

7.2 Seniorenwohnheim Großklein, Stmk.

7.2.1 Allgemeine Anlagenbeschreibung

<u>Projektname:</u>	Seniorenwohnheim Großklein
<u>Adresse:</u>	8452 Großklein
<u>Art der Anwendung:</u>	Hohe solare Deckungsgrade
<u>Wärmeverbraucher:</u>	Warmwasserbereitung und Raumheizung, optional Rückspeisung in das kommunale Nahwärmenetz im Sommer
<u>Bruttokollektorfläche:</u>	120 m ² , Flachkollektor
<u>Energiespeichervolumen:</u>	4 x 1,5 m ³
<u>Hauptheizungssystem:</u>	Nahwärme 150 kW; zusätzlich Abwärmenutzung Lebensmittelkühlraum 2 x 2,7 kW
<u>Solarer Deckungsgrad:</u>	19,3 % (Messwert)
<u>Spezifischer Solarertrag:</u>	309 kWh/m ² a (Messwert bezogen auf die Aperturfläche)
<u>Projektstatus:</u>	Monitoringphase beendet mit Juli 2012
<u>Zuständigkeit Begleitforschung:</u>	AEE INTEC

Das Projekt „Seniorenwohnheim Großklein“ speist mit einer solarthermischen Anlage in die Wärmeversorgung eines Seniorenwohnheims ein. Die Anlage wurde im Jahr 2011 errichtet. Das Seniorenwohnheim bietet Räumlichkeiten mit 45 Betten an. Aus dem Energieausweis geht hervor, dass das Heim eine Heizlast von etwa 89,5 kW und eine spezifische Wärmelast von 49,5 W/m² aufweist. Zum Zeitpunkt dieser Arbeit war die Anlage zu 90 % ausgelastet, sprich rund 40 Betten belegt. Der Pool aus Pflegebediensteten besteht aus 25 Personen.

Die Solaranlage speist in das Warmwasserbereitungssystem (inkl. Versorgung der Zirkulationsleitung) sowie in die Raumheizungskreisläufe (Fußbodenheizung OG/EG/KG und einen Lüftungsregister) ein. Bei Überschuss speist das Solarsystem (bei Zeiten hoher Einstrahlung und geringem Bedarf - sprich in den Sommermonaten) in das kommunale Nahwärmenetz ein. Bei den eingesetzten Kollektoren handelt es sich um Flachkollektoren im Großflächenformat des Herstellers Ökotech. Die Kollektoren (ca. 120 m² Bruttokollektorfläche) wurden zum überwiegenden Anteil (100,8 m²) in das nach Süden orientierte Dach (Neigung 74°) integriert. Ein zweites Kollektorfeld mit 16,8 m² wurde am Flachdach des Hauptdaches montiert (Orientierung Süd, Neigung 45° bzw. 60°) (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Ansicht der Anlage „Seniorenwohnheim Großklein“ und der formschön in das Gebäude integrierten Kollektorfläche (links) sowie des zweiten am Flachdach aufgeständerten Kollektorfeldes (rechts), Bildquelle: AEE INTEC

Die Solaranlage ersetzt dabei über das kommunale Nahwärmenetz den Energieträger Hackgut. Der prognostizierte solare Deckungsgrad, in Verbindung mit vier Energiespeichern von je 1,5 m³, liegt übers Jahr bei rund 20 %.

7.2.2 Hydraulik- und Messkonzept

Das hydraulische Konzept der Anlage Seniorenwohnheim Großklein ist in Abbildung 15 dargestellt. Die thermische Solaranlage speist dabei vier Pufferspeicher zu je 1,5 m³. Ein Pufferspeicher wird sowohl von der Solaranlage als auch von der Fernwärme geladen. Die drei weiteren Pufferspeicher sind parallel geschaltet und dem Vorrangspeicher seriell nachgeschaltet. Die Einbindung der Fernwärme wurde hydraulisch so durchgeführt, dass alle vier Speicher auch für die Nahwärme als Spitzenlastspeicher genutzt werden können. Die Abwärme der Kühlaggregate soll in die kälteste Einheit des Pufferspeichers eingebracht werden. Die Warmwasserbereitung erfolgt über zwei Frischwassermodulare. Die Raumheizungsverbraucher sind über einen gemeinsamen Vorlauf- und einen gemeinsamen Rücklaufverteiler eingebunden. Eine etwaige Rückeinspeisung in das Nahwärmenetz erfolgt ebenso über diese Verteilerschiene.

Die messtechnische Bestückung besteht aus sechs Wärmemengenzählern, 22 Temperatursensoren sowie zwei Globalstrahlungssensoren in Kollektorebene und ein Drucksensor im Solarprimärkreis (siehe Abbildung 15).

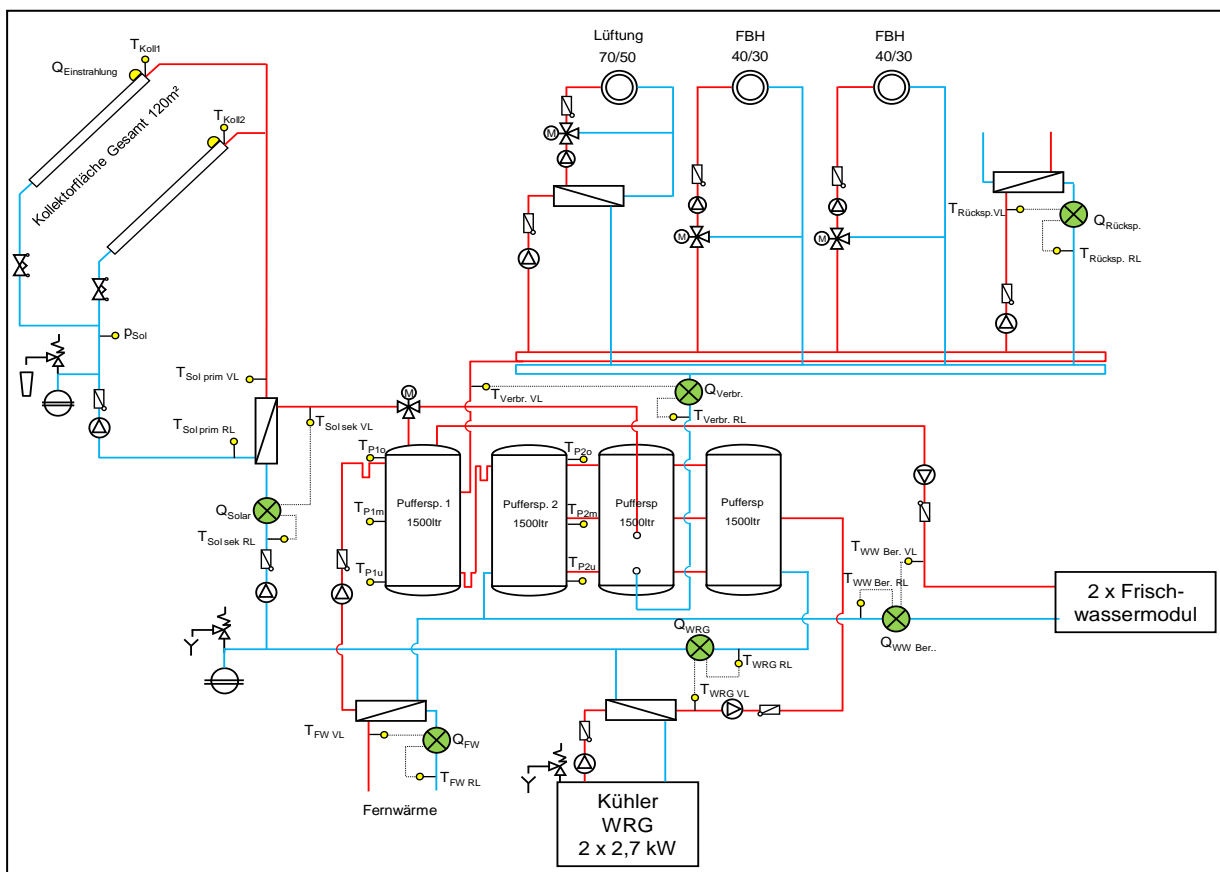


Abbildung 15: Hydraulik- und Messkonzept der Anlage „Seniorenwohnheim Großklein“ (grün: Volumenstromzähler; gelb: Temperatur-, Druck- und Einstrahlungssensoren)

Die Beschreibung der einzelnen Messpunkte ist nachfolgend zusammengefasst:

Solar-Primärkreis

$Q_{\text{Einstrahlung}}$

Globalstrahlungssensor in Kollektorebene

T_{Koll1}	Kollektortemperatur Nr. 1 (angebracht am kleinen Kollektorfeld)
T_{Koll2}	Kollektortemperatur Nr. 2 (angebracht am großen Kollektorfeld)
$T_{Sol\ prim\ VL}$	Solarvorlauftemperatur Primär
$T_{Sol\ prim\ RL}$	Solarrücklauftemperatur Primär
P_{Sol}	Drucksensor im Solar-Primärkreis
<u>Solar-Sekundärkreis</u>	
Q_{Solar}	Wärmemengenzähler Solar (Sekundärkreis)
$T_{Sol\ sek\ VL}$	Solarvorlauftemperatur Sekundär
$T_{Sol\ sek\ RL}$	Solarrücklauftemperatur Sekundär
<u>Pufferspeicher</u>	
T_{P1o}	Pufferspeichertemperatur 1 oben
T_{P1m}	Pufferspeichertemperatur 1 mittig
T_{P1u}	Pufferspeichertemperatur 1 unten
T_{P2o}	Pufferspeichertemperatur 2 oben
T_{P2m}	Pufferspeichertemperatur 2 mittig
T_{P2u}	Pufferspeichertemperatur 2 unten
<u>Verbraucher - Raumheizung</u>	
$Q_{Verbr.}$	Wärmemengenzähler im Verbraucherkreis (Raumheizung und Rückeinspeisung in Nahwärmenetz)
$T_{Verbr. VL}$	Vorlauftemperatur Verbraucherkreis
$T_{Verbr. RL}$	Rücklauftemperatur Verbraucherkreis
<u>Verbraucher – Warmwasser</u>	
$Q_{WW\ Ber.}$	Wärmemengenzähler im Warmwasser-bereitungs-kreis
$T_{WW\ Ber. VL}$	Vorlauftemperatur WW-Ber. Kreis
$T_{WW\ Ber. RL}$	Rücklauftemperatur WW-Ber. Kreis
<u>Rückeinspeisung Nahwärme</u>	
$Q_{Rücksp.}$	Wärmemengenzähler im Rückspeisekreis
$T_{Rücksp. VL}$	Vorlauftemperatur im Rückspeisekreis
$T_{Rücksp. RL}$	Rücklauftemperatur im Rückspeisekreis
<u>Nachheizung- Fernwärme</u>	
Q_{FW}	Wärmemengenzähler im Fernwärmekreis
$T_{FW VL}$	Vorlauftemperatur im Fernwärmekreis
$T_{FW RL}$	Rücklauftemperatur im Fernwärmekreis
<u>Nachheizung- Abwärme</u>	
Q_{WRG}	Wärmemengenzähler des Abwärmekreises Kühlraum
$T_{WRG VL}$	Vorlauftemperatur im Abwärmekreis
$T_{WRG RL}$	Rücklauftemperatur im Abwärmekreis

7.2.3 Energiebilanz

Beim Projekt Anlage „Seniorenwohnheim Großklein“ startete die Monitoringphase im August 2011 und endete im Juli 2012. Die Energiebilanz, in Abbildung 16 dargestellt, zeigt einerseits die drei Wärmeinputs in das Gesamtsystem (blau: Solarwärme; rot: Wärme aus Nahwärmenetz; dunkelrot: Abwärme Kühlraum) und andererseits die aus dem Energiespeicher den Verbrauchern zur Verfügung gestellte Wärmemenge (grün: Raumheizungsverteiler; gelb: Warmwasserbereitung inkl. Zirkulation; dunkelgrün: Rückeinspeisung in das Nahwärmenetz). Bei dieser Anlage sind deutlich die relativ hohen Speicherverluste (ungefähr die Differenz zwischen Wärmeinput und Wärmeoutput), die in manchen Monaten bis zu 15 % ausmachen, erkennbar. Die Gründe hierfür liegen zum

einen bei der Verwendung eines Mehrspeicher-Systems (Nachteil: ungünstigeres Volumen-Oberflächenverhältnis, viele Durchdringungen der Speicherdämmhülle durch Speicheranschlüsse, etc.) und zum anderen bestehen Probleme bei der Beladung der Pufferspeicher seitens der Fernwärme (alle vier Speicher werden auf Temperatur gehalten). Dieser Aspekt ist neben vergleichsweise hohen Rücklauftemperaturen aus den Raumheizungskreisläufen hauptverantwortlich für die nicht erfolgte Einspeisung der Kühlraumabwärme in die Pufferspeicher. Die nutzbare Abwärme liegt bei Temperaturen zwischen 35 und 40°C. Sind die Temperaturen der Pufferspeicher immer über 50°C, kann die Abwärme nicht in das System eingebunden werden. In den Sommermonaten erfolgte auch eine Rückeinspeisung in das Nahwärmenetz.

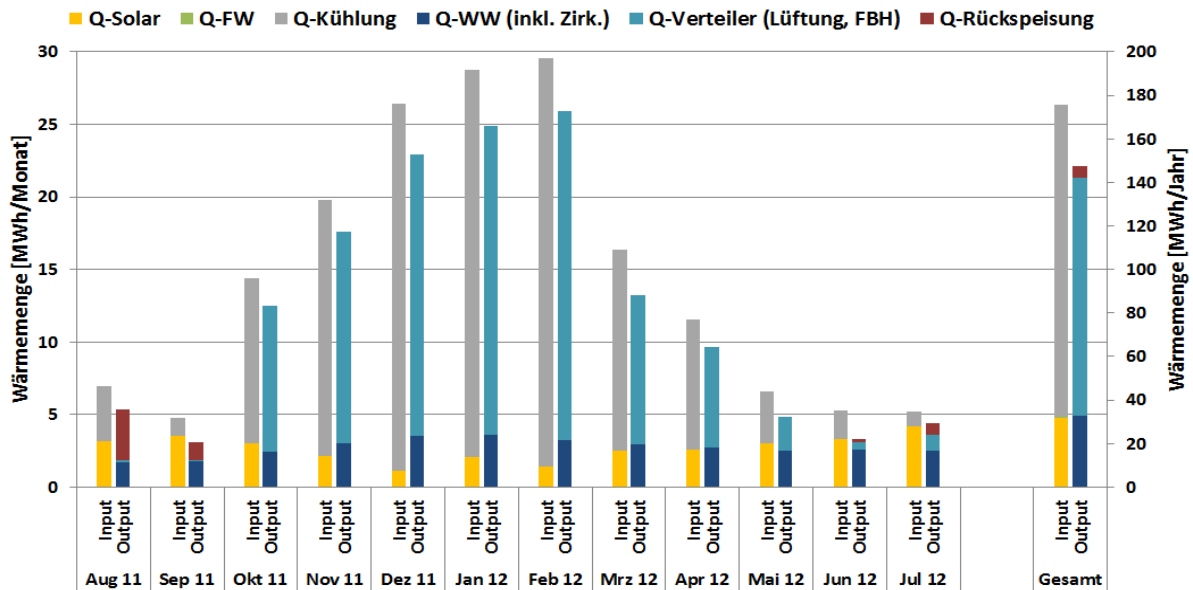


Abbildung 16: Energiebilanz der Anlage „Seniorenwohnheim Großklein“ (August 2011 bis Juli 2012)

7.2.4 Vergleich Simulation - Messwerte

Zur richtigen Einschätzung des Solarertrages in der Monitoringphase, entschied sich das Projektteam für die Durchführung einer Anlagensimulation. Die Simulation, in T-SOL durchgeführt, basiert auf Auslegungsannahmen und auf einem durchschnittlichen Klimadatensatz für den Standort. In Abbildung 17 ist hierzu der Vergleich der Simulationsergebnisse (blau unterlegte Fläche) mit den Messergebnissen (rote Linie) zu sehen. Wie in Abbildung 17 ersichtlich, liegt der gemessene spezifische Solarertrag innerhalb des betrachteten Zeitraumes knapp unter dem Simulationswert. Der Simulationswert über ein Betriebsjahr liegt bei rund 341 kWh/m²a, der gemessene Solarertrag betrug am Ende des Betrachtungszeitraumes 309 kWh/m²a (bezogen auf die Aperturfläche).

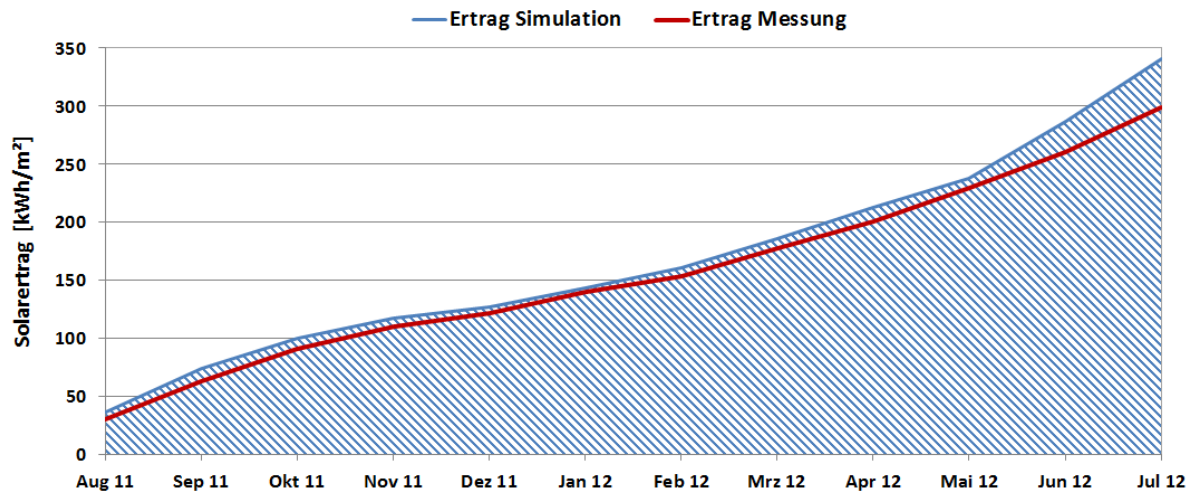


Abbildung 17: Vergleich des gemessenen spezifischen Solarertrags mit dem Simulationswert für die Anlage „Seniorenheim Großklein“ (August 2011 bis Juli 2012)

Auch die Vergleiche zwischen gemessenen und simulierten solaren Deckungsgraden (Solarertrag bezogen auf Summe aller Inputs) wurden in Monatswerten dargestellt (Abbildung 18, Messwerte in blauen Balken, Simulationswerte in roten Balken). Der simulierte solare Jahresdeckungsgrad beläuft sich dabei auf rund 20%. Wie schon vorhin erwähnt, basiert die in T-SOL durchgeführte Simulation auf den Auslegungsannahmen und auf einem durchschnittlichen Klimadatensatz für den Standort. Eine neuerliche Simulation mit tatsächlichen Verbräuchen und Klimadaten wurde nicht durchgeführt. Die relativ starken Abweichungen in den Monaten September 2011 sowie Mai bis Juli 2012 kommen aufgrund von zugrundeliegender Verbrauchsunterschiede (zwischen Messung und Prognose) zustande. Im Jahresvergleich zeigte sich, dass der gemessene solare Deckungsgrad mit 19,3 % knapp unter dem simulierten Jahresdeckungsgrad von 20,7 % lag.

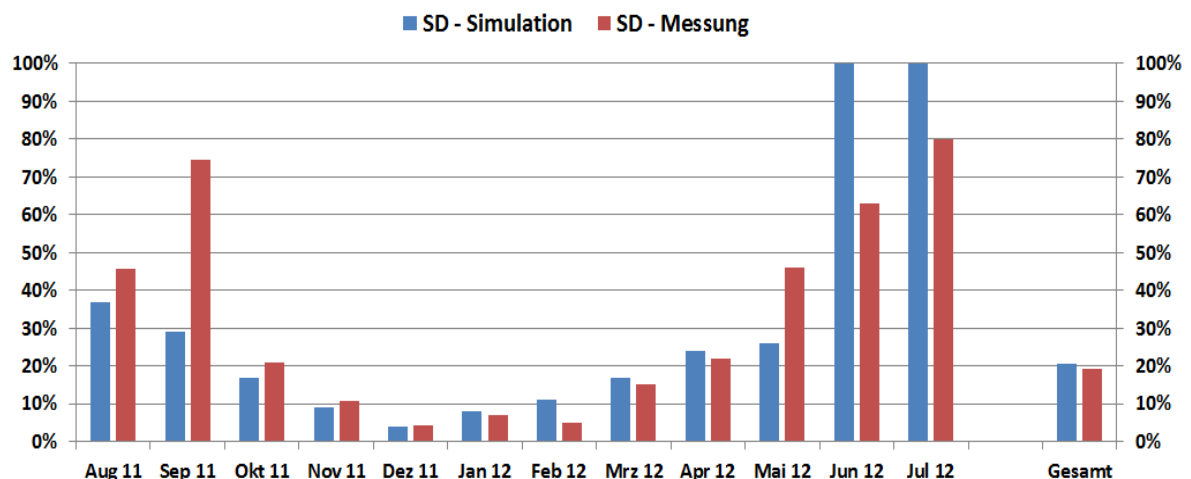


Abbildung 18: Vergleich des gemessenen solaren Deckungsgrades mit dem Simulationswert für die Anlage „Seniorenheim Großklein“ (August 2011 bis Juli 2012)

Ein Vergleich des gemessenen Verbrauchs mit dem prognostizierten Wärmebedarf zeigt, dass im Betrachtungszeitraum in Summe um rund 16 % mehr Wärme für die Warmwasserbereitstellung sowie für die Raumheizung benötigt wurde als angenommen (siehe Abbildung 19).

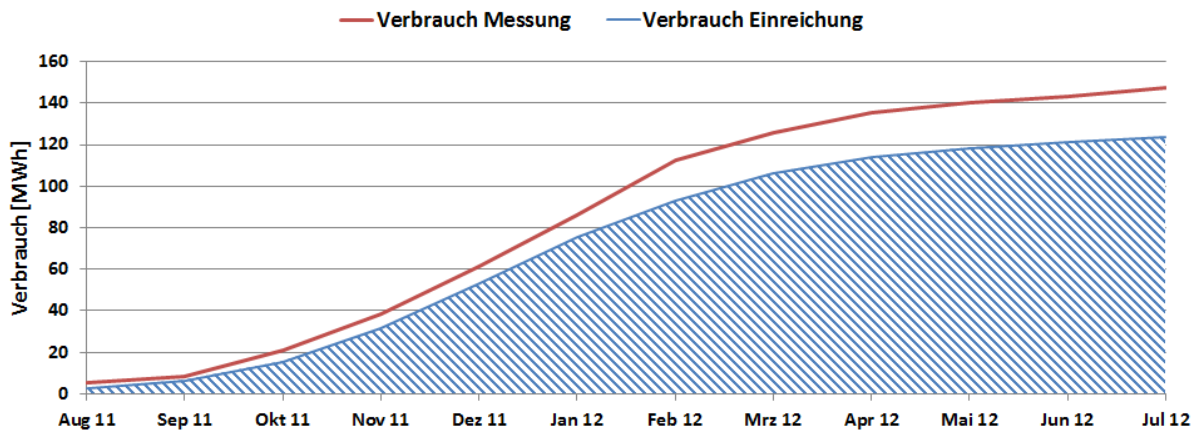


Abbildung 19: Vergleich des gemessenen Verbrauchs mit dem Simulationswert für die Anlage „Seniorenwohnheim Großklein“ (August 2011 bis Juli 2012)

7.2.5 Detailbetrachtung und Optimierungspotenziale

Die Auswertungsarbeiten zu den Temperaturverläufen in allen hydraulischen Kreisläufen machten die bereits vorhin angesprochenen Mängel in der Anlage deutlich sichtbar, wie die nachfolgend zusammengefassten Auffälligkeiten zeigen.

Abbildung 20 zeigt hier beispielsweise den Verlauf der Temperaturen im Solarprimärkreis an einem wolkenlosen Tag im März 2012 (linker Teil, 14.03.2012). Deutlich kann eine zufriedenstellende Funktion des Solarsystems bis etwa 11:30 erkannt werden. Ab diesem Zeitpunkt wird aber die Solarkreispumpe ausgeschaltet, obwohl die höchste Speichertemperatur noch unter 80°C liegt. Die Folge ist, dass die Solaranlage ausgeschaltet wird und in weiterer Folge in Stagnation geht (Kollektortemperaturen über 140°C). Nach der Korrektur der Regelparameter (Erhöhung der Maximaltemperatur des Energiespeichers) konnte dieses Problem behoben werden (siehe Abbildung 20, rechter Teil, 26.03.2012).

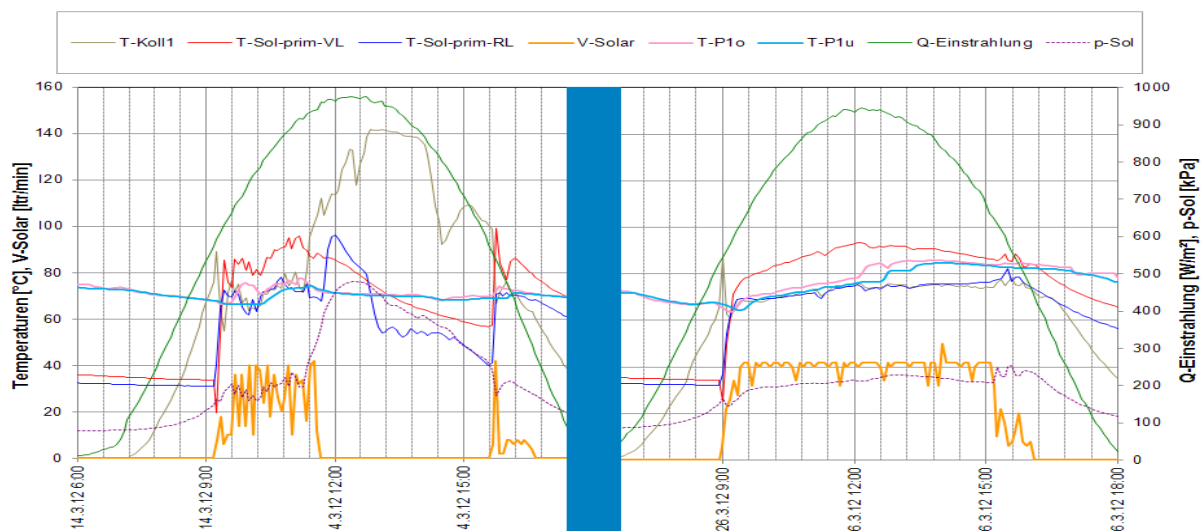


Abbildung 20: Vergleich des Temperaturverlaufs im Primärkreis des Solarsystems zuzüglich des Verlaufs des Druckes im Primärkreis, Volumenstroms im Sekundärkreis, der Pufferspeichertemperaturen und der Globalstrahlung vor der Optimierung (14.03.2012, links) und nach der Optimierung (26.03.2012, rechts)

Ein weiteres Anlagenfehlverhalten konnte im Bereich der Fernwärme-Nachheizung detektiert werden. Aus Abbildung 21 (linker Teil, 14.03.2012) geht deutlich hervor, dass die Ladepumpe aus dem Nahwärmenetz praktisch 24 Stunden durchläuft und nur ca. alle 4 Stunden für knapp 30 Minuten ausschaltet (in Folge falscher Sensorbezüge, falsch

gewählter Maximaltemperaturen und unglücklich eingestellter Hysterese). Dies bringt vollgeladene Pufferspeicher mit kaum Temperaturunterschied zwischen Vorrangspeicher (1.500 l) und Nachrangspeichern (insgesamt 4.500 l) bzw. zwischen „Pufferspeicher oben“ und „Pufferspeicher unten“ mit sich. Erhöhte Speicherverluste und reduzierte Solarerträge sowie gänzlich verhinderte Einträge aus der Abwärme des Kühlraumes sind die logische Konsequenz.

Durch eine Änderung im Regelungsalgorithmus durch das Regelunternehmen konnte ein verbesserter Ladebetrieb erreicht werden, was zu deutlich reduzierten Temperaturen im Nachrangteil des Energiespeichers (T-P2u bis T-P2o) führte. Details zum Betrieb nach der getätigten Optimierungsmaßnahme können beispielhaft Abbildung 21 (rechter Teil, 28.04.2012) entnommen werden.

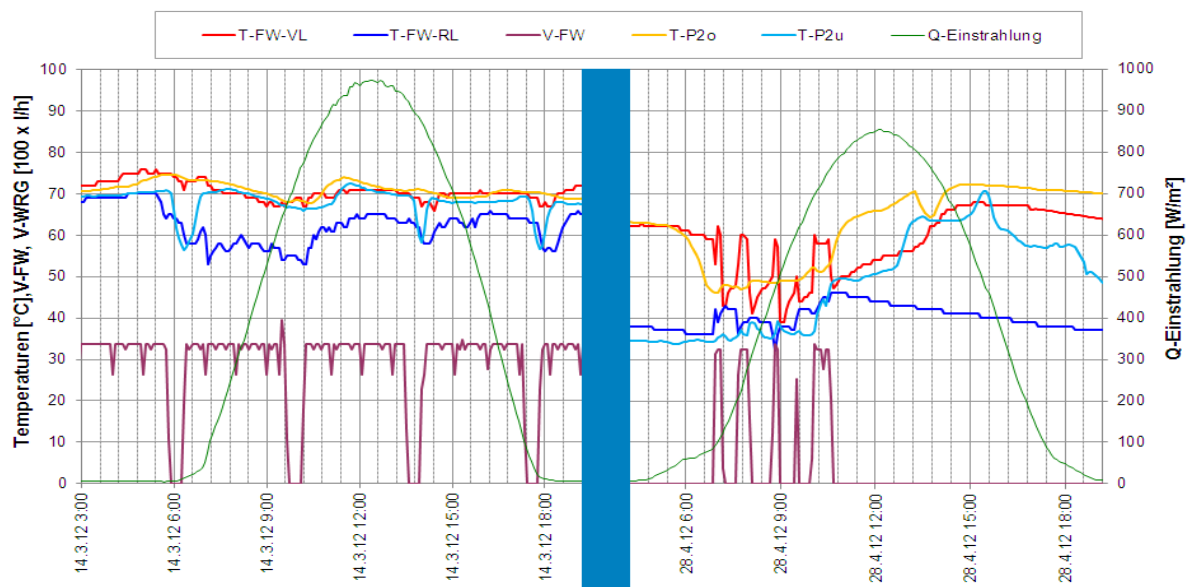


Abbildung 21: Vergleich des Temperaturverlaufs im Nahwärmeheizungskreis zuzüglich des Verlaufs des Volumenstroms, der Pufferspeichertemperaturen und der Globalstrahlung vor der Optimierung (14.03.2012, links) und nach der Optimierung (28.04.2012, rechts)

In den Sommermonaten ist bei dieser Anlage eine Einspeisung der nicht unmittelbar im Seniorenwohnheim benötigten Wärme in das Fernwärmenetz vorgesehen. Neben der Vermeidung von Anlagenstagnation im Sommer erscheint dieser Betriebsfall auch wirtschaftlich interessant, da der Fernwärmenetzbetreiber für jede eingespeiste kWh gleich viel bezahlt wie er bei Bezug verrechnen würde. In Folge der messtechnischen Analysen musste festgestellt werden, dass die Rückspeisung aus den Energiespeichern in das FW-Netz nicht ordnungsgemäß funktionierte. War die Regelung zu Beginn der messtechnischen Begleitung im August 2011 so eingestellt, dass in Folge zu tiefer Freigabetemperaturen für die Einspeisung mehr in das Nahwärmenetz eingespeist wird als die Solaranlage im gleichen Zeitraum überhaupt lieferte (siehe Abbildung 16), so zeigt Abbildung 22, dass am 11. Mai 2012 trotz vollständig geladener Pufferspeicher (Temperaturen über 70°C) und Außentemperaturen um 20°C keine Freigabe der dezentralen FW-Einspeisung erfolgte. Nach Rücksprache mit dem Betreiber und dem zuständigen Regelungsunternehmen konnte eine wiederholt falsche Parametrierung der Regeleinstellungen (zu hohe Freigabetemperaturen an T-P2m bzw. Ausschalttemperaturen an T-P2o) festgestellt werden. In Kooperation mit dem Netzbetreiber und dem zuständigen Regelungsunternehmen konnte eine außentemperaturabhängige Freigaberegulierung für die Netzeinspeisung festgelegt werden. Bei einer Außentemperatur von -20°C beträgt die Freigabetemperatur 95°C. Bei einer Außentemperatur von 0°C liegt die Freigabetemperatur bei 72°C bzw. liegt diese bei 15°C Außentemperatur bei 70°C (Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes).

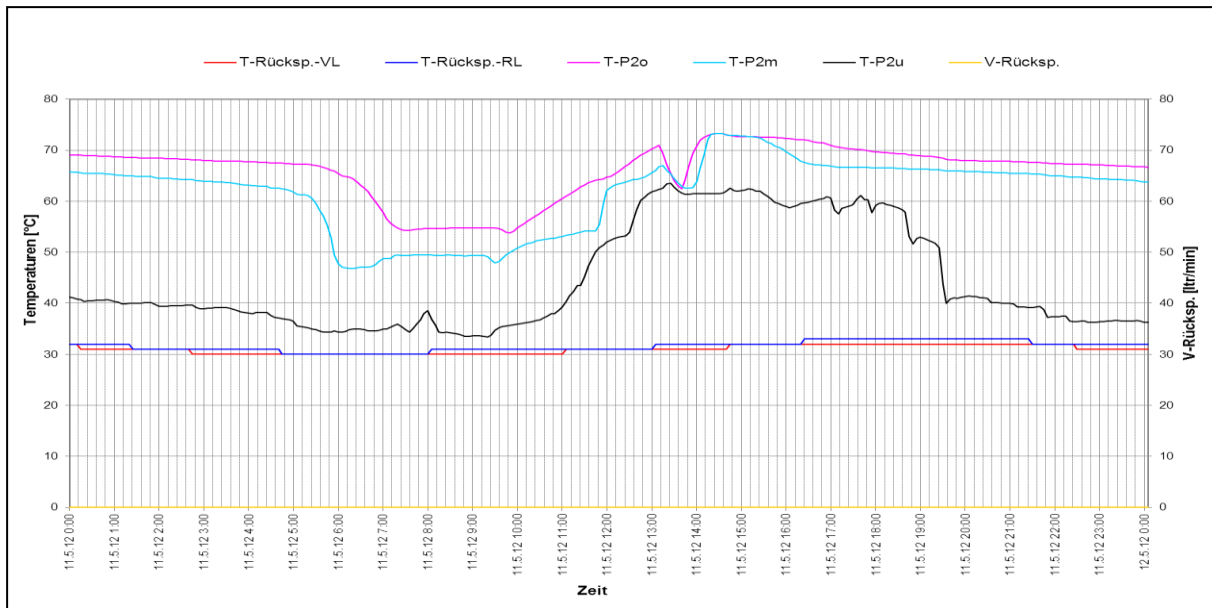


Abbildung 22: Temperaturverlauf im Netzeinspeisungskreislauf zuzüglich des Verlaufs des Volumenstroms und der Pufferspeichertemperaturen vor der Optimierung der Einspeiseparameter (22.05.2012)

Abbildung 23 zeigt das Betriebsverhalten im Falle der Netzeinspeisung nach Optimierung der Freigabekriterien beispielhaft für den 30. Juni 2012. Die Einschalttemperatur beträgt dabei rund 70°C an T-P2m und die Ausschalttemperatur 67°C an T-P2o.

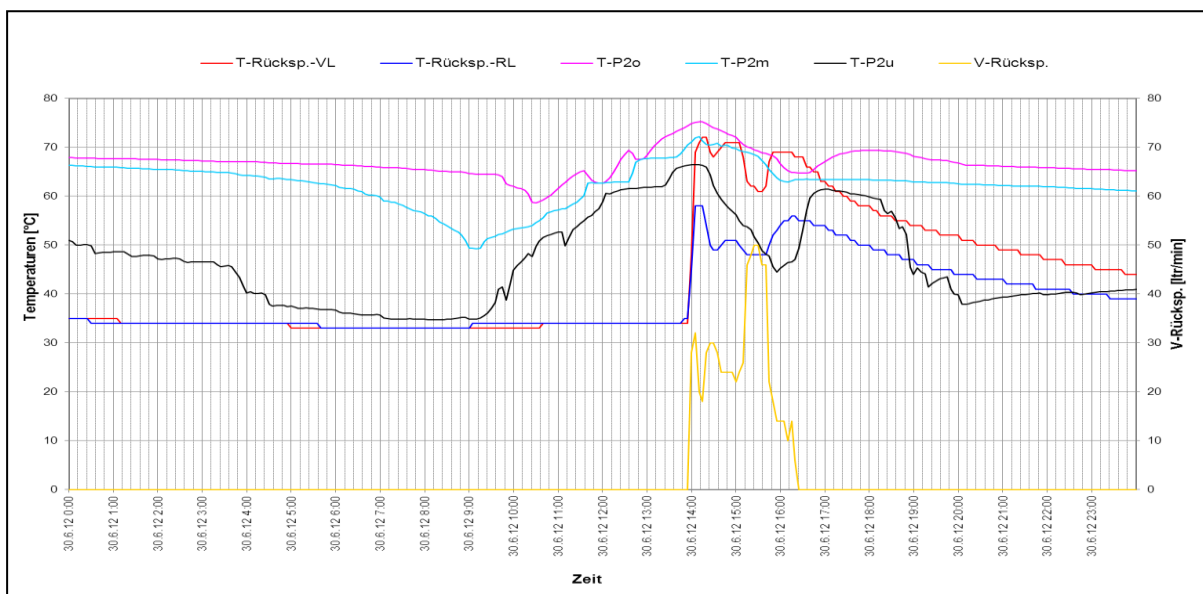


Abbildung 23: Temperaturverlauf im Netzeinspeisungskreislauf zuzüglich des Verlaufs des Volumenstroms und der Pufferspeichertemperaturen nach der Optimierung der Einspeiseparameter (30.06.2012)

Im Zuge der messtechnischen Begleitung sind weiters vergleichsweise hohe Temperaturen im unteren Bereich der Energiespeicher auch in einstrahlungsarmen Zeiten aufgefallen, was mit den Rücklauftemperaturen aus dem Wärmeabgabesystem zu tun hatte. Trotz eines hohen Anteils an Fußbodenheizung betragen die durchschnittlichen Rücklauftemperaturen aus dem Wärmeabgabesystem in der Heizperiode zwischen 50 und 60°C. Als Ursache dafür konnte ein Fehler in der Regelung des Nachheizkreislaufes für die Lüftungsanlage identifiziert werden. Wie in Abbildung 24 ersichtlich, wurde die Primärkreispumpe ständig betrieben, wobei hingegen die Sekundärkreispumpe auf die

tatsächlichen Betriebszeiten der Lüftungsanlage (3 Betriebsfenster) angepasst ist. Aufgrund dieses durchgehenden Pumpenbetriebs und der im Vergleich zur Fußbodenheizung hohen Auslegungstemperaturen (70/50) wurde der gesamte Rücklauf aus dem Wärmeabgabesystem auf hohe Temperaturen angehoben. Dies führte zu höheren Temperaturen im Energiespeicher (erhöhte Speicherverluste und reduzierte Energiedichte des Speichers), sowie gleichzeitig auch zu höheren Rücklauftemperaturen im Solarsystem, was wiederum geringere Kollektorwirkungsgrade zur Folge hatte.

In Kooperation mit dem Betreiber und dem verantwortlichen Regelungsunternehmen wurde zur Problemlösung eine elektrische Parallelschaltung der Primärpumpe mit der Sekundärpumpe definiert. Die Auswirkungen dieser Optimierungsmaßnahme führten zu den für Fußbodenheizungssysteme üblichen niedrigen Rücklauftemperaturen von etwa 30°C zu Zeiten außerhalb des Lüftungsbetriebs (siehe Abbildung 24).

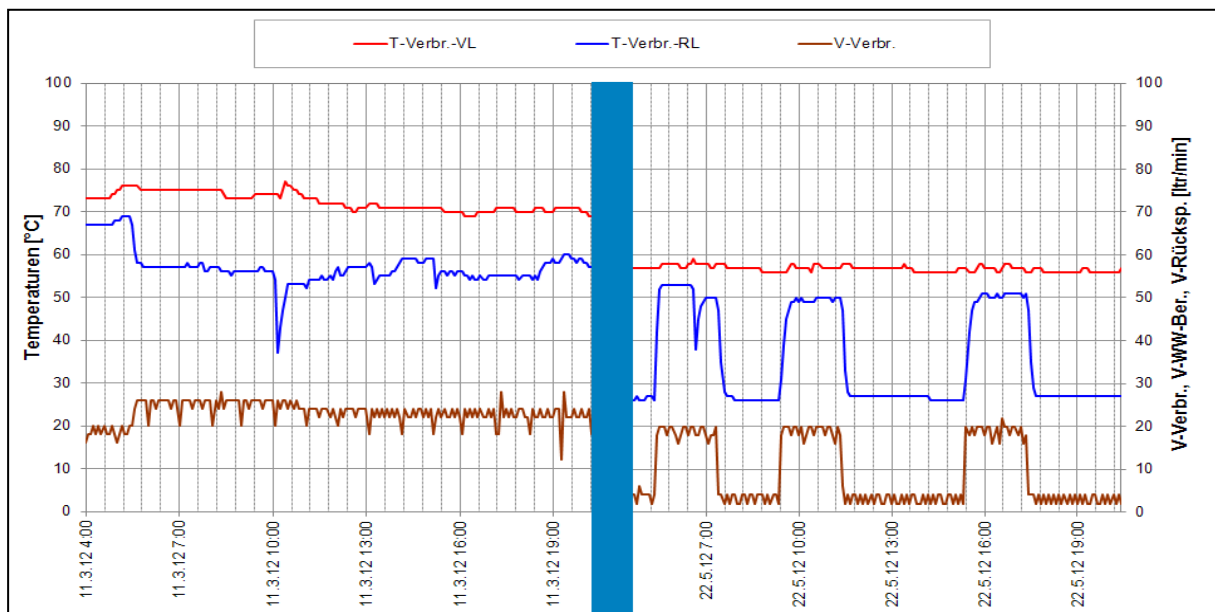


Abbildung 24: Vergleich der Temperatur- und Volumenstromverläufe im Kreislauf des Wärmeabgabesystems vor der Optimierung (11.03.2012, links) und nach der Optimierung (22.05.2012, rechts)

7.2.6 Anlagen Status Quo

Aufgrund der umgesetzten Optimierungsmaßnahmen zeigte das gesamte Wärmeabgabesystem nach Abschluss der einjährigen Monitoringphase einen soliden Betriebszustand. Einzig die effiziente Einbindung der Abwärmenutzung aus dem Lebensmittelkühlraum konnte im Betrachtungszeitraum nicht nachgewiesen werden. Durchwegs hohe Speichertemperaturen und suboptimale Regelungseinstellungen bildeten hierfür die Ursache. Mehrfache Anregungen zur Problemlösung wurden seitens des Begleitforschungsteams an den Anlagenbetreiber kommuniziert, wurden aber bis zum Ende des Betrachtungszeitraums noch nicht umgesetzt.