Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Cleantech

Schlussbericht vom 29.12.2016

Solare Energieversorgung im alpinen Raum

Reka-Feriendorf Blatten-Belalp

© Reka, 2014

Datum: 29. Dezember 2016
Ort: Bern

Subventionsgeberin:
Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das
Bundesamt für Energie BFE
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:
Schweizer Reisekasse (Reka) Genossenschaft
Neuengasse 15
3001 Bern
www.reka.ch

ELIMES AG
Winkelgasse 2
CH-3900 Brig
www.elimes.ch

Lauber IWISA AG
Kehrstrasse 14
CH-3904 Naters
www.lauber-iwisa.ch

Hochschule Luzern – Zentrum für Integrale Gebäudetechnik
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch/zig/

Autoren:
Prof. Matthias Sulzer, Hochschule Luzern, matthias.sulzer@hslu.ch
Simon Summermatter, ELIMES AG, simon.summermatter@elimes.ch

BFE-Programmleitung: Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch
BFE-Projektbegleitung: Marc Köhli, koehli@enerconom.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/501045-01

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

Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Zusammenfassung

Das BFE-Leuchtturmprojekt „Reka-Feriendorf Blatten-Belalp“ umfasst 9 Gebäude mit 50 Wohnungen, Gemeinschaftsanlagen und einem Hallenbad. Kernelemente des Energiekonzeptes sind die hybriden Sonnenkollektoren, der saisonale Erdwärmespeicher und die Abwasserwärmerückgewinnung. Das umfassende Monitoring über die Jahre 2015/2016 erlaubt eine detaillierte Erfolgskontrolle mit Fokus auf die Energiebilanzierung sowie Analysen der Hauptkomponenten.

Insgesamt kann das Energiesystem als erfolgreich umgesetzt betrachtet werden. Die Eigenenergieversorgung erreicht 2016 einen Grad von 83% und übertrifft den Planungswert von 75% deutlich. Der elektrische sowie der thermische Solarertrag entsprechen nicht den Erwartungen. Der elektrische Minderertrag betrug 2016 rund 8%, der thermische 12%. Der Erdspeicher wurde trotzdem zu 98% solar regeneriert, die restliche Energie floss aus der Erdumgebung zu.

Das Monitoring zeigte entgegen den Erwartungen auf, dass Diskrepanzen zwischen den projektierten und den gemessenen Werten insbesondere bei den Senken und weniger bei den Quellen vorliegen. Der Warmwasserverbrauch beträgt lediglich 39% - also rund 1.8 kWh/Logiernacht. Die Beheizung des Schwimmbades hingegen benötigt 167% des geplanten Energiebedarfs. Die Betriebsoptimierung wirkte sich entsprechend auf die Senken positiv aus: So konnte beispielsweise der Heizenergieverbrauch im Vergleich zu den projektierten Werten um 18% gesenkt werden. Der spezifische Heizenergieverbrauch beträgt zwischen 29.0 kWh/m^2_{EBF} und 36.4 kWh/m^2_{EBF}.

Das ganzheitliche Projekt zeigt auf, wie energieeffiziente Gebäude - welche thermisch und elektrisch vernetzt sind - ohne Emissionen und ausschliesslich mit erneuerbarer Energie betrieben werden können.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 5
1.1 Ausgangslage 5
1.2 Ziel 5
1.3 Vorgehen 6

2 Grundlagen 7
2.1 Rahmenbedingungen 7
2.2 Anlagenbeschrieb 7
2.3 Methodik 7

3 Ergebnisse und Erkenntnisse 8
3.1 Quellen 8
3.2 Energieaufbereitung 17
3.3 Senken 19
3.4 Energiebilanz 20

4 Schlussfolgerung 22
4.1 Würdigung 22
4.2 Handlungsempfehlung 23
4.3 Fazit 23

5 Wissenstransfer 24

6 Referenzen 25

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das Reka-Feriendorf Blatten-Belalp ist ein gemeinsames Projekt der Gemeinde Naters („Energiestadt“, European Energy Award) und der Genossenschaft Schweizer Reisekasse Reka. Die Ferienanlage befindet sich am Rande des UNESCO-Weltnaturerbes Schweizer Alpen Jungfrau-Aletsch. Als erste Ferienanlage im alpinen Raum versorgt sich das Reka-Feriendorf Blatten-Belalp CO_2-neutral mit selbst produzierter Solarenergie, ergänzt durch Labelstrom „Wasserkraft“.

Die insgesamt 50 Wohnungen generieren über 50'000 Logiernächte und garantieren energetisch nachhaltige Ferien ohne Komforteinbusse. Das Reka-Feriendorf Blatten-Belalp wurde im Dezember 2014 eröffnet. Bereits in der ersten Wintersaison 2014/15 erreichte die Ferienanlage einen Grossteil der gesteckten Ziele. Die verfügbaren Ferienwohnungen waren zu 78% belegt.

Das „Energetische“ in vier Sätzen:

a) ganzheitliches, solares Energieversorgungskonzept: ohne CO_2-Emissionen und mit hoher Effizienz durch niedrigen Primär-Energieeinsatz
b) Effizienzsteigerung dank Energiespeicherung: Die saisonale Energiespeicherung mittels Erdreich ermöglicht einen effizienten Betrieb der Wärmepumpen
c) auf dem neusten Stand der Technik: vom Geschirrspüler bis hin zur Solaranlage wurden die neusten Errungenschaften eingesetzt. Frischwasserstation, hybride Solaranlage und LED-Beleuchtung sind ein Auszug davon
d) Energie kennenlernen: Das solarbetriebene Reka-Feriendorf sensibilisiert sein Publikum von Jung bis Alt mit Energie-Spieltürmen, einem Energierundgang und Informationstafeln bezüglich Umgang mit Energie

Das Projekt zeigt auf, wie energieeffiziente Gebäude - welche thermisch und elektrisch vernetzt sind - ohne Emissionen (Zero Emission) und weitestgehend mit Solarenergie betrieben werden können. Die Erfahrungen im Projekt erlauben, die Planungs- und Betriebssicherheit ähnlicher Energiesysteme zu erhöhen. Im Fokus der Analyse stehen der systemische Ansatz mit Hybridkollektoren, einem Erdwärmespeicher, der Abwasserwärmerückgewinnung und Wärmepumpen sowie der wirtschaftliche Betrieb eines solchen Konzeptes.

1.2 Ziel

Im Rahmen des BFE-Leuchtturmprojektes wurden zwecks Monitorings rund 400 Datenpunkte erfasst und ausgewertet. Die Erkenntnisse wurden einerseits zur ganzheitlichen Optimierung der Anlage genutzt, andererseits sollen diese dem Wissenstransfer für ähnliche Energiekonzepte dienen.

Der Bericht dokumentiert des Weiteren Handlungen und Massnahmen im Rahmen der Projektkommunikation.

1.3 Vorgehen

Das Monitoring erstreckte sich über rund zweieinhalb Jahre. Folgendes sind die Meilensteine:

A) Datenerfassung
B) Einleitung erster Optimierungsansätze
C) Erfolgskontrolle und Auswertung der Energiebilanz
D) Detailanalyse der Komponenten
E) Sensitivitätsanalyse der Betriebsparameter
F) Ganzheitliche Optimierung des Energiekonzeptes
G) Benchmarking Gebäudehülle und Technik[1]

Im vorliegenden Bericht werden die Auswertungen und Detailanalysen der Komponenten festgehalten. Die oben genannten Punkte C) und D) wurden dabei jährlich wiederholt.

Die folgende Übersicht zeigt die Terminierung des gesamten Projektes.

Aktivitäten	**Anfang**	**Ende**	**Meilenstein**	**Zuständige/r Projektpartner/in**
Vorstudie	Jan 12	März 12	Vorprojekt	ELIMES
Planung	April 12	Dez 13	Projekt, Ausschreibung, Vergabe	Lauber IWISA
Bau / Durchführung	März 14	Dez 14	Ausführung Gebäudetechnik	Lauber IWISA
1. Jahresbericht		Dez 14		ELIMES, HSLU
Messperiode(n) 1	Dez 14	Nov 15	Monitoring	Lauber IWISA
Erfolgskontrolle 1	Nov 15	Dez 15	Auswertung Monitoring Daten	ELIMES, HSLU
2. Jahresbericht		Dez 15		ELIMES, HSLU
Messperiode(n) 2	Dez 15	Nov 16	Monitoring	Lauber IWISA
Erfolgskontrolle 2	Nov 16	Dez 16	Auswertung Monitoring Daten	ELIMES, HSLU
Kommunikation	Jan 15	Dez 16	Kommunikation	ELIMES, HSLU
Benchmarking*	Nov 16	März 16	Gebäudehülle und Technik	ELIMES, HSLU
Schlussbericht		Dez 16		ELIMES, HSLU

Tabelle 1:Terminplan der Aktivitäten rund um das Pilot- und Demonstrationsprojekt.

[1] Das vorgesehene Benchmarking zwischen Gebäudehülle und Gebäudetechnik erwies sich als umfangreicher als angenommen. Die Grundlagen für das Reka-Feriendorf Blatten-Belalp wurden zusammengetragen und erste Berechnungsmodelle erstellt. Um aussagekräftige Resultate machen zu können, werden weitere Gebäude in die Betrachtung miteinbezogen. Die Auswertung wird im Rahmen des BFE-Projektes „Oscar“ im kommenden Jahr 2017 präsentiert.

2 Grundlagen

2.1 Rahmenbedingungen

Das Monitoring umfasst sämtliche energietechnische Komponenten im System - sowohl Wärme wie auch Elektrizität. Die elektrische und thermische Energiegewinnung, wie auch der Wärmebedarf wurden vollumfänglich aufgezeichnet. Der detaillierte Strombedarf hingegen steht nur zur Verfügung über vereinzelte grosse Komponenten wie Wärmepumpen, der Erdsonden-Umwälzpumpe und über die allgemeinen Zähler. Die Auswertungen der nicht erfassten einzelnen elektrischen Verbraucher wurden anhand der allgemeinen Zähler nach den Standardwerten gemäss SIA 2024 aufgeteilt.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass Ungenauigkeit in der Messwerterfassung oder kurzzeitiger Ausfall der Datenerfassung zu Abweichungen der Energiebilanz führen kann. Die Verifizierung des Messfehlers beläuft sich insgesamt auf unter 10%, weshalb von einer hohen Genauigkeit ausgegangen werden kann. Kritische Messwerte liegen insbesondere in den Energieströmen mit tiefen Temperaturdifferenzen vor – sie werden explizit erwähnt.

2.2 Anlagenbeschrieb

Die hybride Photovoltaik-Solarthermiekollektoren (PVT) generieren zugleich elektrische und thermische Energie. Die thermische Energie kann direkt genutzt oder dem saisonalen Geothermiespeicher zur Regeneration zugeführt werden. Mit der elektrischen Energie werden die Wärmepumpen betrieben, welche die Quellenergie aus dem Erdwärmespeicher oder aus den PVT auf die gewünschten Temperaturniveaus für Gebäudeheizung und Warmwasser bereitstellen. Die Nutzenergie wird auf zwei Temperaturniveaus bereitgestellt: 35°C für Gebäudeheizung sowie 45-60°C für die Warmwasseraufbereitung. Eine umfangreiche Anlagenbeschreibung mit Auslegungsdaten kann der Dokumentation [2] entnommen werden.

Energetische Senken (Heizwärmebedarf und Warmwasserbedarf) wurden minimal gehalten, um eine hohe Energieeffizienz zu erreichen. Die Gebäudehülle erreicht die Primäranforderung nach Minergie-A und die Wärme aus dem Abwasser wird mittels einer Abwasserwärmerückgewinnungsanlage rekuperiert. Auf eine kontrollierte Lüftungsanlage in den Wohnungen wurde bewusst verzichtet. Die Betriebserfahrungen der Reka zeigen, dass die Wohnungen tagsüber wenig genutzt werden, jedoch während der Nutzungszeiten eine sehr hohe Belegung aufweisen. Um den Komfortansprüchen gerecht zu werden, müsste die Lüftungsanlage auf diese wenigen Spitzenzeiten ausgelegt werden. Aus wirtschaftlichen Überlegungen wurde entschieden, die Abwärme aus der Raumlüftung durch andere technischen Komponenten anstelle einer Wärmerückgewinnungsanlage zu kompensieren. Das Feriendorf erreicht eine planerische Energiekennzahl nach Minergie-A von 24 kWh/m^2 (nur Wohnungen, MFH) bzw. 19 kWh/m^2 (andere Nutzungen).

2.3 Methodik

Die Erfolgskontrolle wird unterteilt in die Stufen Quellen/Speicherung, Energieaufbereitung (Umwandlung) und Senken. In den jeweiligen Kategorien werden bereits getroffene Massnahmen und deren Wirkung dargelegt. Anschliessend wird die generelle Energiebilanz über die ersten beiden Betriebsjahre beschrieben. Die Resultate werden mit den projektierten und prognostizierten Daten verglichen. Die Diskussion gibt abrundend Aufschluss über den Erfolg des Projektes.

3 Ergebnisse und Erkenntnisse

Die folgende Struktur gilt in Anlehnung an den Bericht „Projektierung Energieversorgung Reka-Feriendorf Blatten, 2013“ [2] und ist eine Ergänzung und Zusammenfassung der Jahresberichte [6] und [7]. Dabei beinhaltet das Kapitel Quellen die relevanten Energie-Inputs wie elektrische und thermische Solarenergie, deren Speicherung durch den Erdwärmespeicher, die Abwasserwärmerückgewinnung sowie externe elektrische Energie. Das Kapitel Energieaufbereitung behandelt die Wärmepumpen und die Themen Energiebezüger und Verluste.

3.1 Quellen

Thermische Solarenergie

Grundlagen: Im Reka-Feriendorf Blatten-Belalp wurden zwei verschiedene Solarmodul-Typen eingesetzt. Einerseits das Hybrid I (MeyerBurger, 3S HYBRID 240/900 SKY, sowie das Folgemodell Hybrid II (MeyerBurger, 3S HYBRID 260/900 SKY). Eine Übersicht der eingesetzten Module auf den jeweiligen Dächern ist in der untenstehenden Tabelle 2 dargestellt, die Vogelperspektive kann in Abbildung 1 betrachtet werden.

Dach	Typ	Orientierung	Anzahl Module	Fläche m^2
A1	Hybrid II	Ost	60	98.5
	Hybrid II	West	42	69.0
A3	Hybrid I	Ost	40	65.7
	Hybrid I	West	59	96.9
C1	Hybrid I	West	61	100.2
	Hybrid I	Ost	42	69.0
C2	Hybrid II	West	42	69.0
	Hybrid II	Ost	63	103.4
Total PVT			**409**	**671.6**

Tabelle 2: Übersicht der eingesetzten PVT Solarmodule und deren Positionierung

Abbildung 1: Übersicht Solardächer [Lauber IWISA AG, 2014].

Analyse: Zur Beurteilung des thermischen Ertrages der PVT-Module wird die thermische Leistung in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur, der Modultemperatur und der Aussentemperatur über die Messperiode betrachtet.

Die folgende *Abbildung 2* zeigt die Messergebnisse des ersten Betriebsjahres 2015 von April bis Dezember. Wie zu erwarten, nimmt bei höheren Aussentemperaturen die durchschnittliche Leistung zu. Je nach Abnahmetemperatur (das heisst Erdreichtemperatur) konnte bereits ab einer Aussentemperatur von rund 5°C solare Energie genutzt werden. Dabei wurde 15..20°C Vorlauftemperatur erreicht. Die Leistung war jedoch äusserst gering: Sie lag unter 30 kW. Ab Aussentemperaturen von > 10°C konnte kurzzeitig bis zu 200 kW erzielt werden. In Spitzentagen wurde eine thermische Leistung von 450 kW erzielt, was einem spezifischen Ertrag von 670 W/m^2 entspricht. Im Schnitt liegen dabei die Vorlauftemperaturen zwischen 20°C und 35°C und die Temperaturdifferenz von Vorlauf zu Rücklauf zwischen 10..20 K.

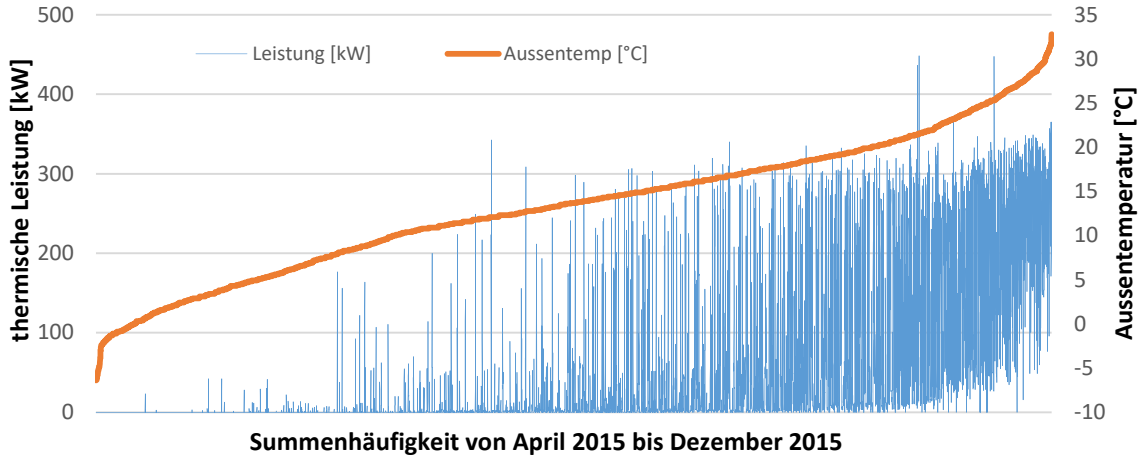

Abbildung 2: Thermische Leistung der Solaranlage in Abhängigkeit der Aussentemperatur 2015.

Im Sommer läuft die Solaranlage bei Aussentemperaturen >20°C ebenfalls nachts und nutzt so die Umgebungswärme als Quelle. Dies ist vorwiegend abhängig von der Temperatur der Abnehmer (Erdwärmespeicher, Wärmepumpen).

In der Abbildung 3 ist das Jahr 2016 dargestellt. Trotz Anpassung der Einschaltbedingungen sind keine wesentlichen Veränderungen ersichtlich.

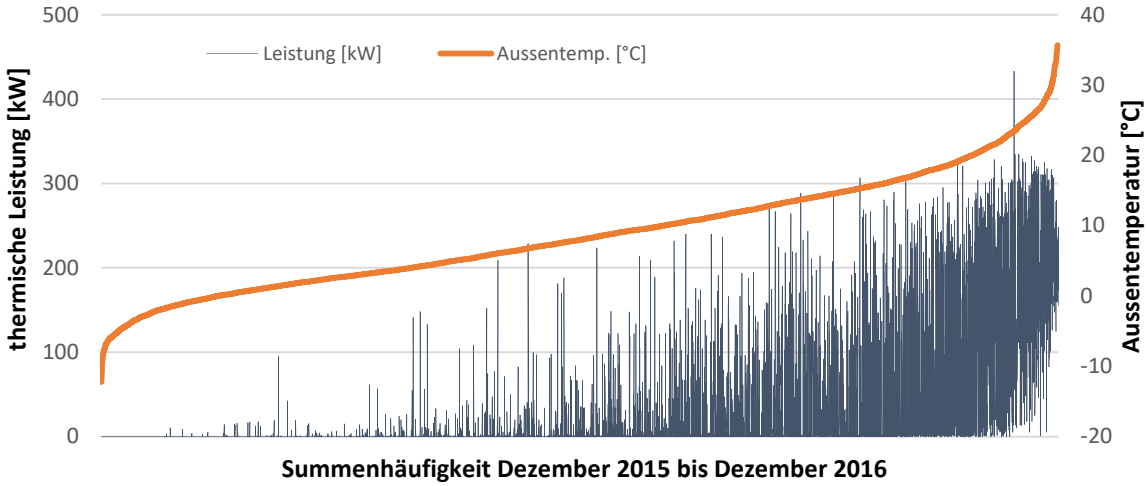

Abbildung 3: Thermische Leistung der Solaranlage in Abhängigkeit der Aussentemperatur 2016.

Die Leistungsspitzen konnten mit der tiefer liegenden Einschaltbedingung (statt 30°C bereits 20°C) vorteilhaft reduziert werden. Weiter kann bei hohen Aussentemperaturen vermehrt auch geringere Leistung verzeichnet werden, was darauf schliessen lässt, dass die Nutzung der Umgebungswärme in der Nacht ebenfalls gesteigert werden konnte. Die durchschnittliche Vorlauf- und Rücklauftemperatur wurde mit der Änderung um rund 5 bis 10 K gesenkt.

Die Auswertung sämtlicher Kollektortemperaturen zeigt, dass sich alle Dächer in etwa gleich verhalten. Repräsentativ wird in Abbildung 4 die Kollektortemperatur Ost des Gebäudes C2 dargestellt. Zwischen den Ausrichtungen Ost und West werden, abgesehen vom zeitlichen Verlauf, keine relevanten Differenzen festgestellt. Zu beachten ist, dass die Kollektortemperatur durch Strahlung nachts tiefere Werte erreichen kann als die Umgebungstemperatur.

Die Kollektortemperatur erreichte 2015 Spitzen von 65°C. Im Vergleich zum Folgejahr 2016 wird auch hier ersichtlich (siehe Abbildung 5), dass mehr Energie abgeführt werden konnte und entsprechend die Kollektortemperaturen tiefer liegen. Zwar wurden ebenfalls Spitzen von bis zu 65°C erreicht, jedoch nur während kurzen Zeitabschnitten eine Temperatur über 50°C überschritten.

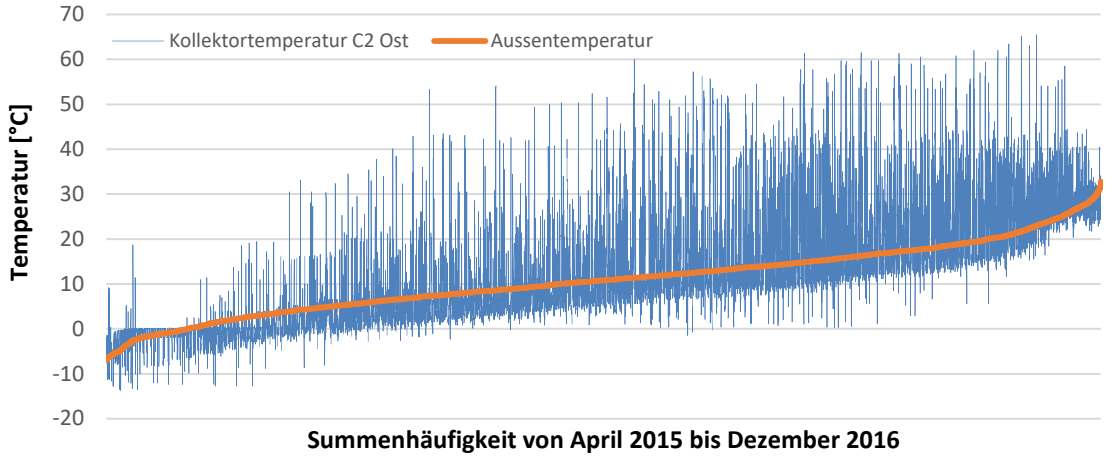

Abbildung 4: Kollektortemperatur der Solaranlage C2 Ost in Abhängigkeit der Aussentemperatur 2015.

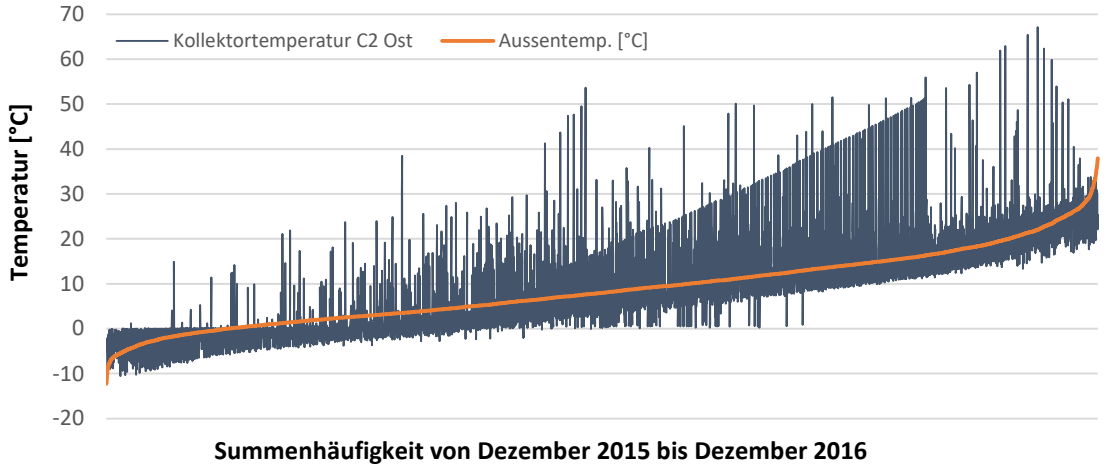

Abbildung 5: Kollektortemperatur der Solaranlage C2 Ost in Abhängigkeit der Aussentemperatur 2016.

Interessant ist der lineare Anstieg der Kollektortemperatur ab Aussentemperaturen von 8°C bis rund 16°C, was den Übergangszeiten eintritt. In dieser Phase läuft die Solaranlage äusserst stabil.

Zur qualitativen Beurteilung der thermischen Solaranlage wurden 2015 Thermografie-Aufnahmen mittels einer Drohne erstellt. Im Generellen liegt eine intakte, gut durchflossene Solaranlage vor. Zwischen 100% Öffnen des Ventiles und der erkennbaren Temperatursenkung auf den Modulen vergehen je nach Wetterbedingungen rund 5 min. Die Abbildung 6 wurde in der Startphase aufgenommen, was erklärt, wieso die Module im linken Bereich bereits kühler sind als jene rechts.

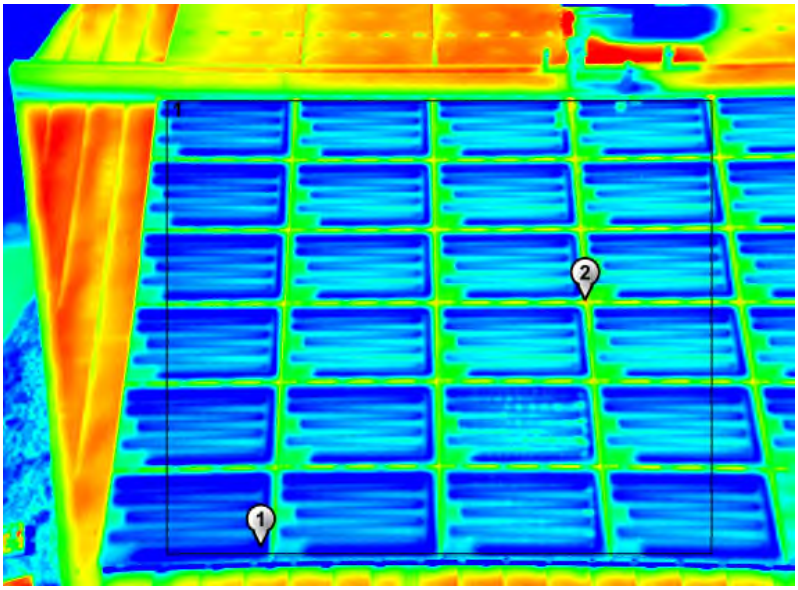

Abbildung 6: Thermografie in der Startphase Dach C1. Durchschnittliche Temperatur im Modulbereich: 21°C, (1): 13°C, (2): 35°C.

Es wurde festgestellt, dass die Module unterschiedlich durchflossen werden. Die folgenden Module links (vgl. Abbildung 7) werden durch die aussenliegende Rohrleitung gespiesen, der Rücklauf erfolgt durch den innenliegenden Anschluss. Die Umgekehrte Situation ist in den rechten Modulen ersichtlich. Dies führt zu einer generellen Temperaturdifferenz des Modules von rund 2 K.

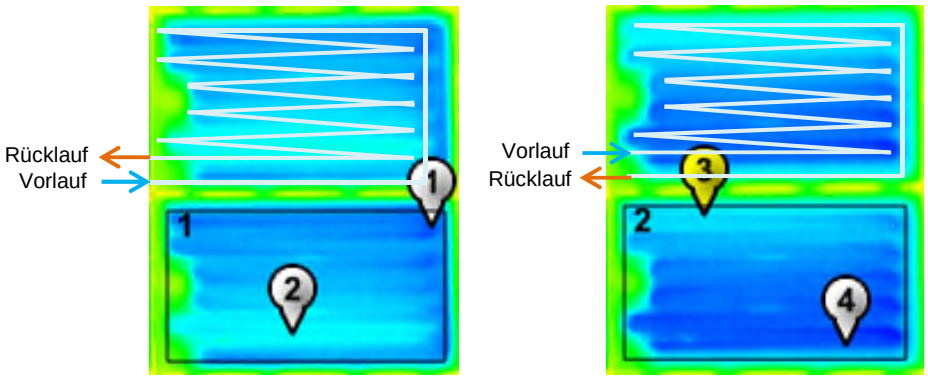

Abbildung 7: Unterschiedliche Flussrichtungen im PVT-Modul. Durchschnittliche Temperatur im Bereich 1: 13°C, durchschnittliche Temperatur im Bereich 2:11°C, (1): 8°C, (2): 14°C, (3): 13°C, (4): 7°C.

Es wird nicht davon ausgegangen, dass dieser Sachverhalt eine grosse Relevanz auf den Solarertrag mit sich bringt; der Hersteller gibt keine Empfehlung betreffend Flussrichtung an. Trotzdem wird empfohlen, den Vorlauf auf das innenliegende Rohr anzuschliessen.

Des Weiteren wurden drei wenig durchflossene Zonen festgehalten. Die Abbildung 8 zeigt drei Module in Reihe auf dem Dach A3 West, die trotz Tichelmann-System in Abhängigkeit stehen: Sie sind am gleichen Hauptstrang eingebunden. Vereinzelte Module auf dem Dach A3 West sowie ein Modul auf dem Dach C1 Ost werden lediglich minimal durchflossen – siehe auch Abbildung 9.

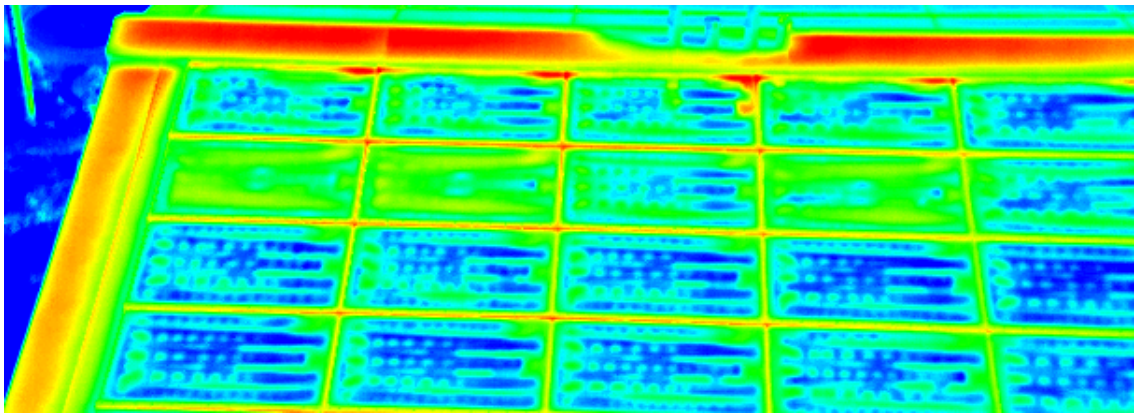

Abbildung 8: minimal durchflossene Zone in der zweiten Modulreihe des Daches A3 West.

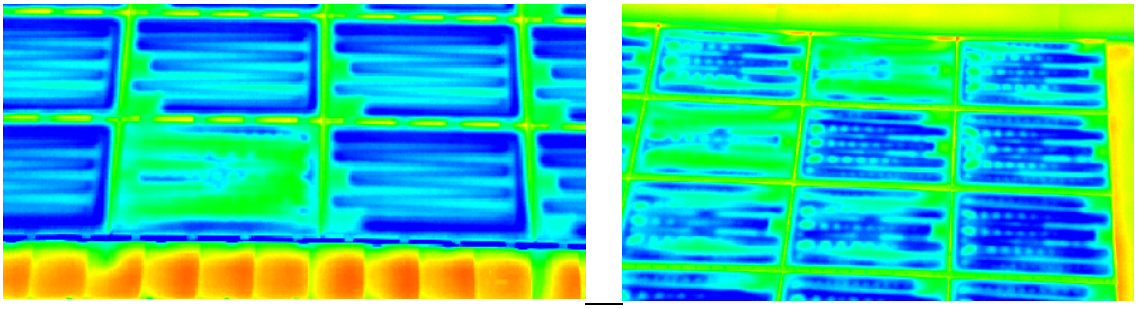

Abbildung 9: links: Haus C1 Ost, vereinzeltes Modul, das wenig durchflossen wird
rechts: Haus A3 West, unterschiedlich stark durchflossene Module.

Validierung und Zwischenfazit: Insgesamt lag der thermische Solarertrag im Jahr 2015 mit 325 kWh/m^2 bedeutend tiefer als der projektierte Wert von 450 kWh/m^2. Allerdings waren die Einschaltbedingungen der Solaranlage mit 30°C relativ hoch und träge gesetzt. So dauerte die Einfahrphase bis zum vollen Betrieb (Ventil 100% geöffnet) im Schnitt eine Stunde. Dieser Sachverhalt ist auch in den hohen Modul-Temperaturen von bis zu 65°C ersichtlich. Diesbezüglich wurden im August 2015 Optimierungen eingeleitet - die Einschaltbedingung wurde auf 20°C gestellt. Des Weiteren wurde das Solarsystem mit einem Spülvorgang pro Dach erneut entlüftet.

Ziel war es, durch diese Massnahmen den spezifischen thermischen Solarertrag im Jahr 2016 bis zu 25% zu steigern. Trotz minim geringerer Globalstrahlung von rund 6% am Standort Blatten b. Naters wurde ein Ertrag von 400 kWh/ m^2 erreicht und somit wurden die Erwartungen praktisch erfüllt.

Weiterhin ist zu prüfen, ob die Einschaltbedingung weiter gesenkt werden kann, um so den projektierten Wert von 450 kWh/m^2 zu erreichen. Insbesondere in den Einfahrphasen könnten durch schnellere Reaktionszeiten die Modultemperaturen noch tiefer gehalten werden.

Die ursprünglich vorgesehene Testphase, den Schnee durch kurzzeitiges Erwärmen der hybriden Module abrutschen zu lassen, konnte nicht durchgeführt werden. Aus Sicherheitsgründen musste davon abgesehen werden.

Elektrische Solarenergie

Grundlagen: Neben den Hybridmodulen gemäss vorherigen Angaben sind zusätzlich drei Dächer mit konventionellen Photovoltaikmodulen ausgestattet. Dabei wurde der Modultyp MeyerBurger, MEGAS-LATE® II STANDARD 165 WP gewählt.

Analyse: Die Solarmodule waren 2015 und auch 2016 während rund dreieinhalb Monaten (zwischen Dezember bis April) schneebedeckt und konnten während dieser Zeit entsprechend keine Energie generieren. Wie in der nachfolgenden Tabelle 3 rot und orange dargestellt, lag 2015 die Effizienz von 4 Teildächern mit 460..700 kWh/kWp unter dem Ertrag der anderen Dächer. Sämtliche weiteren Erträge entsprechen den prognostizierten Werten von rund 800 kWh/kWp.

	Typ	Orientierung	Anzahl Module	Fläche m^2	El. Ertrag MWh/a	spez. El. Ertrag kWh/m^2	spez. El. Ertrag kWh/kWp
A1	Hybrid II	Ost	60	98.5	13	134	846
	Hybrid II	West	42	69	10	142	898
A2	PV	Ost	88	100.1	13	125	836
	PV	West	52	59.2	8	134	900
A3	Hybrid I	Ost	40	65.7	7	102	**698**
	Hybrid I	West	59	96.9	11	113	**770**
B1	PV	Ost	88	100.1	13	126	842
	PV	West	56	63.7	4	67	**446**
B2	PV	Ost	56	63.7	8	125	840
	PV	West	88	100.1	13	134	897
C1	Hybrid I	Ost	42	69	9	130	887
	Hybrid I	West	61	100.2	10	100	**683**
C2	Hybrid II	Ost	63	103.4	13	130	821
	Hybrid II	West	42	69	10	138	872
Total/Mittelwert PV			**428**	**486.9**	**59**	**119**	**793**
Total/Mittelwert PVT			**409**	**671.6**	**83**	**124**	**809**
Total/Mittelwert			**837**	**1158.4**	**141**	**120**	**803**

Tabelle 3: Elektrischer Solarertrag pro Dachfläche der Photovoltaik- und Hybridmodule 2015.

Der Unterschied im Ertrag zwischen hybriden Solarmodulen und Photovoltaik ist marginal. Die durchschnittliche Differenz beträgt lediglich 16 kWh/kWp, wobei zu beachten ist, dass mit dem Solardach B1 West der Photovoltaik-Schnitt deutlich negativ beeinträchtigt wird.[2] Ohne Berücksichtigung dieses Daches liegt der Ertrag der Photovoltaik-Dächer bei rund 850 kWh/kWp.

[2] Die Ursache für den schlechten Ertrag auf dem Dach B1 West konnte im Jahr 2016 trotz visueller Prüfung der Module und Messungen der Stränge nicht eruiert werden. Entsprechend musste im Folgejahr auf diesem Dach erneut ein schlechter Ertrag von lediglich 465 kWh/kWp verzeichnet werden.

Die Auswertung der Stromanlage im Jahr 2016 ist in der *Tabelle 4* ersichtlich. Waren es im 2015 die Dächer A3 und C1 mit weniger Ertrag, zeigt die Bilanz im 2016 für diese Dächer einen durchschnittlichen Ertrag, jedoch Einbussen bei den Dächern A2 und C1.

	Typ	Orientierung	Anzahl Module	Fläche m^2	El. Ertrag MWh/a	spez. El. Ertrag kWh/m^2	spez. El. Ertrag kWh/kWp
A1	Hybrid II	Ost	60	98.5	14	140	883
	Hybrid II	West	42	69	10	151	955
A2	PV	Ost	88	100.1	11	109	729
	PV	West	52	59.2	6	109	729
A3	Hybrid I	Ost	40	65.7	8	117	802
	Hybrid I	West	59	96.9	13	129	884
B1	PV	Ost	88	100.1	13	128	858
	PV	West	56	63.7	4	70	465
B2	PV	Ost	56	63.7	8	127	850
	PV	West	88	100.1	14	139	932
C1	Hybrid I	Ost	42	69	8	114	779
	Hybrid I	West	61	100.2	11	105	719
C2	Hybrid II	Ost	63	103.4	14	138	872
	Hybrid II	West	42	69	10	149	940
Total/Mittelwert PV			**428**	**486.9**	**57**	**114**	**760**
Total/Mittelwert PVT			**409**	**671.6**	**87**	**130**	**854**
Total/Mittelwert			**837**	**1158.4**	**144**	**121**	**814**

Tabelle 4: Elektrischer Solarertrag pro Dachfläche der Photovoltaik- und Hybridmodule 2016.

Die Funktion des einzelnen Moduls konnte mittels Thermografie beurteilt werden. Dabei werden defekte Zellen rasch erkennbar, da sie elektrische Energie verlieren und damit die Zelle erhitzen – siehe Abbildung 10. Zellendefekte wurden auf den Dächern A1, A2 und A3 festgestellt.

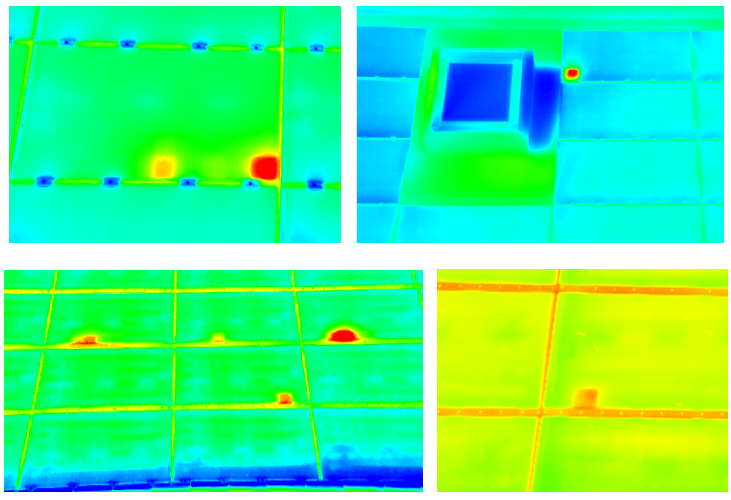

Abbildung 10: Defekte Solarzellen werden durch Thermografie erkennbar. Oben links: Dach A1, Ost; oben rechts: Dach A2 Ost; unten links: Dach A3 West, unten rechts: A3 Ost.

Validierung und Zwischenfazit: Trotz diversen Ertragsminderungen liegt die Stromproduktion mit rund 141 MWh/a (2015) und 144 MWh/a (2016) vor dem Wechselrichter nah an den geplanten 150 MWh/a. Die jährlich unterschiedlichen Erträge pro Dach lassen darauf schliessen, dass die Module unterschiedlicher Strahlung - beeinflusst durch die Meteorologie - ausgesetzt sind, jedoch intakt laufen.

Die Effizienzsteigerung um 10% konnte 2016 allerdings nicht erreicht werden, was insbesondere am tiefen Solarertrag des Daches B1 West liegt. Um die Ursache definitiv ausfindig machen und beheben zu können, müssen die Solarmodule angehoben und deren elektrische Verbindungen geprüft werden.

Im Verhältnis liegen die Erträge der Hybridmodule im Jahr 2015 wider Erwarten unter jenen der Photovoltaik. Hingegen wurde unter anderem mit den tieferen Kollektortemperaturen 2016 - aufgrund der thermisch tieferen Einschaltbedingung mit bereits 20°C statt 30°C - der spezifische elektrische Ertrag um rund 45 kWh/kWp angehoben. Eine fundierte Aussage bezüglich der Auswirkung von gekühlten Solarzellen kann nicht gemacht werden, da unterschiedliche Solarmodule (Typen) im Einsatz sind und zudem leicht variierende Dachneigungen vorliegen. Trotzdem ist der Einsatz hybrider Solarmodule im Vergleich zu thermischen Solarkollektoren in Kombination mit Photovoltaik interessant, weil hybride Solaranlagen weniger Flächen benötigen.

Erdwärmespeicher

Grundlagen: Insgesamt dienen 31 Erdsonden in rund 150 m Tiefe (Total 4‘535 m) und einem Abstand von ca. 5 m als saisonaler Erdspeicher. Dem Erdreich wurde im Herbst 2014 erstmals Energie entzogen – eine vorgängige Temperaturanhebung (Ladung) wurde nicht vorgenommen. Aufgrund fehlender Archivdaten der Energiezähler im Wasser-Glykol-Kreislauf wird der Zeitraum von 01. März bis 01. Dezember 2015 und anschliessend 01. Dezember 2015 bis 01. Dezember 2016 ausgewertet. Die Energiezähler in diesem Bereich sind durch Rundung auf ganze Zahlen mit einem grösseren Messfehler behaftet.

Analyse: Mit dem Erdwärmespeicher wurde im Dezember 2014 eine Vorlauf-Temperatur von 6...8°C erreicht. Die Vorlauftemperatur im Erdwärmespeicher lag im Dezember 2015 zwischen 7°C und 9°C. Daraus kann geschlossen werden, dass das Erdreich in den Sommermonaten 2015 nahezu vollständig regeneriert wurde.

Wie die folgende Abbildung 11 zeigt, sind während der Regeneration hohe Leistungsspitzen durch die Solaranlage erkennbar. Die Dimensionierung des Erdspeichers ist dementsprechend auf die Regeneration abzustimmen. Bei der Entzugsleistung sind gut die Stufen der drei Wärmepumpen sichtbar.

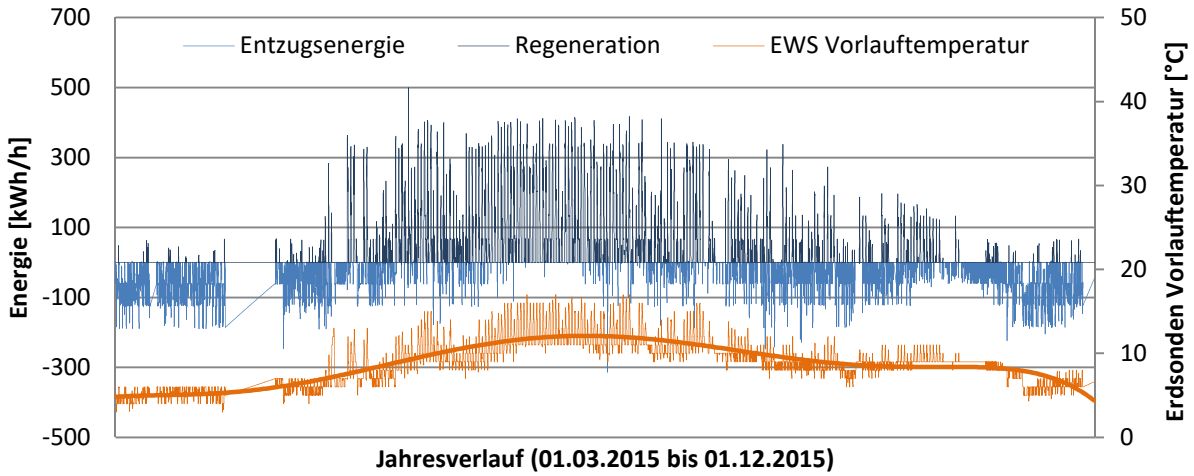

Abbildung 11: Energiebezug und Regeneration des Erdreichs, sowie der Verlauf der Erdsonden Vorlauftemperatur während 01.03.2015 bis 01.12.2015.

Die Entzugsleistung beträgt bei einer Wärmepumpe rund 15 W/m, bei zwei Wärmepumpen 30 W/m und bei drei zirka 45 W/m. Bezieht in Ausnahmesituationen ebenfalls die vierte Wärmepumpe (grundsätzlich mit der Abwasserwärmerückgewinnung gekoppelt), werden bis zu 55 W/m erreicht. Es wurden Spitzen von bis zu 80 W/m beobachtet, wobei hier von Messfehlern im Zusammenhang mit der Regeneration ausgegangen wird. In obiger Grafik sind diese Ausreisser ab Energieströmen von über 200 kWh/h ersichtlich.

Die Regenerationsleistung hingegen liegt durchschnittlich bei 60 W/m und kann bei Erdreich-Rücklauftemperaturen von 23°C bis zu 140 W/m erreichen.

Derselbe Sachverhalt konnte im Folgejahr 2016 beobachtet werden (Abbildung 12). Tendenziell liegt die Erdsonden-Vorlauftemperatur Ende 2016 etwas tiefer bei 6..7°C. Der Mittelwert über das Jahr 2015 sowie 2016 mit jeweils 9°C zeigt, sodass sich die Erdreichtemperatur nicht verändert hat.

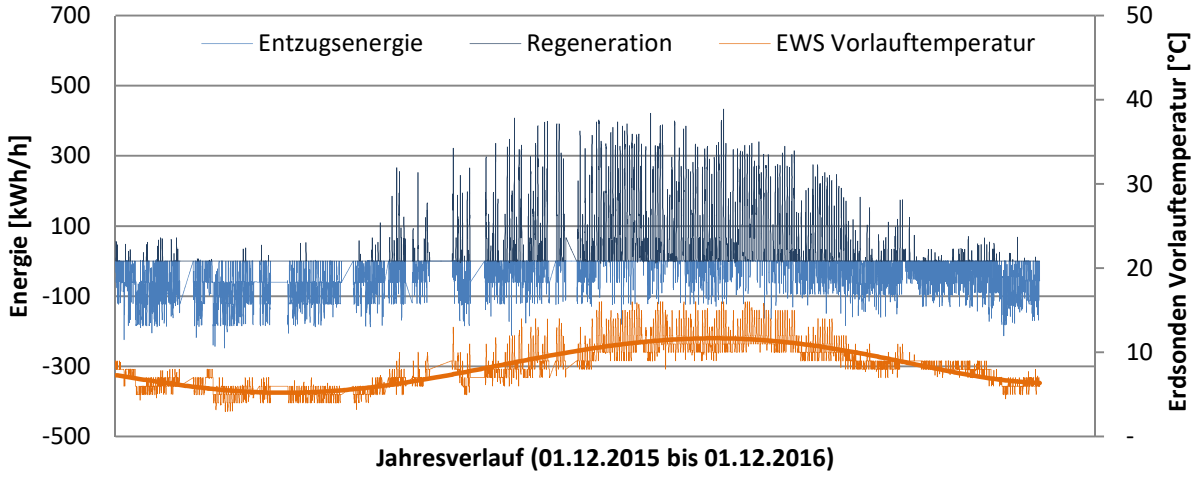

Abbildung 12: Energiebezug und Regeneration des Erdreichs, sowie der Verlauf der Erdsonden Vorlauftemperatur während 01.12.2015 bis 01.12.2016.

Im September 2016 wurde die Regulierung der Erdsonden-Pumpe von konstanter Drehzahl auf eine Temperaturdifferenz von 4 K in Betrieb eingestellt. Der Strombedarf konnte damit um bis zu 65% - von rund 1‘800 kWh auf 825 kWh pro Monat - gesenkt werden. Die Regulierung über eine Temperaturdifferenz hat allerdings aufgezeigt, dass die Strömung in den laminaren Bereich fallen kann und folglich die Wärmeübertragung vom Erdreich an das Sondenfluid nicht mehr gewährleistet wird. Entsprechend musste übergeordnet ein minimaler Durchfluss definiert werden.

Validierung und Zwischenfazit:

Die Energiebilanz im Jahr 2015 zeigte, dass von den bezogenen 345 MWh nur in etwa 250 MWh (72%) mit Solarenergie regeneriert wurden. Trotzdem konnte die Ausgangstemperatur wiederum erreicht und das Erdreich entsprechend regeneriert werden. Die durchschnittliche Vorlauftemperatur lag bei 9°C. Somit floss aus dem Erdinneren Energie nach. Ziel war es, diese Diskrepanz durch die Betriebsoptimierung für 2016 zu reduzieren und eine ausgeglichene Bilanz zu erreichen.

Im Jahr 2016 wurden rund 268 MWh Solarenergie zur Regenerierung gewonnen, was im Vergleich zu 2015 lediglich 9% mehr ist. Allerdings wurde wesentlich weniger Energie aus dem Erdreich benötigt: 273 MWh. Somit konnte der Erdwärmespeicher im 2016 zu 98% regeneriert werden. Die durchschnittliche Erdreichtemperatur hat sich 2016 nicht verändert - sie blieb bei 9°C.

Abwasserwärmerückgewinnung

Grundlagen: Durch die Einbindung der Abwasserwärmerückgewinnung, hauptsächlich zur Bereitstellung des höheren Temperaturniveaus, aber auch als Reserve für die drei Niedertemperatur-Wärmepumpen ist eine Zuordnung der Energieflüsse schwierig nachvollziehbar. Hinzu kommt, dass die Energiezähler mit den vorherrschenden geringen Temperaturdifferenzen eine grosse Messungenauigkeit aufweisen. Die Abwasserwärmerückgewinnung wird daher aus den Resultaten im Kapitel 3.4 Energiebilanz beurteilt.

Analyse: Die Menge der zurückgewonnen Energie ist abhängig vom Schwimmbad und Warmwasserbedarf, wobei Letzterer in Abhängigkeit der Wohnungsbelegung stark variieren kann. Das Verhältnis zwischen Warmwasser- und Schwimmbadenergie zur Wärmerückgewinnung soll Aufschluss über die Leistungsfähigkeit des Systems geben.

	Projekt [kWh/a]	**2015** [kWh/a]	**2016** [kWh/a]
Warmwasser und Schwimmbad	350'000	280‘000	263‘000
Wärmerückgewinnung	200'000	155‘000	135'000
Leistungsindex	**0.57**	**0.55**	**0.51**

Tabelle 5: Auswertung der Abwasserwärmerückgewinnung.

Validierung und Zwischenfazit: Die Abwasserwärmerückgewinnung erfüllt die Anforderungen, weist allerdings im Jahr 2016 einen tieferen Leistungsindex auf. Die Effizienz lässt sich durch eine separate Betriebsoptimierungen erhöhen.

Wertvoll ist die Abwasserwärmerückgewinnung insbesondere durch die direkte Koppelung zwischen Quellenergie und Bedarf. Die Variabilität der Gäste und entsprechend der unterschiedliche Warmwasserbedarf kann so elegant ausgeglichen werden.

3.2 Energieaufbereitung

Grundlagen: In der Technikzentrale sind drei Wärmepumpen (KWT Vitocal 300-G Pro spez.) für das untere Temperaturniveau von 35..40°C, sowie eine Wärmepumpe (CMH2 267 spez.) für 55..65°C installiert. Die Leistungszahlen gemäss Hersteller belaufen sich für die ersten drei Wärmepumpen mit B0/W35 auf 4.75; jene mit B0/W65°C auf 2.5.

Analyse: Die Auswertung der Energieaufbereitung 2015 zeigt, dass die vierte Wärmepumpe die prognostizierte Jahresarbeitszahl von 2.5 trotz hohen Vorlauftemperaturen von durchschnittlich über 60°C übersteigt. Dies ist vorwiegend auf die höheren Quelltemperaturen seitens Abwasserwärmerückgewinnung zurückzuführen. Hingegen liegt die Jahresarbeitszahl der drei Niedertemperatur-Wärmepumpen unter den Erwartungen. Der Grund hierfür liegt einerseits in der höheren Vorlauftemperatur von bis zu 45°C und andererseits wird beobachtet, dass die quellseitige Regulierung eine Verdampfungstemperatur von rund 4°C nicht überschreitet.

	JAZ	COPc	Güte-grad	Betriebsstunden		Einschaltungen		ø Betriebsdauer	
				Verd.1 [h]	Verd.2 [h]	Verd.1 [-]	Verd.2 [-]	Verd.1 min	Verd.2 min
WP1				1'909	1'909	1'517	1'533	76	75
WP2	**4.64**	12	39%	2'040	2'040	1'794	1'779	68	69
WP3				2'008	2'008	2'043	2'051	59	59
WP4	**3.10**	6	52%	4'655	4'655	6'824	6'791	41	41

Tabelle 6: Auswertung der Wärmepumpen: JAZ, Betriebsstunden und Einschaltungen 2015.

Die hohen Vorlauftemperaturen wurden durch Senken (Verbraucher) mit ungenügend tiefen Rücklauftemperaturen erforderlich. Um im Allgemeinen die Rücklauftemperaturen der Abnehmer zu senken, wurden im November 2015 im Rahmen des Monitorings die Energiezähler bei den Abnehmern verifiziert und neu statt nur Energieimpulse auch Durchfluss und Temperaturen erfasst.

Ende 2015 und Anfang 2016 wurden unter anderem erneut ein hydraulischer Abgleich der Systeme vorgenommen, die Heizkurven reduziert sowie die Warmwasserladungen mit Vorlauftemperaturen von maximal 55°C (statt 65°C) begrenzt. Insgesamt konnte so für 2016 die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen 1 bis 3 von 5.29 sowie jene der Wärmepumpe 4 auf 3.19 angehoben werden. Die weiteren Resultate sind in der Tabelle 7 ersichtlich.

	JAZ	COPc	Güte-grad	Betriebsstunden		Einschaltungen		ø Betriebsdauer	
				Verd.1 [h]	Verd.1 [h]	Verd.1 [-]	Verd.1 [-]	Verd.1 min	Verd.1 min
WP1				1‘331	1‘331	1‘332	1‘325	60	60
WP2	**5.29**	12	44%	1‘528	1‘528	889	890	103	103
WP3				1‘559	1‘560	936	929	100	101
WP4	**3.19**	6	53%	3‘579	3‘579	7‘878	7‘875	27	27

Tabelle 7: Auswertung der Wärmepumpen: JAZ, Betriebsstunden und Einschaltungen 2016.

Validierung und Zwischenfazit: Grundsätzlich liegt ein stabiler Wärmepumpenbetrieb vor. Die Effizienz der Wärmepumpen konnte durch Reduktion der Vorlauftemperaturen, aber auch durch regulierungstechnische Optimierungen der Quelltemperaturen wesentlich erhöht werden.

Die teils hohen Rücklauftemperaturen einzelner Senken (Verbraucher) sind Ursache fehlender Informationen/Detailplanung während der Projektierung. Insbesondere im Dreileiter-System ist in der Abstimmung der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen ein Schwerpunkt zu setzten. Wo es möglich war, wurde die Rücklauftemperatur regeltechnisch begrenzt. Die Machbarkeit wird jedoch stark durch die damalige Auslegung eingeschränkt. So ist es beispielsweise ohne hydraulische Anpassungen nicht möglich die Rücklauftemperatur der Lüftungsanalgen oder der Schwimmbäder zu senken.

3.3 Senken

Grundlagen: Die Auswertung der Senken erfolgt mittels Energiemessungen auf den jeweiligen Heizgruppen. Dabei werden die Wohnbauten, das Warmwasser sowie das Schwimmbad separat betrachtet. Im Schwimmbad werden die Bäder, die Fussbodenheizung sowie die Lüftungsanlagen integriert.

Analyse: Im ersten Betriebsjahr wurde für die Gebäudeheizung 26% mehr Energie benötigt als nach SIA 380/1 berechnet. Hingegen wurde zirka 55% weniger Warmwasser bezogen, was stark nach Gästeanzahl variiert. Das Schwimmbad liegt mit 162‘000 kWh/a für 2015 bzw. 166‘000 MW^h/a im 2016 am deutlichsten über dem projektierten Wert von 100‘000 kWh/a. Im Folgejahr 2016 drastisch gesenkt werden konnten der Bedarf an Heizenergie (-44%, bzw. -18% zum projektierten Wert) und Warmwasser (-9%). Hingegen wurden mehr Verluste auf den Transportleitungen ausgewiesen – es wird davon ausgegangen, dass der Wert von 2015 fehlerbehaftet ist. Sämtliche Resultate sind in der Tabelle 8 zusammengefasst.

	Projekt [kWh/a]	**2015** [kWh/a]	**2016** [kWh/a]	**Abweichung 2016** [%]	**Abweichung 2016** [%]
Heizen	250'000	316'042	204'707	126%	**82%**
Warmwasser	250'000	119'392	96'797	**48%**	**39%**
Schwimmbad	100'000	162'052	166'726	162%	167%
Verluste	70'000	75'982	93'646	**109%**	134%
Total	**670'000**	**705'860**	**561'876**	**105%**	**84%**

Tabelle 8: Thermische Bezugsenergie für sämtliche Senken im Vergleich zu den projektierten Werten und der prozentualen Abweichung.

Weiter wurden die Energiekennzahlen der jeweiligen Senken evaluiert – siehe Tabelle 9. Der Warmwasserbedarf lag 2015 mit rund 2.4 kWh/Person bereits unter der Auslegung von 4 kWh/Logiernacht, entsprach jedoch der Normierung nach SIA. Er konnte durch Reduktion der Ladetemperatur von 65°C auf 55°C sowie den Warmwassersollwert 50°C statt 55°C im 2016 auf rund 1.8 kWh/Logiernacht reduziert werden. Bei der Heizenergie wurde die Heizkurve 2016 generell um bis zu 5 K reduziert. Es fällt auf, dass die Gebäude B und C grundsätzlich mehr Energie benötigen, als die Gebäude A. Hingegen liegt der Wert des Gemeinschaftshauses unbegründet hoch – dies trotz deutlich tieferer Heizkurve als bei den Wohngebäuden.

	Warmwasser 2015 [kWh/Logiernacht]	**Warmwasser 2016** [kWh/Logiernacht]	**Heizenergie 2015** [kWh/m^2]	**Heizenergie 2016** [kWh/m^2]
A1	2.0	1.8	28.5	29.0
A2	2.3	1.7	40.4	29.2
A3	2.8	1.8	51.2	37.1
B1	2.5	1.4	47.9	31.3
B2	2.4	1.8	54.5	30.7
C1	2.6	1.7	55.7	32.1
C2	2.5	2.2	58.0	33.1
GH	-	-	64.4	36.4

Tabelle 9: Energiekennzahlen von Warmwasser und Heizenergie nach Gebäude.

Validierung und Zwischenfazit: Die Energiekennzahlen lagen 2015 mit 45..60 kWh/m^2 über dem Normwert nach SIA2024 von 40 kWh/m^2. Die Ursache kann an der Bauaustrocknung, der Gebäudehülle, übermässigem Lüften oder hohen Raumtemperaturen liegen. Durch die drastische Senkung der Heizkurve sowie das Ausbleiben der Bauaustrocknung im Jahr 2016 wurden die Minergie-Grenzwerte von 38 kWh/m^2 in sämtlichen Gebäuden unterboten. Erfahrungsgemäss beträgt die Bauaustrocknung bis zu 20% des normalen Heizbedarfs. Entsprechend liegt der Anteil der Bedarfsoptimierung für die Raumtemperaturen in diesem Falle bei rund 24%. Die Grenze liegt hierbei allerdings bei der Behaglichkeit der Gäste – der Komfort muss gewährleistet sein.

Zu berücksichtigen ist eine leichte Zunahme der Heizgradtage von 2015 zu 2016 um zirka 5% sowie eine erhöhte Belegung des Reka Feriendorfs von 38‘000 auf rund 42‘000 Logiernächte.

Der hohe Bedarf im Schwimmbad kann auf die Wassertemperatur, allenfalls die Lüftungsanlage und die später hinzugefügten Wasserspiele zurückgeführt werden. Für letztere wurden im Dezember 2015 manuelle Aktivierungsschalter nachgerüstet, so dass diese nicht im Dauerbetrieb laufen. Die ungewollte Anhebung der Temperatur im Kinderbecken von 32°C auf 36°C im 2016 während rund 4 Monaten hatte während dieser Zeit eine Erhöhung des Energiebedarfs von rund 25% zur Folge.

3.4 Energiebilanz

Grundlagen: Abschliessend zeigt die Energiebilanz des Feriendorfes die ganzheitliche Betrachtung der Energieflüsse. Die Energiebilanz wird vorwiegend über die Energiezähler der Senken und den Elektrizitätsbedarf erstellt. Aufgrund der grossen Messungenaugigkeit (± 30%) der Energiezähler im Wasser-/Glykolkreis können diese lediglich zur Bestimmung der Grössenordnung beigezogen werden. Das Problem ist physikalischer Natur: Die Standardabweichung der Messfehler bei den Temperaturfühlern wirkt sich bei geringer Temperaturdifferenz sehr stark aus.

Analyse: Wurde im Jahr 2015 gesamthaft mit 793 MWh rund 77 MWh weniger Energie benötigt als prognostiziert (870 MWh), konnte der Energiebedarf 2016 erneut auf 677 MWh gesenkt werden. Auf der Produktionsseite wurden – ausgenommen von dem thermisch solaren Ertrag – die berechneten Erträge erzielt. Das solare Defizit wurde 2015 durch Nachströmung aus dem Erdreich ausgeglichen. Insgesamt wird weniger externe elektrische Energie benötigt als im Projekt prognostiziert. Die grafische Darstellung der Energiebilanz ist in der Abbildung 13 ersichtlich.

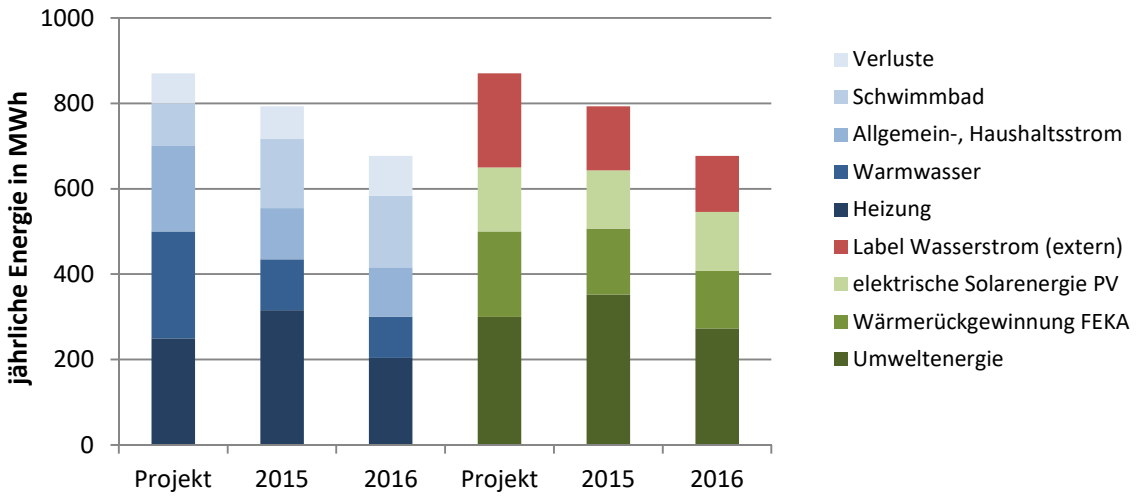

Abbildung 13: Gesamtenergiebilanz des Reka-Feriendorfs Blatten-Belalp.

Validierung und Zwischenfazit: Die gesamte Energiebilanz fällt positiv aus, was die Detailanalysen bereits vermuten liessen. Die Senken weisen deutliche Unterschiede zu den Projektwerten auf: insbesondere jene für Warmwasser und Schwimmbad. Hingegen zeigt sich, dass sich die Quellen nahezu wie berechnet verhalten.

Der Warmwasserbedarf kann je nach Belegung verdoppelt werden. Letzteres ist jedoch stark mit der Quellenergie der Abwasserwärmerückgewinnung gekoppelt, so dass dies nahezu keinen Einfluss auf den saisonalen Erdspeicher hat.

Die Eigenenergieversorgung (EEV) des Reka-Feriendorfs Blatten-Belalp liegt im 2015 bereits bei 81%, 2016 leicht höher mit 83% und ist somit über dem erwarteten Wert von 75%.

4 Schlussfolgerung

4.1 Würdigung

Die damaligen Projektziele wurden nach der Methode **SMART** wie folgt definiert:

Spezifisch: Eine langfristig nachhaltige und CO_2 neutrale Energieversorgung erreichen.
Messbar: Die Leistungskennzahlen werden eingehalten oder schneiden besser ab.
Akzeptiert: Der Gast spürt keinerlei Einschränkung bezüglich Komfort.
Realistisch: Die gesteckten Ziele sind realistisch gesetzt.
Terminiert: Das Feriendorf geht im Dez. 2014 in Betrieb und wird bis Dez. 2016 optimiert.

Im ersten Betriebsjahr wurden die geforderten Leistungskennzahlen (Tabelle 10) – abgesehen vom thermischen Solarertrag (welcher sich dann auf den Erdwärmespeicher auswirkte), sowie dem elektrischen Solarertrag – erreicht. Daher lag der Fokus der weiteren Betriebsoptimierung für 2016 insbesondere bei A) der Ertragssteigerung der thermischen Solaranlage, bzw. der 100%-igen Regeneration des Erdwärmespeichers und B) der Optimierung der elektrischen Solaranlage.

Wichtig für einen nachhaltigen Betrieb ist die Regeneration des Erdwärmespeichers, was durch die solare Ertragssteigerung und den gesenkten Energiebedarf vollumfänglich erreicht werden konnte. Die Optimierung der Photovoltaik-Anlage ist allerdings weiterhin zu verfolgen.

	Leistungskennzahlen	**Projektierung** [-]	**2015** [-]	**Ziel 2016** [-]	**2016** [-]
1	Thermische Solarenergie	>1.00	**0.72**	0.95	**0.88**
2	Elektrische Solarenergie	>1.00	**0.91**	1.00	**0.92**
3	Saisonaler Erdwärmespeicher	>1.00	**0.72**	0.95	**0.98**
4	Abwasserwärmerückgewinnung	>0.57	**0.56**	0.56	**0.51**
5	Jahresarbeitszahl WP Niedertemperatur	>4.75	**4.64**	5.00	**5.29**
6	Jahresarbeitszahl WP Hochtemperatur	>2.5	**3.1**	>3.1	**3.19**
7	Totaler Energiebedarf	<1.00	**0.91**	-	**0.78**
8	Eigenenergieversorgungsgrad	>0.75	**0.81**	>0.81	**83**

Tabelle 10: Performance Indices des Energiekonzeptes.

Insgesamt konnten die Projektziele erfolgreich umgesetzt werden. Insbesondere kann ein Eigenenergieversorgungsgrad von über 83% ausgewiesen werden. Sofern keine massiven Änderungen im Energiebedarf auftreten, kann das Energiesystem langfristig nachhaltig betrieben werden.

4.2 Handlungsempfehlung

Ausstehend ist die weitere Prüfung des elektrischen Solardaches B1 West. Kann die Ursache des Minderertrags behoben werden, liegt der elektrische Ertrag bei den prognostizierten Werten.

Um einen weiterhin nachhaltigen Betrieb des Reka-Feriendorfs gewährleisten zu können, wird eine jährliche Kontrolle empfohlen. Dabei kann mit der Analyse und Bilanzierung folgender Daten eine Aussage über die Funktion gemacht werden:

A) Bilanzierung des thermischen Energiebedarfs (siehe Tabelle 8)

B) Erstellung einer Gesamtenergiebilanz (siehe Abbildung 13)

C) Ermittlung der durchschnittlichen Erdsonden-Vorlauftemperatur (Sollwert > 9°C)

Weniger im Fokus des Monitorings/der Betriebsoptimierung war das aktive Energiemanagement zwischen Quellen und Senken. Insbesondere in der Nutzung des eigens produzierten Solarstroms liegt noch Potenzial. Mit dem laufenden Projekt „Service on Demand[3]“ wird einerseits ein Energiemanagement angestrebt, aber andererseits auch eine automatische Auswertung der Funktionstüchtigkeit des gesamten Energiesystems erzielt.

4.3 Fazit

Die Begleitung des Projektes hat gezeigt, dass zwischen den projektierten Werten und den effektiv gemessenen Resultaten beachtliche Diskrepanzen liegen können. Interessanterweise liegen diese mehrheitlich auf der Seite der Senken (Performance Gap), obwohl für deren Auslegung umfangreiche Grundlagen zur Verfügung stehen.

Die Optimierungsmassnahmen sind vorteilhafterweise bei den Senken und weniger bei den Quellen anzusetzen. Während kleine Massnahmen im Bereich der Senken bereits grossen Einfluss hatten, benötigt es bei den Quellen einen hohen Aufwand. Es zeigt sich, dass die Effizienz der Quellen - mit der damaligen Dimensionierung - einen Grenzwert aufweisen, welcher asymptotisch erreicht werden kann.

Grenzen weisen aber auch die Senken auf. Sind beispielsweise Wärmetauscher oder Luftregister zu gering dimensioniert um eine gewünschte Temperaturdifferenz zu erhalten, kann nur beschränkt mit Regelungstechnik Einfluss genommen werden.

Das ganzheitliche System kann als erfolgreich umgesetzt betrachtet werden, da die einzige unkontrollierbare, massiv beeinflussende Variable im Energiebedarf der Warmwasserbezug ist: Da das Warmwasser in direkter Relation zur Abwasserwärmerückgewinnung steht, besteht wenig Risiko von übermässigem Quellbezug aus dem saisonalen Erdspeicher.

[3] Produktentwicklung aus dem BFE-Forschungsprojekt „WarmUp“ der Misurio AG.

5 Wissenstransfer

Dank der grosszügigen Unterstützung des Bundesamtes für Energie und der guten Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten lässt sich ein wertvoller Erfahrungsschatz gewinnen. Dieses Wissen wird über verschiedene Kanäle öffentlich zugänglich gemacht. Der Fokus liegt dabei in Fachberichten, Führungen und Präsentationen vor Fach- und Laienpublikum und Präsenz in Preisverleihungen und Fachtagungen. Nachfolgend werden die wichtigsten Massnahmen aufgelistet:

Führungen:

- Wöchentliche Führung durch den Gastgeber
- Präsentation und Führung vor Ort nach Anfrage durch Lauber IWISA AG

Auszug der Fachartikel:

- T. Compagno: Sparkurs – eine CO_2-freie Ferienanlage, Coop-Zeitung, Sept. 2014
- Redaktion, Heizender Fels unter dem Ferienhaus, Tagesaneziger, Dez.2014
- Jasmin N. Zweifel, Reka-Feriendorf Blatten-Belalp, Bau info, Jan. 2015
- Hans-Jörg Wigger, Solare Energieversorgung im alpinen Raum, ET, Jan. 2015
- Michael Staub, Von der Piste in die Sonnenstube, Haustech, März 2015
- Benedikt Vogel, Von der Sonne doppelt verwöhnt, Baublatt, Apr. 2015
- Benedikt Vogel, Von der Sonne gleich doppelt verwöhnt, Spektrum Gebäudetechnik, April 15
- Benedikt Vogel, La double générosité du soleil, Swiss Engineering RTS, Jun. 2015
- Benedikt Vogel, Von der Sonne gleich doppelt verwöhnt, Erneuerbare Energien, Aug. 2015
- Damian Bumann, Reka-Feriendorf, MountainManager, Sept. 2015
- Damian Bumann, Reka-Feriendorf, VTK UCT, Sept. 2015
- Matthias Sulzer, Ferien im Reka-Feriendorf Blatten-Belalp, energiaplus, Nov. 2015
- Benedikt Vogel, Neue Schweizer Hybrid-Solarpanels liefern Strom und Warmwasser, Schweizer Energiefachbuch, Nov.2015

Auszug Präsentationen Fachveranstaltungen:

- Matthias Sulzer, Solarenergie und thermische Vernetzung – sinnvoll oder unsinnig?, PV Tagung, März 2015
- Matthias Sulzer, Solarenergie und Anergienetze - sinnvoll oder unsinnig?, Solartagung, Nov. 2014
- Simon Summermatter, dezentrale Energieversorgung – sind Energiespeicher die Lösung?, 5.Smart Energy Sion, Sept. 2015
- Simon Summermatter, Solare Energieversorgung im alpinen Raum - Reka-Feriendorf Blatten-Belalp, Swissolar – Solarupdate Bern, Juni 2016
- Simon Summermatter, Solare Energieversorgung im alpinen Raum - Reka-Feriendorf Blatten-Belalp, 19. Brenet Statusseminar, Sept. 2016
- Simon Summermatter, Solare Energieversorgung im alpinen Raum - Reka-Feriendorf Blatten-Belalp, 12. Haustech Planertag, Februar 2017

Auszeichnungen:

- Schweizer Solarpreis 2015
- Zertifikat Milestone 2015

6 Referenzen

[1] M.Sulzer, O.Meyer: Energiekonzept Feriendorf Blatten-Belalp AG, Vorprojekt, 2012

[2] S.Summermatter, Projektierung Energieversorgung Reka-Feriendorf Blatten, 2013

[3] M.Sulzer, S.Summermatter, Regel- und Funktionsbeschrieb Reka-Feriendorf Blatten-Belalp, 2014

[4] M.Sulzer, S.Summermatter, Kommunikationskonzept Leuchtturmprojekt Energieversorgung REKA Feriendorf Blatten, 2014

[5] M.Sulzer, S.Summermatter: Solare Energieversorgung im alpinen Raum, Paper 18. Status-Seminar, 2014

[6] M.Sulzer, S.Summermatter: BFE Leuchtturmprojekt Jahresbericht, 2014

[7] M.Sulzer, S.Summermatter: BFE Leuchtturmprojekt Jahresbericht, 2015