



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 17. Oktober 2013

Solare Prozesswärme mit konzentrierenden Kollektoren

Pilotanlage Lataria Engiadinaisa SA, Bever

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Industrielle Solarenergienutzung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

ewz, CH-8050 Zürich

Auftragnehmer:

ewz
Tramstrasse 35
Postfach
8050 Zürich
www.ewz.ch

Autoren:

Mevina Feuerstein, ewz, mevina.feuerstein@ewz.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Stefan Oberholzer

BFE-Programmleiter: Pierre Renaud

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500528-01 / SI/500528

Installationsstandort: Lesa, Bever 787952, 158415

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung / Projektziele.....	4
Kurzbeschrieb.....	4
Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	8
Rückblick 2011 und 2012	8
Oktober 2011	8
November 2011.....	8
Dezember 2011.....	8
Januar 2012	8
Februar 2012.....	8
März 2012	9
April/Mai 2012	9
Juni-November 2012	9
2013	9
Ersatz eines Motors.....	9
Motorschutzalarme	9
Stickstoffverlust	9
Flecken auf Reflektoren.....	9
Ersatz Kollektoranschlusschlauch.....	10
Schneelasten	11
Auswertung der Resultate	11
Kostenauswertung des ersten, vollen Betriebsjahres: Juli 2012 bis Juni 2013.....	12
Nationale Zusammenarbeit.....	13
Lesä	13
NEP Solar.....	13
SPF	13
Bewertung 2013 und Ausblick.....	13
Beilage:	14

Abstract

Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) hat im Molkereibetrieb Lesa Lataria Engiadinaisa SA (Lesä) in Bever eine Hochtemperatur-Solaranlage realisiert. Mit dieser Anlage wird ein Teil der Dampfproduktion mit Heizöl durch eine Energieproduktion mit erneuerbarer Energie substituiert. Es werden konzentrierende Rinnenkollektoren eingesetzt, welche gegenüber Vakuumröhrenkollektoren effizienter Hochtemperatur-Wärme erzeugen. Mit diesem Projekt werden Erfahrungen im Einsatz von Hochtemperatur-Solaranlagen im kleineren und mittleren Leistungsbereich im alpinen Raum gesammelt. Das System wird grosse Temperaturunterschiede erfahren.

Die Anlage wurde im Jahr 2011 gebaut und in Betrieb genommen. Sie ist nun seit einem Jahr in Betrieb. Dieser Bericht befasst sich mit den Erfahrungen und der Auswertung der Daten des ersten Betriebsjahres.

Einleitung / Projektziele

Im Hinblick auf eine nachhaltige Energieversorgung in 20 bis 40 Jahren und dem Ziel der 2000 W Gesellschaft sucht ewz nach Möglichkeiten, innovative und umweltverträgliche Lösungen umzusetzen sowie nach geeigneten Objekten dazu. Der Leistungsauftrag der Stadt Zürich an ewz für das Erbringen von Energiedienstleistungen definiert, dass das ewz im Bereich der Gesamt-Energieversorgung eine ökologisch und innovativ führende Rolle einnehmen muss. In diesem Rahmen realisierte ewz im Molkereibetrieb Lesa in Bever eine Hochtemperatur-Solaranlage.

Die Hochtemperatur-Solaranlage soll einen Teil der Dampfproduktion und dadurch des Heizölverbrauchs substituieren. Die Anlage muss in der Lage sein, hohe Temperaturen ganzjährig zu erreichen.

Mit dem geplanten Projekt werden folgende Ziele angestrebt:

- Nachweis der Machbarkeit von Hochtemperatur-Solaranlagen im kleineren und mittleren Leistungsbereich in unseren Breitengraden.
- Sammlung von Erfahrungen beim Einsatz von Hochtemperatur-Solaranlagen im alpinen Raum bei Schnee und tiefen Aussentemperaturen. Das System wird grosse Temperaturunterschiede erfahren. Die Überprüfung der Wahl des Wärmeträgermediums für die indirekte Dampferzeugung ist ein weiterer Aspekt.
- Aussagen zum möglichen Einsatz für Klimatisierung im Mittelland durch Messergebnisse ableiten.
- Optimierung des bestehenden Prozessablaufes in der Molkerei zur Maximierung der Solarenergienutzung.
- Substitution von fossiler Energie durch erneuerbare Energie.

Kurzbeschreibung

Die konzentrierenden Rinnenkollektoren der Firma NEP Solar wurden auf dem Flachdach der Lesä installiert. Um Dampf zu erzeugen, wird das Wärmeträgermedium durch die Sonneneinstrahlung auf 150 – 180 °C erhitzt. Mittels des erhitzten Wärmeträgermediums wird in einem Dampferzeuger Dampf produziert, welcher über ein mechanisches Rückschlagventil in das bestehende Netz eingespeist wird. Speisewasser wird direkt von der bestehenden Anlage der Lesä bezogen.

Das Projekt wurde so geplant und realisiert, wie ursprünglich geplant war.

Es sind 4 Kollektoren mit einer Gesamtfläche von 115 m² und einer thermischen Nennleistung von ca. 65 kW installiert. Als Wärmeträger wird Thermoöl eingesetzt. Der Thermoölkreislauf wird mit Stickstoff überlagert. Jeweils zwei Kollektorenreihen werden in Serie durchflossen.

Im Anhang ist das revidierte und detaillierte Prinzipschema ersichtlich. Es beinhaltet auch alle Apparate und Messpunkte. Sämtliche Daten aller Sensoren und Apparate werden aufgezeichnet. Zur energetischen Analyse und Optimierung der Anlage werden darum auch Leistung und Energieertrag der Solaranlage, deren Vor- und Rücklaufemperatur, sowie die Solarstrahlung und die Aussentemperatur stetig erfasst.

Mit der Anlage kann voraussichtlich rund 7 % der benötigten Energie für die Dampferzeugung durch Solarenergie substituiert werden. Somit können rund 7'100 Liter Heizöl jährlich eingespart werden, was einer jährlichen Reduktion der CO₂-Emissionen um rund 18 Tonnen entspricht.

Abbildungen 1 bis 4 zeigen Impressionen der Anlage.



Abbildung 1 Die Lesa mit den Kollektoren auf dem Dach.



Abbildung 2: Ansicht der Kollektoren.

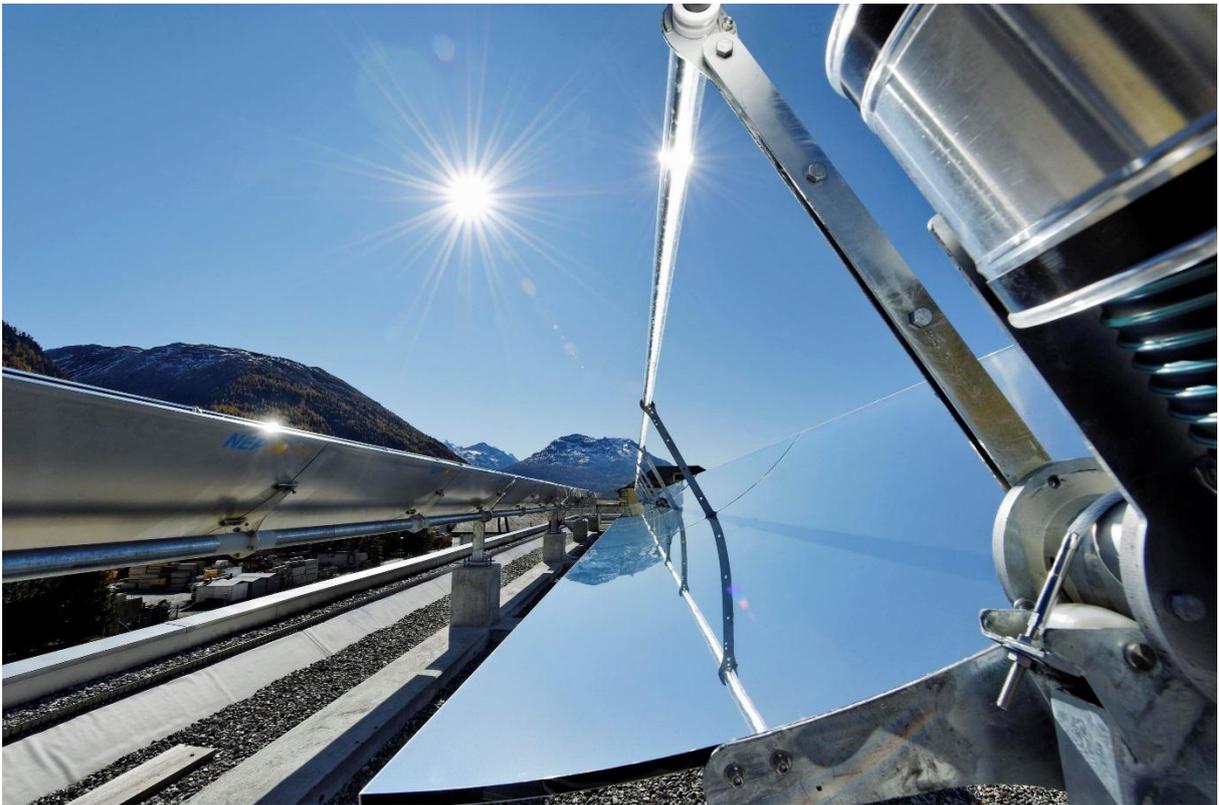


Abbildung 3 Die Kollektoren konzentrieren die Solareinstrahlung auf das Absorberrohr.



Abbildung 4: Der Dampfumformer.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Rückblick 2011 und 2012

Nachfolgend werden die Arbeiten und Probleme über den Zeitverlauf beschrieben.

Oktober 2011

- Die Anlage wurde zum ersten Mal aufgeheizt. Die Erwartungen an die Temperatur des Thermoöls wurden erfüllt.
- Bei den Punkttests der einzelnen Steuer- und Messelemente wurden einige Programmierungs- und Verdrahtungsfehler festgestellt. Diese mussten vor der regulären Inbetriebnahme behoben werden.

November 2011

- Die Fehlerbehebung der Steuerung wurde durchgeführt. Insbesondere die Wärmezählung (neues Element für die MSRL-Firma, musste neu eingebunden werden) und das 3-Weg-Ventil reagierten nicht so wie erwartet.
- Es wurde festgestellt, dass sich der Dampferzeuger mit Kondensat füllt, wenn dieser mehr als 3 Tage keine Wärme produzierte. Dies löste einen Alarm aus, der jeweils die Anlage blockierte. Vor der Wiederinbetriebnahme musste jeweils vor Ort Wasser aus dem Dampferzeuger gelassen werden, bevor die Anlage wieder betriebsbereit war.
- Die Kollektormotoren lieferten Motorschutzalarme, die verhinderten, dass der Kollektor drehen kann. Der Grund war unbekannt.
- Die Winkel, die die Kollektoren in den verschiedenen Zuständen einnehmen sollten, waren nicht immer korrekt.
- Ende November konnte die Anlage in den Automatikbetrieb gehen, sobald alle Programmierprobleme gelöst waren. Das Kondensatproblem, die Motorschutzprobleme sowie die Winkelprobleme waren noch vorhanden.

Dezember 2011

- Der Wärmezähler musste separat in Betrieb genommen werden, da die Übertragung der Werte ins Leitsystem nicht funktionierte. Dies führte dazu, dass die Anlage an einem Tag stillstand.
- Das Kondensatproblem führte weiterhin dazu, dass die Anlage zeitweise stillstand.
- Es wurde festgestellt, dass Elektromagnetische Unverträglichkeit die Ursache für die Winkelprobleme waren. Die Motorenkabel wurden im gleichen Rohr wie die Sensorenkabel verlegt, dies führte zu Interferenzen.
- Ende Dezember wurden Fehler in der Berechnung der Direktstrahlung festgestellt. Dies führte zu fehlerhaftem Verhalten der Anlage. Das Problem konnte behoben werden.
- Schneefall hinderte die Kollektoren daran, zu drehen, da die Motorleistung nicht ausreicht. D.h. wenn etwas mehr Schnee fiel, lief die Anlage nicht, bis jemand den Schnee von den Kollektoren wischte. Sobald die Sonne schien, wollten die Kollektoren drehen, konnten aufgrund der Schneelast nicht. Motorenalarme wurden ausgelöst. Die Anlage war daher von Weihnachten an nicht in Betrieb.

Januar 2012

- Die Anlage lief grösstenteils nicht.
- Der nötige Umbau der Verkabelung und des Schaltschranks zur Eliminierung der elektromagnetischen Unverträglichkeit wurde geplant. Es wurde auch an der Fehlerbehebung der Motoren gearbeitet.

Februar 2012

- Der Schaltschrank wurde umgebaut, die Kabel neu verlegt.

- Der Parkwinkel wurde verändert, so dass der Schnee eher abrutscht, damit die Kollektoren auch bei Schneebelastung fahren können.
- Ende Februar waren die Fehler behoben und Umbauten erfolgt, so dass die Anlage in Dauerbetrieb gehen konnte.
- Verschiedene Optimierungen an der Steuerung führten dazu, dass die Anlage stabiler lief. Insbesondere die Geschwindigkeit der Pumpe wurde angepasst.

März 2012

- Die Kollektoren wurden nach einem Monat erfolgreichen Testbetriebs von der Lieferantin abgenommen.
- Ein Problem mit den Niveauschaltern im Dampferzeuger wurde entdeckt, die Anlage lief zeitweilig nicht. Gelöst wurde das Problem, indem die Niveausensoren anders montiert wurden.
- Das Kondensatproblem wurde gelöst indem der Kondensatableiter nicht mehr in den Dampferzeuger führt sondern in die Hauptkondensatableitung der Lesa.

April/Mai 2012

- Die Anlage lief im Automatikmodus. Im Mai funktionierte der Wärmehzähler nicht. Die Anlage lief, die Wärme wurde aber nicht gezählt.

Juni-November 2012

- Die Anlage lief mehrheitlich störungsfrei im Automatikbetrieb.

2013

Nachfolgend werden die Probleme und Arbeiten des laufenden Jahres beschrieben.

Ersatz eines Motors

Eine lockere Schraube hat im Dezember 2012 einen der Motoren der vier Kollektorreihen blockiert und beschädigt. Es hat bis im Januar 2013 gedauert, bis die Ursache gefunden und der Motor ersetzt werden konnte. Die Anlage lief über mehrere Wochen mit verminderter Leistung, da nur drei Kollektorreihen genutzt werden konnten. Der Motor wurde auf Garantie ersetzt.

Motorschutzalarme

Die Motorschutzalarme kommen weiterhin bei Überlastung der Motoren. Die genaue Ursache konnte nicht ermittelt werden. Eine permanente Lösung wäre einzig, wenn die Motoren ausgetauscht würden. Bei Quittierung der Alarme läuft die Anlage jeweils weiter, darum wird auf den Austausch der Motoren verzichtet.

Stickstoffverlust

Es wurde festgestellt, dass die vorhandene Stickstoffflasche zur Drucküberlagerung des Thermoöls jeweils alle 2-3 Monate ersetzt werden muss, und nicht bloss ca. einmal pro Jahr. Dies verursacht Mehrkosten im Betrieb der Anlage. Es wird geprüft, ob die Ursache beim Druckreduzierventil liegt. Falls möglich wird ein Rückschläger eingebaut, um Stickstoffverlust zu verhindern.

Flecken auf Reflektoren

Bei der jährlichen Betriebskontrolle und Kollektorenreinigung im Juni 2013 vor Ort wurde festgestellt, dass sich weisse Flecken auf den Reflektoren gebildet haben, siehe nachfolgende Abbildungen.



Abbildung 5 Weisse Flecken auf den Reflektoren

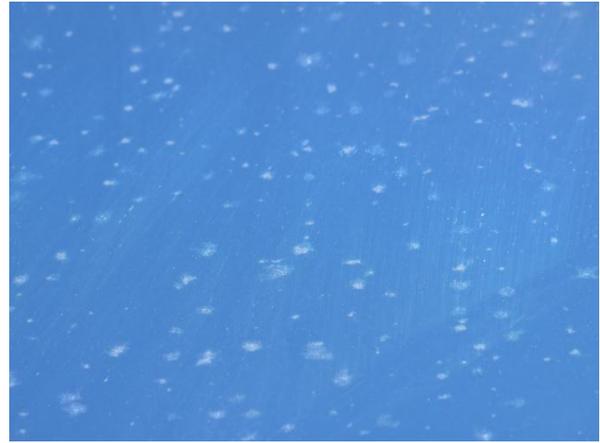


Abbildung 6 Grossaufnahme der Flecken auf den Reflektoren.

Die Flecken sind nicht von Hand an den Reflektoren spürbar, sind also keine mechanischen Einträge. NEP Solar, die Lieferantin, klärt die Ursache gemeinsam mit der Sublieferantin der Reflektoren. Wahrscheinlich werden die Reflektoren aller Kollektorreihen auf Garantie ersetzt.

Ersatz Kollektoranschlusschlauch

Zugleich wurde festgestellt, dass aus einem Kollektoranschluss Thermoöl austritt, siehe Abbildung 7. Die Anlage lief während 3 Wochen, bis die Leitung ausgetauscht werden konnte, nur mit zwei Kollektoren, da der Strang des Kollektors mit der defekten Verbindungsleitung abgesperrt wurde. Es ist nicht so viel Thermoöl ausgetreten, dass dies über die Drucküberwachung hätte detektiert werden können. Die Ursache lag an einer undichten Stelle an der flexiblen Verbindungsleitung zwischen Absorberrohr und Wärmeleitung. Die genaue Ursache für die Undichtigkeit der Verbindungsleitung konnte noch nicht festgestellt werden. Nachdem die Isolation der Verbindungsleitung entfernt worden ist, konnten zwei Knicke in der Leitung entdeckt werden, siehe Abbildung 8 und Abbildung 9. Die Leitung schien sehr starr im Vergleich zur Ersatzleitung. Um die defekte Leitung auszutauschen, musste das Thermoöl der Anlage abgelassen werden. Nachdem die Ersatzleitung eingesetzt worden war, konnte die Anlage wieder mit Thermoöl befüllt werden. Bei den anderen drei Kollektorreihen konnte kein Thermoölaustritt festgestellt werden. Die Firma NEP Solar klärt die genaue Ursache mit der Sublieferantin der Leitungen. In den anderen Anlagen der Firma NEP Solar sind dieselben Leitungen im Einsatz, ein Defekt konnte bisher noch nicht festgestellt werden. Sobald die Ursache für die Undichtigkeit der Leitung geklärt ist wird ewz gemeinsam mit NEP Solar entscheiden, ob sämtliche Leitungen präventiv ausgewechselt werden müssen.



Abbildung 7 Thermoölaustritt



Abbildung 8 Unisolierte Verbindungsleitung.



Abbildung 9 Zwei Knicke in der Verbindungsleitung.



Abbildung 10 Isolierte Verbindungsleitung.

Schneelasten

Die Kollektorenrücken wurden probeweise von Hand mit verschiedenen Substanzen beschichtet um zu prüfen, ob der Schnee besser abgleiten würde. Die Tests haben bisher nicht den gewünschten Effekt gebracht. Die effektivste Lösung wäre, wenn die Motoren mit solchen mit höherem Drehmoment ausgetauscht würden.

Auswertung der Resultate

Die monatlich erzeugte Energie in MWh wurde der ursprünglichen Simulation gegenübergestellt, siehe Tabelle 1 und Abbildung 5.

Tabelle 1 Vergleich der monatlich erzeugten Energie in MWh mit den ursprünglichen Simulationswerten.

	Simulation	Ist 2012	Ist 2013
Januar	1		0.5
Februar	3		1.3
März	6		2.6
April	8	3.2	5.3
Mai	9	1.3	2.5
Juni	8	4.4	5.1
Juli	9	5.5	8
August	7	7.4	7.7
September	4	3.9	4
Oktober	3	2.2	
November	1	0.7	
Dezember	1	0.2	
Total	60		

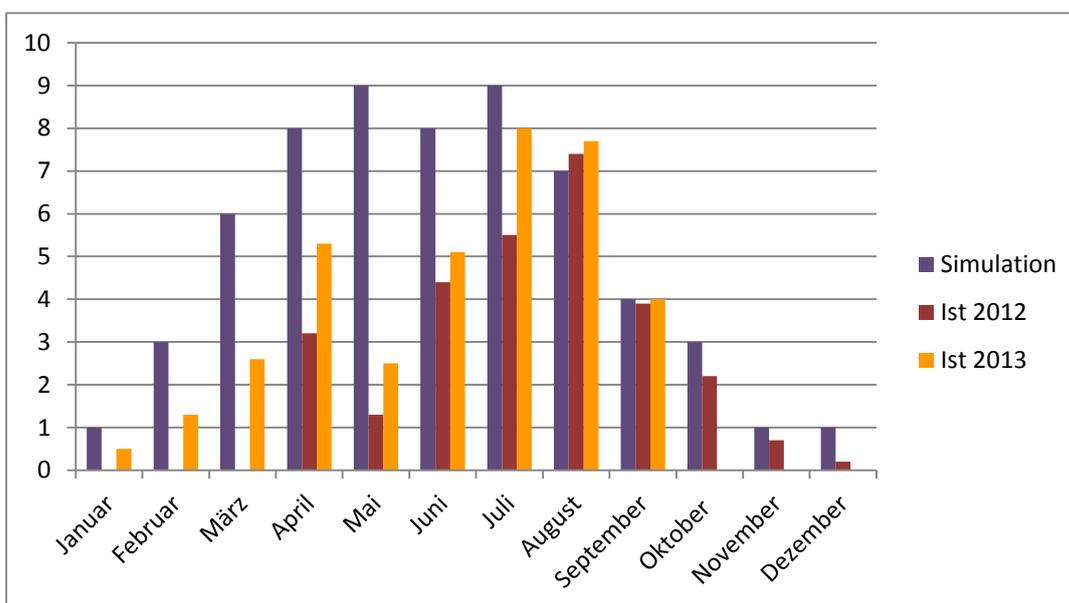


Abbildung 11 Vergleich der monatlich erzeugten Energie in MWh mit den Werten der ursprünglichen Simulation.

Aufgrund der vielen Stillstände konnte die Anlage oft die simulierten Werte nicht erreichen. Im August und September stimmen die Werte sehr gut mit der Simulation überein. Sobald die Anlage läuft, läuft alles sehr gut (Steuerung, Temperaturen, Druck etc.) Das Ziel ist, in Zukunft über das ganze Jahr gesehen näher an die simulierten Werte zu kommen. Dazu wurde ein interner Betriebsoptimierungs-Prozess gestartet.

Kostenauswertung des ersten, vollen Betriebsjahres: Juli 2012 bis Juni 2013

Die detaillierte Aufstellung der Investitionskosten ist beiliegend.

Während dem ersten, vollen Betriebsjahr von Juli 2012 bis Juni 2013 konnten nur Fr. 4'820.- statt der geplanten Fr. 7'800.- in Rechnung gestellt werden, aufgrund der Minderproduktion der Anlage. Zudem wurden Fr. 12'225.- statt der geplanten Fr. 10'700.- für den Betrieb und

die Wartung der Anlage aufgewendet, aufgrund des Aufwands für Schneeschaufeln und Störungsbehebungen.

	Ist [Fr.]	Plan [Fr.]
Einnahmen	4'820	7'800
Ausgaben	12'225	10'700

Im ersten Betriebsjahr sind Kosten entstanden, die aufgrund der Inbetriebnahme angefallen sind und während eines „normalen“ Betriebsjahres nicht anfallen sollten. Zudem entstanden Mehrkosten aufgrund der Schneebelastung der Kollektoren und der Störungsbehebungen.

Im Jahr 2013 muss bereits die Kesselinspektion des SVTI durchgeführt werden, es ist demnach mit Mehrkosten gegenüber dem Plan auch für das komplette Jahr 2013 gerechnet werden.

Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit mit der Wärmebezügerin, Lesa, der Kollektorlieferantin, NEP Solar sowie mit dem Institut für Solartechnik SPF wird nachfolgend beschrieben.

Lesa

Mit der Lesa arbeitet ewz eng zusammen. Die Lesa führt im Auftrag von ewz die regelmässigen Wartungsrundgänge vor Ort aus und ist erste Ansprechpartnerin von ewz bei Unregelmässigkeiten oder Störungen der Anlage. Im Winter sorgt die Lesa dafür, dass die Kollektoren von allfälligen Schneelasten befreit werden.

Die Zusammenarbeit verläuft sehr positiv. Die Lesa ist sehr an der solaren Energieerzeugungsanlage interessiert und bringt sich aktiv ein. Da der bestehende Heizölkessel nicht automatisiert ein- und ausschaltet, muss ein Mitarbeiter bei Solarproduktion den Heizölkessel manuell ausschalten. Dies hat bisher problemlos funktioniert.

NEP Solar

Die Zusammenarbeit mit NEP Solar verlief während der Betriebsphase gut. Aufgrund des reduzierten Betriebs entstehen teilweise längere Wartezeiten bei Störungsbehebungen oder Ersatzteilmontagen.

SPF

Das Institut für Solartechnik SPF in Rapperswil wertet die Produktion sowie die Verteilverluste der Anlage detailliert aus und berichtet separat darüber.

Bewertung 2013 und Ausblick

Im ersten Halbjahr 2013 konnten 20.3 MWh Energie an die Lesa abgegeben werden. Vom 1. Juli 2012 bis 30. Juni 2013 wurden 45.6 MWh an die Lesa abgegeben. Das erwartete Ziel von 60 MWh konnte nicht erreicht werden. Ein Hauptgrund liegt darin, dass die Anlage aufgrund der oben beschriebenen Störungen immer wieder stillstand. Eine weitere Ursache liegt in den Verteil- und Umformverlusten, die nicht in den Berechnungen bei Projektbeginn einbezogen wurden. Das SPF hat genauere Abklärungen zu den Verteilverlusten vorgenommen. Desweiteren wird am Wochenende nicht gleich viel Energie wie Wochentags benötigt. Teilweise muss die Solaranlage aufgrund von Überhitzungsgefahr ausschalten, da nicht genügend Bedarf vorhanden ist.

Ein Austausch der Motoren mit leistungsstärkeren Motoren würde die Motorschutzalarme und die Schneelastprobleme erübrigen. Die bestehenden Motoren werden mit 12 V betrieben. Eine Umrüstung zu stärkeren Motoren bedeutet, dass diese mit 230 V betrieben werden müssten. Sämtliche Leistungskabel und die Verdrahtung im Schaltschrank müssten ersetzt werden. Dies bedeutet unverhältnismässig hohe Kosten. Das ewz verzichtet daher auf den Austausch aller Motoren.

Die einleitend genannten Ziele werden nachfolgend bewertet:

- Der Nachweis der Machbarkeit von Hochtemperatur-Solaranlagen im kleineren und mittleren Leistungsbereich in unseren Breitengraden konnte erbracht werden. Die erwartete Energieproduktion konnte nicht ganz erreicht werden.
- Es konnten Erfahrungen beim Einsatz von Hochtemperatur-Solaranlagen im alpinen Raum bei Schnee und tiefen Aussentemperaturen gesammelt werden. Die Schneelast bereitet Schwierigkeiten, die Anlage im Winter nutzen zu können, da der Schnee an den Kollektorrücken kleben bleibt und die Motoren die Kollektoren nicht mehr drehen können. Die Wahl von Thermoöl als Wärmeträgermedium hat sich als richtig herausgestellt. Es konnten Temperaturen von bis zu -25 °C und maximal 185 °C im Thermoöl gemessen werden.
- Für den Einsatz für Klimatisierung im Mittelland muss während Tagen mit hohen Aussentemperaturen gleichzeitig hohe Direktstrahlung herrschen. Genauere Auswertungen sind durch das SPF zu erwarten.
- Der bestehende Prozessablauf in der Molkerei zur Maximierung der Solarenergienutzung wurde gleich zu Beginn der Inbetriebnahme der Anlage durchgeführt. Die Produktionszeiten fangen später an, um vermehrt Solarenergie zu nutzen.
- Die Substitution von fossiler Energie durch erneuerbare Energie konnte zu einem Teil erreicht werden.

Die Technologie muss immer ergänzend zu einem zweiten Erzeugersystem mit genügend Leistung installiert werden. Die Investitions- und Einbindungskosten müssen zu den Investitionskosten für das redundante Erzeugersystem addiert werden. Mit der gegebenen Fläche kann nicht genügend Heizöl substituiert werden, dass die Solaranlage annähernd wirtschaftlich wird. Bei Anlagen mit grösseren Kollektorflächen steigen die Kosten nicht proportional,

Folgende Arbeiten und Entscheide sind ausstehend:

- Aufgrund der Schneelasten und des niedrigen Ertrags von Mitte November bis Ende Januar wird ewz prüfen, ob der Aufwand für den Betrieb der Anlage während der Zeit gerechtfertigt ist oder die Anlage während dieser Zeit ausgeschaltet wird.
- Bestimmung der Ursache für den Stickstoffverlust, Massnahmen definieren.
- Beurteilung, ob die flexiblen Kollektorverbindungsschläuche ersetzt werden.

Beilage:

- Prinzipschema

