

7.19 Franziskanerkloster Graz, Stmk.

7.19.1 Allgemeine Anlagenbeschreibung

<u>Projektname:</u>	Franziskanerkloster Graz
<u>Adresse:</u>	8010 Graz
<u>Art der Anwendung:</u>	Hohe solare Deckungsgrade
<u>Wärmeverbraucher:</u>	Raumheizung 711 MWh/a, Warmwasser 45 MWh/a
<u>Bruttokollektorfläche:</u>	373 m ² , Flachkollektor: 180 m ² Fassade, 193 m ² am Dach
<u>Energiespeichervolumen:</u>	3 x 5 m ³
<u>Nachheizungssystem:</u>	Fernwärme 330 kW, 2 Wärmepumpen (2 x 200 kW)
<u>Solarer Deckungsgrad:</u>	14 % (Messwert)
<u>Spezifischer Solarertrag:</u>	256 kWh/m ² a (Messwert bezogen auf die Aperturfläche)
<u>Projektstatus:</u>	Monitoringphase beendet mit September 2014
<u>Zuständigkeit Begleitforschung:</u>	AEE INTEC

Das Franziskanerkloster ist die älteste Klosterniederlassung auf Grazer Stadtgebiet. Es wird von etwa 15 Mönchen bewohnt und wurde 2010 generalsaniert. Im Zuge der im Februar 2010 gestarteten Sanierung wurde eine solarthermische Anlage installiert, Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt und zwei Wärmepumpen in das Wärmeversorgungssystem integriert.

Die Solaranlage besteht aus 193 m² Flachkollektoren am Dach, und 180 m² Fassadenkollektoren an der Südfassade (siehe Abbildung 269). Für das Projekt wurden einzelne Kollektoren speziell angefertigt und teilweise sogenannte Blindkollektoren (ohne Absorber) für die formschöne Gebäudeintegration verbaut. Im Bedarfsfall kann über einen Fernwärmeanschluss zugeheizt werden. Weiters wurden bei der Anlagenerrichtung zwei Wärmepumpen (2x200kW) zur Heizungsunterstützung installiert. In dem umgesetzten Konzept sollte Brunnenwasser aus dem Hinterhof des Klosters als Quelle für die Wasser/Wasser-Wärmepumpen dienen und im Falle von Sommerüberschüssen vortemperiert werden. Durch die Kombination der Grundwasserwärmepumpen mit der thermischen Solaranlage sollte laut Planung eine Maximierung der Kollektorerträge erreicht werden können. Die installierten Wärmepumpen wurden jedoch aufgrund von bereits vor dem Monitoringstart auftretenden Defekten außer Betrieb genommen. Laut Auskunft des Anlagenbetreibers sind die ungelösten Probleme der Wärmebereitung mittels der Wärmepumpen Gegenstand gerichtlicher Verhandlungen. Die Betriebsweise der Wärmepumpen sowie der Entnahme bzw. Vortemperierung des Brunnenwassers konnten dementsprechend im einjährigen Betrachtungszeitraum nicht analysiert und bewertet werden.



Abbildung 269: Ansicht des 210 m² umfassenden Kollektorfelds am Dach und der Fassade des "Franziskanerklosters Graz", Bildquelle: AEE INTEC



Abbildung 270: Ansicht der Rohranbindung des Kollektorfeldes im Dach (rechts), Bildquelle: AEE INTEC

7.19.2 Hydraulik- und Messkonzept

Der Wärmeinput der solarthermischen Anlage, der Wärmepumpen als auch der Fernwärmenachheizung wird in drei 5m³ Pufferspeicher eingebracht. Das Konzept sieht vor, dass sowohl die Wärmepumpen (im Betrachtungszeitraum nicht im Betrieb) als auch die thermische Solaranlage je nach Temperaturniveau in den ersten als auch zweiten Speicher einspeisen, die Fernwärme speist nur in den ersten Speicher ein. Der zweite und dritte Speicher sind im gegenständlichen Konzept mittels Parallelschaltung miteinander verbunden.

Die Erwärmung des Brauchwassers als auch die Abdeckung der Zirkulationsverluste erfolgt über ein zentrales Frischwassermodul im Keller des Franziskanerklosters. Das Wärmeverteilensystem ist, bedingt durch die Historie des Gebäudes, in unterschiedliche Zonen aufgeteilt. In jeder der Zonen befinden sich sowohl Hoch- als auch Niedertemperaturverbraucher. Wie in dem Hydraulikschema erkennbar kann über ein Drei-Wege-Ventil der Rücklauf der einzelnen Zonen je nach vorhandenem Temperaturniveau über zwei unterschiedliche „Sammel-Rückläufe“ in den ersten Speicher (höheres Temperaturniveau) oder aber in den dritten Speicher (niedrigeres Temperaturniveau) eingebracht werden. Die Regelung des Drei-Wege-Ventils erfolgt über einen Vergleich zwischen Rücklauftemperatur der einzelnen Zonen und der in den Speicher gegebenen Temperatur.

Als Nachheizung fungierte im Betrachtungszeitraum aufgrund defekter Wärmepumpen ausschließlich die städtische Fernwärmeanbindung mit 330 kW Anschlussleistung. Wie in dem Hydraulikschema erkennbar wurde für den Betrieb der Wärmepumpe eine Brunnenwasserentnahme aus dem Hinterhof des Klosters umgesetzt. Laut Auskunft des Betreibers hätte hierdurch das Temperaturniveau des Grundwassers, im Winter bei etwa 8 °C bis 10 °C liegt, angehoben werden können.

Das Monitoringkonzept umfasst neun Wärmemengenzähler, 31 Temperatursensoren sowie zwei Globalstrahlungssensoren in den Kollektorebenen und Drucksensoren im Solarprimärkreis.

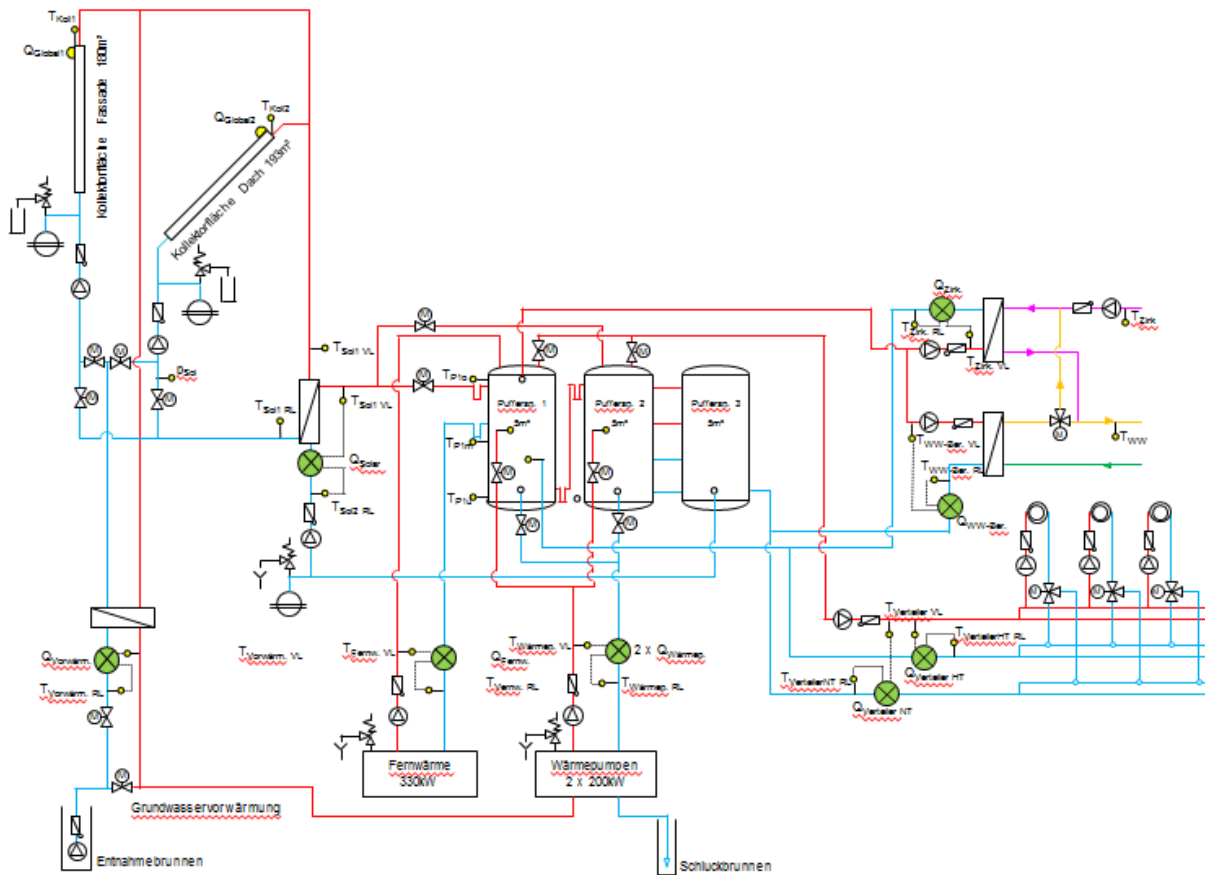


Abbildung 271: Hydraulik- und Messkonzept der Anlage „Franziskanerkloster Graz“ (grün: Volumenstromzähler; gelb: Temperatur-, Druck- und Einstrahlungssensoren)

Die Beschreibung der einzelnen Messpunkte ist nachfolgend zusammengefasst:

Solarkreis

Q _{Global}	Globalstrahlungssensor
T _{Koll1}	Kollektortemperatur 1
P _{Sol}	Drucksensor Primärkreis
T _{Koll2}	Kollektortemperatur 2
T _{Sol1 VL}	Solarvorlauftemperatur Primärkreis
T _{Sol1 RL}	Solarrücklauftemperatur Primärkreis
Q _{solar}	Wärmemengenzähler Solar
T _{Sol2 VL}	Solarvorlauftemperatur Sekundärkreis
T _{Sol2 RL}	Solarrücklauftemperatur Sekundärkreis

Pufferspeicher

T _{P1o}	Pufferspeichertemperatur Oben
T _{P1m}	Pufferspeichertemperatur Mitte
T _{P1u}	Pufferspeichertemperatur Unten

Vorwärmung

T _{Vorwärm. VL}	Vorlauftemperatur für Vorwärmung
T _{Vorwärm. RL}	Rücklauftemperatur für Vorwärmung
Q _{Vorwärm.}	Wärmemengenzähler Vorwärmung

Fernwärme

T _{Fernw. VL}	Vorlauftemperatur für Fernwärme
T _{Fernw. RL}	Rücklauftemperatur für Fernwärme
Q _{Fernw.}	Wärmemengenzähler Fernwärme

Wärmepumpen

- T Wärmep. VL Vorlauftemperatur für Wärmepumpe
- T Wärmep. RL Rücklauftemperatur für Wärmepumpe
- Q Wärmep.. Wärmemengenzähler Wärmepumpe

Verteiler

- T Verteiler VL Vorlauftemperatur für Vorwärmung
- T Verteiler HT RL Rücklauftemperatur für Hochtemperatur
- Q Verteiler HT Wärmemengenzähler Hochtemperatur
- T Verteiler NT RL Rücklauftemperatur für Niedrigtemperatur
- Q Verteiler NT Wärmemengenzähler Niedrigtemperatur

Warmwasser

- T WW.Ber. VL Vorlauftemperatur für Warmwasser
- T WW.Ber. RL Rücklauftemperatur für Warmwasser
- T WW Temperatur für Warmwasser
- Q WW.Ber. Wärmemengenzähler Warmwasser

Zirkulation

- T Zirk. VL Vorlauftemperatur für Zirkulation
- T Zirk. RL Rücklauftemperatur für Zirkulation
- T Zirk. Temperatur für Zirkulation
- Q Zirk. Wärmemengenzähler Zirkulation

7.19.3 Energiebilanz

In der Abbildung 272 ist der Wärmeinput und -output über den gesamten Betrachtungszeitraum gegenübergestellt. Dabei ist der Wärmeeintrag durch die solarthermische Anlage (gelb) und durch die Fernwärme (grün) dargestellt. Der Niedertemperatur-Rücklauf-Verteiler (dunkelblau), der Hochtemperatur-Rücklauf-Verteiler (rot), das Frischwassermodul (hellblau) und die Zirkulation (orange) stellen den Wärmeoutput dar. Die Differenz zwischen den Wärmeinputs und -outputs ergibt sich aufgrund von Pufferspeicherverlusten sowie durch Rohrleitungsverluste zwischen den jeweiligen Wärmemengenzählern. Somit ergibt sich ein Verlust für die einjährige Messperiode von Oktober 2013 bis September 2014 im Monatsmittel von rund 14% des Gesamtenergieeintrags. Wie bereits angeführt waren die Wärmepumpen im einjährigen Betrachtungszeitraum nicht in Betrieb und scheinen daher in der Energiebilanz nicht auf.

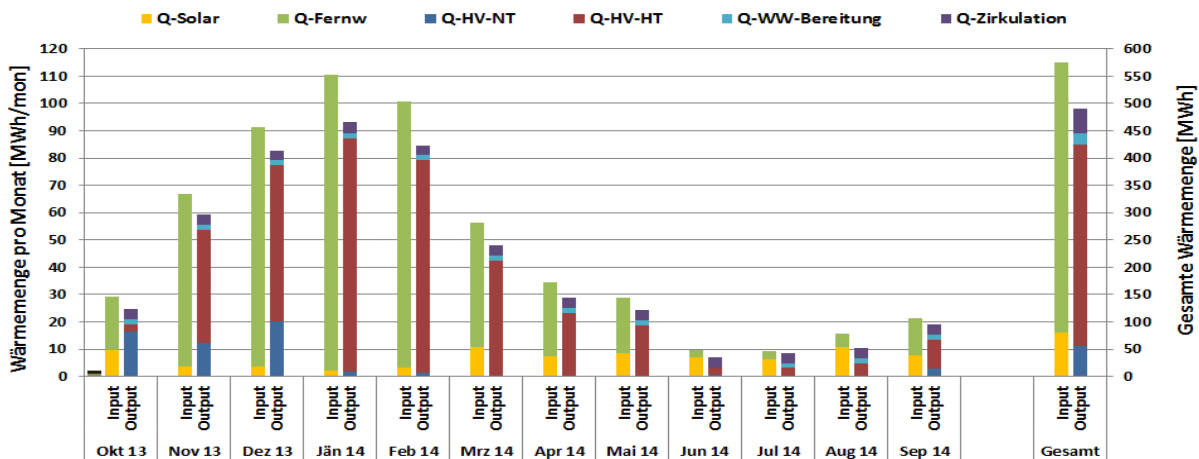


Abbildung 272: Energiebilanz der Anlage „Franziskanerkloster Graz“ (Oktober 2013 bis September 2014)

7.19.4 Vergleich Simulation – Messwerte

Bei der im Rahmen des Einreichprozesses bereitgestellten Anlagensimulationen wurden äußerst optimistische, nicht nachvollziehbare Größenordnungen der Kennzahlen „Solarertrag“, „Solarer Deckungsgrad“ berechnet. Dementsprechend konnten diese nicht für eine der Umsetzung entsprechenden Kennzahlen-Einschätzung herangezogen werden. Das Begleitforschungsteam entschied sich infolgedessen, auf Basis der tatsächlich umgesetzten Anlagenauslegung und einem für den Standort Graz durchschnittlichen Klimadatensatz, eine erneute Simulation mit T*Sol durchzuführen. Folgend werden daher die Prognosewerte der Anlagensimulation des Begleitforschungsteams mit den gemessenen Kennzahlen „spezifischer Solarertrag“, „Wärmeverbrauch“ und „solarer Deckungsgrad“ verglichen.

Abbildung 273 zeigt hierzu die Simulationsergebnisse (blaue Linie) als auch den im Betrachtungszeitraum gemessenen spezifischen Solarertrag (rote Linie). Der gemessene spezifische Solarertrag liegt nach Beendigung der einjährigen Monitoringphase mit rund 256 kWh/m²a in etwa auf Höhe des simulierten Jahresertrags.

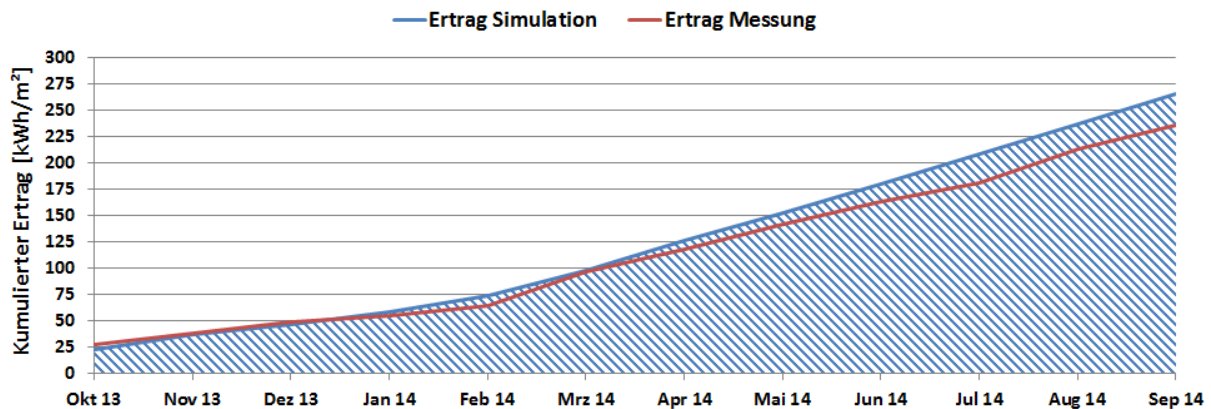


Abbildung 273: Vergleich des gemessenen spezifischen Solarertrags mit dem Simulationsergebnis für die Anlage „Franziskanerkloster Graz“ (Oktober 2013 bis September 2014)

Der mithilfe der Simulationsrechnung prognostizierte solare Deckungsgrad als auch der gemessene solare Deckungsgrad ist in Abbildung 274 dargestellt. Der gemessene solare Deckungsgrad deckt sich bis auf einzelne Abweichungen gut mit dem Simulationsergebnis. Nach dem Abschluss der einjährigen Messperiode liegt der gemessene solare Deckungsgrad mit rund 14 % geringfügig unter dem Prognosewert von rund 16 %.

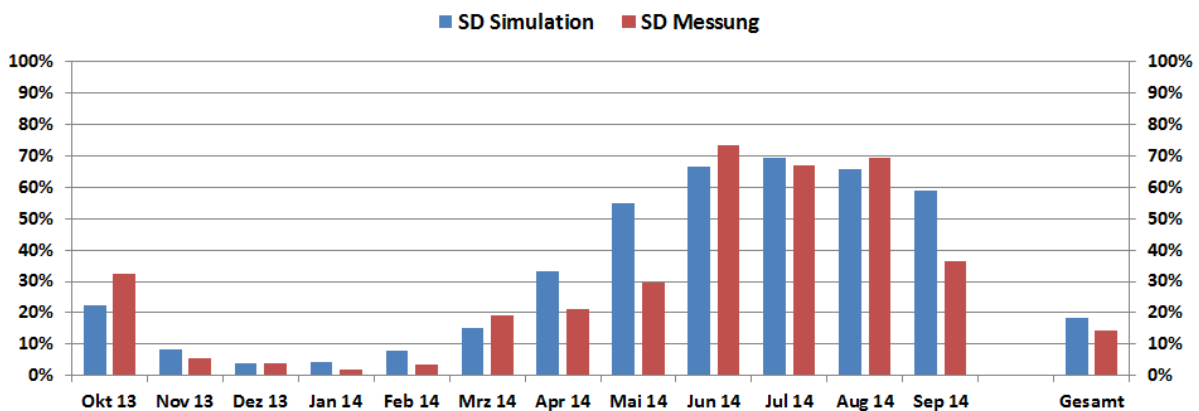


Abbildung 274: Vergleich des gemessenen solaren Deckungsgrades mit dem Simulationsergebnis für die Anlage „Franziskanerkloster Graz“ (Oktober 2013 bis September 2014)

Abbildung 275 zeigt einen Vergleich des in der Simulation berücksichtigten Wärmeverbrauchs mit dem tatsächlich nachgefragten Verbrauch. Nach dem Ende der einjährigen Monitoringphase ist eine gute Übereinstimmung erkennbar.

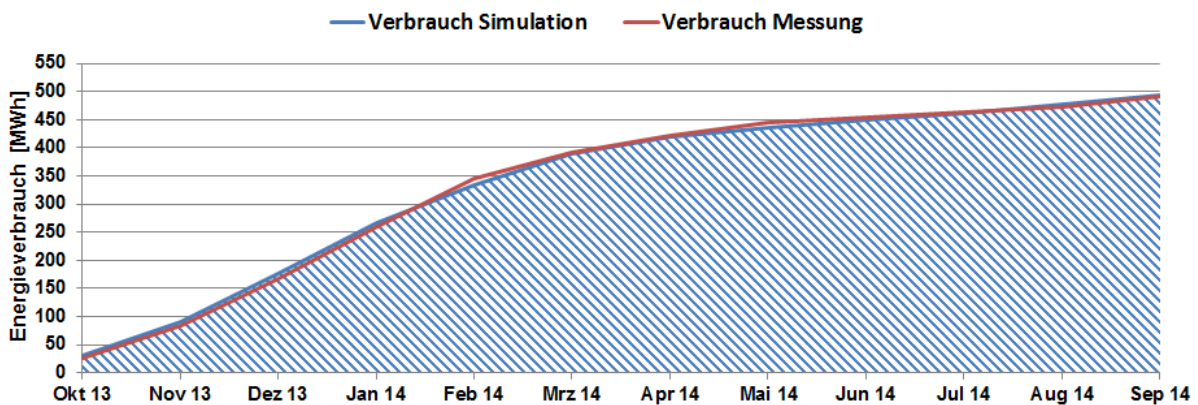


Abbildung 275: Vergleich des gemessenen Verbrauchs mit dem prognostizierten Wert für die Anlage „Franziskanerkloster Graz“ (Oktober 2013 bis September 2014)

7.19.5 Detailbetrachtung und Optimierungspotenziale

Im Folgenden werden einzelne Kreisläufe der Anlage „Franziskanerkloster Graz“ analysiert, beschrieben und es wird auf einzelne Komponenten und Besonderheiten bei der Anlagenregelung eingegangen.

Die Abbildung 276 zeigt die Temperaturverläufe auf der Primärachse sowie die Globalstrahlungswerte und die Volumenströme des Solarkreises auf der Sekundärachse. Die durchgezogenen Linien stellen Messwerte des Primärkreises und die strichlierten Linien stellen Messwerte des Sekundärkreises dar. Das Betriebsverhalten des Solarsystems ist exemplarisch für den 19. Juli 2014 dargestellt. Die solarthermische Anlage schaltet sich um ca. 8:30 Uhr ein, und speist folgend Wärme in die Pufferspeicher, erkennbar anhand des Volumensstromverlaufs dV-Solar, ein. Die Pufferspeicher werden von der solarthermischen Anlage bis ca. 13:30 Uhr beladen. Mit 13:30 kann laut Regelkriterium, Pufferspeichertemperatur im unteren Bereich größer 80°C, keine Energie mehr eingebracht werden und die Solaranlage schaltet trotz hoher Einstrahlungsleistung aus. Dieses Verhalten konnte im Betrachtungszeitraum wiederholt festgestellt werden. Die Gründe hierfür liegen unmittelbar in der Begrenzung der maximalen Speichertemperatur durch die Regelung der solarthermischen Anlage. Durch eine Erhöhung der maximalen Pufferspeichertemperatur auf bspw. 95 °C könnte deutlich länger solarthermische Energie in den Speicher eingebracht und der spezifische jährliche Solarertrag gesteigert werden.

Weiteres Optimierungspotential konnte bei der Analyse der Kollektortemperaturen der einzeln und unabhängig voneinander vermessen Kollektorfelder detektiert werden. In Abbildung 277 sind alle im Zuge des Monitoringprogramms erfassten Kollektortemperaturfühler der unterschiedlichen Kollektorfelder der solarthermischen Anlage für den 22. September 2013 als auch für den 30. September 2014 dargestellt. Wie in Abbildung 277, linke Darstellung, ersichtlich weisen die Temperaturfühler am 22. September 2013 deutlich unterschiedliche Tagestemperaturverläufe von bis zu ca. 20 K auf. Aufgrund dieser erheblichen Temperaturunterschiede in den einzelnen Kollektorfeldern kommt es zwangsläufig zu einer Steigerung des Risikos des Auftretens einer partiellen Stagnation an einer bestimmten Position des Kollektorfeldes. Zudem werden einzelne Kollektorfelder nicht notwendiger Weise auf einem für den Wirkungsgrad der Kollektoren ungünstig hohen Temperaturniveau betrieben.

Der Förderwerber wurde bezüglich der detektierten Optimierungsmöglichkeit informiert, aufgrund von wiederholt wechselnder Zuständigkeiten ergaben sich jedoch starke Verzögerungen hinsichtlich der Abklärung der festgestellten Auffälligkeiten bzw. der Umsetzung der angestrebten Optimierungspunkte. Schlussendlich konnte ein hydraulischer Abgleich bzw. eine Anpassung der Strömungsgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Kollektorfelder noch vor Abschluss des Monitoringzeitraums durchgeführt werden. Abbildung 277, rechte Darstellung, zeigt die Kollektortemperaturfühler der unterschiedlichen Kollektorfelder am 30. September 2014 nach erfolgter Optimierungstätigkeit. Wie in der Grafik ersichtlich, sind deutlich geringere Unterschiede in den Tagestemperaturverläufen der einzelnen Kollektortemperaturfühler feststellbar. Eine Anpassung der Regelung bzw. Erhöhung der maximalen Pufferspeichertemperatur zur Erreichung höherer solarer Erträge konnte vor Ende des Begleitforschungszeitraums nicht mehr umgesetzt werden.

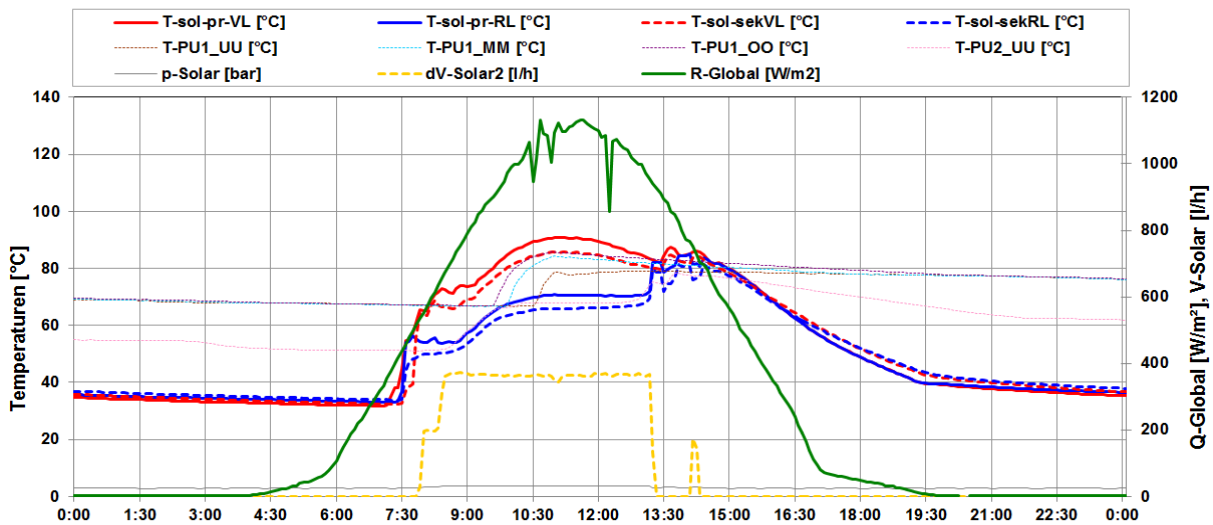


Abbildung 276: Beispielhafter Temperaturverlauf im Primär- und Sekundärkreis des Solarsystems zuzüglich des Verlaufs der Globalstrahlung, des Volumenstroms und der Pufferspeichtemperaturen (19.07.2013)

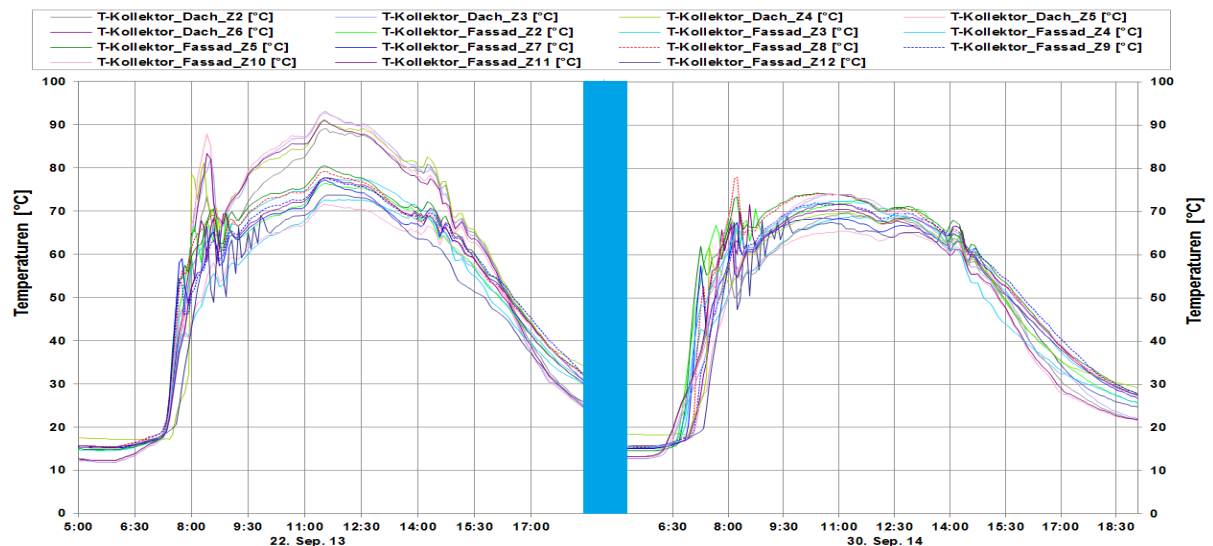


Abbildung 277: Beispielhafter Temperaturverlauf der einzelnen Kollektorfeldtemperaturen aller im Zuge des Monitoring erfassten Zonen vor (linke Darstellung: 22.09.2013) bzw. nach umgesetzter Optimierung (rechte Darstellung: 30.09.2014).

Die Betriebsweise der Nachheizung über die Fernwärme, in Zusammenspiel mit der solarthermischen Anlage ist folgend, beispielhaft für jeweils einen Tag im Sommer (hohe Einstrahlungsleistung und geringer Verbrauch) sowie in der Heizperiode dargestellt. In den Sommermonaten (Juni, Juli und August 2014) wurden rund 70 % der benötigten Wärme durch die solarthermische Anlage bereit gestellt. Wie in Abbildung 278 erkennbar schaltet sich die Fernwärmehheizung aufgrund hoher solarer Erträge nicht ein. Die Nachheizung über die Fernwärme erfolgt wie in Abbildung 279 dargestellt, (26.11.2013 beispielhaft für einen Wintertag) erst ab einem Absinken der Puffer-Ober-Temperatur auf unter 50 °C ein. Bei höheren Temperaturen, beispielweise durch die solarthermische Einspeisung, erfolgt dementsprechend keine Nachheizung über die Fernwärme. In den Wintermonaten (vgl. Abbildung 279), bedingt durch geringe solare Erträge und hohe Wärmeverbräuche, war die Nachheizung über die Fernwärme nahezu durchgehend im Betrieb. Die Betriebsweise der Einbindung der Fernwärme kann als stabil, ohne entscheidende Auffälligkeiten beschrieben werden.

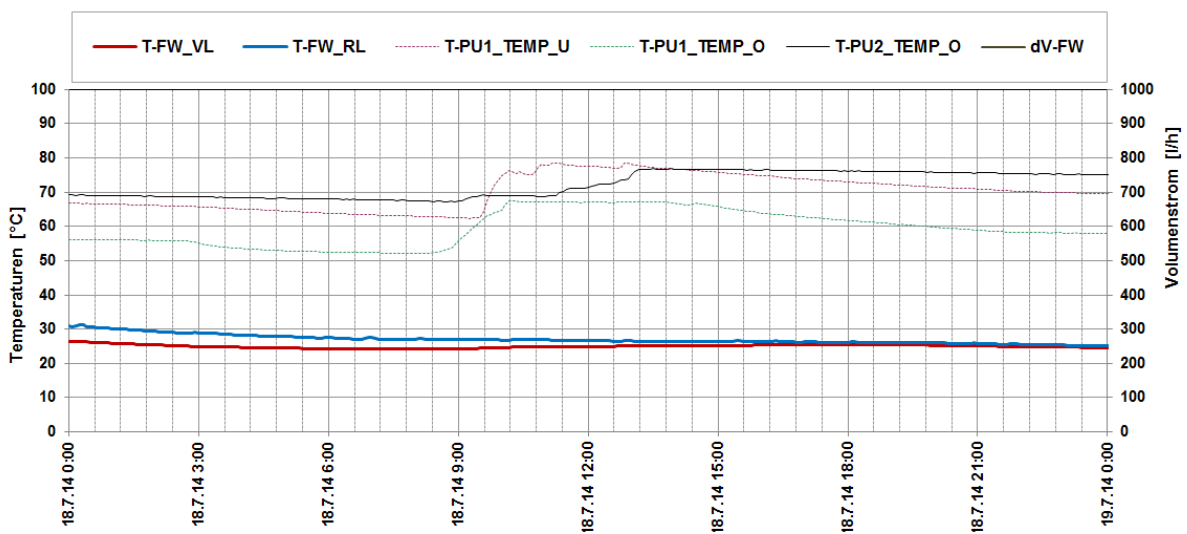


Abbildung 278: Beispielhafter Temperaturverlauf des Fernwärme-Nachheizungskreises zuzüglich des Verlaufs des Volumenstroms und der Pufferspeichertemperaturen an drei Sommertagen (18.07.2014 bis 20.07.2014)

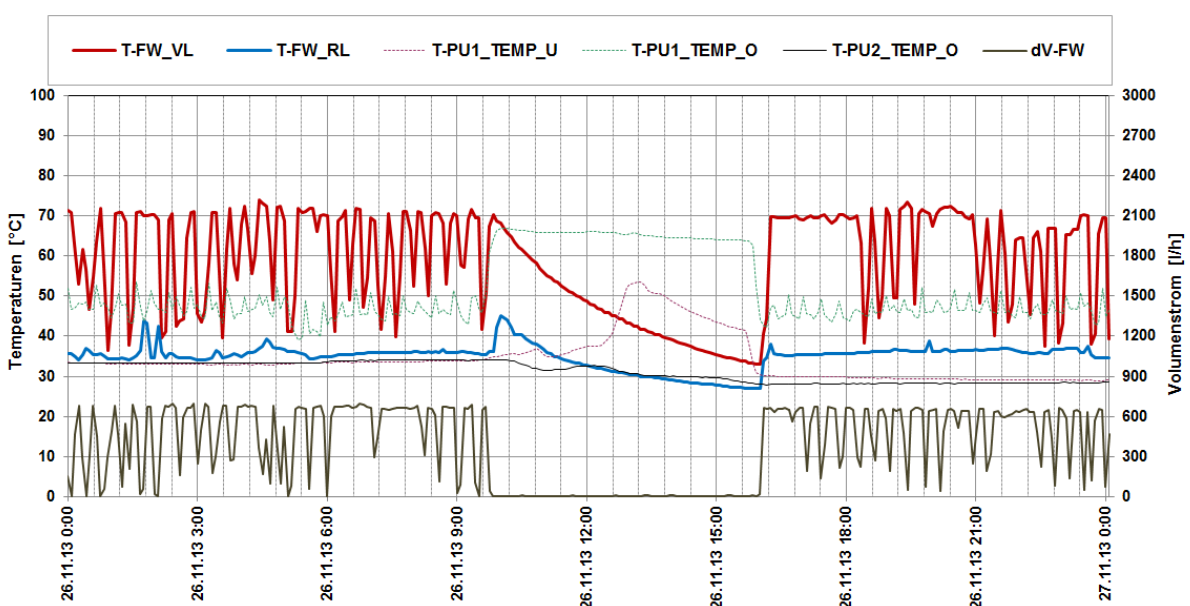


Abbildung 279: Beispielhafter Temperaturverlauf des Nachheizungskreises zuzüglich des Verlaufs des Volumenstroms und der Pufferspeichertemperaturen (26.11.2013)

Ein zentrales Frischwassermodul (FWM) sorgt für die Warmwasserversorgung des Franziskanerklosters. Beispielhaft für die Betriebsweise der Warmwasserbereitung für das Projekt „Franziskanerkloster“ ist in Abbildung 280 die die Vor- als auch Rücklauftemperatur sowie die Temperatur der Zirkulationsleitung zuzüglich der Volumenströme für den 26.11.2013 dargestellt. Wie in der Abbildung erkennbar liegen das Temperaturniveau der Zirkulationsleitung deutlich unter 50 °C. Die durchschnittliche Zirkulationstemperatur im Betrachtungszeitraum lag bei rund 46 °C lag. Die Vorgaben der österreichischen Hygienenorm für zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen (ÖNORM B5019) besagt, dass die Temperatur aus der Zirkulationsleitung 55 °C nicht unterschreiten darf. Der Betreiber wurde vom Begleitforschungsteam dementsprechend darauf hingewiesen. Um diesen Vorgaben zu entsprechen, müsste im konkreten Projekt die Zirkulationspumpe bspw. mit einem höheren Massendurchsatz betrieben werden. Laut Auskunft des Betreibers ist eine Anpassung der Zirkulation (höheren Massendurchsatz) im Zuge weiterer Umbauten und Erweiterung, welche im Herbst 2014 begonnen wurden, geplant.

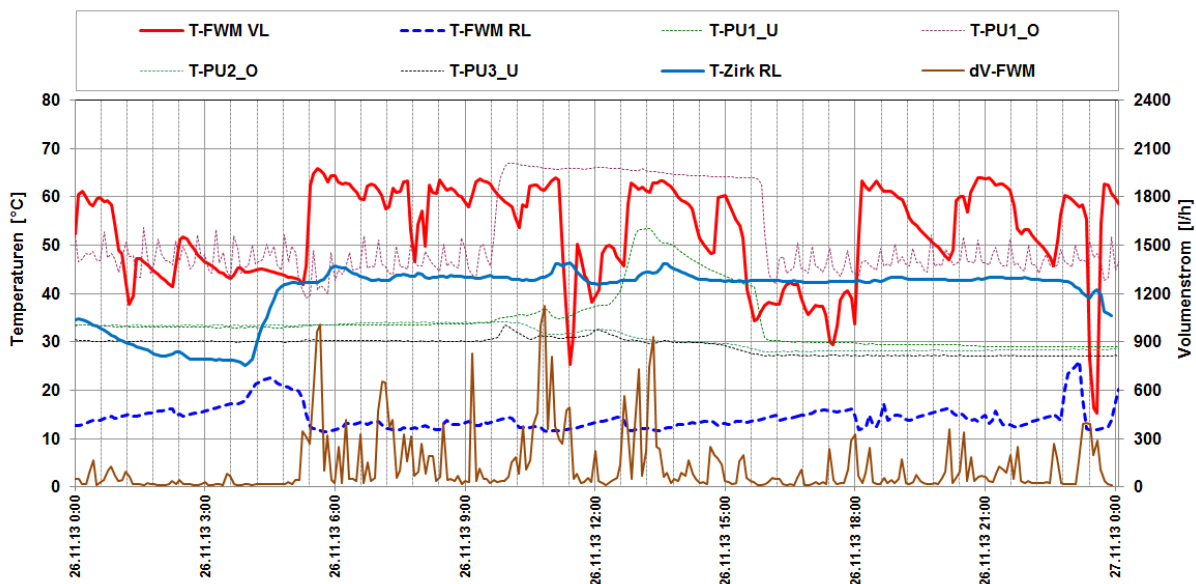


Abbildung 280: Beispielhafter Temperaturverlauf der Wärmeversorgungskreise (Heizungsverteiler HT, Warmwasserbereitung FWM) zuzüglich des Verlaufs des Volumenstroms und der Pufferspeichertemperaturen (26.11.2013)

7.19.6 Anlagen Status Quo

Im Zuge der Sanierung des Franziskanerkloster Graz wurde eine solarthermische Anlage installiert, welche im Rahmen des Begleitforschungsprogramms bis September 2014 messtechnisch begleitet wurde. Eine Analyse der Funktionsweise des gesamten Wärmeversorgungskonzepts (Solarthermie, Wärmepumpen, Fernwärmenachheizung) konnte im Betrachtungszeitraum aufgrund defekter Anlagenkomponenten (Wärmepumpendefekt) nur beschränkt durchgeführt werden.

Die Betriebsweise der solarthermischen Anlage zeigte deutliches Optimierungspotential hinsichtlich der hydraulischen Einregulierung der einzelnen unterschiedlichen Kollektorfelder. Nach Rücksprache mit den verantwortlichen Personen vor Ort konnte eine erneute Einregulierung durchgeführt und deren Umsetzung messtechnisch nachgewiesen werden. Die Vorgaben der österreichischen Hygienenorm für zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen (ÖNORM B5019) wurden bei dem Projekt nicht umgesetzt. Die durchschnittliche Zirkulationstemperatur im Betrachtungszeitraum lag bei rund 46 °C. Der Betreiber wurde vom Begleitforschungsteam dementsprechend darauf hingewiesen. Laut Auskunft ist eine

Anpassung der Zirkulation im Zuge weiterer Umbauten und Erweiterung, welche im Herbst 2014 begonnen wurden, geplant.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Betriebsweise der solarthermischen Anlage, der Nachheizung über die Fernwärme und des Wärmeabgabesystems als stabil bezeichnet werden. Eine Beurteilung des zum Zeitpunkt der Einreichung geplanten und äußerst innovativen Wärmebereitung- und Wärmeverteilungskonzeptes (Solarthermie in Kombination mit Wärmepumpenbetrieb) konnte aufgrund defekter und im Betrachtungszeitraum nicht funktionstüchtiger Anlagenkomponenten nicht durchgeführt werden.