

7.4 Krankenhaus der Elisabethinen Graz, Stmk.

7.4.1 Allgemeine Anlagenbeschreibung

<u>Projektname:</u>	Krankenhaus der Elisabethinen
<u>Adresse:</u>	8020 Graz
<u>Art der Anwendung:</u>	Solare Einspeisung in ein Wärmenetz (Mikronetz Elisabethinenspital Graz)
<u>Verbraucher:</u>	Warmwasserbereitung und Raumheizung
<u>Bruttokollektorfläche:</u>	362 m ² , Flachkollektor (GREENoneTEC GKH10-HP)
<u>Ausrichtung:</u>	8° nach Osten
<u>Neigung:</u>	45°
<u>Hauptheizungssystem:</u>	Fernwärme (250 kW)
<u>Energiespeichervolumen:</u>	20 m ³
<u>Solarer Deckungsgrad:</u>	49% (Messung)
<u>Spezifischer Ertrag:</u>	504 kWh/m ² a (Messung bezogen auf die Aperturfäche)
<u>Projektstatus:</u>	Monitoringphase beendet mit April 2014
<u>Zuständigkeit Begleitforschung:</u>	AEE INTEC

Im Zuge der Errichtung eines neuen Bettentraktes inkl. Intensivzimmer wurde seitens der Krankenhausleitung des in Graz befindlichen „Krankenhaus der Elisabethinen“ auch die Installation einer solarthermischen Anlage beschlossen. Das 2013 in Betrieb genommene 362 m² große Kollektorfeld unterstützt dabei, in Verbindung mit einem 20 m³ fassenden Energiespeicher, die Raumheizung im Neubau als auch im Bestandsgebäude (Rücklaufanhebung der Fußbodenheizung) sowie die Frischwasservorwärmung innerhalb der zentralen Warmwasserbereitung für das gesamte Areal. Abbildung 51 zeigt hierzu Bilder zur am Flachdach aufgeständerten Solaranlage. Die Komplementärenergiequelle bildet für diese Wärmeversorgungseinheit im Krankenhausareal die städtische Fernwärme (250 kW Anschlussleistung).



Abbildung 51: Ansicht Kollektorfeld der Anlage „Krankenhaus der Elisabethinen“, Bildquelle: AEE INTEC

7.4.2 Hydraulik- und Messkonzept

Wie in Abbildung 52 dargestellt, speist die solarthermische Anlage je nach Temperaturniveau in zwei unterschiedlichen Höhen des 20.000 Liter fassenden Pufferspeichers ein. Die Einspeisung der Fernwärme findet im obersten Bereich des Pufferspeichers statt. Durch die Anordnung des Rücklaufanschlusses zur Fernwärme-station im oberen Drittel des Pufferspeichers, stehen die restlichen zwei Speicherdrittel dem Solarsystem zur Verfügung.

Die Wärmeversorgung aus dem Pufferspeicher heraus erfolgt über ein Mikronetz mit zwei Hauptsträngen. Auf einem Verteilerkreis hängt dabei der Raumheizungskreislauf im Neubautrakt (156 kW Radiatorheizung 70/50°C; 50 kW Fußbodenheizung 40/30°C). Die

Rückläufe dieser Verbraucher mit unterschiedlichen Wärmeabgabesystemen werden getrennt zum Pufferspeicher zurückgeführt und auch in unterschiedlichen Anschlusshöhen eingebracht. Ein zweiter Versorgungsstrang des Mikronetzes führt einerseits zur zentralen Warmwassererwärmung (Vorwärmung des Frischwassers) und andererseits zur Rücklaufanhebung des Fußbodenheizungskreislaufes für die Bestandsgebäude. Im Rahmen des Monitorings werden die Globalstrahlung und der Druck im Solarprimärkreis gemessen. Der Wärmeinput als auch der Wärmeoutput der einzelnen Kreise wird mit insgesamt fünf Wärmemengenzählern erfasst. Insgesamt dienen 16 Temperatursensoren der Betriebsanalyse.

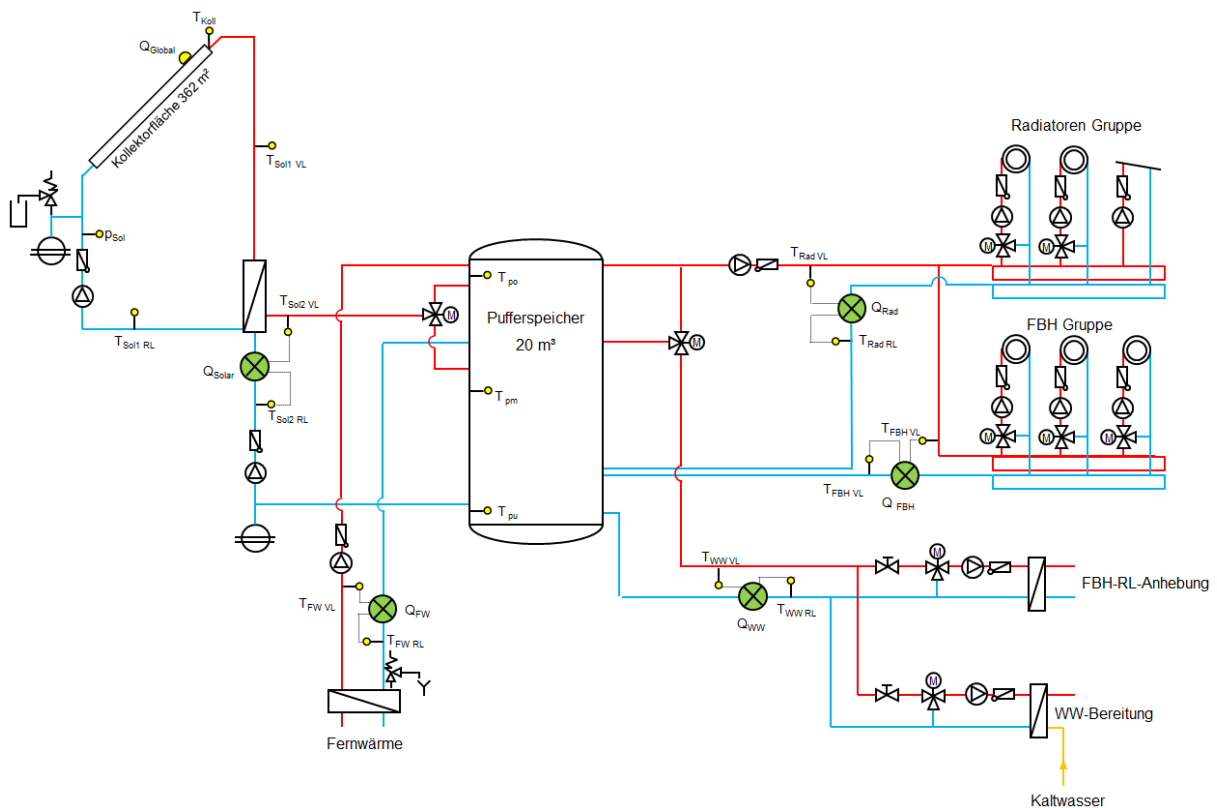


Abbildung 52: Hydraulik- und Messkonzept der Anlage „Krankenhaus der Elisabethinen“ (grün: Volumenstromzähler; gelb: Temperatur-, Druck- und Einstrahlungssensoren)

Die Beschreibung der einzelnen Messpunkte ist nachfolgend zusammengefasst:

Solkreis

Q_{Global}	Globalstrahlungssensor
T_{Koll}	Kollektortemperatur
P_{Sol}	Drucksensor Primärkreis
$T_{Sol1\ VL}$	Solarvorlauftemperatur Primärkreis
$T_{Sol1\ RL}$	Solarrücklauftemperatur Primärkreis
Q_{solar}	Wärmemengenzähler Solar
$T_{Sol\ 2\ VL}$	Solarvorlauftemperatur Sekundärkreis
$T_{Sol\ 2\ RL}$	Solarrücklauftemperatur Sekundärkreis

Pufferspeicher

T_{Po}	Pufferspeichertemperatur Oben
T_{Pm}	Pufferspeichertemperatur Mitte
T_{Pu}	Pufferspeichertemperatur Unten

Fernwärme

$T_{FW\ VL}$	Vorlauftemperatur für Fernwärme
--------------	---------------------------------

$T_{FW, RL}$ Rücklauf­temperatur für Fernwärme
 Q_{FW} Wärmemengenzähler für Fernwärme

WW-Bereitung / FBH-RL-Anhebung

$T_{WW, VL}$ Vorlauf­temperatur für WW-Bereitung / FBH-RL-Anhebung
 $T_{WW, RL}$ Rücklauf­temperatur für WW-Bereitung / FBH-RL-Anhebung
 Q_{WW} Wärmemengenzähler für WW-Bereitung / FBH-RL-Anhebung

Fußbodenheizung

$T_{FBH, VL}$ Vorlauf­temperatur für Fußbodenheizung
 $T_{FBH, RL}$ Rücklauf­temperatur für Fußbodenheizung
 Q_{FBH} Wärmemengenzähler für Fußbodenheizung

Radiatoren

$T_{Rad, VL}$ Vorlauf­temperatur für Radiatoren
 $T_{Rad, RL}$ Rücklauf­temperatur für Radiatoren
 Q_{Rad} Wärmemengenzähler für Radiatoren

7.4.3 Energiebilanz

Abbildung 53 zeigt die Input-Output-Bilanz rund um den neu errichteten 20 m³ Wärmespeicher im Projekt „Krankenhaus der Elisabethinen“. Der Wärmeeintrag findet zum einen über die Solaranlage (gelb) als auch über den Fernwärmeeanschluss (rot) statt. Verbraucher bilden der Raumheizungskreis für die Radiatorenheizung (blau) und für die Fußbodenheizung (violett) sowie die Warmwassererwärmung (Vorwärmung des Frischwassers) und die Rücklaufanhebung des Fußbodenheizungskreislaufes für die Bestandsgebäude (grün). Wie an der Energiebilanz erkennbar, überstieg in den Monaten März bis September der kumulierte Eintrag solarer Wärme den Wärmebedarf des Raumheizungskreises (Radiatorenheizung und Fußbodenheizung des Neubaus). In diesen Monaten konnte die restliche zur Verfügung stehende solare Wärme zur Warmwasserbereitung (Vorwärmung des Frischwassers) und zur Rücklaufanhebung der Fußbodenheizung der Bestandsgebäude verwendet werden.

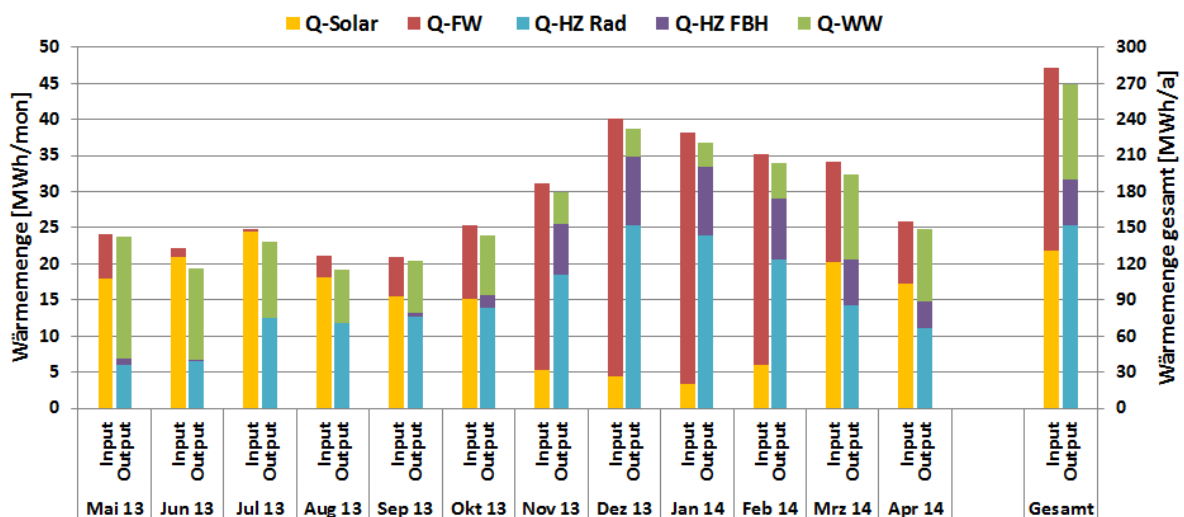


Abbildung 53: Energiebilanz der Anlage „Krankenhaus der Elisabethinen“ (Mai 2013 bis April 2014)

Die Differenz zwischen den Wärmeinputs und Wärmeoutputs ergibt sich aufgrund von Wärmeverlusten des Energiespeichers sowie durch Rohrleitungsverluste zwischen den jeweiligen Wärmemengenzählern und dem Energiespeicher. Diese betragen beim Projekt „Krankenhaus der Elisabethinen“ im einjährigen Betrachtungszeitraum rund 5 % des Gesamtenergieeintrags.

7.4.4 Vergleich Simulation – Messwerte

Folgende Abbildungen (Abbildung 54 bis Abbildung 56) geben einen Vergleich über die, bei der Einreichung angegebenen Simulationsergebnisse mit dem im Rahmen des einjährigen Anlagenmonitorings ermittelten Messergebnisse der relevanten Kennzahlen (spezifischer Solarertrag, solarer Deckungsgrad sowie der Wärmeverbrauch) betreffend die Anlage „Krankenhaus der Elisabethinen“.

Der laut Anlagensimulation des Betreibers zum Zeitpunkt der Fördereinreichung prognostizierte Jahressolarertrag betrug rund 608 kWh/m²a. Diese Annahme suggerierte jedoch einen beinahe linearen Anstieg des Ertrags über dem Jahresverlauf hinweg (siehe Abbildung 54). Nach Abschluss des einjährigen Monitoringzeitraums konnte ein kumulierter Solarertrag von 504 kWh/m²a messtechnisch nachgewiesen werden.

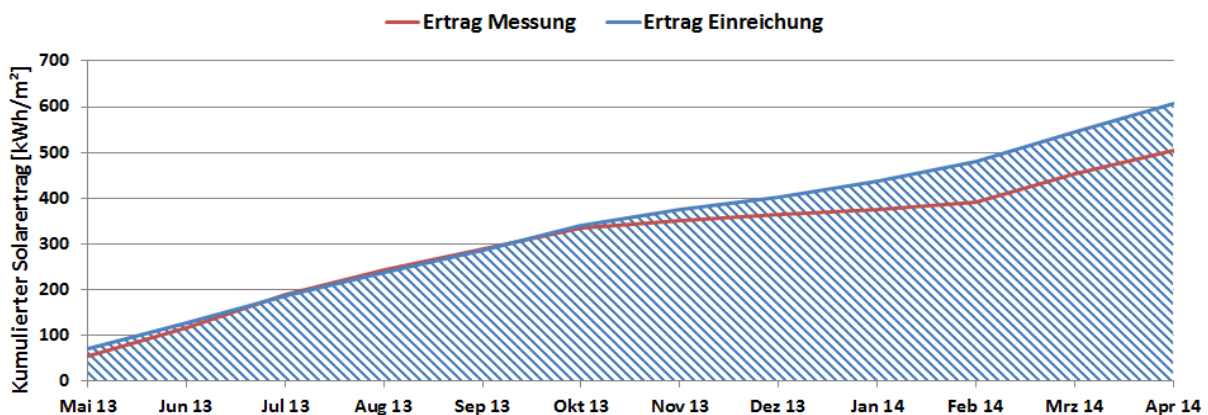


Abbildung 54: Vergleich des gemessenen spezifischen Solarertrags mit dem prognostizierten Wert für die Anlage "Krankenhaus der Elisabethinen" (Mai 2013 bis April 2014)

Der prognostizierte solare Jahresdeckungsgrad wurde laut Simulationsrechnung des Betreibers mit rund 28 % angegeben (siehe Abbildung 55). Obwohl eine prognostizierte 100% Abdeckung in den Monaten Juni, Juli und August knapp nicht erreicht werden konnte, liegt der jährlich gemessene solare Deckungsgrad mit 49 % deutlich über dem Prognosewert. Die Gründe hierfür ergeben sich aus dem geringeren Wärmebedarf im Zeitraum November 2013 bis April 2014 im Vergleich mit dem Prognosewert. Bemerkenswert ist, dass in den Monaten März bis September hohe solare Deckungsgrade von über 60 % erreicht werden konnten. In den Monaten Juni und Juli konnten solare Deckungsgrade von über 90 % ermittelt werden.

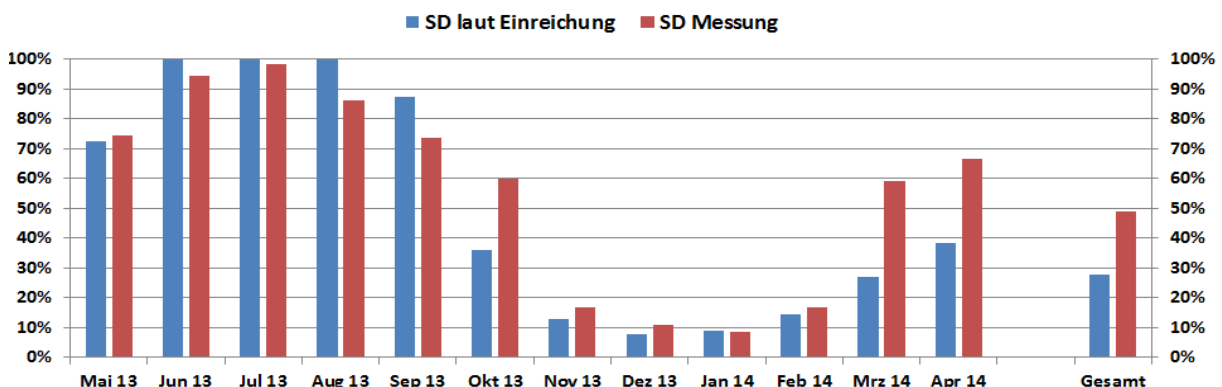


Abbildung 55: Vergleich des gemessenen solaren Deckungsgrades mit dem prognostizierten Wert für die Anlage "Krankenhaus der Elisabethinen" (Mai 2013 bis April 2014)

Der prognostizierte jährliche Gesamtwärmebedarf (697 MWh) des untersuchten Versorgungsteiles im „Krankenhaus der Elisabethinen“ als auch der tatsächlich gemessene Gesamtwärmebedarf ist in Abbildung 56 dargestellt. Deutlich erkennbar,

liegen die Messwerte bis zum Einsetzen der kälteren Jahreszeit relativ nahe an den prognostizierten Werten. Mit Beginn der Heizsaison fällt jedoch der Verbrauch stark hinter die erwarteten Werte zurück; was sich auch in höheren solaren Deckungsgraden widerspiegelt (siehe Abbildung 55). Vom Anlagenbetreiber wurde bestätigt, dass die prognostizierten Verbrauchsdaten nicht korrekt angesetzt wurden. Der lineare Verlauf des messtechnisch ermittelten Verbrauchs ergibt sich aus dem Analgenkonzept. So kann im Sommer solare Wärme, welche nicht zur Abdeckung der Raumheizungskreise des Neubaus benötigt wird, zur Warmwasserbereitung und Rücklaufanhebung der Fußbodenheizung im Bestandsgebäude herangezogen werden. Die Verwendung für die Warmwasserbereitung und Rücklaufanhebung der Fußbodenheizung orientiert sich an der zur Verfügung stehenden solaren Wärme, welche nicht zur Abdeckung der Raumheizungskreise des Neubaus benötigt wird. Diese ist im Sommer höher und im Winter geringer.

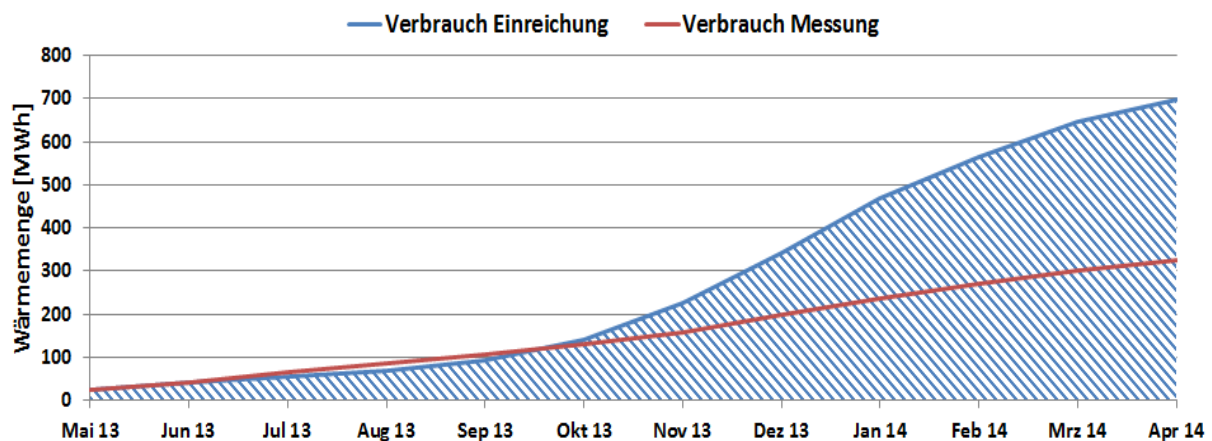


Abbildung 56: Vergleich des gemessenen Verbrauchs mit dem prognostizierten Verbrauch für die Anlage "Krankenhaus der Elisabethinen" (Mai 2013 bis April 2014)

7.4.5 Detailbetrachtung und Optimierungspotenziale

Abbildung 57 zeigt den Solarkreis der Solarthermieanlage beim Projekt „Krankenhaus der Elisabethinen“ an einem einstrahlungsreichen Sommertag. Die Solarkreispumpe schaltet um ca. 7 Uhr morgens ein. Die unteren beiden Speichertemperaturen (Mitte und unten) betragen ca. 40 °C, während im oberen Bereich bereits über knapp 60 °C herrschten. Der Volumenstrom steigt bis ca. 9 m³/h und lädt den Speicher auf allen Niveaus auf über 75 °C.

Die Pumpe regelt die Temperatur im Sekundärvorlauf auf 60 °C. Aufgrund des sich im Tagesverlauf erhöhenden Pufferspeichertemperaturniveaus und gleichzeitig hoher Einstrahlungswerte steigt der Volumenstrom ständig an bis er um ca. halb 11 Uhr das Maximum von 9 m³/h erreicht. Ab diesem Zeitpunkt steigen die Vorlauftemperaturen weiter an, erreichen jedoch kein für Stagnation kritisches Niveau.

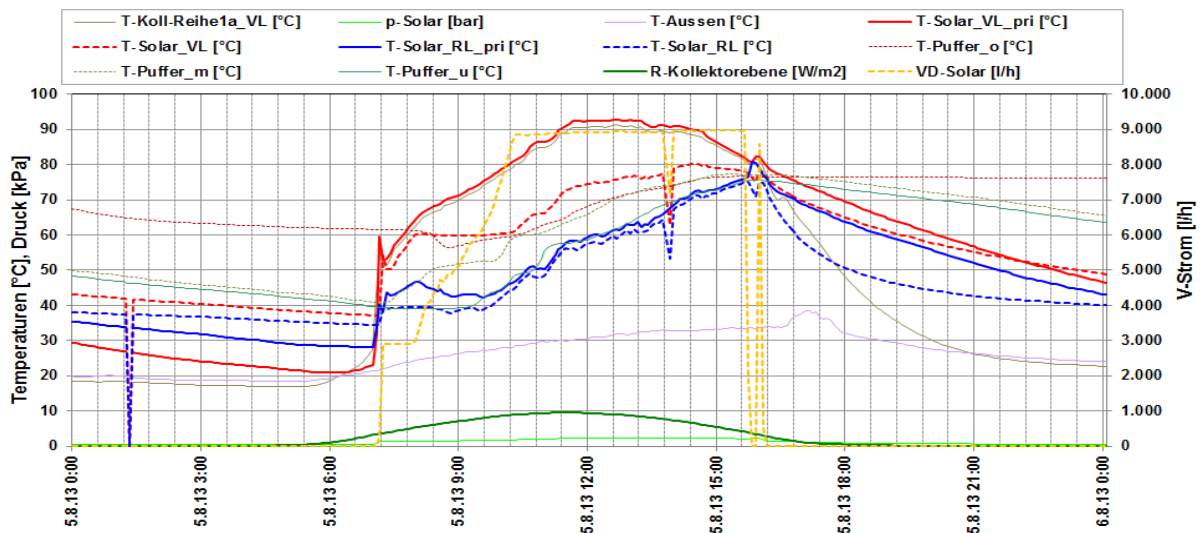


Abbildung 57: Beispielhafter Temperaturverlauf des Solarkreises zuzüglich des Verlaufs des Drucks, des Volumenstroms, der Pufferspeichertemperaturen, der Aussentemperatur und der Globalstrahlung (05.08.2013)

Der Solarkreis weist für diesen Tag als auch für den gesamten Betrachtungszeitraum insgesamt eine sehr solide Funktionsweise auf. Anlagenstagnation, aufgrund zu hoher Speichertemperaturen, ist im bisherigen Betrachtungszeitraum rund sieben Mal aufgetreten. Abbildung 58 zeigt dies am Beispiel des 03.08.2013. Die Sekundärkreispumpe läuft von ca. 8 bis 12:30 Uhr auf voller Leistung, da bereits am Morgen Temperaturen über 60 °C im Primärvorlauf herrschen, welche auf über 100 °C ansteigen. Die Speichertemperaturen betragen beim Einschalten im oberen Bereich 86 °C, in der Mitte und unten ca. 60 °C. Die Einspeisung erfolgt im mittleren Bereich und führt zu einer Durchladung auf ca. 90 °C um 12:30 Uhr. Zu diesem Zeitpunkt schaltet sich die Solarpumpe aus und die Anlage geht in Stagnation, was sowohl an den hohen Kollektortemperaturen (bis 160 °C) als auch an dem steigenden Druck im Kollektor (bis zu knapp 6 bar) sichtbar ist.

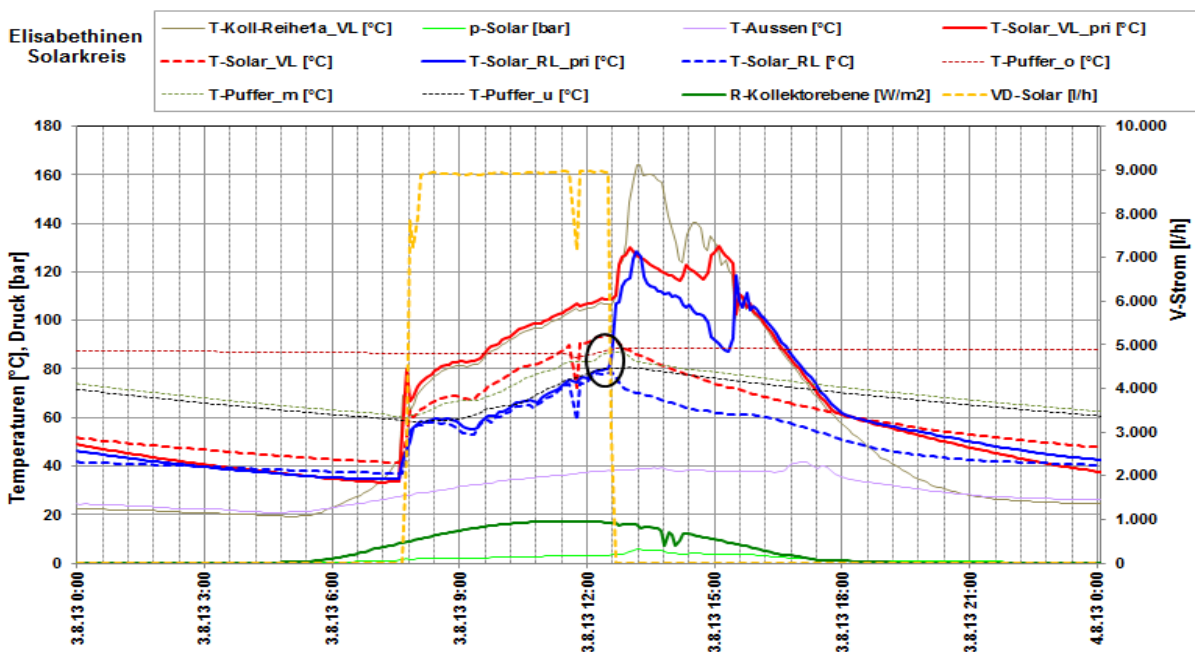


Abbildung 58: Beispielhafter Temperaturverlauf des Solarkreises bei Anlagenstagnation zuzüglich des Verlaufs des Drucks, des Volumenstroms, der Pufferspeichertemperaturen, der Aussentemperatur und der Globalstrahlung (03.08.2013)

In Abbildung 59 sind beispielhaft Messdaten zur Fernwärme Nachheizung an einem Novembertag zu sehen. Da an diesem Tag die Solarthermieanlage wegen zu geringer Einstrahlung nicht in Betrieb ging, wurde die gesamte Wärme über die Nachheizung bereitgestellt.

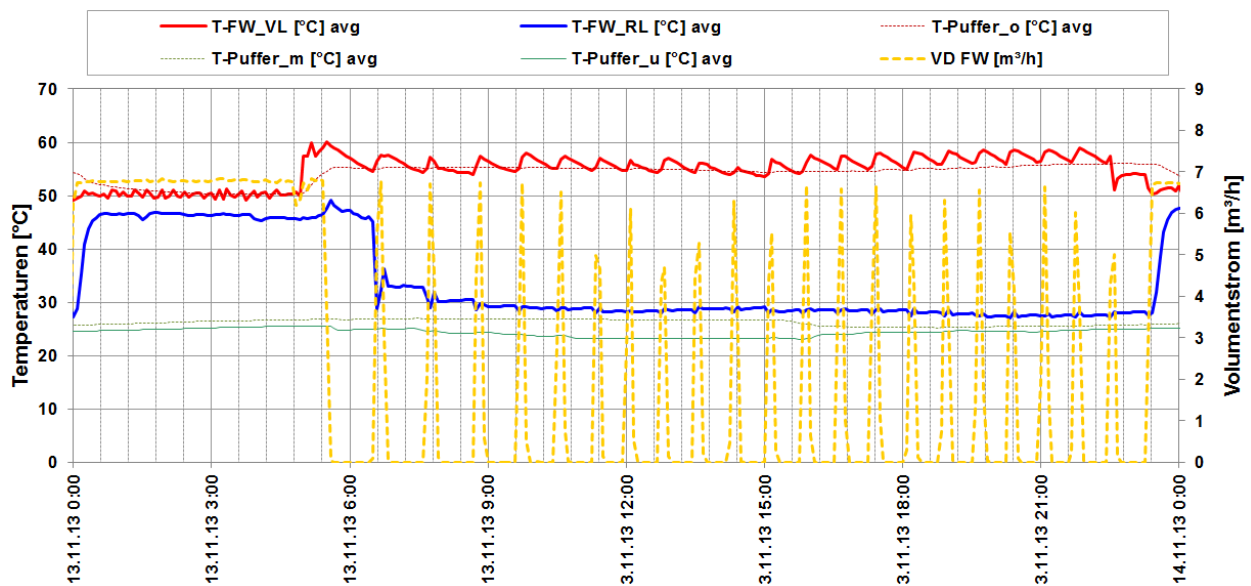


Abbildung 59: Beispielhafter Temperaturverlauf des Nachheizungskreises zuzüglich des Verlaufs der Pufferspeichertemperaturen, der Außentemperatur und des Volumenstroms des Nachheizungskreises (03.11.2013)

Laut Information vonseiten des Anlagenbetreibers schaltet sich die Fernwärmehinzuheizung hinzu, sobald der obere Speicherbereich auf 50 °C sinkt. Der Temperaturfühler für diese Regelung befindet sich ca. 20 bis 30 cm unterhalb des Temperaturfühlers „T-Puffer oben“. Die Abnahme sorgt dafür, dass es zu mehreren Starts der Fernwärmehinzuheizung im Abstand von ca. 1 Stunde kommt. Der Temperaturunterschied zwischen Vorlauf und Rücklauf (ca. 26 K) ist dabei relativ groß, während in der Nacht bis ca. 6:00 Uhr die Fernwärme mit einem konstanten Volumenstrom von ca. 7 m³/h läuft und hierbei ein geringes ΔT zwischen Vorlauf und Rücklauf von nur ca. 6 K aufweist. Dies ist laut Anlagenbetreiber mit der Nachtabsenkung der Fernwärmehinzuheizung zu erklären. Diese liefert niedrigere Temperaturen (ca. 50 °C in der Nacht während es Tagsüber rund 60 °C sind) und läuft daher mit einem kontinuierlichen Volumenstrom. Durch diesen nicht notwendigen kontinuierlichen Betrieb der Fernwärmehinzuheizung kommt es zu einem erhöhten Pumpenstrombedarf, der durch eine Anpassung der Regelung (Verringerung der Temperatur für die Inbetriebnahme der Fernwärmehinzuheizung geringfügig unter die Fernwärmehinzuheißtemperatur) verringert werden könnte. Dem Betreiber wurde das vorhandene Optimierungspotential kommuniziert. Eine Abänderung konnte aber im Betrachtungszeitraum nicht mehr erreicht werden.

In Abbildung 60 und in Abbildung 61 sind Temperaturverläufe zu den Verbraucherkreisen an einem Sommertag (05.08.2013) und an einem kälteren Novembertag (05.11.2013) abgebildet. Die Verbraucher teilen sich auf in einerseits einen Strang mit Heizungsverteilern (Radiatoren- und Fußbodenheizungsverteiler) sowie einen zweiten Strang für die Frischwasservorwärmung und Rücklaufanhebung der Fußbodenheizung).

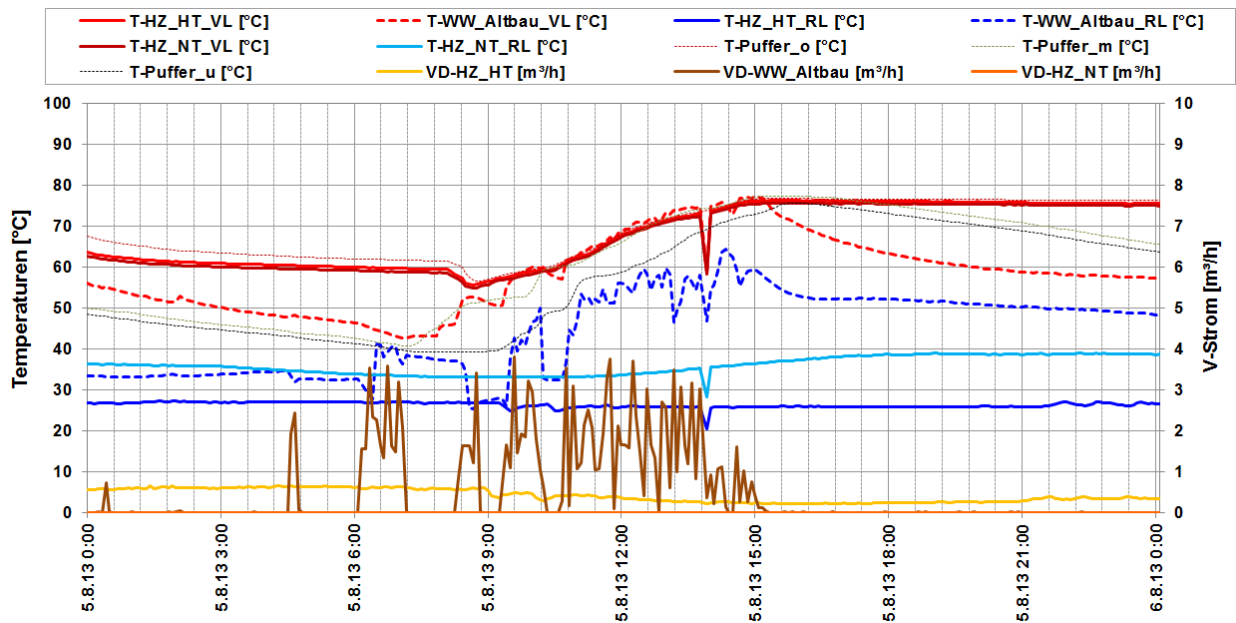


Abbildung 60: Beispielhafter Temperaturverlauf im Verbraucherkreis bei Sommer- und Winterbetrieb zuzüglich des Verlaufs der Pufferspeichertemperaturen, der Aussentemperatur und der Volumenströme (05.08.2013)

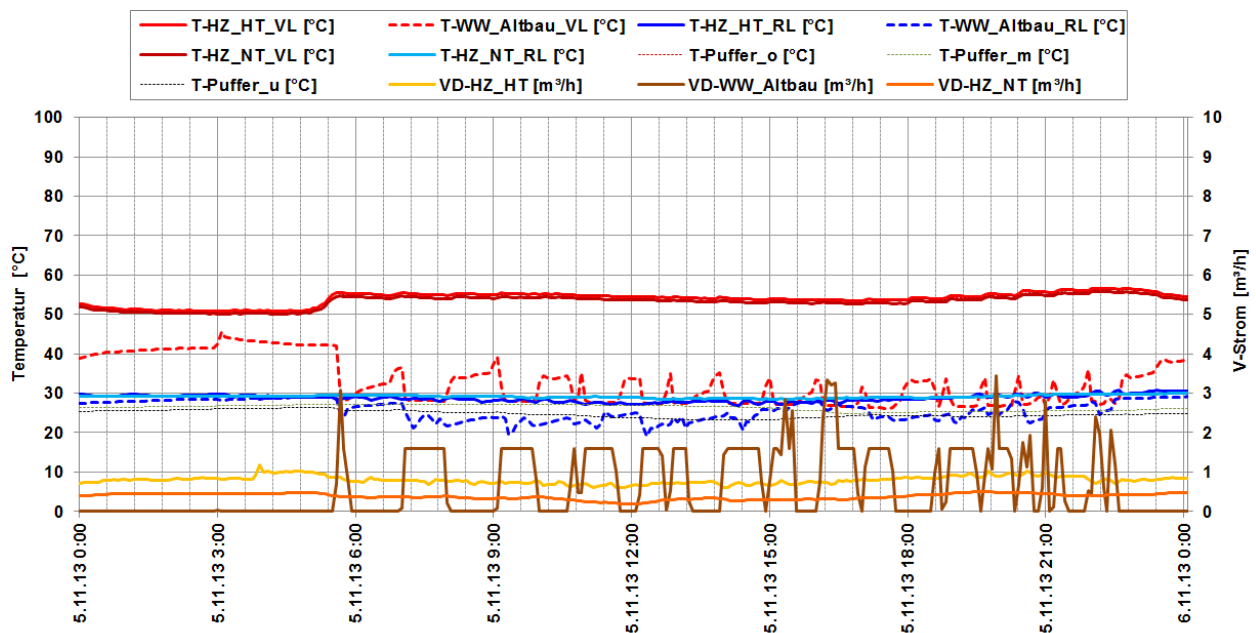


Abbildung 61: Beispielhafter Temperaturverlauf im Verbraucherkreis bei Sommer- und Winterbetrieb zuzüglich des Verlaufs der Pufferspeichertemperaturen, der Aussentemperatur und der Volumenströme (05.11.2013)

Zu erkennen ist, dass der Hochtemperaturkreis im Sommer als auch im Winter in Betrieb ist und zu beiden Zeiten einen relativ konstanten Volumenstrom aufweist (im Winter bewegt sich der Volumenstrom auf einem etwas höheren Niveau). Der Niedertemperaturkreis benötigt im Sommer (Juni, Juli, August) keine bzw. sehr wenig Wärme (vgl. Abbildung 53). Das Rücklaufniveau liegt für beide Kreise auf einem vergleichbaren Niveau von rund 30 °C im Winter und rund 35°C im Sommer (Hochtemperaturkreis).

Der Warmwasserkreis weist hohe, aber unregelmäßige Abnahmen auf. Das Temperaturniveau des Rücklaufs folgt dabei ganzjährig der Vorlauftemperatur und liegt im Mittel rund 8 K unter dieser. Bei einem Vergleich der Rücklauftemperaturen des

Warmwasserkreises mit denen der Raumheizungskreise zeigte sich, dass die Rücklauftemperaturen des Warmwasserkreises im Winter unter jenen der Raumheizungskreise liegen, im Sommer jedoch darüber. Der Anschluss des WW-Rücklaufs befindet sich jedoch unterhalb der beiden anderen Rückläufe, was im Sommer zu ungünstigen Bedingungen (Durchmischung des Speichers) führt. Der Einbau eines Dreiwegeventils für die geregelte Einspeisung der Rückläufe der Verbraucher würde eine verbesserte Einschichtung außerhalb der Heizsaison ermöglichen.

7.4.6 Anlagen Status Quo

Die Anlage weist im Betrachtungszeitraum eine stabile Betriebsweise bei hohen spezifischen solaren Erträgen und hohen solaren Deckungsgraden von fast 50 % auf. Neben tiefen Rücklauftemperaturen der Raumheizungskreise können das Anlagenkonzept und das Pufferspeichermanagement als Grund für das Erreichen hoher spezifischer Solarerträge angesehen werden. Das Anlagenkonzept ermöglicht das Einspeisen überschüssiger solarer Erträge (bei geringem Raumheizungsbedarf im Neubau) zur Rücklaufanhebung der Fußbodenheizung als auch zur Warmwasserbereitung im Bestandsgebäude. Des Weiteren wird für die Nahheizung über die Fernwärme nur der oberste Speicherteil geladen und das restliche zur Verfügung stehende Speichervolumen kann von der Solaranlage genutzt werden.

Optimierungspotentiale konnten im Bereich der Nachheizung über die Fernwärme in den Nachtstunden sowie bei den Pufferspeicheranschlüssen der Verbraucherrückläufe detektiert werden. Im Bereich der Nachheizung durch die Fernwärme kommt es aufgrund eines ungünstigen Regelkriteriums zu einem durchgehend Betrieb in den Nachtstunden. In Hinblick von erzielbaren Einsparungen von Pumpenstrom und Wärmeverlusten wurde eine Anpassung der Regelung dem Anlagenbetreiber empfohlen. Im Betrachtungszeitraum konnte jedoch keine Anpassung messtechnisch festgestellt werden.

Des Weiteren würde eine Anpassung der Einspeisehöhen der Wärmeverbraucher in Abhängigkeit des Temperaturniveaus in den Pufferspeicher ungünstige Speicherdurchmischungen verhindern. Dem Betreiber wurden die messtechnischen Ergebnisse kommuniziert, aufgrund des Investitionsbedarfs für diese Maßnahme konnte jedoch bis zum Ende der einjährigen Monitoringphase keine endgültige Entscheidung getroffen werden.

Zusammenfassend kann die Betriebsweise der solarthermischen Anlage als auch des gesamten Wärmeversorgungssystems als stabil und zufriedenstellend bezeichnet werden.