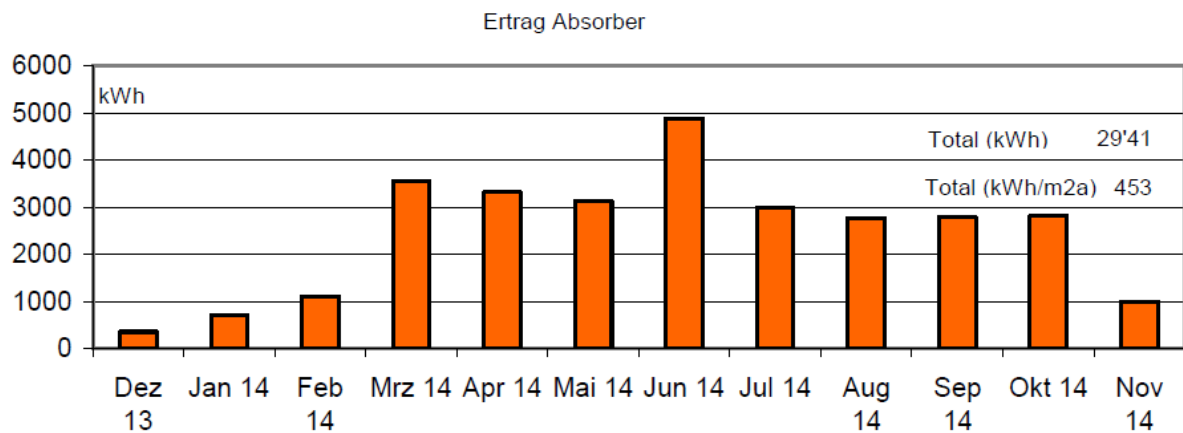


Abbildung 6 – Ertrag des unverglasten Solarabsorbers im Laufe des ersten Betriebsjahres

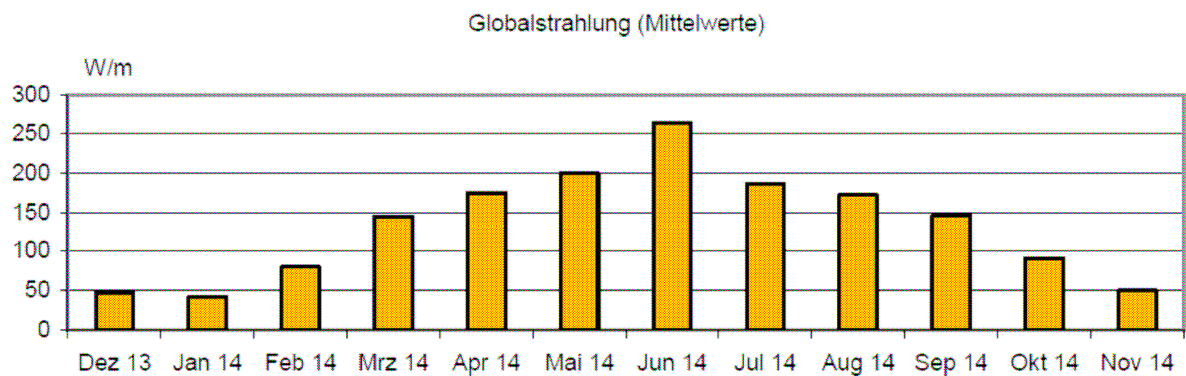


Abbildung 7 – Globalstrahlung von Dezember 2013 bis November 2014

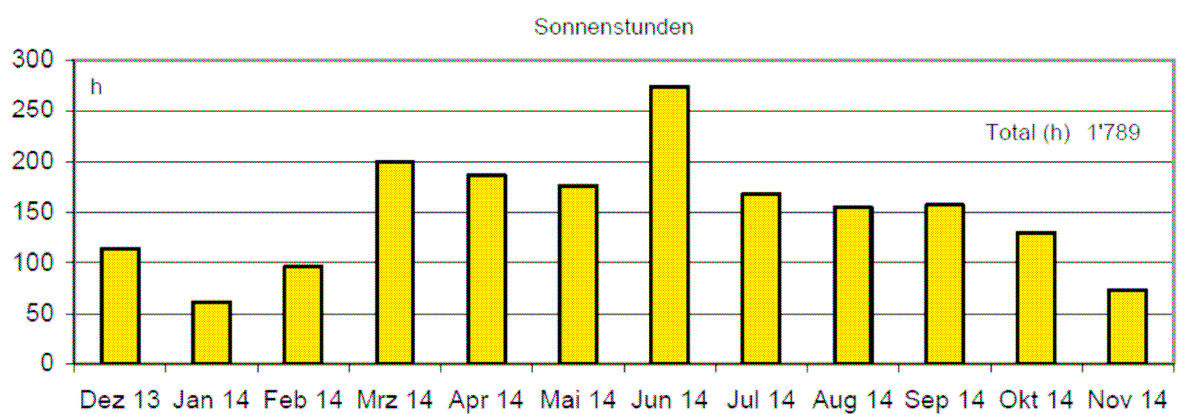


Abbildung 8 – Sonnenstunden, (wenn Globalstrahlung > 200 W/m²)

4.4. Ergebnisse: verschiedene Betriebszustände

Um das System zu verstehen und für eine Optimierung der Regelstrategie werden nachfolgend aus den vielen Messdaten ein paar wesentliche Grafiken aufgeführt. Weil im Sommer die Wärmepumpe mit der Quelle „Absorber“ betrieben wird, haben wir für die nachfolgende Auswertungen und Grafiken sonnige und bedeckte Tage im Herbst und im Dezember gewählt. Sie bilden verschiedene Betriebszustände der Anlage ab, worüber die Tabelle 3 eine Zusammenfassung bietet. Der Betrieb in der Übergangszeit ist betreffend der Optimierung und Regelstrategie die Herausforderung der Anlage.

		Solare Direktnutzung		Solarabsorber als Wärmequelle der Wärmepumpe			Rücklauf der Fernleitung als Wärmequelle der Wärmepumpe
		direkt für Boilerladung	Ladung der Vorwärmer 1+2	Solarabsorber dienen als Luft-Wasser-Wärmetauscher	Solarabsorber dienen als selektiv beschichtete Solarabsorber	Solarabsorber dienen als Luft-Wasser-Wärmetauscher in der Nacht	
Energie	Solar	x	x	x	x	x	
	Strom		(x)	x	x	x	x
	Gas		(x)				x
Datum			25.10.2014	24.10.2014	24.10.2014	26.10.2014	3.12.20114
Tageszeit			08:15 – 17:45	11:35 – 12:35	12:35 – 15:45	00:00 – 06:15	
COP der Wärmepumpe	--	--	--	ca. 2.7 bis 3.0	ca. 3.7 bis 4.0 (pendelt zw. 3 – 5)	ca. 2.7	2.9 – 4.5
Absorberertrag			170 W/m ²	137 W/m ²	350 W/ m ²	135 - 155 W/m ²	--
Max. Globalstrahlung			250 W/m ²	< 150 W/m ²	600 W/m ² (Mittelwert ca. 500 W/m ²)	0 W/m ²	--
Aussentemperatur max.			ca. 11.5°C	ca. 10°C	ca. 11°C	ca. 10°C	--
Kapitel			4.4.1	4.4.2	4.4.2	4.4.3	4.4.4

Tabelle 3 – Übersicht über die ausgewerteten Betriebszustände der Anlage Geeringstr. 61

4.4.1 Ladung der Vorwärmer 1 + 2

Die Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen einen Tagesgang mit wenig Solarstrahlung und keinen Einschaltungen der Wärmepumpe für die Boilerladung von ca. 8:15 bis 17:45 Uhr.

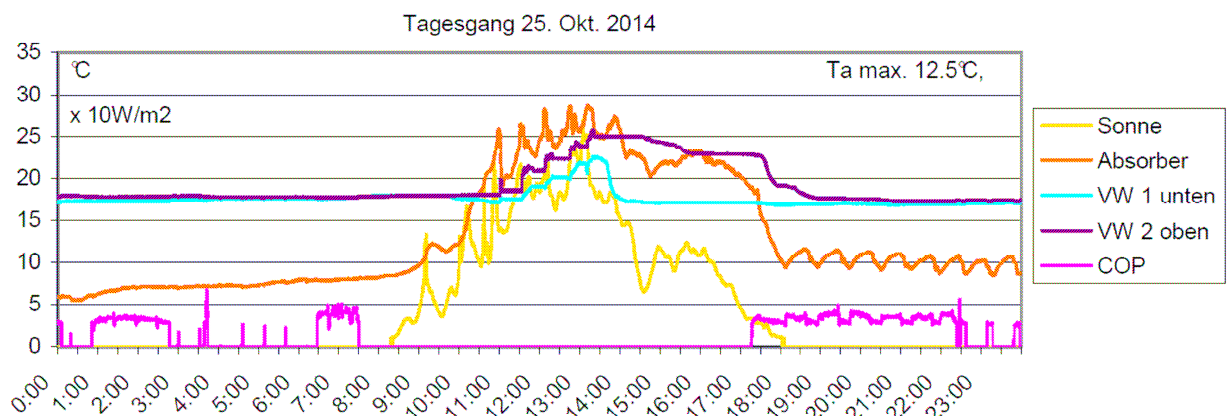


Abbildung 9 – Tagesgang vom 25.10.2014 (VW 1: Vorwärmer 1, VW 2: Vorwärmer 2)

Tageswerte:

- Bezug aus der Fernwärme 80 kWh/d
- Bezug Elektrizität für Gesamtanlage 45.2 kWh/d
- Wärme am WP Kondensator 147 kWh/d
- Mittlerer COP über Gesamtanlage 3.25 (inkl. Elektrizitätsbedarf für alle Pumpen)

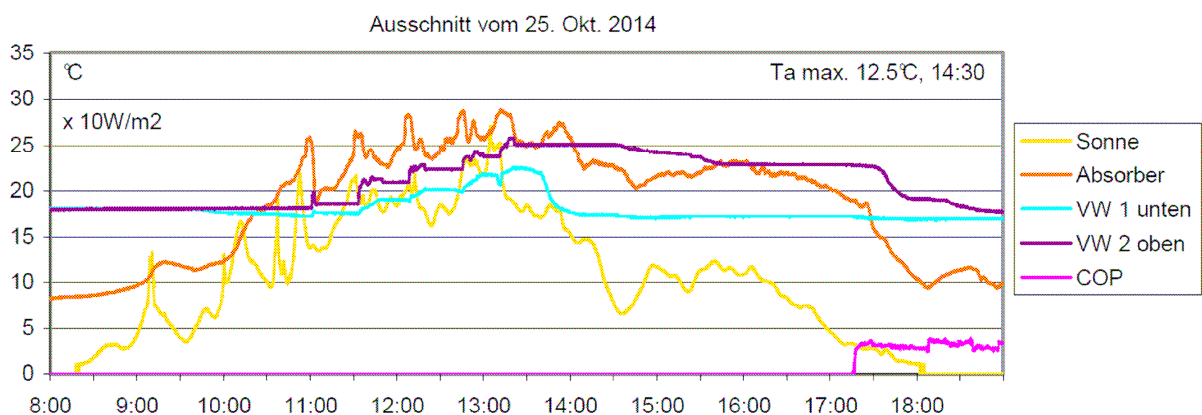


Abbildung 10 - Ausschnitt aus Abbildung 9 mit wenig Solarstrahlung: der Solarertrag fließt in die Vorwärmer

Werte für die Abbildung 10 (von 08:15 – 17:45):

- Max. Globalstrahlung ca. 250 W/m²
- Max. Absorbtemperatur ca. 28°C
(taktet leicht bei der Ladung der Vorwärmer)
- Ladepumpe in Betrieb ca. 0.9 Stunden
- Energieertrag aus den Absorbern 33 kWh/d (in der Grafik-Messperiode)

An zwei Tagen im Oktober fanden Handablesungen statt:

- Die Handablesungen vom 9 Oktober 2014 zeigen bei einer Aussentemperatur von ca. 16°C in der Zeit von 9:30 bis 10:30 Uhr einen Ertrag der Kollektoren von 16 kWh mit der Abgabe der Wärme an die Vorwärmer bei einer Ladung und einem Temperaturanstieg im Vorwärmer von 20°C auf 31.9 °C . Damit geben die Kollektoren bei einer mittleren Globalstrahlung von ca. 400 W/m² auf diesem Temperaturniveau ca. 246 W/m² ab.
- Die Handablesungen vom 10 Oktober 2014 zeigen bei einer Aussentemperatur von ca. 20°C in der Zeit von 14:15 bis 15:15 Uhr einen Ertrag der Kollektoren von 11 kWh mit der Abgabe der Wärme an die Vorwärmer bei einer Ladung und einem Temperaturanstieg im Vorwärmer von 38.9°C auf 45.6 °C. Damit geben die Kollektoren bei einer mittleren Globalstrahlung von ca. 700 W/m² auf diesem Temperaturniveau ca. 170 W/m² ab.

4.4.2 Solarabsorber als Wärmequelle der Wärmepumpe

Die Abbildung 11 zeigt eine Tagesauswertung mit sonnigem Nachmittag. Kurz vor dem Mittag von ca. 11:30 bis 12:30 wird die Wärmepumpe direkt ab den Solarabsorbern bei einer Absorbtemperatur von ca. 10°C betrieben. Danach steigt die Verdampfertemperatur mit der steigenden Sonneneinstrahlung auf bis ca. 30°C und bleibt zwischen ca. 21°C und 30°C.

Im Nachtbetrieb sind ebenfalls (teilweise sehr kurze) Einschaltungen der Wärmepumpe zu sehen.

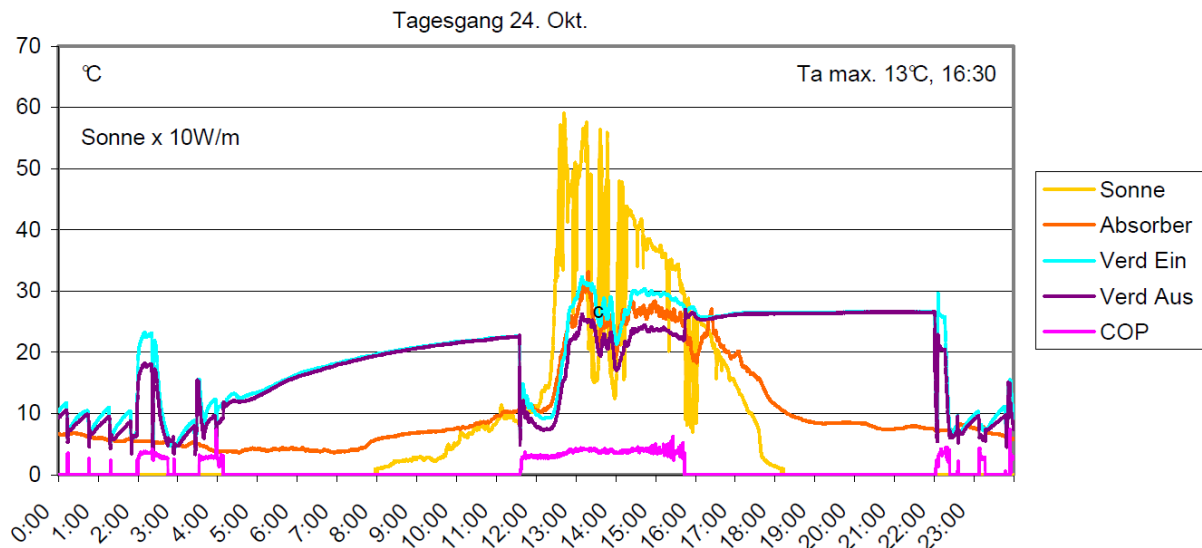


Abbildung 11 – Tagesgang vom 24. Oktober 2014

Tageswerte

- Max. Globalstrahlung ca. 560 W/m²
- Mittelwert Globalstrahlung während 3 Stunden ca. 400 W/m²
- Max Aussentemperatur ca. 13°C um 16:30
- Max. Absorbtemperatur ca. 32°C
- mittlere Absorbtemp. während WP Betriebszeit ca. 25°C
- Energieertrag aus den Absorbern total 68 kWh/d (ca. 1.1 kWh/m²)
- Energieertrag aus den Absorbern für Vorwärmung 5.0 kWh/d
- Bezug Elektrizität für Gesamtanlage 34.3 kWh/d
- Wärme am WP Kondensator 34.3 kWh/d
- Mittlerer COP über Gesamtanlage (inkl. Elektrizitätsbedarf für alle Pumpen) 3.38

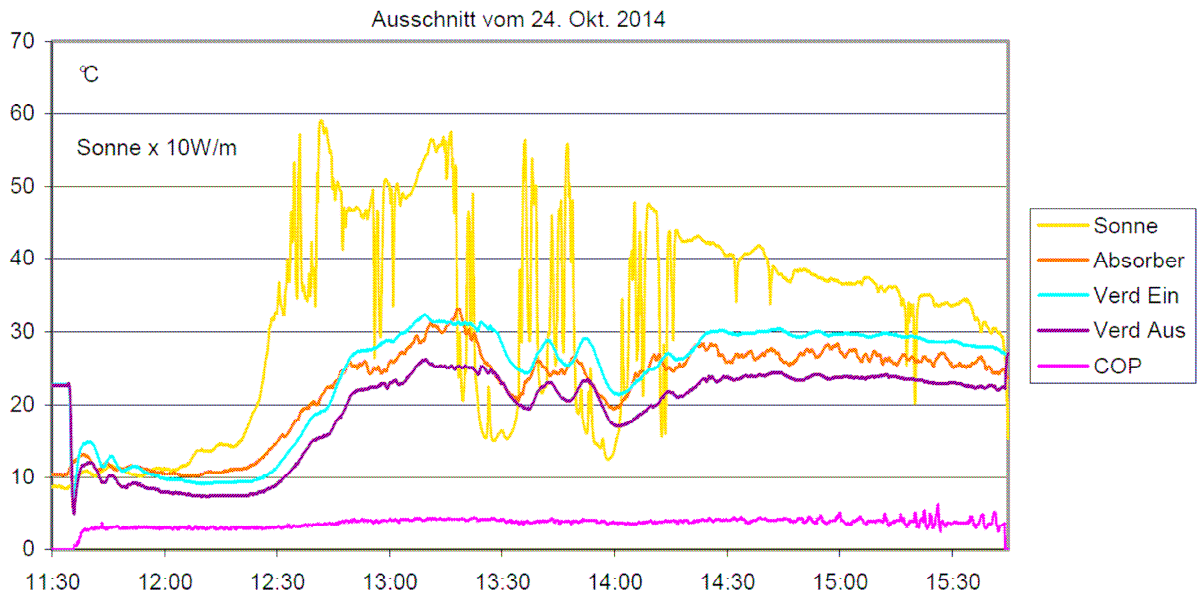


Abbildung 12 – Ausschnitt mit dem Betrieb der Wärmepumpe mit den Absorbern als Wärmequelle

In der Abbildung 12 ist der Solarertrag deutlich sichtbar. Mit der höheren Absorbtemperatur steigt die Eingangstemperatur auf dem Verdampfer der Wärmepumpe deutlich an.

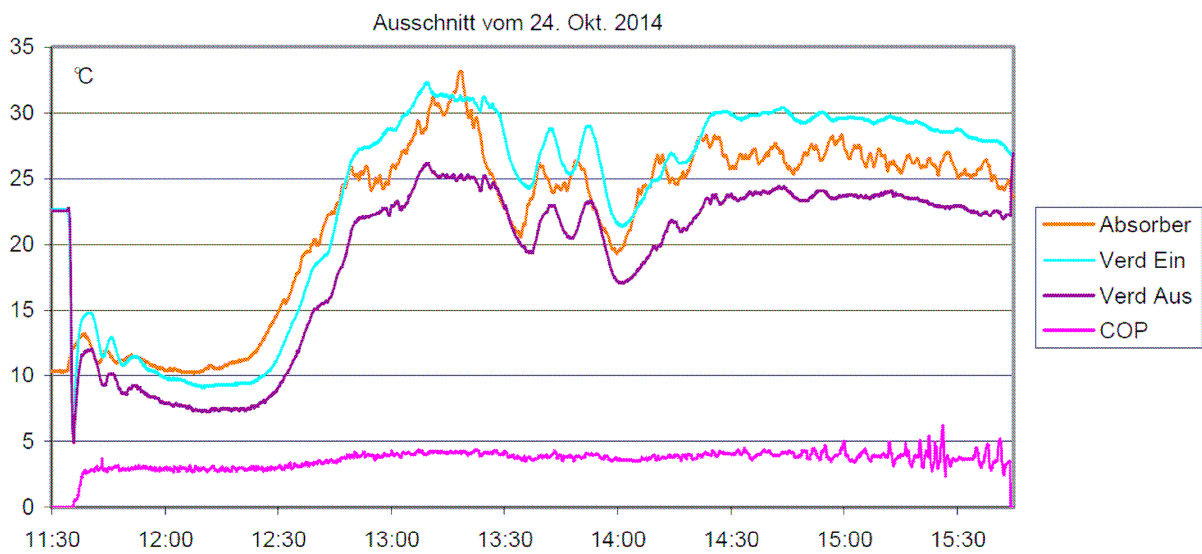


Abbildung 13 - Die Eingangstemperatur am Verdampfer kann bis knapp über 30°C ansteigen, bis diese abge regelt wird.

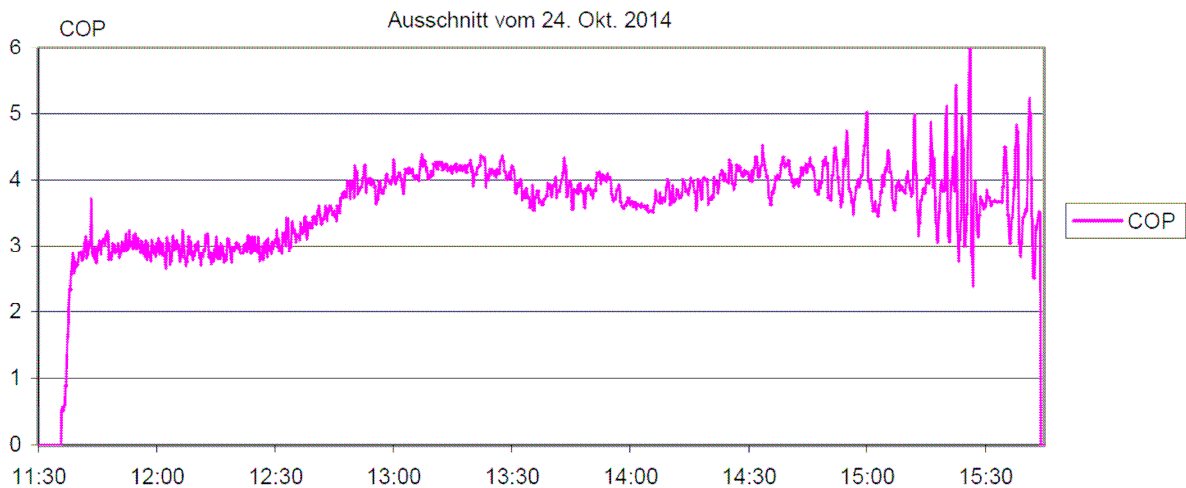


Abbildung 14 – COP-Werte vom 24.10.2014, Solarabsorber als Wärmequelle der Wärmepumpe

Deutlich sind in der Abbildung 14 die tieferen COP Werte von ca. 3.0 in der Zeit ca. 11:35 bis ca. 12:35 noch ohne Sonneneinstrahlung (bzw. bei geringer Globalstrahlung von ca. 150 W/m^2) feststellbar.

Mit der steigenden Globalstrahlung und dadurch erhöhter Absorberrtemperatur steigt der COP Wert auf 4.0 und pendelt im Wärmepumpenbetrieb gegen dem Ende der Ladezeit von ungefähr 3.0 bis knapp 5.0. Diese starken Schwankungen des COP sind vermutlich auf ein Problem der Regelung des Durchgangventils beim Verdampfer-Eingang oder beim Kondensator der Wärmepumpe zurückzuführen.

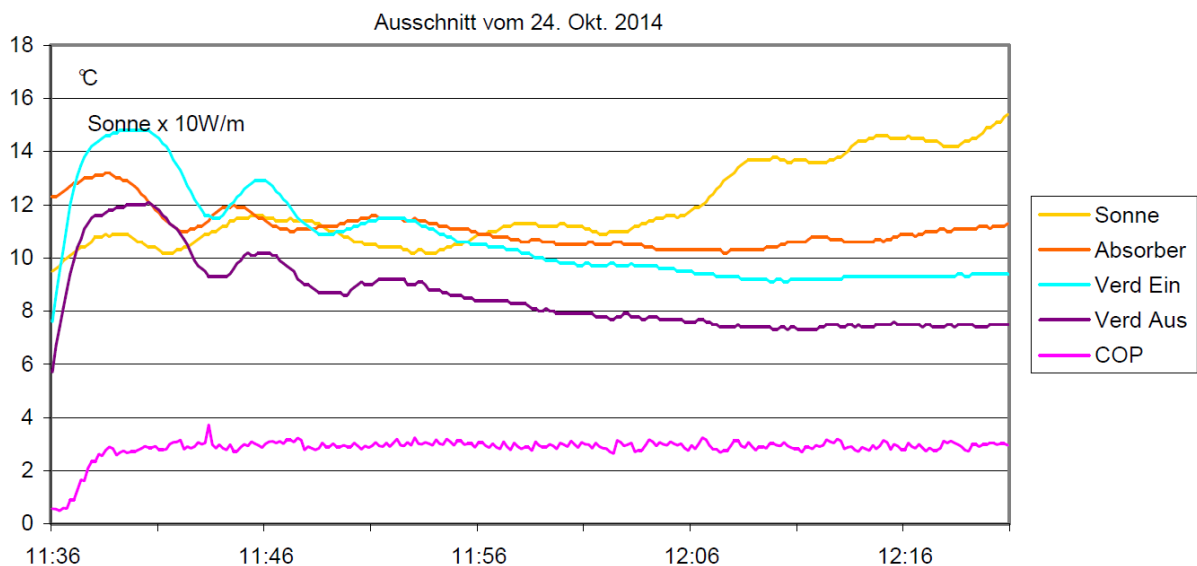


Abbildung 15 – Betrieb des Kollektors als Luft/Wasser-Wärmetauscher

In der Zeitspanne von 11:36 bis 12:20 war die Globalstrahlung unter 150 W/m^2 und die Aussentemperatur um 10°C . Die Eingangstemperatur beim Verdampfer war am Anfang noch knapp über der Absorberrtemperatur (Abbildung 15).

In dieser Periode wird der Absorber als Luft/Wasser Wärmetauscher betrieben. Der Ertrag in dieser Zeitperiode betrug 7 kWh , was einer Absorberrleistung von ca. 147 W/m^2 entspricht.

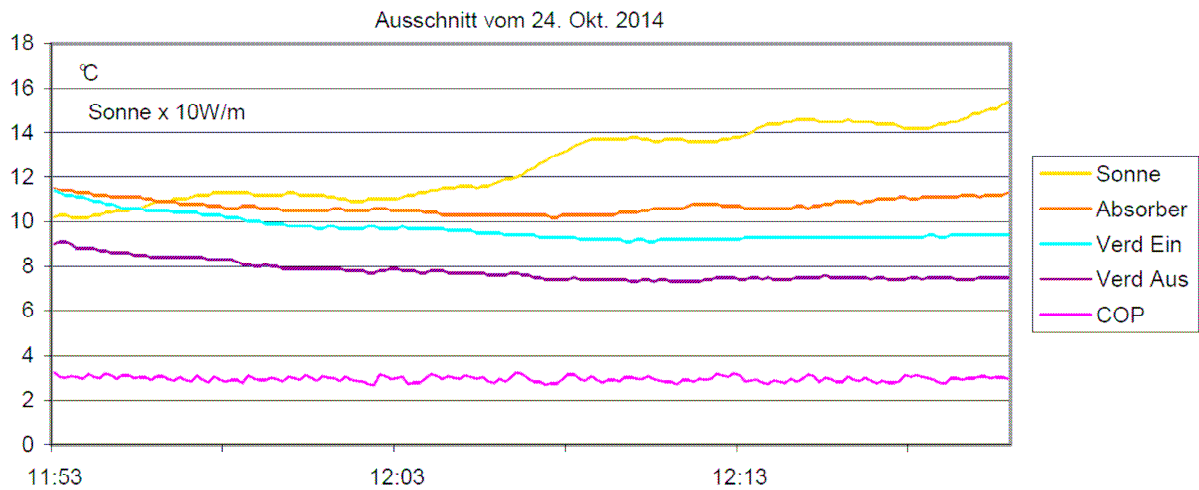


Abbildung 16 – Betrieb der Wärmepumpe unterhalb der Absorbtemperatur

In der Abbildung 16 ist ersichtlich, dass sich die beiden Kurven um 11:53 schneiden und die Wärmepumpe wird somit unter der Absorbtemperatur betrieben. Es resultiert in dieser Zeitperiode eine Absorberleistung von ca. 137 W/m²

Weil die Skalierung der Ertrags-Messwerte nur in kWh angegeben wird, muss mit einer Messgenauigkeit von ca. 10 % gerechnet werden.

4.4.3 Solarabsorber in der Nacht (über Wärmepumpe betrieben)

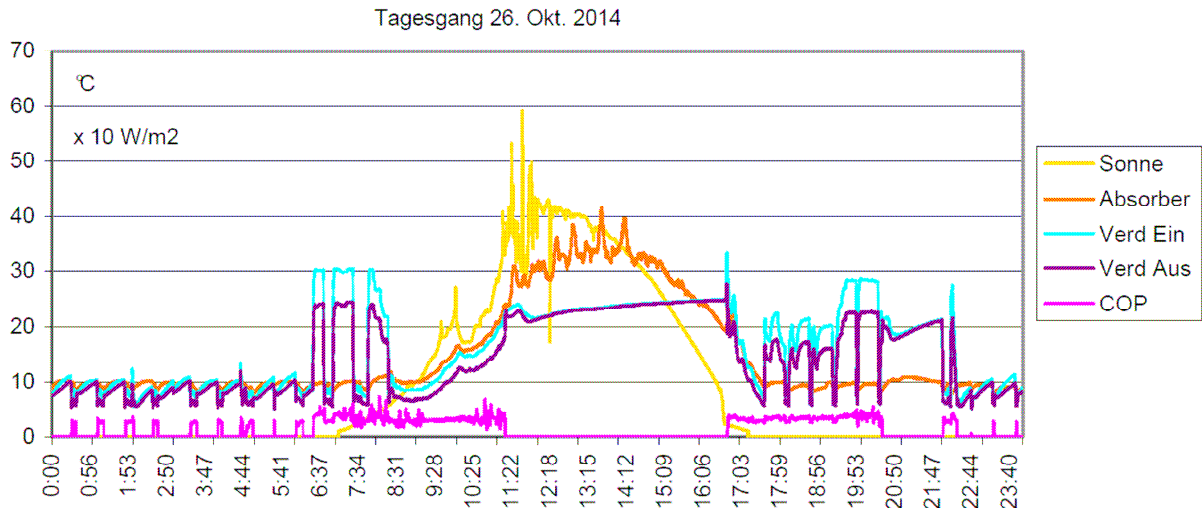


Abbildung 17 – Tagesgang vom 26.10.2014

In der Nacht von 24:00 bis am Morgen um ca. 6:15 wurde die Wärmepumpe nur mit der Wärmequelle der Absorber betrieben (siehe Abbildung 17). Die gesamte Betriebszeit der Wärmepumpe in dieser Zeitperiode war ca. 1.28 Stunde. Es wurden 9 Einschaltungen, davon 8 Einschaltungen à ca. 6.5 bis 8 Minuten und eine sehr kurz Einschaltung gemessen.

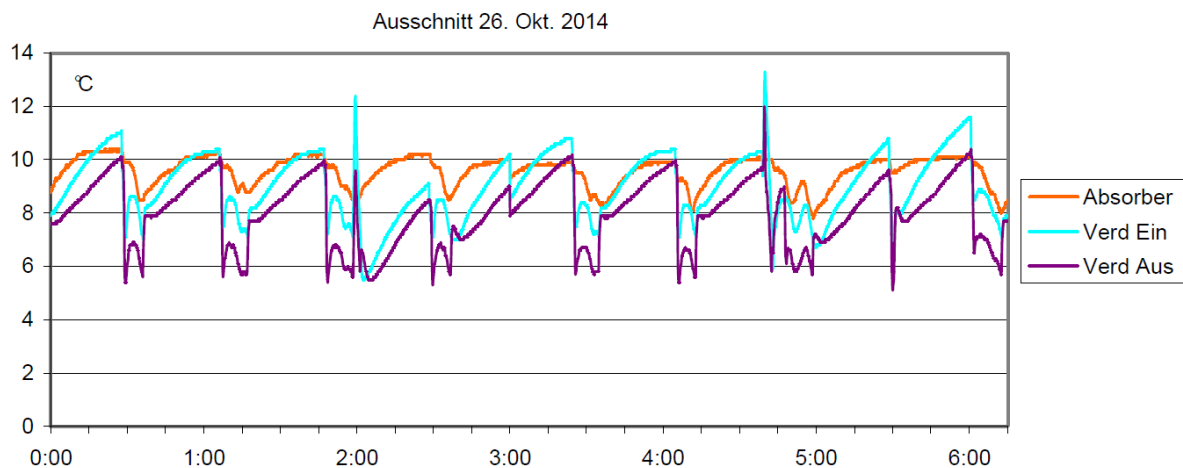


Abbildung 18 – Ausschnitt aus der Abbildung 17 von Mitternacht bis um 6:15.

Die Abbildung 18 zeigt, dass die Absorbentemperatur am Start einer Wärmepumpen Einschaltung jeweils ca. 10° bis 10.3°C beträgt. Dies entspricht in dieser Nacht auch der Aussentemperatur. Mit dem Wärmeentzug aus den Absorbern kühlen sich diese im Betrieb der Wärmepumpe auf ca. 8 bis 8.3°C ab.

In der Nacht konnten Absorberleistungen von ca. 136 bis 157 W/m² gemessen werden. Für Auslegungen von Absorberleistungen bei bis ca. 19°C Aussentemperatur kann mit ca. 135 W/m² gerechnet werden.

4.4.4 Rücklauf der Fernleitung als Wärmequelle der Wärmepumpe

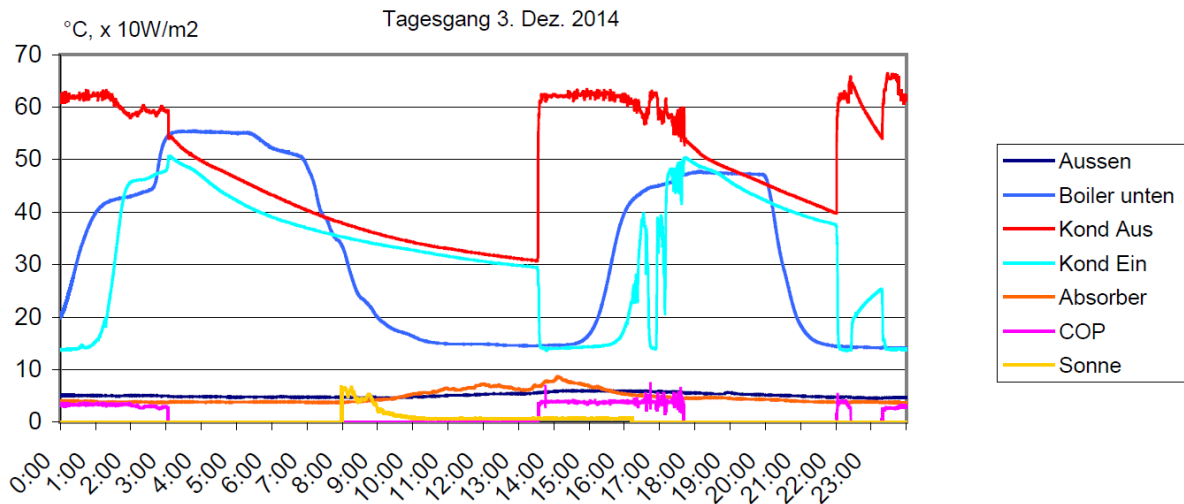


Abbildung 19 – Tagesgang vom 3.12.2014: ein Tag mit kalten Aussentemperaturen (unter 8°C)

Wenn die Aussentemperatur unterhalb 8°C fällt, dann wird der Boiler (WW-Speicher) bei Bedarf mit der Wärmepumpe über den Rücklauf der Fernleitung geladen (Abbildung 19).

Aus der Grafik ist am Morgen und am Abend auch gut der Verbrauch erkennbar:

- Start Warmwasserverbrauch am Morgen ca. 5:30, Anstieg um 7:00
- Start Warmwasserverbrauch am Abend ca. 20:00

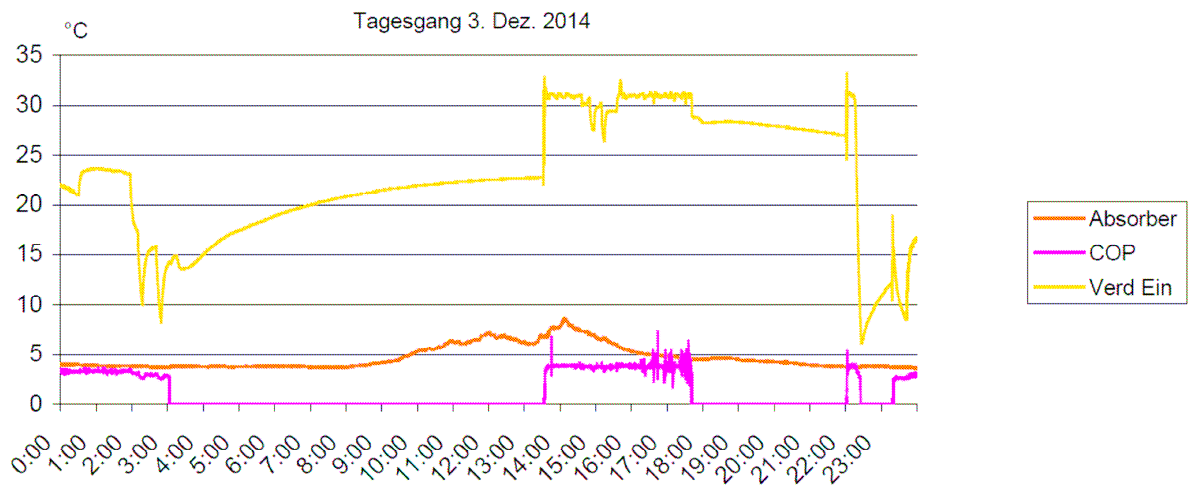


Abbildung 20 – Tagesgang vom 3. Dezember 2014

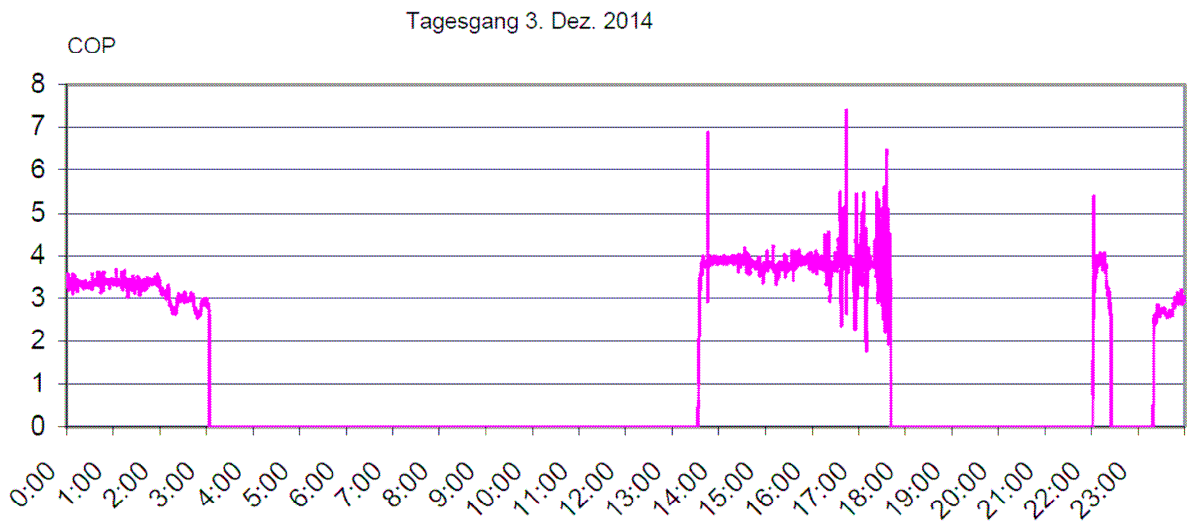


Abbildung 21 – COP-Werte der Wärmepumpe mit dem Rücklauf der Fernleitung als Wärmequelle

Die Abbildung 21 zeigt die COP-Werte der Wärmepumpe bei der Warmwasser-Ladung mit der Wärme aus dem Rücklauf der Fernleitung:

- mit der abgesenkten Temperatur der Fernleitung: ca. 3.3 bis 3.4
- am Tag mit der erhöhten Temperatur auf der Fernleitung: knapp 4
- im zeitlich letzten Drittel der Ladung: zwischen ca. 2.5 und 5

4.5 Ergebnisse der Polysun-Simulation

Die Anlage wurde für die Simulation in Polysun vereinfacht:

- die beiden Vorwärmer wurden in einen Vorwärmer mit grösserem Volumen zusammengefasst.
- die solare Direktnutzung wurde nicht berücksichtigt
- es ist nicht möglich, dass gleichzeitig die Fernwärme läuft und die Vorwärmung über die Solarabsorber
- der Nahwärmeverbund wurde über einen Gasheizkessel simuliert.
- Hydraulik wurde gegenüber dem Ausführungsschema abgeändert, so dass das Schema simuliert werden kann.

Die Abbildung 22 bis Abbildung 24 zeigen die unterschiedlichen Betriebszustände, die simuliert wurden. Die Tabelle 4 listet die wichtigsten Resultate der Simulation auf. Der Kollektorfeldertrag ist tiefer und die durch die Wärmepumpe abgegebene Energie ist höher als die Messwerte. Beides dürfte mit den Vereinfachungen zusammenhängen, insbesondere mit dem Weglassen der solaren Direktnutzung.

			Polysun	Messungen
Kollektoren:	Kollektorfeldertrag	kWh	24'880	32'944
	durchschnittliche Austrittstemperatur	°C	15.8	
Wärmepumpe:	JAZ		3.77	
	abgegebene Wärme	KWh	66'022	57'468
	Stromverbrauch	kWh	17'494	17466
Gaskessel:	Energie zum System	kWh	22'038	22597

Tabelle 4 – wichtigste Resultate der Polysun-Simulation

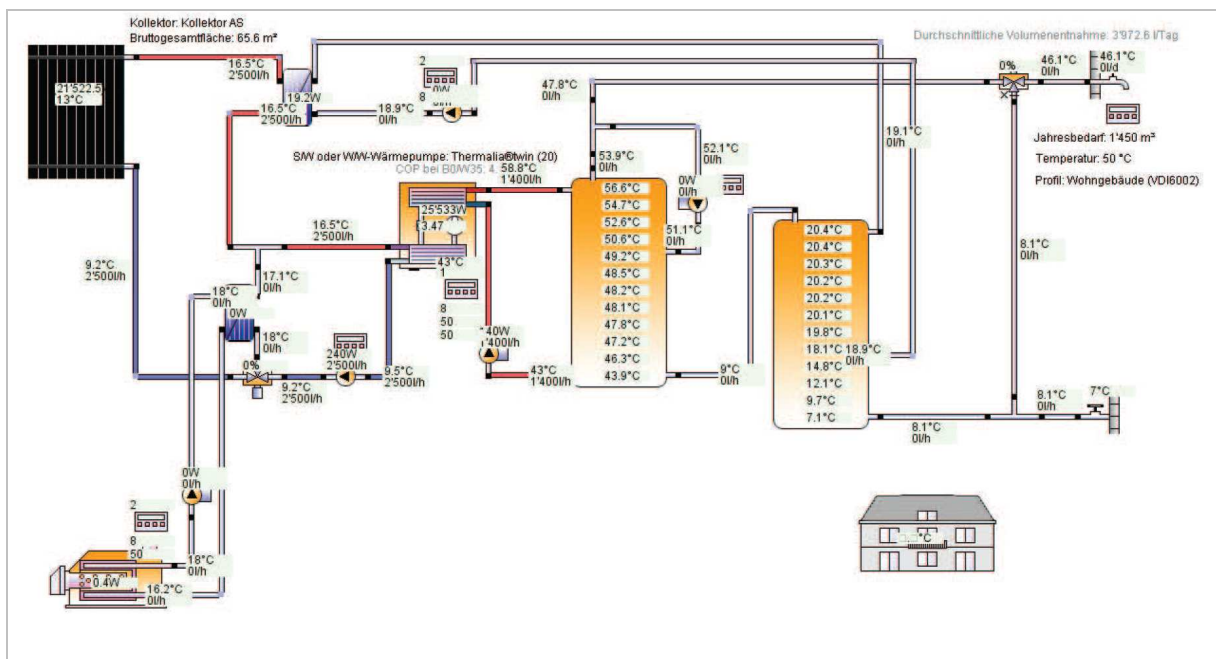


Abbildung 22 - Betrieb der Wärmepumpe über die Solarabsorber für die Speicherladung (Polysun-Simulationsschritt: 21. Februar, 13.00 Uhr)

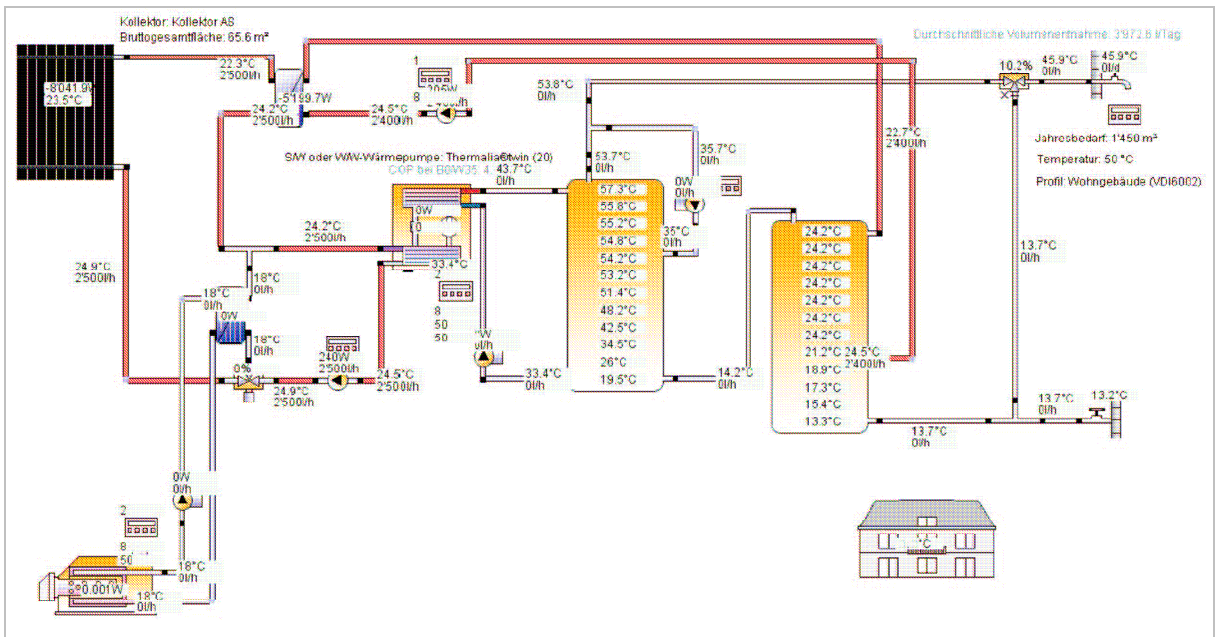


Abbildung 23 - Ladung des Vorwärmers über die Solarabsorber (Polysun-Simulationsschritt: 20. September, 17.49 Uhr)

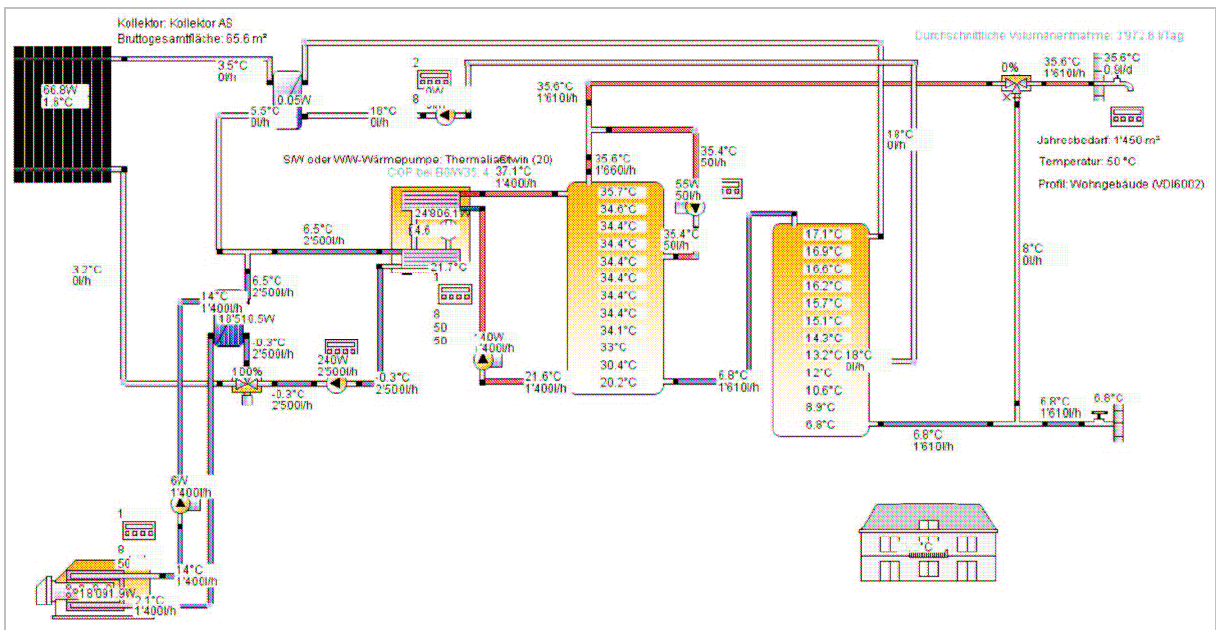


Abbildung 24 - Betrieb der Wärmepumpe über die Gasheizung, Warmwasserbedarf ist gegeben und Zirkulation läuft (Polysun-Simulationsschritt: 18. Januar, 21.02 Uhr)

5. Diskussion

5.1 Gesamtbetrachtung der Energieflüsse

Wie in Kapitel 4.3 dargestellt, wird ungefähr 73'300 kWh/a Wärme in den WW-Speicher geliefert. Die Abbildung 25 zeigt, wie die Bereitstellung des Warmwasserverbrauchs von 73'300 kWh/a in der alten („ohne Kollektoren/WP“) und der neuen Anlage bezüglich Umweltauswirkungen abschneidet. Die verwendeten Daten beruhen auf den KBOB-Daten [9]. Der Gasverbrauch wurde über den Verlust der Fernleitung (10%) und des Wirkungsgrades des Gaskessels ($\eta = 90\%$) hochgerechnet.

Die neue Anlage schneidet in allen betrachteten Umweltauswirkungen signifikant besser ab: die Umweltbelastungen betragen noch ca. 30% - 40 % der bisherigen Werte. Dabei sind die Verluste der Fernleitung im Sommer noch in den Zahlen enthalten. Das Konzept hat aber zum Ziel, die Fernleitung im Sommer abstellen zu können, womit die Verluste und entsprechend auch die Umweltbelastungen nochmals abnehmen würden.

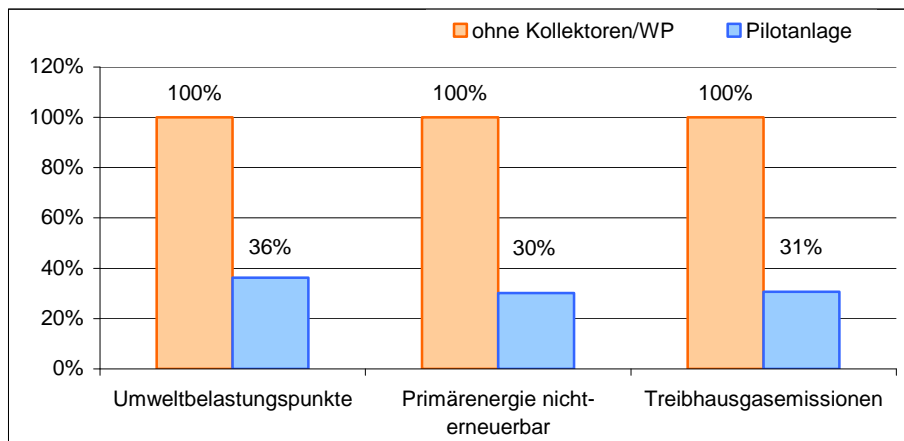


Abbildung 25 – Umweltbetrachtung der alten Anlage („ohne Kollektoren/WP“) im Vergleich mit der installierten Pilotanlage.

Die Abbildung 26 bis Abbildung 28 zeigen die Werte der Umweltbelastungspunkte, für die Primärenergie nichterneuerbar und für die Treibhausgasemissionen, aufgeschlüsselt nach Energieträger (Strom oder Gas). Der Anteil des Stroms an den Umweltbelastungen ist im Vergleich zum Gas bei allen drei Betrachtungsweisen sehr gering. Der Grund ist, dass die Baugenossenschaft Sonnengarten Ökostrom vom EWZ (Elektrizitätswerk der Stadt Zürich) einkauft. Der eingekaufte Strom stammt zum grössten Teil aus Wasserkraft und zu einem kleinen Anteil aus Windkraft und Photovoltaik.

Um zu klären, ob der Betrieb der neuen Anlage aus ökologischer Sicht auch beim Betrieb mit durchschnittlich in der Schweiz verbrauchtem Strom noch sinnvoll wäre, wurde die neue Anlage zusätzlich mit dem CH-Verbrauchermix gerechnet. Auch dann schneidet sie besser ab als der reine Gasbetrieb, allerdings sind die Unterschiede zwischen der alten Anlage und der neuen Anlage (deutlich) kleiner.

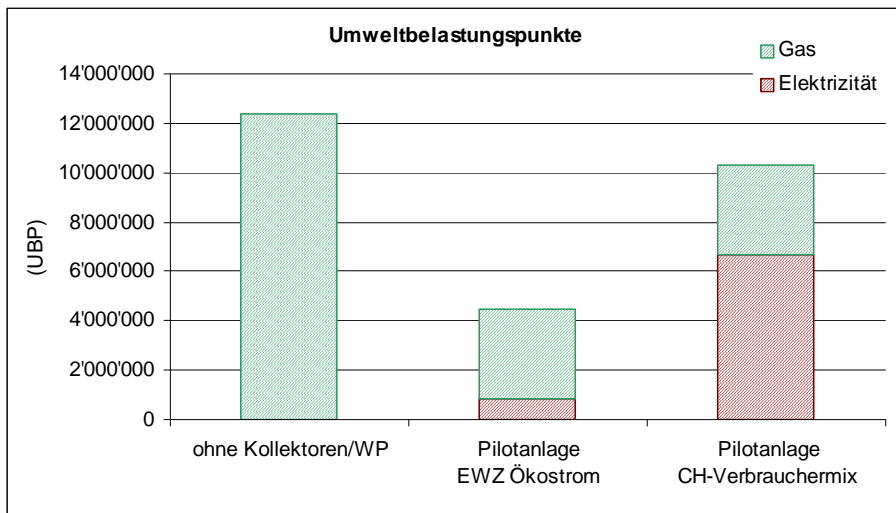


Abbildung 26 – Umweltbelastungspunkte für die alte Anlage im Vergleich mit der Pilotanlage

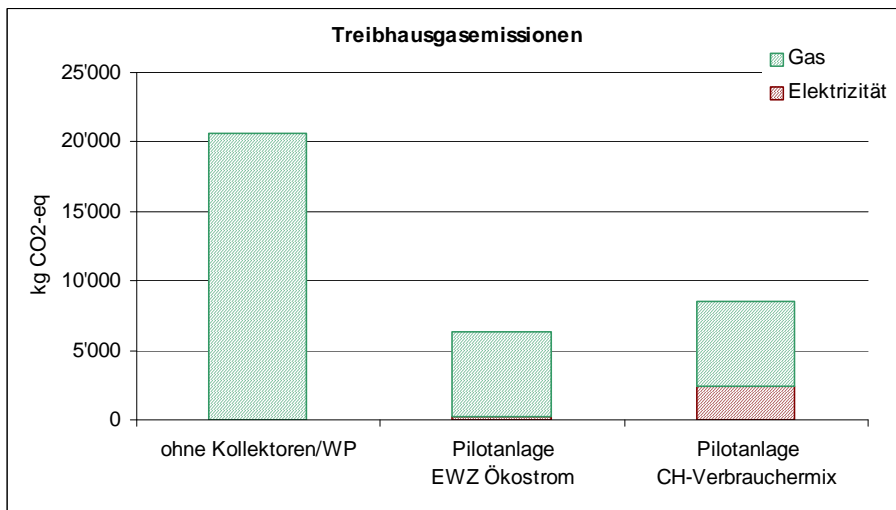


Abbildung 27 - Treibhausgasemissionen für die alte Anlage im Vergleich mit der Pilotanlage

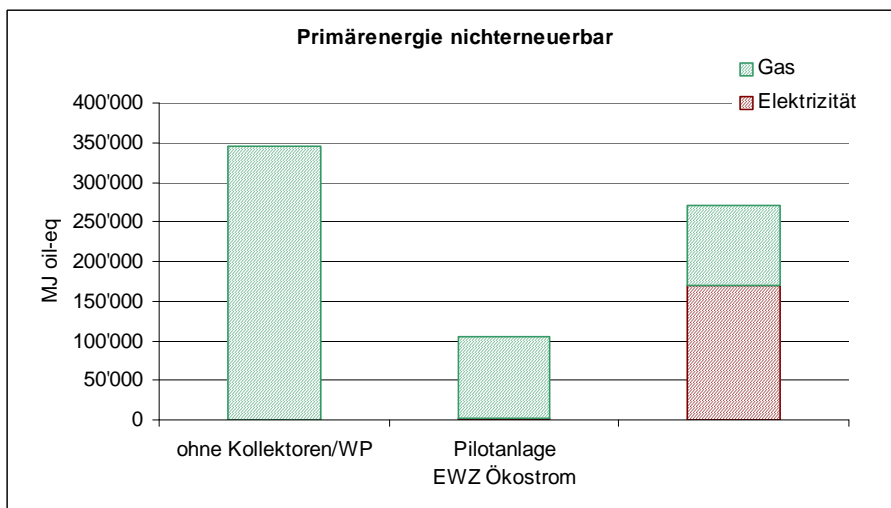


Abbildung 28 - Primärenergie für die alte Anlage im Vergleich mit der Pilotanlage

Wenn die Anlage mit Ökostrom betrieben wird, kann die Umweltbelastung auf ca. 1/3 reduziert werden.

5.2 Beurteilung des Solarertrags

Die Anlage wurde mit den Daten aus dem SPF „Collector catalogue“ Programm mit abgeschätzten monatlichen Wärmebedarfszahlen des Warmwasserverbrauchs (Abbildung 29) und abgeschätzten monatlichen Solar-Ertragswerten (Abbildung 33 bis Abbildung 33) hochgerechnet. Die Tabelle 5 zeigt, dass die berechneten und gemessenen Werte vergleichbar sind. Der Wärmeertrag der Wärmepumpe über die Absorber wurde höher berechnet.

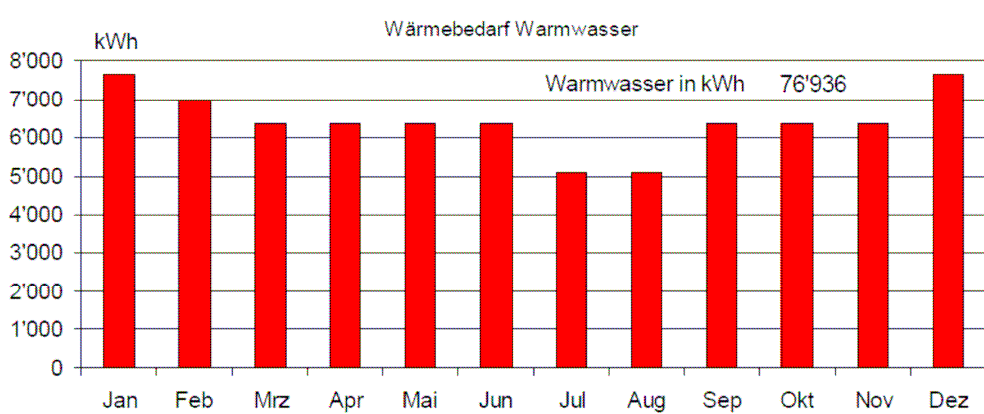


Abbildung 29 – Warmwasserbedarf auf geschätzte Monatswerte umgerechnet.

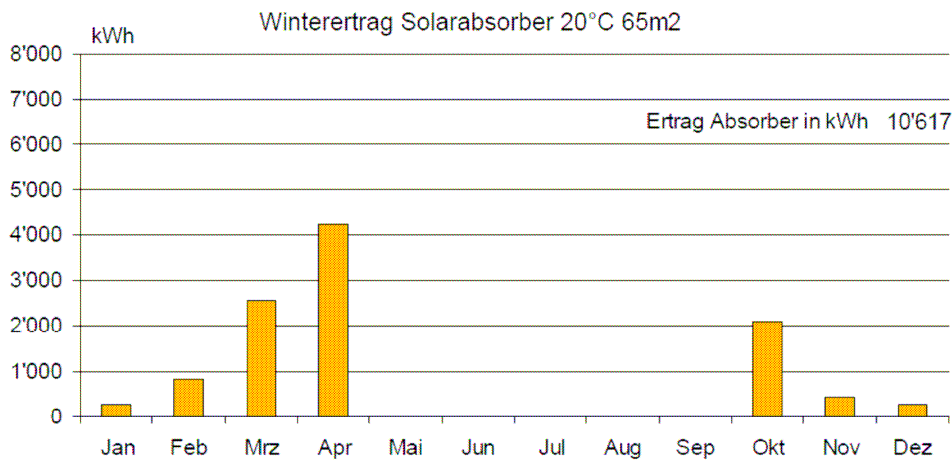


Abbildung 30 - Ertrag im Winter der Solarabsorber bei einer mittleren Absorbtemperatur von 20°C

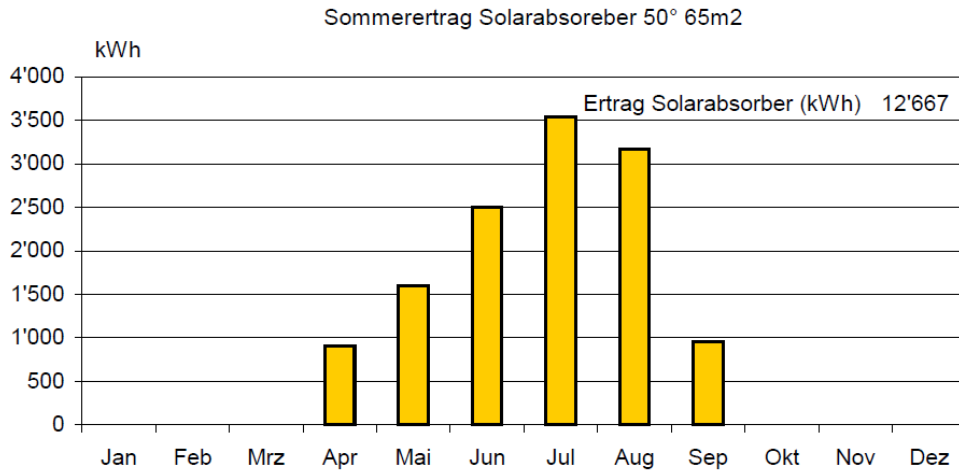


Abbildung 31 - Ertrag der Solarabsorber im Sommer bei einer mittleren Absorbtemperatur von 50°C

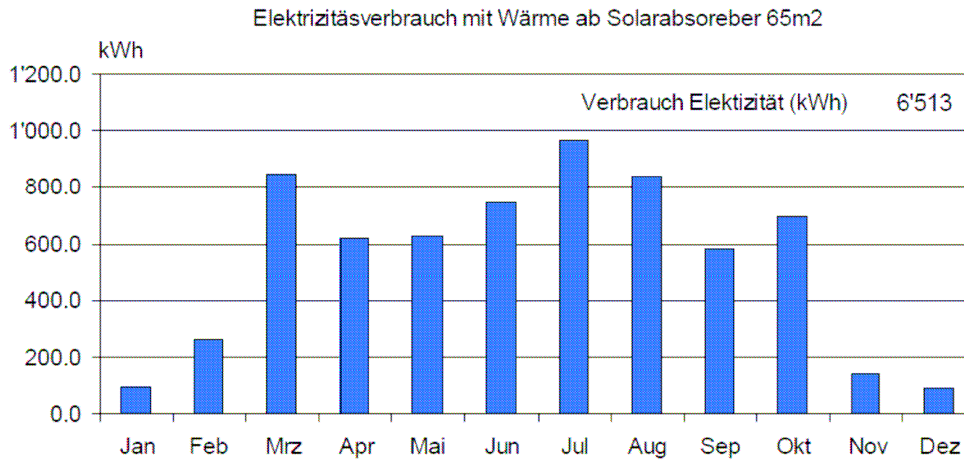


Abbildung 32 - Elektroverbrauch der Wärmepumpe mit Wärme ab Solar-Absorber

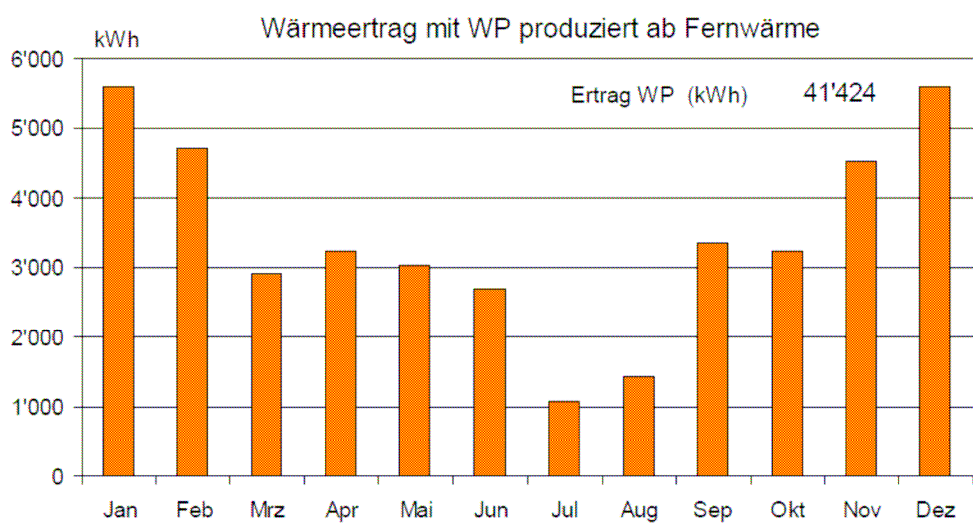


Abbildung 33 - Mit der Wärmepumpe produziertes Warmwasser

		berechnet	gemessen
Solar direkt im Sommer	kWh	12'667	15'896
Wärme mit WP ab Absorber	kWh	22'567	17'048
Wärme mit WP ab Fernwärme	kWh	41'424	40'524
Total	kWh	76'658	73'468

Tabelle 5 - Zusammenstellung der berechneten und effektiv gemessenen Werten

Der Solarertrag betrug im ersten Betriebsjahr ungefähr 450 kWh/m² Absorberfläche. Mit einer verbesserten Ladestrategie des Boilers über die Tageszeiten mit erhöhter Globalstrahlung wird ein Absorberertrag von ca. 540 kWh/m² erwartet.

Wird der Absorber als Luft-Wasser-Wärmetauscher betrieben, liefert er gemäss den vorliegenden Messungen Erträge zwischen 135W/m² bis 155W/m². Dies entspricht ungefähr den Angaben des Herstellers. In diese Werten dürften die Kondensationswärme-Gewinne enthalten sein. Wir konnten mit unseren Messungen die Kondensationswärme nicht ermitteln. Gemäss der Literatur ist je nach Saison und Klima der Ertrag der Kondensationswärme oft unbedeutend [z.B. 10].

5.3 **Regelungsstrategie: Verbesserungspotential**

Die Messergebnisse lassen folgende Schlüsse zu:

- Die Ladung, resp. die Ladezeit und die Ladeanforderung muss angepasst werden. Die Freigabe der Ladung des Boilers mit der Wärmepumpe soll in erster Linie während den Tageszeiten mit erhöhter Globalstrahlung erfolgen. Damit kann der Strombedarf wegen des vermutlich um ca. 0.3 bis 0.4 erhöhten COP-Werts über das Jahr gesenkt werden. Aus der Abbildung 19 ist ersichtlich, dass bei einem am Morgen voll geladenen Boiler die Ladeanforderung erst nach dem Mittag oder am späteren Nachmittag erfolgt. Es wäre allenfalls sinnvoll bis zu einer bestimmten Temperatur die Vorwärmer zu laden und dann eine Nachladung mit der Wärmepumpe bei Absorberrtemperatures von über 25°C freizugeben.
- Mit dem heutigen Schaltpunkt von 8°C Aussentemperatur während der Ladung über die Fernwärme wird häufig bei Aussentemperaturen von ca. 10°C von der Fernwärme auf die Absorber als Quelle umgeschaltet. Wir empfehlen die Quelle „Absorber“ während der Heizperiode nur zu nutzen, wenn die Absorberrtemperatur über ca. 20 bis 25°C liegt. Ebenfalls soll häufiges Umschalten bei tiefen Absorberrtemperatures in der Heizperiode verhindert werden.
- Eine leichte Verbesserung hat die Heraufsetzung der Aussentemperatur von 8°C auf 10°C für die Freigabe der Ladung mit der Wärmepumpe mit der Quelle „Absorber“ gebracht.
- Heute wird der Boiler im oberen Bereich bis auf 62°C oder max. 63°C geladen. Die Ladetemperatur am Kondensator ist während einer langen Zeit gut über 60°C. Es scheint uns wichtig, dass die Ladetemperatur beim Kondensator auf ca. 58°C hinuntergesetzt wird und die max. Temperatur im Speicher bei ca. 56°C liegt. Dies kann auch einer Verkalkung des Kondensators entgegenwirken. Dies bewirkt aber, dass die Ladung des Boilers etwas früher freigegeben werden muss.

5.4 Vergleich Energiekosten

Die Tabelle 6 zeigt den Vergleich der Energiekosten der Warmwasser-Erzeugung nur durch Gas sowie durch die neue Anlage mit Wärmepumpe und Solarnutzung. Bei den heutigen Energiepreisen sind die geschätzten Energiekosten etwa CHF 2'000 pro Jahr tiefer bei der neuen Anlage. Darin enthalten sind Annahmen zum Kesselwirkungsgrad der Gasheizung und zum Verlust durch die Fernleitung.

	(kWh/a)	(Fr./a) inkl. MwSt.	(Rp./kWh) inkl. MwSt.
Stromverbrauch 13.9.2013 - 8.9.2014	18'376	3'045.50	
Verbrauch Fernwärme (Rücklauf)	22'400		
Kesselwirkungsgrad 90%	24'889		
Verlust Fernleitung 10%	27'654	1'971.75	
Gaspreis			7.13
Wärmeproduktion WP ohne Solar direkt	58'200		
Solar Direktnutzung im Vorwärmer und Boiler	15'600		
Wärmeproduktion Total WP und Solar	73'800	5'017.25	6.80
zusätzlicher Wärmeverbrauch mit Gas	58'200		
Kesselwirkungsgrad 90%	64'667		
Verlust Fernleitung 10%	71'852		
Gasverbrauch mit WP	27'654		
Total Gasverbrauch inkl. Verluste	99'506		
Kosten mit Gasheizung erzeugt	99'506	7'094.79	7.13
Differenz Jahreskosten		2'077.54	

Tabelle 6 – Vergleich der jährlichen Energiekosten (Stromkosten gemäss Abrechnungen)

6. Schlussfolgerungen / Ausblick

6.1 Vereinfachung der Anlage

Bei Sanierungen ist es oft eine Frage des Platzangebotes, welche eine ideale Lösung mit entsprechend grossen Speichern verhindert.

Ein wirtschaftlicher und Betriebskosten optimierter Betrieb ist sehr abhängig von den lokalen Strom- und Gaspreisen (resp. der Fernwärmepreis). Der Entscheid ob die Fernwärme als Quelle für die Wärmepumpe genutzt werden soll, ist abhängig des Preises der Fernwärme und vom Ziel des Einsatzes von erneuerbarer Energie. Auch dem langfristigen Einsatz einer Photovoltaik-Anlage für die Erzeugung des Strombedarfs der Wärmepumpe.

Es muss geprüft werden, ob die Fernwärme über einen Wärmetauscher oder über einen Speicher, mit integrierten Wärmetauscher eingesetzt werden soll.

Die Wärme im Sommer direkt in einen vorgeschalteten Warmwasser-Speicher (Vorwärmer) abzugeben scheint uns bei dieser Anlagengrösse als sehr sinnvoll. Es konnte ca. 50% des Absorberertrags in den Vorwärmer abgegeben werden. Wegen der nicht sehr hohen Temperaturen der Absorber im Sommer muss aber geprüft werden, ob eine Direktladung des bestehenden Boilers (WW-Speicher) sinnvoll ist. Allenfalls würde es auch ausreichen, wenn man eine Umschichtung vom Vorwärmer auf den Boiler über die Warmwasser-Zirkulation durchführen könnte.

6.2 Planungsgrundsätze

Die Anlage an der Geeringstrasse 61 ist für die Gebäudegrösse und die Anzahl Bewohner für die Bereitstellung des Warmwassers gut ausgelegt.

Für eine sehr grobe Auslegung einer Anlage für die Warmwasserbereitung empfehlen wir mit den nachfolgenden Eckdaten zu rechnen:

- Absorber-Fläche ca. 1 - 1.5 m²/Bewohner
→ im Projekt: 1 m²/Bewohner
- Leistung Wärmepumpe ca. 0.25 kW/Bewohner (bei W10/W60)
→ im Projekt: 0.244 kW/Bewohner
- Vorwärmer ca. 25 bis 35 Liter/m² Absorber
→ im Projekt: 24.6 Liter/ m² Absorber
- Ertrag der Absorber ca. 450 kWh/m²a
(optimiert vermutlich ca. 540 kWh/m²a)

6.2 Ausblick

Weil es in der Schweiz viele Siedlungen mit mehreren Mehrfamilienhäusern und einer gemeinsamen Heizung gibt, wird erwartet, dass diese oder eine leicht angepasste Einbindung von Sonnenenergie eine gute Chance für eine Anwendung hat.

Weil die Absorber gegenüber Flachkollektoren betreffend einer Überhitzung im Sommer problemlos sind, ist es aus unserer Sicht möglich einen höheren Solarertrag als bei konventionellen Anlagen zu erzielen.

Es ist wichtig, dass die Ladestrategie optimal der Bewohner und der Globalstrahlung angepasst wird. Dies ist ein etwas komplexerer Vorgang als eine reine bedarfsabhängige Ladung eines heutigen Systems mit Sonnenkollektoren oder einer konventionellen Wärmeerzeugung.

Herr Reto Von Euw von der Hochschule Luzern (HSLU) wäre allenfalls interessiert eine Diplomarbeit im Jahr 2016 für Studenten auszuschreiben.

Referenzen

- [1] Bundesamt für Statistik, **Gebäude nach Heizungsart bzw. Energieträger der Heizung und Kantonen**
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/22/lexi.html> (Stand 26.11.2014)
- [2] A. Primas, P. Fotsch, N. Ruf, Basler & Hofmann AG, **Solare Wassererwärmung in Mehrfamilienhäusern. Entscheidungsgrundlagen für solare Warmwasseraufbereitungskonzepte**, Schlussbericht im Rahmen des Pilot- & Demonstrationsprogramms Solarwärme des Bundesamtes für Energie, Juli 2005
- [3] P. Gantenbein, E. Frank, **Integration solarthermischer Anlagen in ein arealbezogenes Nahwärmenetz**, Schlussbericht Forschungsprogramm Pilot- & Demonstrationsprojekt, 14.1.2010
- [4] BINE Informationsdienst, Deutschland, **Solare Nahwärme in neuen Wohnsiedlungen**,
<http://www.bine.info/publikationen/projektinfos/publikation/solare-nahwaerme-in-neuen-wohnsiedlungen/> (Stand 26.11.2014)
- [5] W. Heidemann, **Solare Nahwärme und saisonale Speicherung**, FVS LZE Themen 2005
- [6] H. Müller-Steinhagen, M. Bodmann, D. Mangold, J. Nussbicker, S. Raab, A. Schenke, T. Schmidt, Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT), **Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher**, Forschungsbericht zum BMWA / BMU-Vorhaben, Februar 2003 bis Mai 2005
- [7] International Energy Agency (IEA), Solar Heating and Cooling Programme (SHC) Task 44 and Heat Pump Programme (HPP) Annex 38 „**Solar and Heat Pump Systems**“, 2010 – 2013, website: <http://task44.iea-shc.org/>
- [8] M. Y. Haller, R. Haberl, D. Carbonell, D. Philippen, E. Frank, Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Institut für Solartechnik, **SOL-HEAP – Solar and Heat Pump Combisystems**, im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Schlussbericht vom 1.5.2014
- [9] KBOB – IBP, Empfehlung nachhaltiges Bauen, **Ökobilanzdaten im Baubereich, 2009/1:2014**
Download unter <http://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=20&js=1> (Stand 2.12.2014)
- [10] E. Betram, J. Glembin, J. Scheuren, G. Rockendorf, Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal Deutschland, **Condensation heat gains on unglazed solar collectors in heat pump systems**, Teil des Projekts „UMSys“ (Oktober 2004 – Juni 2008), Deutsche Bundesstiftung Umwelt (FN 21098)

Anhang

Anhang I	Ausführungsschema
Anhang II	Datenblatt Solarabsorber
Anhang III	Regelbeschrieb

Anhang I

Ausführungsschema

Anhang II

Datenblatt Solarabsorber

Solar Collector Factsheet Energie Solaire Kollektor AS



Modell	Kollektor AS
Typ	Flachkollektor
Hersteller	Energie Solaire SA
Adresse	Z. I. Ile Falcon C.P. 353 CH-3960 Sierre
Telefon	+41 (027) 451 13 20
Telefax	+41 (027) 451 13 20
Email	info@energie-solaire.com
Internet	www.energie-solaire.com
Testdatum	01.2012

- Leistungsmessung EN12975:2006
- Qualitätstest EN12975:2006



Dimensionen	Technische Daten
-------------	------------------

Bruttomass Länge	2.370 m
Bruttomass Breite	0.865 m
Bruttofläche	2.050 m ²
Aperturfläche	1.986 m ²
Absorberfläche	1.986 m ²
Leergewicht	30 kg

Minimaler Volumenstrom	40 l/h
Nennvolumenstrom	80 l/h
Maximaler Volumenstrom	400 l/h
Flüssigkeitsinhalt	5.5 l
Maximaler Betriebsdruck	3 bar
Stagnationstemperatur	109 °C

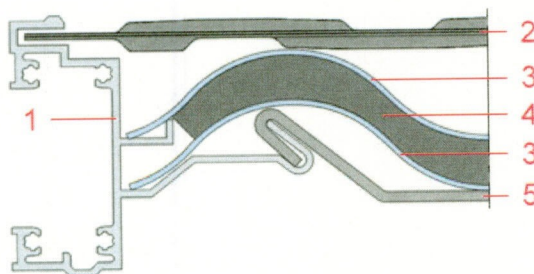
Montagearten	Weitere Angaben
--------------	-----------------

- Aufbau auf Schrägdach
- Einbau in Schrägdach
- Ständeraufbau für Flachdach
- Fassadenmontage

- Module in verschiedenen Grössen erhältlich
- Abdeckung auswechselbar

Hydraulischer Anschluss
G3/8"

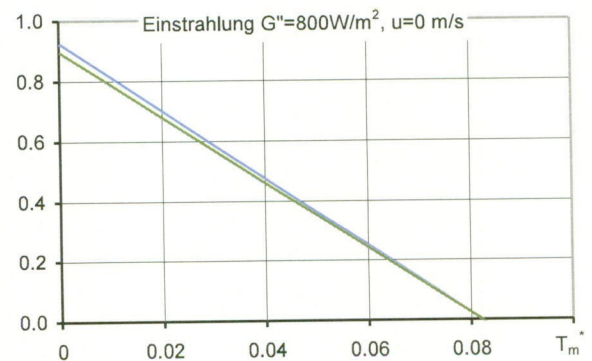
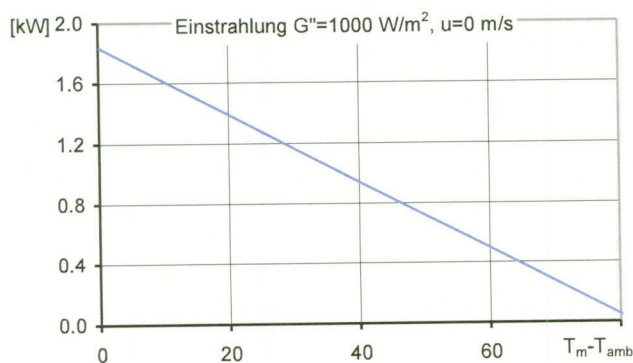
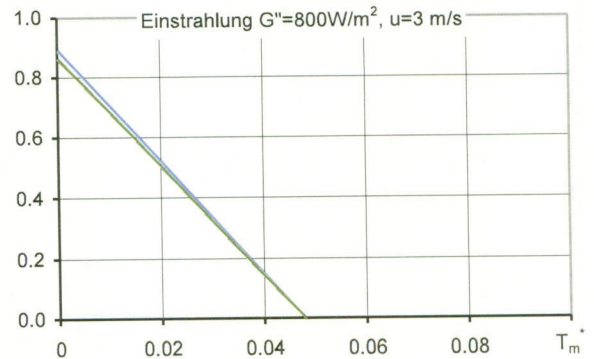
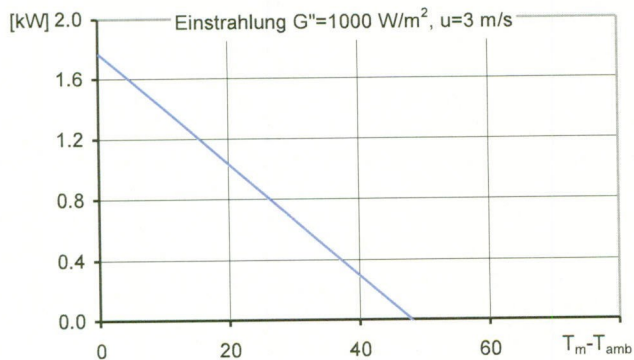
Aufbau



- 1 Gehäuse
- 2 Absorber
- 3 Unterdach
- 4 Dichtstreifen
- 5 Haltprofil

Peak Power pro Kollektor W_{peak}

Relativer Wirkungsgrad η



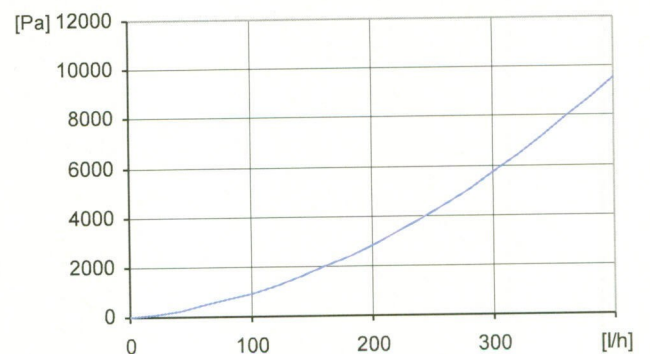
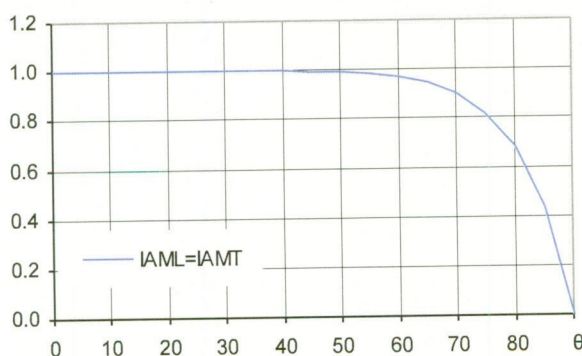
Peak Power W_{peak}	1772 W
Wärmekapazität*	8.8 kJ/K
Volumenstrom im Test	140 l/h
Testmedium:	Wasser-Glykol 33.3%
Windgeschwindigkeit	u [m/s]

Referenz	Brutto	Apertur	Absorber
η_0	0.897	0.925	0.925
b_1 [$WK^{-1}m^{-2}$]	10.91	11.26	11.26
b_2 [$WK^{-2}m^{-2}$]	2.37	2.45	2.45
b_u	0.012	0.012	0.012

*) Spezifische Wärmekapazität C des Kollektors ohne Fluidinhalt, bestimmt nach 6.1.6.2 der EN12975-2:2006

Winkelfaktor IAM

Druckverlust Δp



K1, transversaler IAM bei 50°	0.99
K2, longitudinaler IAM bei 50°	0.99

Druckverlust bei Nennvolumenstrom:
 $\Delta p = 673$ Pa ($T=20^\circ C$)

Anhang III

Regelbeschrieb



Regelbeschrieb

Solarabsorber-Anlage mit Wärmepumpe für die Trinkwarmwasser-Bereitung

Objekt: 13.2820.11 Zürich MFH Gehringerstrasse 61

Ersteller: R. Naef
U. Howald

Geprüft:
Datum: 01. Nov. 2013

Änderungen:

Inhaltsverzeichnis

Solarabsorber-Anlage mit Wärmepumpe für die Trinkwarmwasser-Bereitung	1
1 Bezeichnungen im Beschrieb	3
2 Wärmepumpe BWB	3
2.1 Aufgabe der Anlage	3
2.2 Matrix Betriebsarten Wärmepumpe	3
2.3 Wärmepumpe Generell	3
2.4 Betriebsmeldungen	4
3 Betriebsarten	4
3.1 Vorwärmer erwärmen	4
3.2 Boiler direkt erwärmen	4
3.3 Boiler laden ab Solarabsorber mit Wärmepumpe	4
3.4 Boiler laden ab Fernwärmerücklauf mit Wärmepumpe	4
4 Einzelne Regelfunktionen	5
4.1 Hochhaltung BWB-Vorlauf	5
4.2 Verdampfer und Einspritzung	5
4.2.1 Tiefhaltung Verdampfer	5
4.2.2 Drehzahlregelung Verdampferpumpe P8.1	5
4.2.3 Verdampfungsdruckregelung	5
5 Störung Priorität 1 und 2	6
5.1 Störung Priorität 1	6
5.2 Störung Priorität 2	6
6 Sollwerte / Handschaltungen	6
6.1 Verstellbare Sollwerte	6
6.2 Sollwerte Intern	6
6.3 Handschaltung	6
7 Kommunikation	6
7.1 Der Onlinezugriff KWT Worb – Objekt wird noch abgeklärt	6
8 Anhang: Prinzipschema Wärmepumpenanlage	7
8.1 Vorwärmer laden über Solar	7
8.2 Boiler laden über Solar	8
8.3 Boiler laden mit Wärmepumpe ab Solar	9
8.4 Boiler laden mit Wärmepumpe Rücklauf Fernwärme	10
9 Beschriftung Bezeichnungen Müller, Bucher / KWT	11

1 Bezeichnungen im Beschrieb

SW = Sollwert
 K = Kelvin
 °C = °Celsius
 112A2 = Position im Elektroschema

2 Wärmepumpe BWW

2.1 Aufgabe der Anlage

Mit den ca. 62 m² Solarabsorbern wird das Trinkwarmwasser direkt oder über eine Wärmepumpe aufbereitet.

2.2 Matrix Betriebsarten Wärmepumpe

Die Anlage kann gem. der folgenden Matrix in den verschiedenen Betriebsarten betrieben werden:

Betriebsart	Priorität	Bedingungen	Wärmeabgabe	Wärmegewinnung
Vorwärmer erwärmen	4	Temperatur Solarabsorber grösser als Vorwärmer	Vorwärmer 1 + 2 (2 x 800 Liter)	62 m ² Solarabsorber
Boiler direkt erwärmen	3	Temperatur Solarabsorber grösser als Sollwert Boiler	Boiler 2000 Liter	62 m ² Solarabsorber
Boiler laden ab Solarabsorber mit Wärmepumpe	1	Anforderung Boilerladen und Aussentemp. über 8°C (SW)	Boiler 2000 Liter	62 m ² Solarabsorber
Boiler laden ab Rücklauf Heizung mit Wärmepumpe	2	Anforderung Boilerladen und Aussentemp. unter 8°C (SW)	Boiler 2000 Liter	Hauptrücklauf zur Fernwärme

2.3 Wärmepumpe Generell

Die Wärmepumpe wird bis zu einer Aussentemperatur von > 8°C betrieben mit Wärmegewinnung ab Solarabsorber betrieben. Unter diesem Sollwert wird auf Wärmegewinnung vom Rücklauf zum Fernwärmenetz umgeschaltet.

Die gewonnene Wärme wird im WP Betrieb über einen Plattenkondensator dem Boiler zugeführt.

2.4 Betriebsmeldungen

Normale auf dem Display angezeigte Betriebsmeldungen.

- Betrieb Kompressor
- Störung Priorität 1
- Störung Priorität 2

3 Betriebsarten

3.1 Vorwärmer erwärmen.

Steigt die Temperatur an einem der beiden Solarabsorber 6K über die Temperatur des Vorwärmers 1 oder 2 wird die Ladung angefordert. Nun startet die Pumpe P6.1 und fördert die Sole vom Solarkreis über den Systemtrenner BWW/Solar. Steigt die Temperatur am Fühler T6.2 8K über die Temperatur im Vorwärmer 1 unten T5.2 wird die Pumpe P5.1 dazu geschaltet und so die Wärme zu den Vorwärmern gebracht. Die Ladung wird beendet wenn die Temperatur am Solarpanel weniger als 3K über der Temperatur T5.2 liegt.

3.2 Boiler direkt erwärmen

Steigt während der Betriebsart 3.1 die Temperatur am Fühler T6.2 über den Sollwert Boiler wird das Ventil V5.1 auf den Boiler umgeschaltet und so der Boiler direkt geladen. Auf diese Weise werden alle BWW-Speicher durchgeladen.

3.3 Boiler laden ab Solarabsorber mit Wärmepumpe

Wird im Stillstand der Anlage (Stillsand Solarabsorber) oder beim Vorwärmen vom Boiler laden (Wärme) verlangt (T Boiler oben T5.5 6K unter Sollwert Boiler) wird die Vorwärmerladung falls in Betrieb abgebrochen und die beiden Ventile V6.1 und V7.1 auf den Verdampfer umgeschaltet. danach startet die Verdampferpumpe und bringt die Energie vom Solarabsorber zum Verdampfer. Nun startet die Kondenserpumpe und nach einer kurzen Vorlaufzeit die Wärmepumpe.

Durch die Regulierung des BWW-Ventils V4.2 wird die BWW-Vorlauftemperatur so geregelt das der Boiler in einem Durchgang geladen wird.

3.4 Boiler laden ab Fernwärmerücklauf mit Wärmepumpe

Wird vom Boiler laden (Wärme) verlangt (T Boiler oben T5.5 6K unter Sollwert Boiler) und die Aussentemperatur ist unter dem Sollwert Freigabe Wärmegewinnung ab Solarabsorber schaltet das Ventil V7.1 den Verdampfer auf den Systemtrenner Wärmequelle Fernleitung um. Danach startet die Verdampferpumpe und bringt die Energie von der Fernwärme zum Verdampfer. Nun startet die Kondenserpumpe und nach einer kurzen Vorlaufzeit die Wärmepumpe.

Durch die Regulierung des BWW-Ventils V4.2 wird die BWW-Vorlauftemperatur so geregelt das der Boiler in einem Durchgang (auf ca. 50°C) geladen wird.

4 Einzelne Regelfunktionen

4.1 Hochhaltung BWW-Vorlauf

Damit der Boiler sauber von oben nach unten durchgeladen werden kann, muss die Vorlauftemperatur auf der gewünschten Temperatur gehalten werden.

Damit rasch und ohne Verzögerung geregelt werden kann, wird die Kondensationstemperatur auf den Sollwert (ca. 50°C) geregelt. Dies geschieht durch das Ventil V4.2.

Durch das regulieren dieses Ventiles ändert sich der Massenstrom über den Kondensator und so kann der Kondensationsdruck und damit die BWW-Vorlauftemperatur auf dem gewünschten Wert gehalten werden (ca. 50°C).

4.2 Verdampfer und Einspritzung

Damit der Verdichter innerhalb der Einsatzgrenzen bleibt, muss einerseits der Saugdruck nach oben begrenzt werden und andererseits darf die Sauggas-Überhitzung einen gewissen Wert nicht übersteigen.

4.2.1 Tiefhaltung Verdampfer

Bei viel Sonne kann es vorkommen das die Temperatur am Solarabsorber hohe Werte erreicht. Steigt die Temperatur am Verdampfer immer weiter an, wird mit dem Tiefhalteventil V8.1 die Temperatur auf den Wert T-max Verdampfer geregelt. Dadurch wird die Verdampfertemperatur und damit auch die Sauggas und Heissgastemperatur nach oben begrenzt.

4.2.2 Drehzahlregelung Verdampferpumpe P8.1

Damit im Wärmepumpenbetrieb nicht unnötig viel Sole umgewälzt wird, ist die Leistung der Verdampferpumpe drehzahlreguliert.

Je nach Verdampfer-Eintritt Temperatur liegt der Sollwert dT Verdampfer zwischen 3 bis 6K. Bei tiefen Verdampfungstemperaturen kann dieser Wert noch übersteuert werden.

4.2.3 Verdampfungsdruckregelung

Bei steigenden Temperaturen am Verdampfer steigt auch die Verdampfungstemperatur an. Um ein Überlasten des Verdichters zu verhindern wird durch das Begrenzen des Stellsignals vom Einspritzventil der Saugdruck auf 20°C begrenzt.

5 Störung Priorität 1 und 2

5.1 Störung Priorität 1

Eine Störung Priorität 1 wird ausgelöst, wenn ein Zustand eintritt, der aus Sicherheitsgründen ein Weiterbetreiben der Anlage nicht mehr zulässt.

Beispiel:

- Störung Hochdruck infolge eines geschlossenen Absperrhahn Heizspeicher
- Störung Pumpe Verdampfer oder Boiler etc.
- Die Störung wird auf das Textdisplay ausgegeben.

5.2 Störung Priorität 2

Eine Störung Priorität 2 wird ausgelöst, wenn ein Zustand eintritt, der das Weiterbetreiben der Anlage zulässt.

Beispiel:

- Handschaltung
- Fühlerfehler
- Die Störung wird auf das Textdisplay ausgegeben.

Handschaltung: manuelle Handeingriffe zu Service-Zwecken

6 Sollwerte / Handschaltungen

6.1 Verstellbare Sollwerte

- SW BWW Temperatur 55.0 °C
- SW-Freigabe Wärmegewinnung ab Solar 8.0 °C

6.2 Sollwerte Intern

- Sollwert Niederdruckalarm -15.0 °C
- Sollwert Hochdruckalarm 76.0 °C
- Sollwert MOP-Punkt (max. Saugdruck) 20.0 °C
- Sollwert Überhitzung 8.0 Kelvin
- Wiedereinschaltsperr Kompressoren 5.0 Minuten
- Sollwert Frost-Störung Verdampfer 0.0 °C
- Sollwert Forstalarm Fernwärmetauscher 5.0 °C
- Sollwert Nachlauf BWW-Pumpe 20.0 Sekunden

6.3 Handschaltung

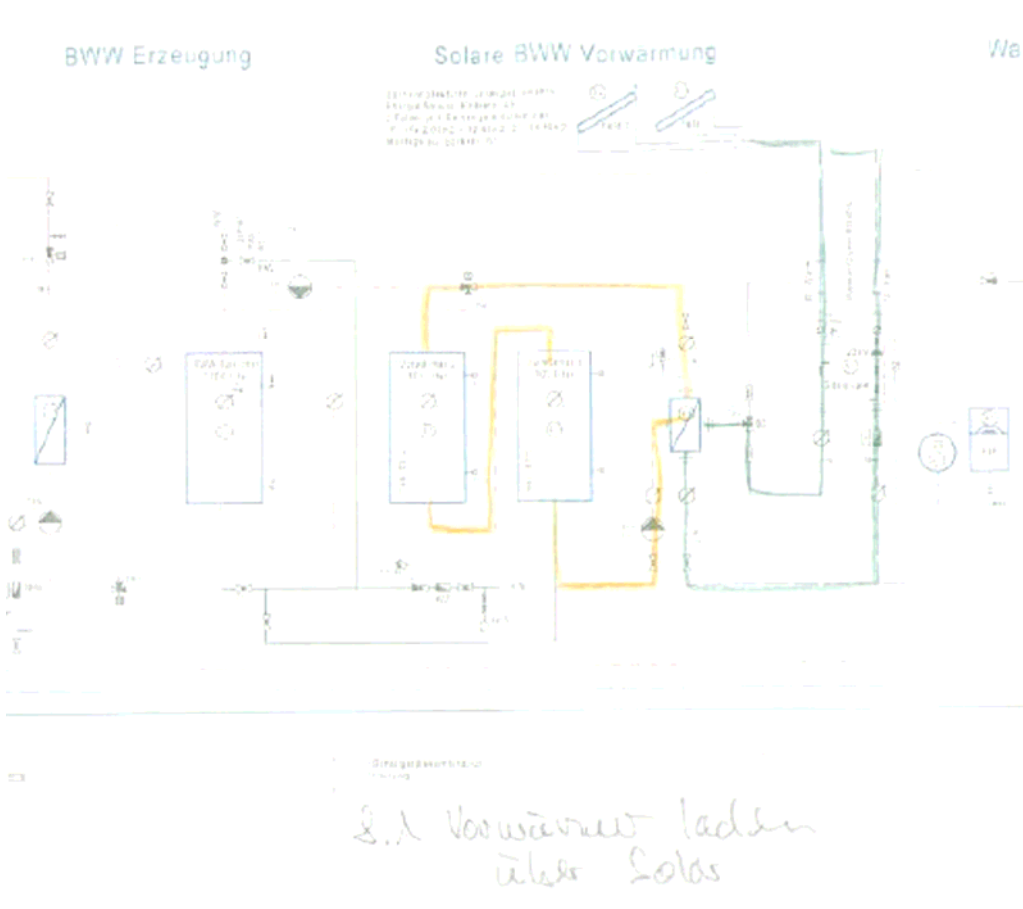
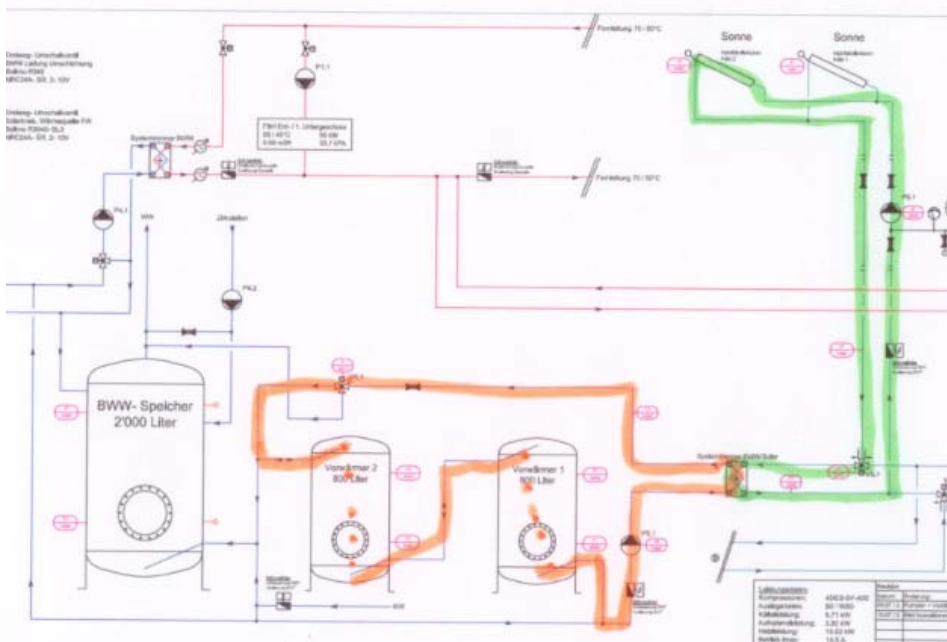
- Sämtliche Pumpen und Mischventile welche KWT seitig angesteuert werden, können auch von Hand geschaltet werden (Gebrauch zur Funktionskontrolle und für den Service).

7 Kommunikation

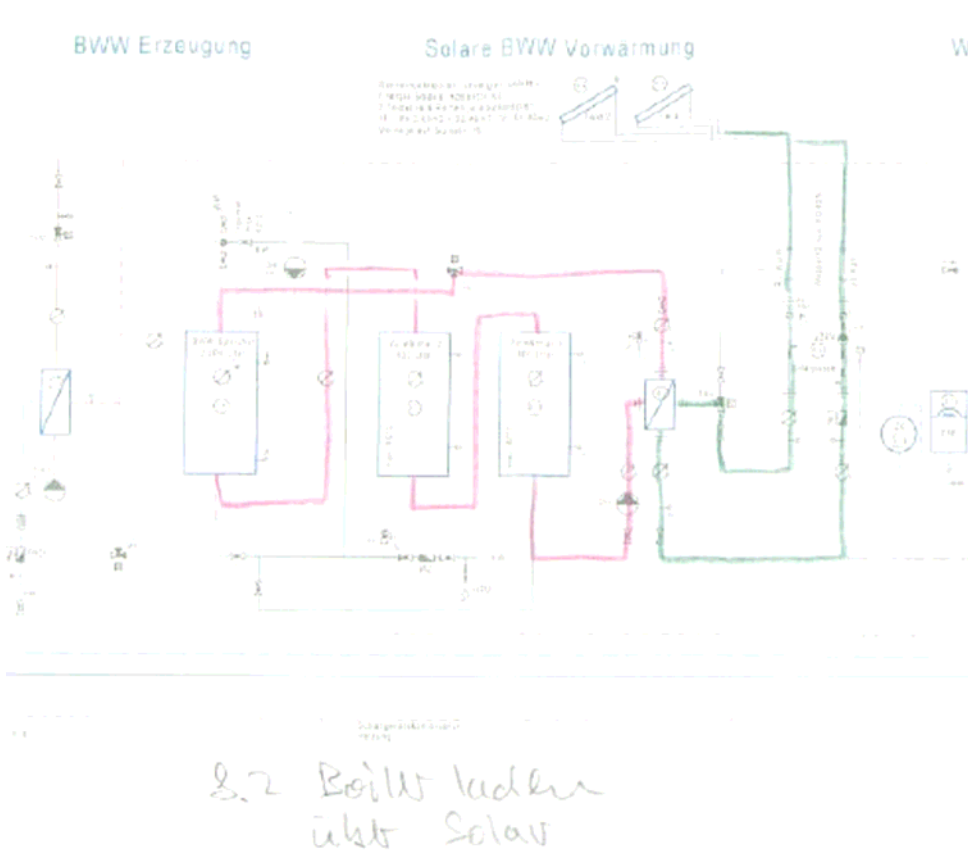
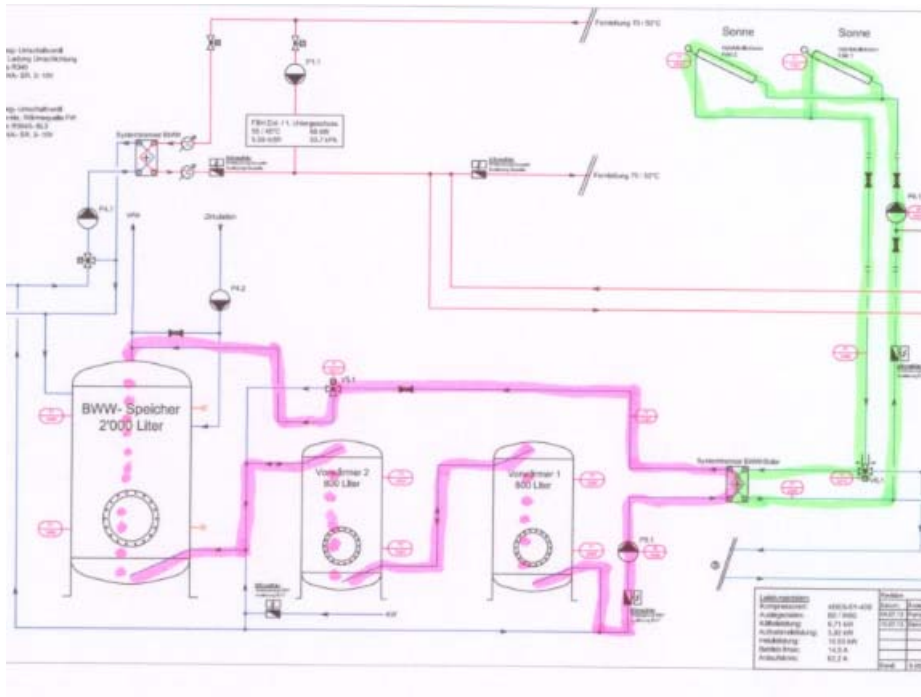
7.1 Der Onlinezugriff KWT Worb – Objekt wird noch abgeklärt.

8 Anhang: Prinzipschema Wärmepumpenanlage

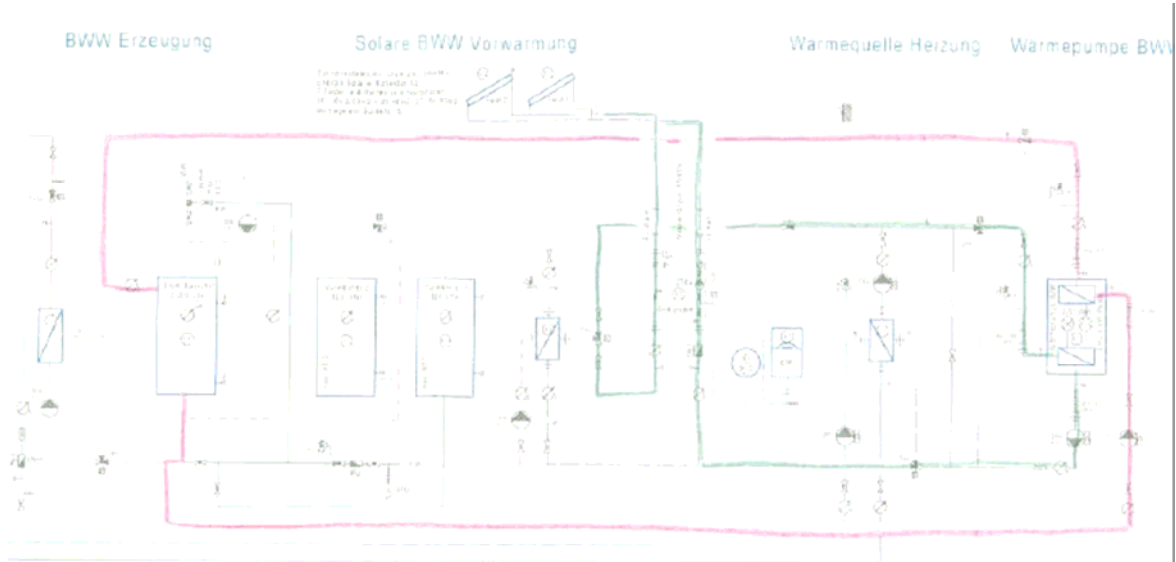
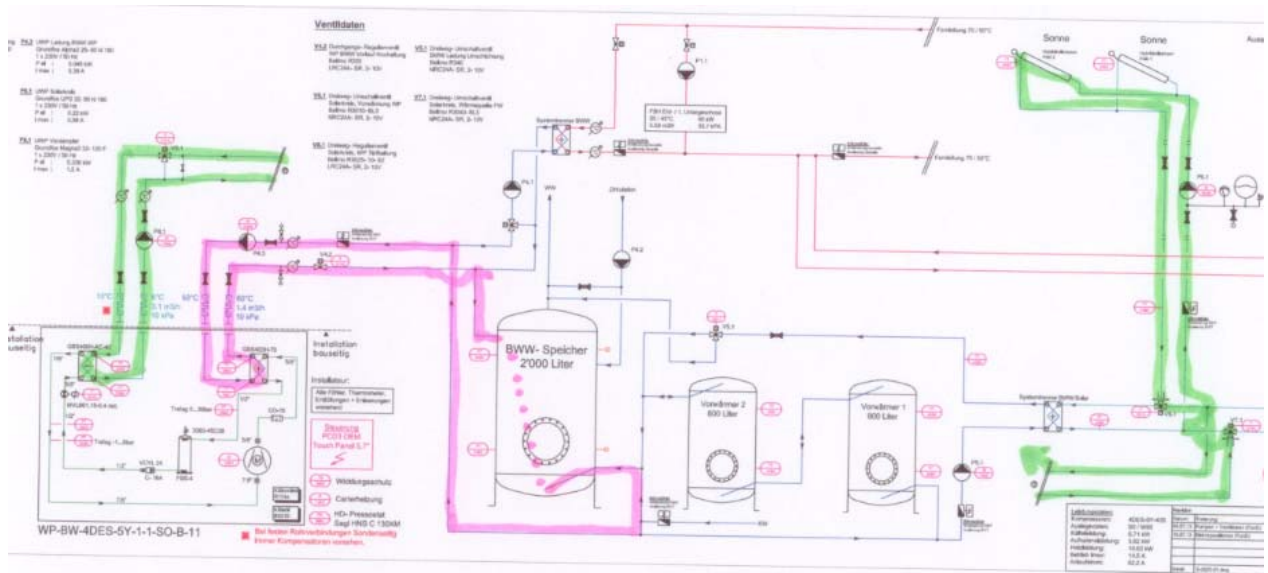
8.1 Vorwärmer laden über Solar



8.2 Boiler laden über Solar



8.3 Boiler laden mit Wärmepumpe ab Solar



8.3 Boiler laden mit Wärmepumpe ab Solaranlage

9 Beschriftung Bezeichnungen Müller, Bucher / KWT

Bezeichnung Müller ,Bucher	Bezeichnung KWT-Schema	Nahme	Kommentar
Regulierventile			
V1.1	Bestehend	Ventile Heizung	Regelventil Heizgruppe Wohnungen
V2.1	Bestehend	Ventil Boilerladung	Regelventil Boilerladung ab Fernwärme
V4.1	Bestehend	Ventil Boilerladung	Umschaltventil Boilerladung ab Fernwärme
V4.2	31Y6	BWW-Hochhalteventil	Hochhalteventil Boilerladung ab BWW
V5.1	32Y1	BWW-Umschaltventil	BWW-Umschaltventil Vorwärmer/Boiler
V6.1	32Y3	Umschaltventil WG	Umschaltventil WG WP/BWW-Systemtrenner
V7.1	31Y5	Umschaltventil WG	Umschaltventil WG WP/BWW-Systemtrenner
V8.1	31Y3	Tiefhalteventil	Tiefhalteventil Verdampfer
Bezeichnung Müller ,Bucher	Bezeichnung KWT-Schema	Nahme	Kommentar
Temperaturfühler			
T1.1	Bestehend		Heizung Block A1, H 4, 5, 6
T3.1	45B1		Fernwärme Rücklauf Eintritt
T3.2	45B3		Fernwärme Rücklauf Austritt
T3.2	Bestehend		Fernwärme Rücklauf Austritt Sensortec PT 1000 .
T4.1	Bestehend		BWW Ladung VL Siemens QAD 21 bestehend
T4.2	Bestehend		BWW Speicher, Ladung EIN Siemens QAP 21.3 bestehend
T4.3	Bestehend		BWW Speicher, Ladung AUS Siemens QAP 21.3 bestehend
T5.1	42B6		Vorwärmer 1 oben Sensortec PT 1000
T5.2	42B8		Vorwärmer 1 unten Sensortec PT 1000
T5.3	43B1		Vorwärmer 2 oben Sensortec PT 1000
T5.4	43B3		Vorwärmer 2 unten Sensortec PT 1000
T5.5	34B5		BWW Speicher oben Sensortec PT 1000
T5.6 .	34B3		WP BWW Austritt Sensortec PT 1000
T5.7	34B1		WP BWW Eintritt Sensortec PT 1000 .
T5.8	43B5		BWW Vorwärmung Sensortec PT 1000 .
T6.1	43B6		Solarkreis Rücklauf (kalt) Sensortec PT 1000 .
T6.2	44B5		Solarkreis Vorlauf (warm) Sensortec PT 1000 .
T6.3	Fehlt		Solarkreis Vorlauf WP (warm) Sensortec PT 1000 .
T6.4	44B3		Kollektorfeld 2 . PT 1000
T7.1	44B6		Wärmequelle Fernleitung Solar
T8.1	33B6		WP Sole Austritt Sensortec PT 1000 .
T8.2	33B5		WP Sole Eintritt Sensortec PT 1000 .
T9.1	Bestehend		Aussen-Temperaturfühler Heizgruppe Siemens QAC22 bestehend
T9.2	33B1		Aussen-Temperaturfühler BWW Vorwärmung Sensortec