

7.16 Unfallkrankenhaus Kalwang, Stmk.

7.16.1 Allgemeine Anlagenbeschreibung

<u>Projektname:</u>	Unfallkrankenhaus Kalwang
<u>Adresse:</u>	8775 Kalwang
<u>Art der Anwendung:</u>	Hohe solare Deckungsgrade
<u>Wärmeverbraucher:</u>	Warmwasserbereitung und Raumheizung (FBH, Radiator, Lüftungszentrale)
<u>Bruttokollektorfläche:</u>	208 m ² , Flachkollektor
<u>Energiespeichervolumen:</u>	6 x 2,9 m ³
<u>Hauptheizungssystem:</u>	Fernwärme, Ölkessel 580 kW (Notkessel)
<u>Solarer Deckungsgrad:</u>	4,2% (Messung)
<u>Spezifischer Solarertrag:</u>	340 kWh/m ² a (Messwert bezogen auf die Aperturfläche)
<u>Projektstatus:</u>	Monitoringphase beendet mit Februar 2014
<u>Zuständigkeit Begleitforschung:</u>	AEE INTEC

Im Rahmen des Betreibervorhabens, bis zum Jahr 2020 eine größtmögliche Energieautarkie am Standort zu erreichen, wurde auf dem Dach des Unfallkrankenhauses Kalwang eine solarthermische Anlage installiert. Abbildung 209 zeigt die installierten Flachkollektoren mit einer gesamten Bruttokollektorfläche von 208 m². Die installierten Kollektorfelder weisen bei direkter Südausrichtung eine Neigung von 35° auf. Die generierte Solarwärme wird in sechs Pufferspeicher, welche wiederum in zwei Gruppen aufgeteilt sind, eingespeist. Eine Gruppe aus drei Pufferspeichern wird für die Warmwasserbereitung (inklusive Versorgung der Zirkulationsleitung) und eine zweite Pufferspeichergruppe wird für die Raumheizung (Hochtemperaturverteiler, Fußbodenheizung, Radiatoren und Lüftungszentrale) genutzt.

Als Zusatzheizung fungiert eine Fernwärmeanbindung. Die Nutzung der Abwärme zweier Kältemaschinen in das System wurde angedacht aber im Betrachtungszeitraum nicht mehr umgesetzt. Laut Auskunft des Betreibers wurde die Einbindung schlussendlich mit Mitte 2014 in Betrieb genommen. Bei einem auftretenden Spitzenlastfall bzw. bei einem Ausfall der Fernwärme können zudem zwei Ölnotkessel in Betrieb genommen werden.



Abbildung 209: Luftaufnahme des „Unfallkrankenhauses Kalwang“ (links, Bildquelle: AUVA) und Ausschnitt der Gebäudeansicht mit der 208 m² umfassenden Kollektoranlage (rechts, Bildquelle: AEE INTEC)

7.16.2 Hydraulik- und Messkonzept

Das Hydraulikkonzept der Anlage UKH Kalwang ist in Abbildung 210 dargestellt. Deutlich erkennbar sind die beiden Pufferspeichergruppen für die Warmwasserbereitung bzw. für die Raumheizung. Die drei parallel geschalteten Pufferspeicher zur Warmwasserbereitung verfügen jeweils über einen innenliegenden Wärmetauscher (Warmwasserbereitung im

Durchflussprinzip). Die Nacherwärmung im oberen Bereich der Speicher erfolgt über den Hochtemperaturverteiler (beschickt von der Fernwärme oder Öl-Notkessel).

Eine Einbindung der Abwärme zweier Kompressionskälteanlagen wurde hydraulisch vorbereitet, bis zum Ende des Betrachtungszeitraums jedoch nicht umgesetzt (im Hydraulikschema grau dargestellt). Aus Temperaturschichtungsgründen erfolgt die Abdeckung der Zirkulationsverluste über einen eigenen externen Wärmetauscher. In die Pufferspeichergruppe der Raumheizung wurde im Betrachtungszeitraum ausschließlich Solarwärme eingebracht. Je nach vorherrschendem Temperaturniveau können aus den Raumheizungspufferspeichern die einzelnen Verteilerschienen versorgt werden. Reicht die Temperatur für eine Verteilerschiene nicht aus (z.B. Hochtemperaturverteiler), erfolgt die Versorgung des betreffenden Verteilers direkt über Fernwärme.

Für das Anlagenmonitoring wurden 13 Wärmemengenzähler, 37 Temperatursensoren, ein Drucksensor im Solarprimärkreislauf sowie ein Globalstrahlungssensor in der Kollektorebene montiert.

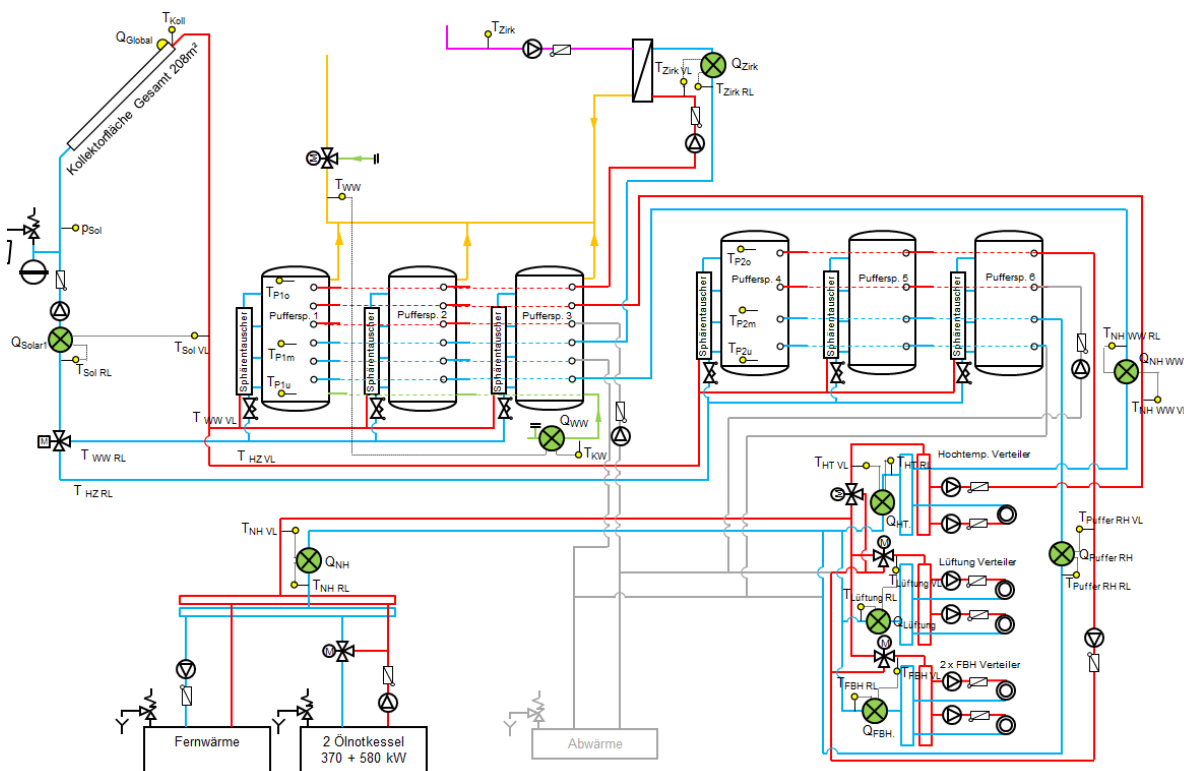


Abbildung 210: Hydraulik- und Messkonzept zum Projekt „Unfallkrankenhaus Kalwang“ (grün: Volumenstromzähler; gelb: Temperatur-, Druck- und Einstrahlungssensoren)

Die Beschreibung der einzelnen Messpunkte ist nachfolgend zusammengefasst:

Solarkreis

- Q_{Global} Globalstrahlungssensor
- T_{Koll} Kollektortemperatur
- P_{sol} Drucksensor Primärkreis
- $T_{Solar VL}$ Solarvorlauftemperatur Primärkreis
- $T_{Solari RL}$ Solarrücklauftemperatur Primärkreis
- Q_{Solar} Wärmemengenzähler Solar

Speicher

- $T_{P WW VL}$ Vorlauftemperatur WW-Pufferspeicher
- $T_{P WW RL}$ Rücklauftemperatur WW-Pufferspeicher
- T_{WW} Temperatur Warmwasser
- T_{KW} Temperatur Kaltwasser

Q_{WW}	Wärmemengenzähler Warmwasser
$T_{P1\ o}$	Pufferspeichertemperatur Oben für WW-Pufferspeicher
$T_{P1\ mo}$	Pufferspeichertemperatur Mitte-Oben für WW-Pufferspeicher
$T_{P1\ m}$	Pufferspeichertemperatur Mitte für WW-Pufferspeicher
$T_{P1\ mu}$	Pufferspeichertemperatur Mitte-Unten für WW-Pufferspeicher
$T_{P1\ u}$	Pufferspeichertemperatur Unten für WW-Pufferspeicher
$T_{P2\ o}$	Pufferspeichertemperatur Oben für Heizungspufferspeicher
$T_{P2\ m}$	Pufferspeichertemperatur Mitte-Oben für Heizungspufferspeicher
$T_{P2\ m}$	Pufferspeichertemperatur Mitte für Heizungspufferspeicher
$T_{P2\ m}$	Pufferspeichertemperatur Mitte-Unten für Heizungspufferspeicher
$T_{P2\ u}$	Pufferspeichertemperatur Unten für Heizungspufferspeicher
$T_{P\ HZ\ VL}$	Vorlauftemperatur für Heizungspufferspeicher
$T_{P\ HZ\ RL}$	Rücklauftemperatur für Heizungspufferspeicher

Nachheizung

$T_{NH\ VL}$	Vorlauftemperatur Nachheizung
$T_{NH\ RL}$	Rücklauftemperatur Nachheizung
Q_{NH}	Wärmemengenzähler Nachheizung
$T_{NH.WW\ VL}$	Vorlauftemperatur Nachheizung für WW-Pufferspeicher
$T_{NH.WW\ RL}$	Vorlauftemperatur Nachheizung für WW-Pufferspeicher
$Q_{NH.WW}$	Wärmemengenzähler Nachheizung für Warmwasserpufferspeicher

Hochtemperatur Verteiler

$T_{HT\ VL}$	Vorlauftemperatur Hochtemperatur Verteiler
$T_{HT\ RL}$	Rücklauftemperatur Hochtemperatur Verteiler
Q_{HT}	Wärmemengenzähler Hochtemperatur Verteiler

Lüftung Verteiler

$T_{Lüftung\ VL}$	Vorlauftemperatur Lüftung Verteiler
$T_{Lüftung\ RL}$	Rücklauftemperatur Lüftung Verteiler
$Q_{Lüftung}$	Wärmemengenzähler Lüftung Verteiler

Fußbodenheizung Verteiler

$T_{FBH\ VL}$	Vorlauftemperatur Fußbodenheizung Verteiler
$T_{FBH\ RL}$	Rücklauftemperatur Fußbodenheizung Verteiler
Q_{FBH}	Wärmemengenzähler Fußbodenheizung Verteiler

Radiatorheizung Verteiler

$T_{Rad\ VL}$	Vorlauftemperatur Radiatorheizung Verteiler
$T_{Rad\ RL}$	Rücklauftemperatur Radiatorheizung Verteiler
Q_{Rad}	Wärmemengenzähler Radiatorheizung Verteiler

7.16.3 Energiebilanz

Die Energiebilanz des UKH Kalwang (Warmwasserbereitungssystem sowie die Raumheizungsversorgung) werden in Abbildung 211 betrachtet. Der Wärmeeintrag in das Warmwasserbereitungssystem erfolgt über die Solaranlage (orange), die Nachspeisung der Fernwärme (hellblau). Den Output bilden der Warmwasserverbrauch (violett) sowie die Zirkulationsverluste (grau). Die Raumheizungsverbraucher werden in drei Verteilergruppen unterteilt (Hochtemperatur: rot; Lüftung: dunkelgrün; Fußbodenheizung: hellgrün). Der Wärmeinput setzt sich aus Fernwärme (dunkelblau), die in die Heizungspufferspeicher eingespeiste solarthermische Energie (gelb).

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 im Monatsmittel rund 6 % des Gesamtenergieeintrags.

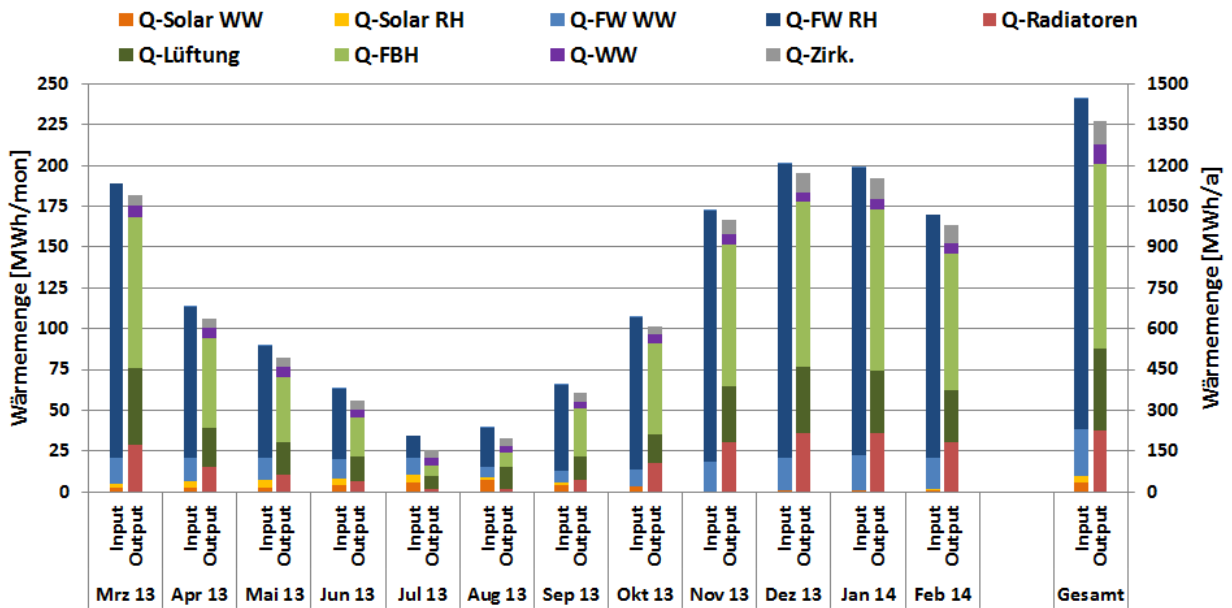


Abbildung 211: Energiebilanz des gesamten Wärmebereitung- und verteilung (Warmwasserbereitung und Raumheizung) der Anlage „Unfallkrankenhaus Kalwang“ (März 2013 bis Februar 2014)

7.16.4 Vergleich Simulation - Messung

Abbildung 212 bis Abbildung 214 zeigen jeweils einen Vergleich der bei der Einreichung prognostizierten Kennzahlen „Solarertrag“, „Solarer Deckungsgrad“ (Solarertrag bezogen auf Summe aller Wärmeinputs) sowie „Verbrauch“ mit den Ergebnissen aus den laufenden Messungen. Die im Rahmen der Einreichung seitens des Betreibers übermittelten Kenndaten bezogen sich ausschließlich auf die Warmwasserbereitung des UKH Kalwang. Erst in einer späteren Projektphase entschieden sich die Verantwortlichen mit der Anlage auch die Raumheizung zu unterstützen. Infolgedessen wurde auf Basis des gemessenen Verbrauchs der ersten drei Monate (März 2013 bis Juni 2013) eine erneute Simulation mit T*Sol durchgeführt. Die aus der dieser durchgeführten Simulation erhaltenen Vergleichswerte (Solarertrag, Solarer Deckungsgrad) wurden in weiterer Folge für die Beurteilung der Anlage herangezogen.

Der gemessene solare Ertrag (rote Linie) liegt nach dem Ende der einjährigen Begleitphase mit 340 kWh/m²a geringfügig unter dem prognostizierten Wert aus der Anlagensimulation (blau schraffierte Fläche mit rund 372 kWh/m²a).

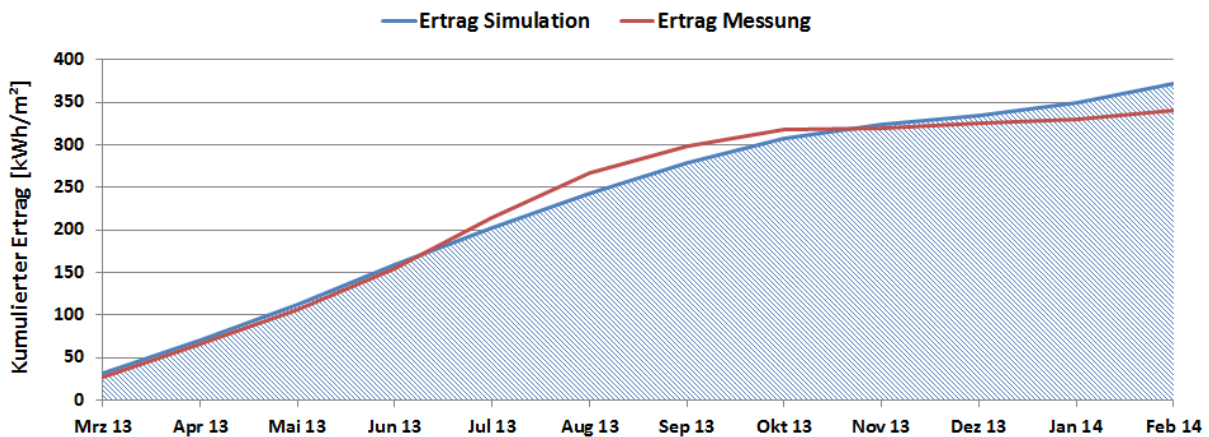


Abbildung 212: Vergleich des gemessenen spezifischen Solarertrags mit dem Simulationswert für die Anlage „Unfallkrankenhaus Kalwang“ (März 2013 bis Februar 2014)

Abbildung 213 zeigt die monatlich prognostizierten (blaue Balken) sowie die monatlich gemessenen solaren Deckungsgrade (rote Balken) der Anlage „UKH Kalwang“. Für den gesamten Betrachtungszeitraum konnte ein solarer Deckungsgrad von rund 4% erwartet werden. Obwohl Abweichungen nach oben als auch nach unten in einzelnen Monaten (Juni 2013 bis August 2013) festgestellt wurden, liegt der gemessene solare Deckungsgrad, mit rund 4,2%, geringfügig über dem Soll.

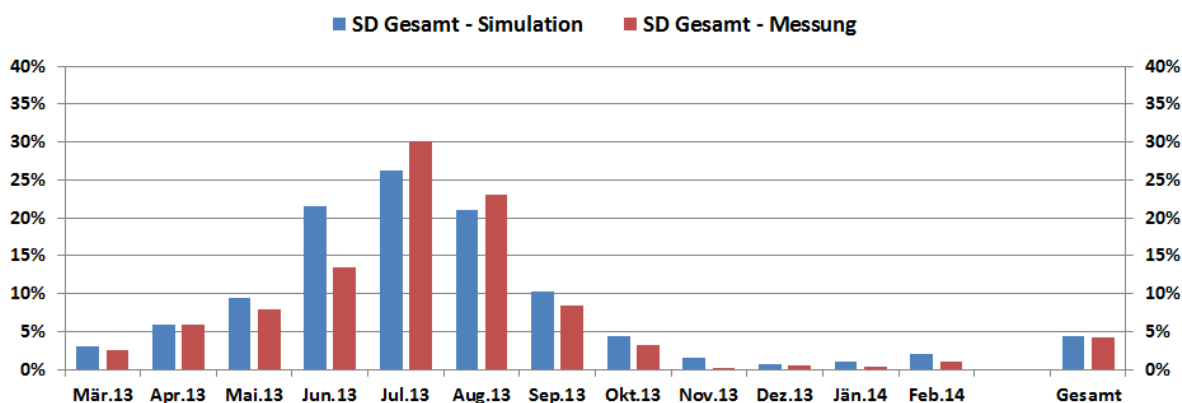


Abbildung 213: Vergleich des gemessenen solaren Deckungsgrades des Wärmeverteilungssystems (Warmwasserbereitung und Raumheizung) mit dem Simulationswert für die Anlage „Unfallkrankenhaus Kalwang“ (März 2013 bis Februar 2014)

Der Gesamtwärmeverbrauch (rote Linie in Abbildung 214) liegt nach Ende des Begleitforschungszeitraums mit 1363 MWh rund 18% unter dem prognostizierten Verbrauch (blau schraffierte Fläche).

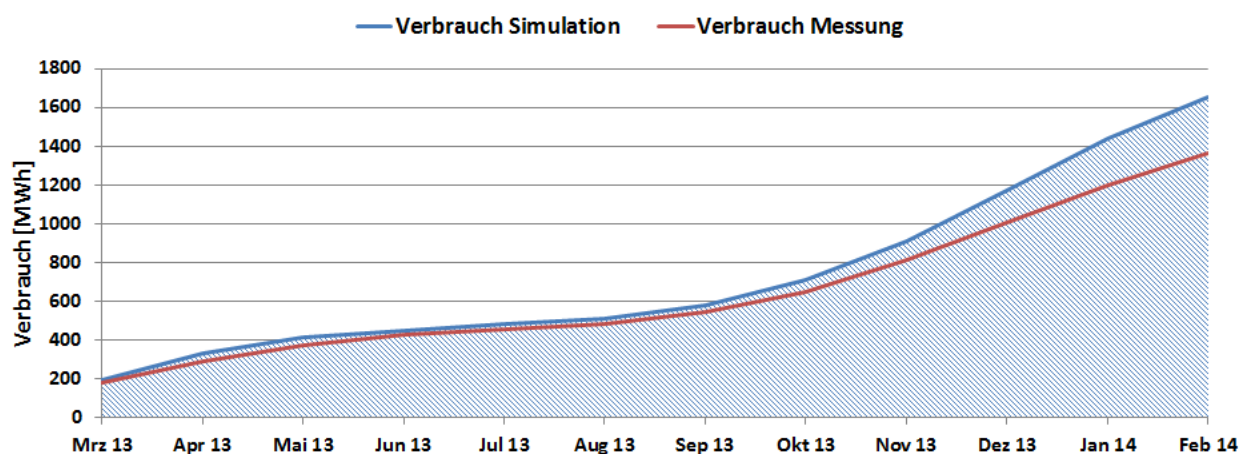


Abbildung 214: Vergleich des gemessenen Verbrauchs mit dem prognostizierten Verbrauch für die Anlage „Unfallkrankenhaus Kalwang“ (März 2013 bis Februar 2014)

7.16.5 Detailbetrachtung und Optimierungspotenziale

Im Zuge der Prüfung der Sensorik für den Monitoringprozess, sprich vor dem offiziellen Start des Messjahres, konnten bei der gegenständlichen Anlage Unregelmäßigkeiten festgestellt werden:

- Falsch eingebaute Rückschlagklappe im Rücklauf der Fußbodenheizung (Bestand seit ca. 20 Jahren) führte zu ungünstigen Druckverhältnissen und somit zu hydraulischen Fehlströmungen
- Ein Ventil im Raumheizungskreislauf war irrtümlich verschlossen
- Detektion von zwei Bestandswärmemengenzählern, die falsche Protokolle über die M-Bus Schnittstelle ausgaben

Nach der Behebung dieser Problemstellungen (veranlasst vom Begleitforschungsteam und durchgeführt von Vertretern des Betreibers) konnten keine weiteren Auffälligkeiten in der Betriebsweise des Wärmeversorgungssystems festgestellt werden.

Abbildung 215 zeigt beispielhaft für die Betriebsweise der solarthermischen Anlage am 17.08.2013 den Tagesverlauf der Temperaturen im Solarkreis zuzüglich der Volumenströme sowie die Speichertemperaturen der Warmwasserbereitungsspeicher und der Raumheizungsspeicher. Gut erkennbar ist die Regelung für die Beladung der beiden getrennten Speichergruppen. Die Solarpumpe geht um ca. 08:30 Uhr in Betrieb und speist Wärme zuerst in die Warmwasserspeichergruppe ein. Bei Erreichen der maximalen Warmwasserspeichertemperatur von 70 °C, wird auf eine Beladung der Raumheizungspufferspeichergruppe umgeschaltet (in Abbildung 215 um etwa 12:00 Uhr). Die Begrenzung der maximalen Warmwasserspeichertemperatur ist laut Anlagenbetreiber aus Sicherheitsgründen festgelegt worden, da keine Beimischung von Frischwasser zur Temperaturregelung des Warmwassers implementiert wurde. Eine nachträgliche Installation ist laut Betreiber im Zuge weiterer Anpassungen im Bereich der Warmwasserbereitung geplant, wurde aber im Betrachtungszeitraum nicht mehr umgesetzt. Weiters zeigte sich, dass die hydraulische Anbindung der Warmwasserbereitung bzw. der Zirkulationsleitung vom bzw. zur Pufferspeichergruppe erhöhte Pufferspeichertemperaturen bedingt. Durch eine hydraulische Anpassung der drei Pufferspeicher, von einer parallel zu einer seriellen Anordnung, könnte ein niedrigeres Rücklauf Temperaturniveau für die solarthermische Anlage erreicht werden.

Das Umschalten auf die Beladung der Raumheizungspufferspeichergruppe ist deutlich an dem Absinken der Solarkreistemperaturen aufgrund des niedrigeren Rücklauf temperaturniveaus aus dem Raumheizungspufferspeicher erkennbar. Diese werden solange beladen, bis die maximale Temperatur der Heizungsspeicher von 95 °C erreicht ist. Im betrachteten Zeitraum konnte die maximale Temperatur der Heizungsspeicher von 95 °C nicht erreicht werden und die Anlage schaltet sich am späten Nachmittag, bei nicht mehr nutzbarer Strahlungsleistung, aus. Das Auftreten von Anlagenstagnation, sprich das Erreichen der maximal zulässigen Raumheizungspufferspeichertemperatur von 95 °C bei vorhandener Einstrahlungsleistung, konnte im Betrachtungszeitraum rund 10-mal beobachtet werden.

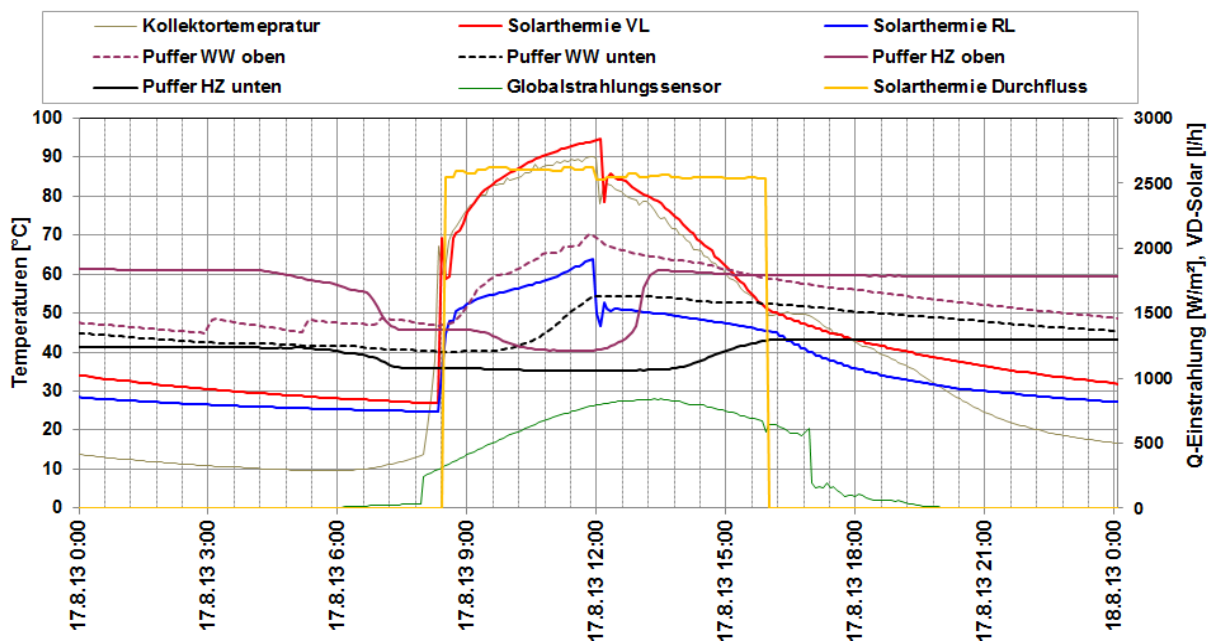


Abbildung 215: Beispielhafter Temperaturverlauf im Primärkreis des Solarsystems zuzüglich des Verlaufs der Globalstrahlung, des Volumenstroms und der Pufferspeichertemperaturen (17.08.2013)

Die Betriebsweise der Warmwasserbereitung ist beispielhaft für einen einstrahlungsarmen Tag, 14.03.2013, in Abbildung 217 sowie für einen einstrahlungsreichen Sommertag, 17.08.2013, in Abbildung 218 dargestellt. In Abbildung 217, Darstellung für den 14.03.2013, ist deutlich das Einschalten der Fernwärmenachheizung bei unterschreiten der Warmwasserspeichertemperatur im oberen Bereich von 55 °C erkennbar. Die Nachheizung wird infolge für rund 1 h zur Hebung des Temperaturniveaus eingeschaltet und nach Erreichen der maximal vorgesehen Speichertemperatur von rund 70 °C abgestellt. Solare Wärme von dem Kollektorfeld wird aufgrund fehlender Strahlungsleistung an diesem Tag nicht eingebracht. Im Vergleich zu einem einstrahlungsreichen Sommertag, 17.08.2013 in Abbildung 218, kommt es bis auf ein Einschalten in den frühen Morgenstunden zu keiner Nachheizung über den Fernwärmeanschluss. Die Warmwasserbereitung erfolgt nahezu ausschließlich über die solarthermische Anlage. Eine Betrachtung des solaren Anteils an der Warmwasserbereitung, dargestellt über den solaren Deckungsgrad, ist in Abbildung 218 angeführt. Deutlich erkennbar ist der hohe Anteil der solaren Wärme in den Sommermonaten, mit Spitzen von knapp 80 % im August 2013. Im Jahresverlauf konnte ein solarer Deckungsgrad für die Warmwasserbereitung von rund 20 % gemessen werden.

Die Warmwasservorlauftemperatur liegt im Betrachtungszeitraum zwischen 45 °C und 60 °C. Die Zirkulationsleitungstemperatur zwischen 35 °C und 45 °C (vgl. Abbildung 217 und Abbildung 218). Um trotz dieser niedrigen Warmwasser- bzw. Zirkulationsleitungstemperaturen den Vorgaben der österreichischen Hygienenorm für zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen (ÖNORM B5019) zu entsprechen, wurde im Jahre 2008 eine Chlordioxidanlage in Betrieb genommen. Die Chlordioxidanlage war in weiterer Folge den gesamten Betrachtungszeitraum aktiv. Nach Rücksprache mit dem Betreiber der Anlage wird Mitte 2014 die Chlordioxidanlage ersetzt und in weiterer Folge das Temperaturniveau der Zirkulationsleitung ganzjährig erhöht um der Hygienenorm zu entsprechen.

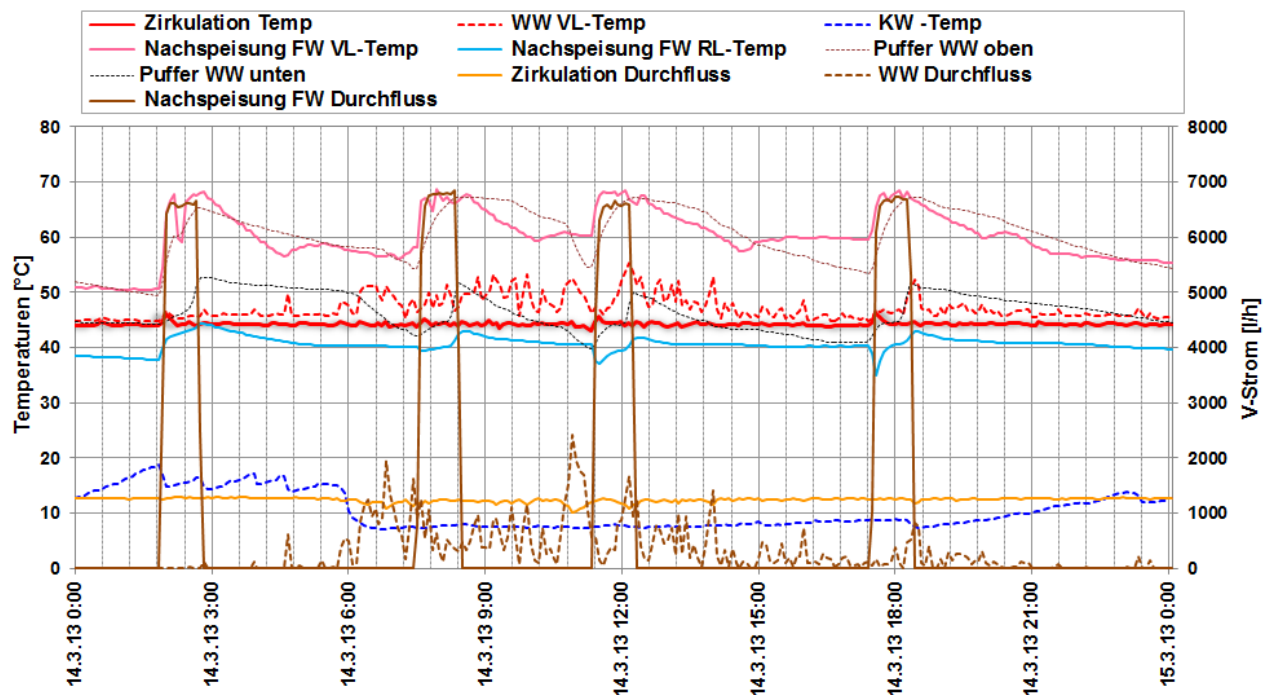


Abbildung 216: Beispielhafter Temperaturverlauf des Warmwasserbereitungskreises inkl. Zirkulation zuzüglich des Verlaufs der Volumenströme und der Pufferspeichertemperaturen an einem Tag mit niedriger Einstrahlungsleistung (14.03.2013)

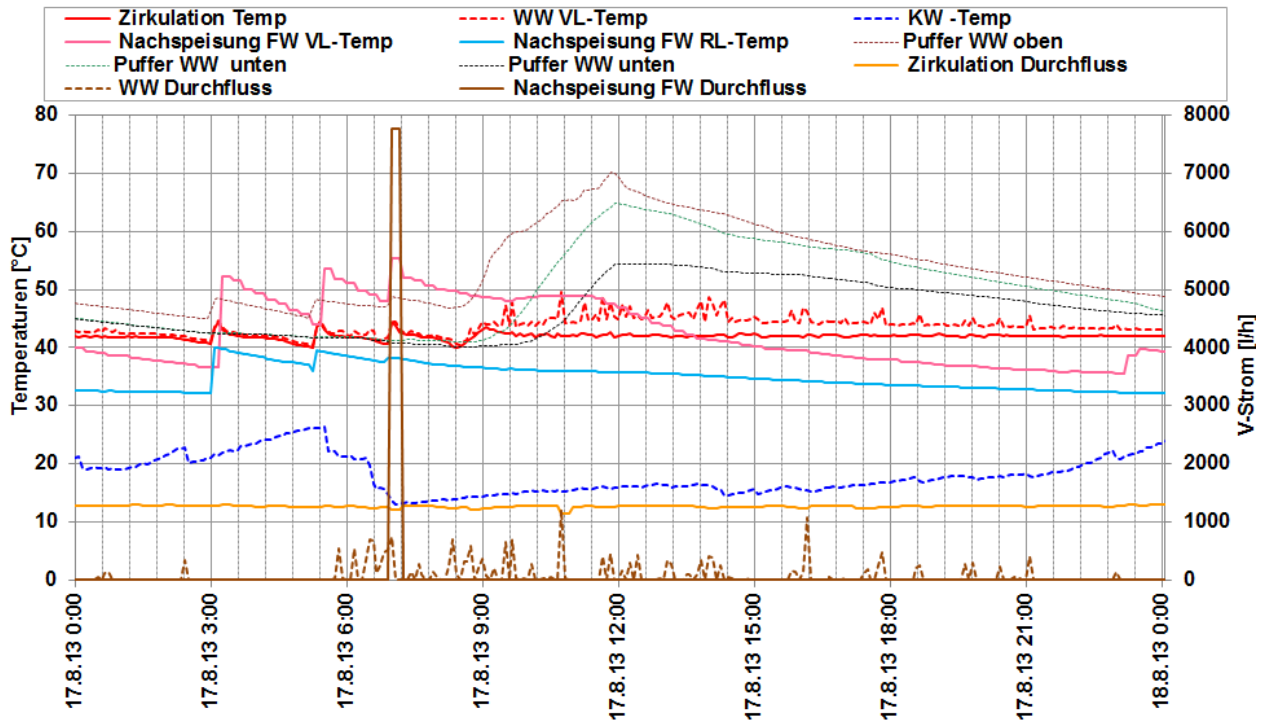


Abbildung 217: Beispielhafter Temperaturverlauf des Warmwasserbereitungskreises inkl. Zirkulation zuzüglich des Verlaufs der Volumenströme und der Pufferspeichertemperaturen an einem einstrahlungsreichen Sommertag (17.08.2013)

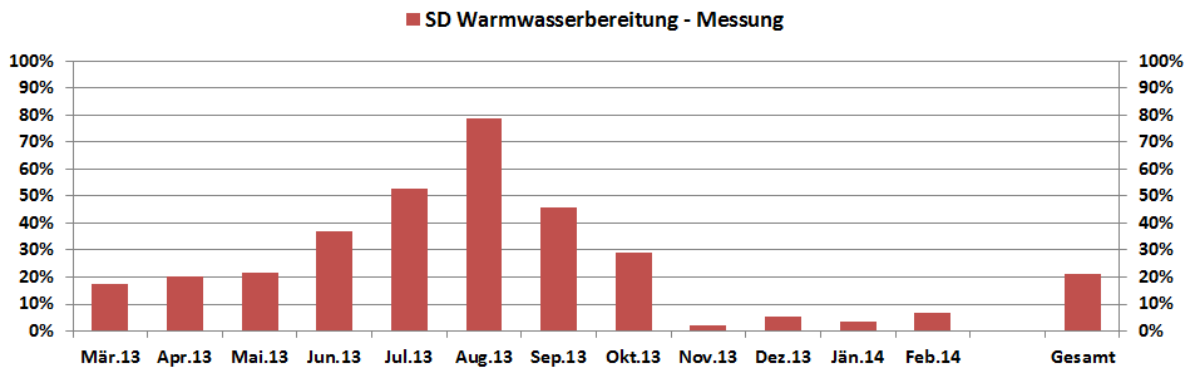


Abbildung 218: Vergleich des gemessenen solaren Deckungsgrades der Warmwasserbereitung für die Anlage „Unfallkrankenhaus Kalwang“(März 2013 bis Februar 2014)

Die Raumheizung des „Unfallkrankenhauses Kalwang“ erfolgt zum einen über eine Lüftungsanlage und zum anderen über Radiatoren und Fußbodenheizungen. Abbildung 219 zeigt beispielhaft den Tagestemperaturverlauf der einzelnen Verteilerschienen sowie deren Volumenströme an einem Wintertag (19.12.2013). Abbildung 220 den Tagestemperaturverlauf der Verteilerschienen und deren Volumenströme an einem Sommertag (17.08.2013).

Insbesondere in Monaten mit hohem Heizbedarf, repräsentativ der 19.12.2013 in Abbildung 219, sind deutlich die unterschiedlichen Temperaturniveaus dieser einzelnen Verteilerschienen erkennbar. Der Radiatorenkreis (HT) weist im Rücklauf das höchste Temperaturniveau (im Mittel bei rund 41 °C) auf. Niedrigere Temperaturniveaus stellen sich bei der Fußbodenheizung sowie der Lüftungsanlage ein. Im Betrachtungszeitraum betragen diese im Durchschnitt rund 31 °C bzw. rund 35 °C. Die erkennbaren Spitzen im Volumenstrom des HT-Kreises bzw. der FW-Nachheizung ergeben sich aus der Nachheizung der Warmwasser-Pufferspeicher für die Warmwasserbereitung durch die

Fernwärme. Der Nachheizungsstrang für die Warmwasserbereitung befindet sich wie im Hydraulikschema erkennbar (vgl. Abbildung 210) auf dem HT-Verteiler.

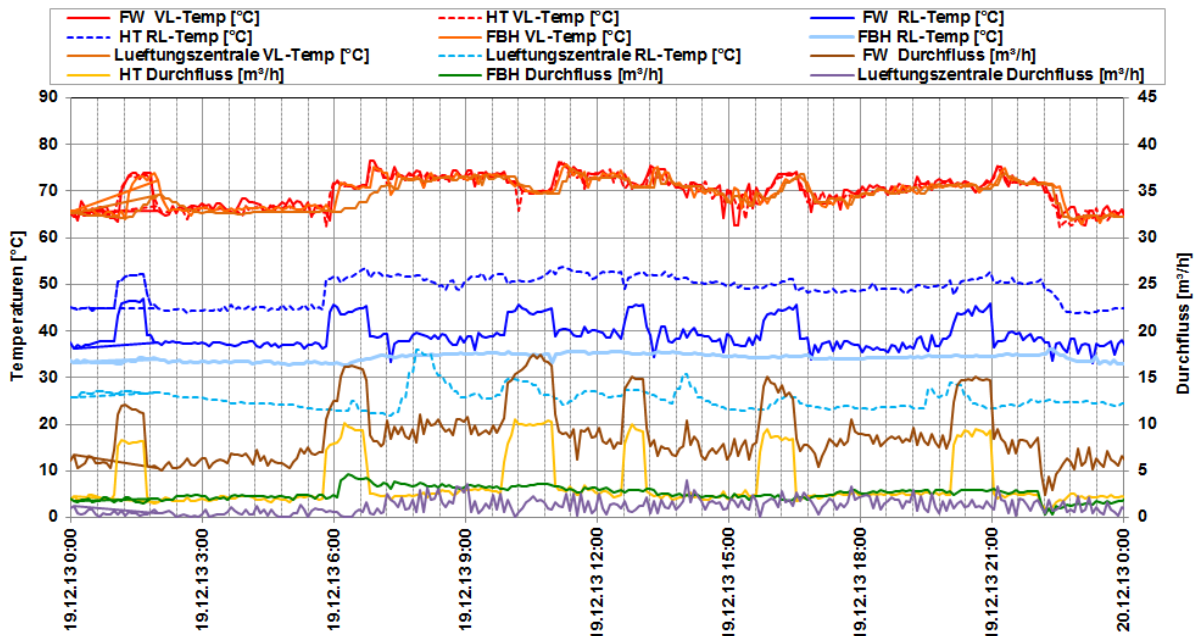


Abbildung 219: Beispielhafter Temperaturverlauf des gesamten Raumheizungskreises zuzüglich des Verlaufs der Volumenströme an einem Wintertag (19.12.2013)

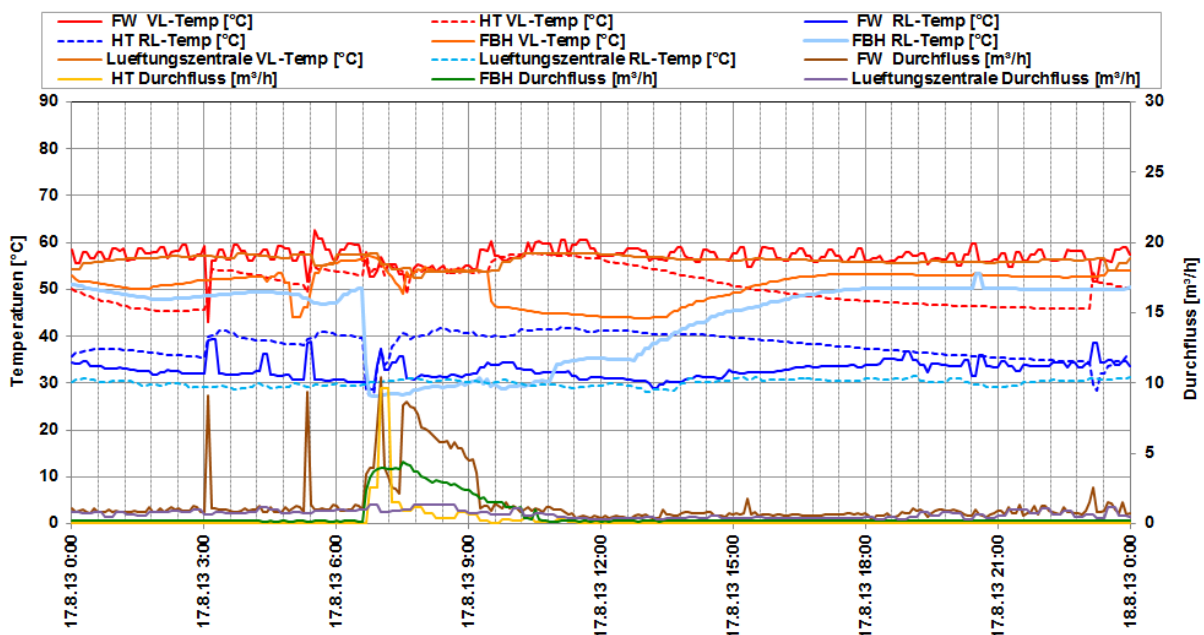


Abbildung 220; Beispielhafter Temperaturverlauf des gesamten Raumheizungskreises zuzüglich des Verlaufs der Volumenströme an einem Sommertag (17.08.2013)

7.16.6 Anlagen Status Quo

Bereits vor dem offiziellen Start der einjährigen Monitoringphase, mit März 2013, konnten folgende punktuellen Problemstellungen detektiert und behoben werden:

- Falsch eingebaute Rückschlagklappe im Rücklauf der Fußbodenheizung (Bestand seit ca. 20 Jahren) führte zu ungünstigen Druckverhältnissen und somit zu hydraulischen Fehlströmungen
- Ein Ventil im Raumheizungskreislauf war irrtümlich verschlossen
- Detektion von zwei Bestandswärmemengenzählern, die falsche Protokolle über die M-Bus Schnittstelle ausgaben

Weiteres Optimierungspotential konnte bei der Einspeisung solarer Wärme in die zwei Pufferspeichergruppen, einerseits zur Warmwasserbereitung und andererseits zur Raumheizungsunterstützung, detektiert werden. In der Pufferspeichergruppe für die Warmwasserbereitung wurde die maximale Einspeisetemperatur mit 70 °C begrenzt. Durch eine Erhöhung dieser könnte mehr solare Wärme für die Warmwasserbereitung zur Verfügung gestellt und das Auftreten von Anlagenstagnation vermieden werden. Weiters bedingt die hydraulische Anbindung der Warmwasserbereitung bzw. der Zirkulationsleitung vom bzw. zur Pufferspeichergruppe erhöhte Pufferspeichertemperaturen.

Im Bereich der Einbindung solarer Wärme zur Raumheizungsunterstützung würde eine hydraulische Anpassung (direkte Einbindung in den Niedertemperaturkreis) eine Verbesserung der Betriebsbedingungen ermöglichen und zu einer Steigerung solarer Erträge führen.

Die Betriebsweise der solarthermischen Anlage kann abschließend als stabil bezeichnet werden. Vereinzelt Optimierungspotentiale, speziell in der Einbindung solarer Wärme als auch an der Hydraulik des Wärmeverteilungssystems wurden dem Betreiber kommuniziert, konnten vor dem Ende der einjährigen Monitoringphase jedoch nicht mehr umgesetzt werden.