



Schlussbericht vom 31.03.2016

Einbindung von PVT Kollektoren in erdsondengekoppelte Wärmepumpen- Systeme

Wegbereitung zur Praxistauglichkeit sowie
Verifizierung des Potentials der Integration von
Niedertemperatur-PVT-Kollektoren in die
Gebäudetechnik mit Erdwärmesonde und
Wärmepumpe



Datum: 31.03.2016

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

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

Subventionsempfänger:

Meyer Burger AG
Schorenstrasse 39
CH-3646 Gwatt (Thun)

Autoren:

Felix Hug, Meyer Burger AG, felix.hug@meyerburger.com
Dr. Roman Gysel, Meyer Burger AG, romangysel@meyerburger.com

BFE-Programmleitung:	Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch
BFE-Projektbegleitung:	Jean-Christophe Hadorn, jchadorn@baseconsultants.com
BFE-Vertragsnummer:	SI/500735-01

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 Konzept der emissionsfreien Versorgung von Gebäuden durch ein Niedrig-Exergie-System (Zero-Emission Low Exergy) besteht im Wesentlichen aus den Komponenten Hybridkollektor als Wärmequelle, der Erdwärmesonde als Speicher und der Wärmepumpe zur Erreichung der geforderten Temperaturen.

Bevor das Gesamtkonzept von ZE-LowEx (Zero Emission Low Exergy) Gebäuden¹ weiter verbreitet und erfolgreich angewandt wird, müssen zur Verringerung des technischen und kommerziellen Risikos das System Hybridkollektor-Wärmepumpe-Erdsonde in Anwendung und Betrieb getestet werden. Die Realisierung dieser Pilotanlage dient einerseits dazu, Erfahrung für die kommerzielle Anwendung zu gewinnen und andererseits weiteres Entwicklungspotential zu identifizieren. Neben den reinen Leistungsdaten werden auch Erkenntnisse zu technischen und praktischen Aspekten gewonnen, wie z.B. Verschaltung der Kollektoren, effiziente Montage, Anbindung an bestehende oder neue Gebäudetechnik, sowie Schnittstellen zwischen den einzelnen Installationsunternehmen. Mit den Messdaten dieses Pilotprojekts können simulierte Werte anhand von Messungen überprüft werden. Die Auswertungen tragen zur Verbesserung der Modelle und zur Optimierung der Simulationen bei.

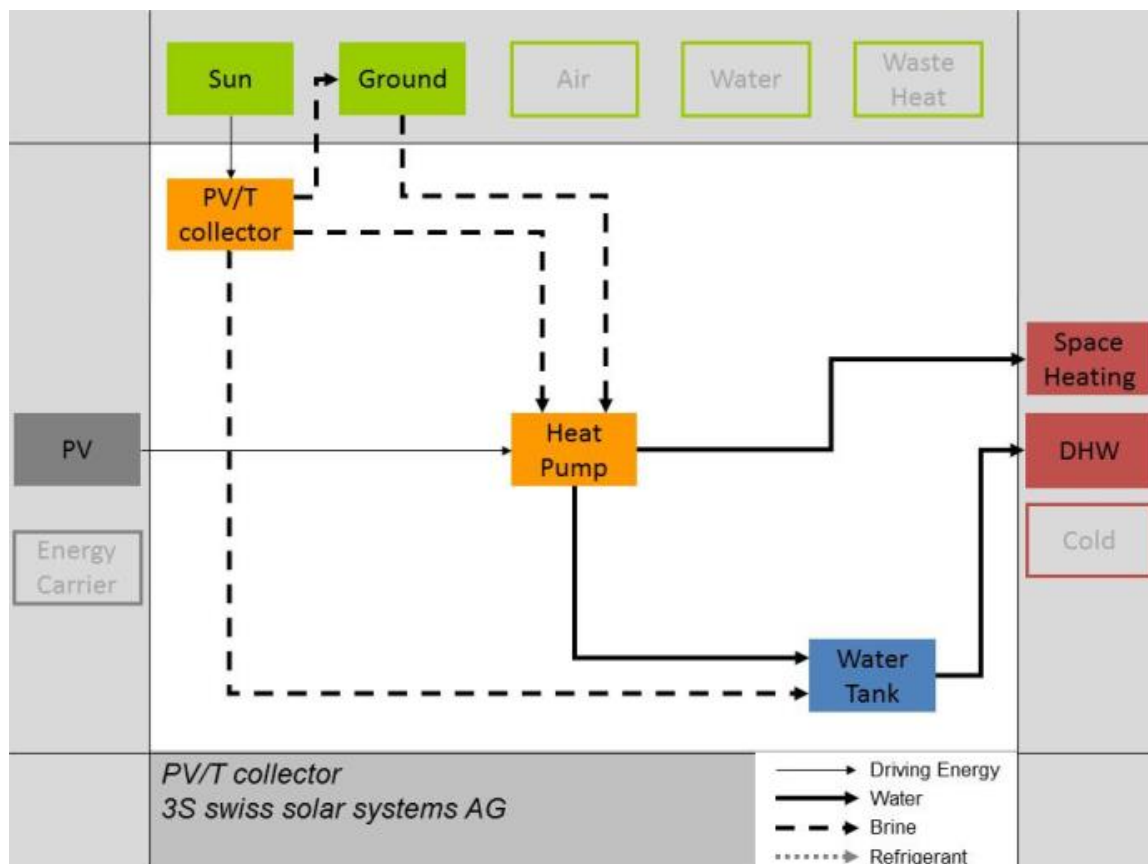


Abb. 1 System-Diagramm des Zero Emission Low Exergy (ZE-LowEx) Gesamtkonzepts für die emissionsfreie Energieversorgung von Gebäuden.

¹ www.2sol.ch

Ausgangslage

Eine mit drei Erdsonden gekoppelte Wärmepumpe versorgt das Einfamilienhaus (EFH) mit Wärme. Die für die Gebäudewärme aus den Erdsonden entzogene Wärme wird durch die Hybridkollektoranlage und die sommerliche Gebäudekühlung wieder dem Erdreich zugeführt. Die drei Erdsonden werden also regeneriert.

Die Hybridkollektoranlage produziert Strom und Wärme. Der Strom wird wie bei einer Photovoltaik-Anlage für den Betrieb der Anlage und die Versorgung des Gebäudes verwendet. Die Wärme entsteht durch die elektrisch nicht nutzbare Sonnenenergie. Durch die Wärmeabfuhr aus dem Modul steigt der Stromertrag und die thermische Belastung der Module sinkt, was sich positiv auf die Lebensdauer auswirkt.

Die Niedertemperatur-Abwärme aus dem Hybridmodul wird zur sommerlichen Regeneration von zwei Erdsonden und zur Beheizung des innenliegenden Schwimmbades verwendet. Die dritte Sonde wird durch die Kühlung des Gebäudes regeneriert.

Die Solaranlage umfasst 28 Hybrid- und 10 reine Photovoltaikmodule. Dadurch soll der Ertragsvorteil bei der Stromproduktion der Hybridmodule durch die Wärmeabfuhr gezeigt werden können.

Ziel der Arbeit

In diesem Projekt wird die Leistung der Hybridkollektoren, der Erdsonden und der Wärmepumpe vermessen. Somit können Erkenntnisse über die Wirkungsgraderhöhung der Wärmepumpe und die Verbesserung des gesamten Wärmeerzeugungssystems durch die Regeneration des Erdreichs gewonnen werden. Gleichzeitig kann die Wirkungsgradsteigerung der Photovoltaik durch die Kühlung der Module dank Hybridisierung innerhalb einer Anlage gezeigt werden, indem die Hybridkollektoren parallel zu einer Photovoltaikanlage installiert und betrieben werden. Es ist ein direkter Vergleich der elektrischen Leistung, des Montage- und Installationsmehraufwandes sowie der Unterhaltsarbeiten möglich.

Daneben wird gemeinsam mit den Planungsunternehmen die Integration der Niedertemperaturkollektoren in die Gebäudetechnik erprobt, insbesondere sinnvolle Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen involvierten Parteien. Mit den Installationsunternehmen wird das Optimierungspotential bei der Montage, insbesondere der Hydraulik, bezüglich der Eignung im praktischen Einsatz ermittelt. Diese Erkenntnisse sorgen schlussendlich für zukünftige Planungssicherheit bezüglich Komponenten, Kosten und Schnittstellen in der Umsetzung von neuen Energiekonzepten bei Neu- und Umbauten von Gebäuden.

Diese obenstehenden Abschnitte wurden absichtlich aus den vorhergehenden Berichten übernommen, um Ausgangslage und Ziele transparent wiederzugeben.

Vorgehen / Methode

Hybridkollektor

Die Solardachanlage besteht aus 28 Hybridkollektoren (46.2 m²) des Typs 3S Hybrid 240/900 (Abb. 2) und 10 Photovoltaikmodulen (16.5 m²) des Typs 3S Black 240. Das Flachdach wurde mit dem Montagesystem PeakDesign ausgerüstet und damit sowohl die Hybridkollektoren wie auch die Photovoltaikmodule mit einer Neigung von 10° montiert.

Die Hybridkollektoranlage besitzt eine elektrische Leistung von 6.72 kWp und eine thermische Leistung von 25.2 kWp. Die Leistung der Photovoltaikanlage beträgt zusätzlich 2.4 kWp (elektrisch).



Abb. 2 Hybridkollektor Typ 3S Hybrid 240/900 mit 240 Watt elektrischer und 900 W thermischer Spitzenleistung.

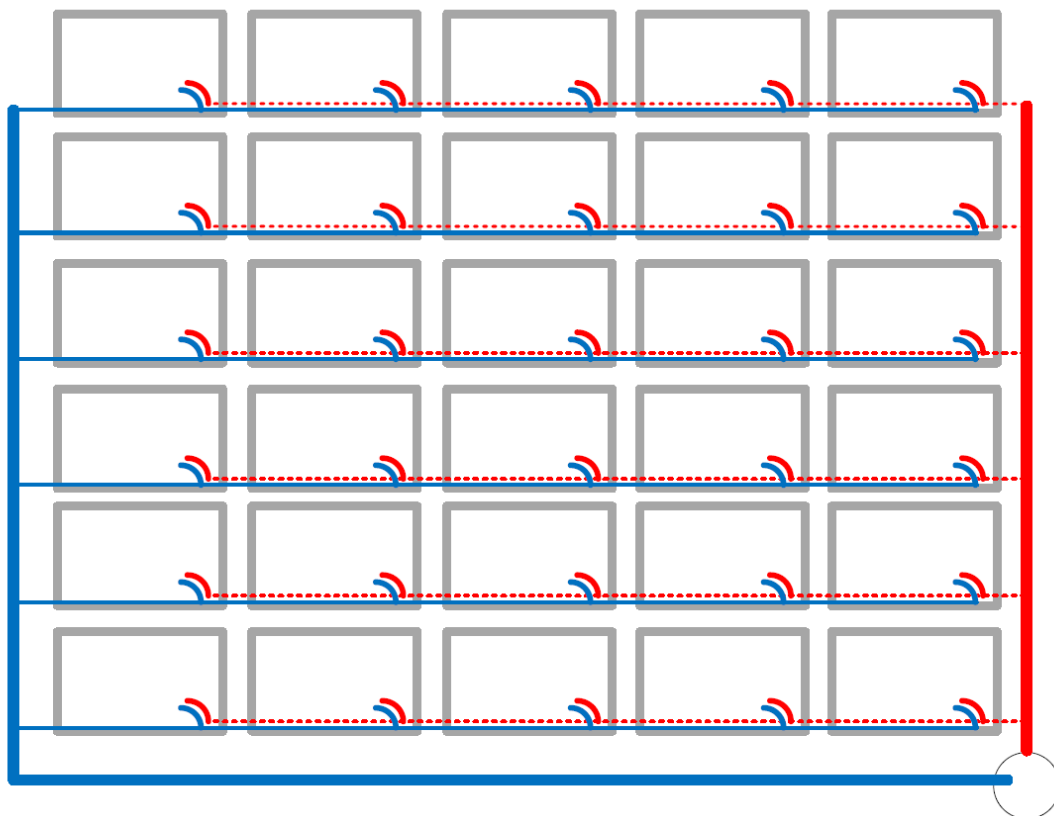


Abb. 3 Prinzipschema Verschaltung der Hybridkollektoren.

Messsystem

Das Institut für Energiesysteme des NTB Buchs hat aus den obenstehenden Messzielen ein Messkonzept erstellt und die Anlage mit einem Messsystem ausgerüstet. Zur Messung der thermischen Leistung und des Ertrages der gesamten Anlage, der einzelnen Kollektorserien sowie der einzelnen Kollektoren wurden Pt100-Sensoren mit Tauchhülse direkt in die hydraulische Verschaltung eingebaut. Parallel geschaltete Kollektorserien wurden jeweils am Vor- und Rücklauf mit einem Temperatursensor ausgerüstet. Die Temperatur des Vor- und Rücklaufs der Anlage wird ebenfalls mit Pt100-Sensoren gemessen. Die elektrische Leistung der einzelnen Stränge wird über den Wechselrichter ermittelt. Mit einem Pyranometer wird die Einstrahlung auf die Anlage ermittelt. Die Objekte werden mit einem fix installierten Messsystem mit Datalogger zur Ermittlung von elektrischer und thermischer Leistung sowie Ertrag ausgerüstet.

Zur Messung des Temperaturverhaltens und der Wärmebezugs-/abgabemenge der Erdwärmesonde sowie der Wärmepumpe wird beim Vor- und Rücklauf mit Pt100-Sensoren und Durchflusssensoren die Leistung gemessen. Über den Stromverbrauch der Wärmepumpe und der Pumpen werden der COP und die JAZ der Wärmepumpe, resp. des Gesamtsystems ermittelt.

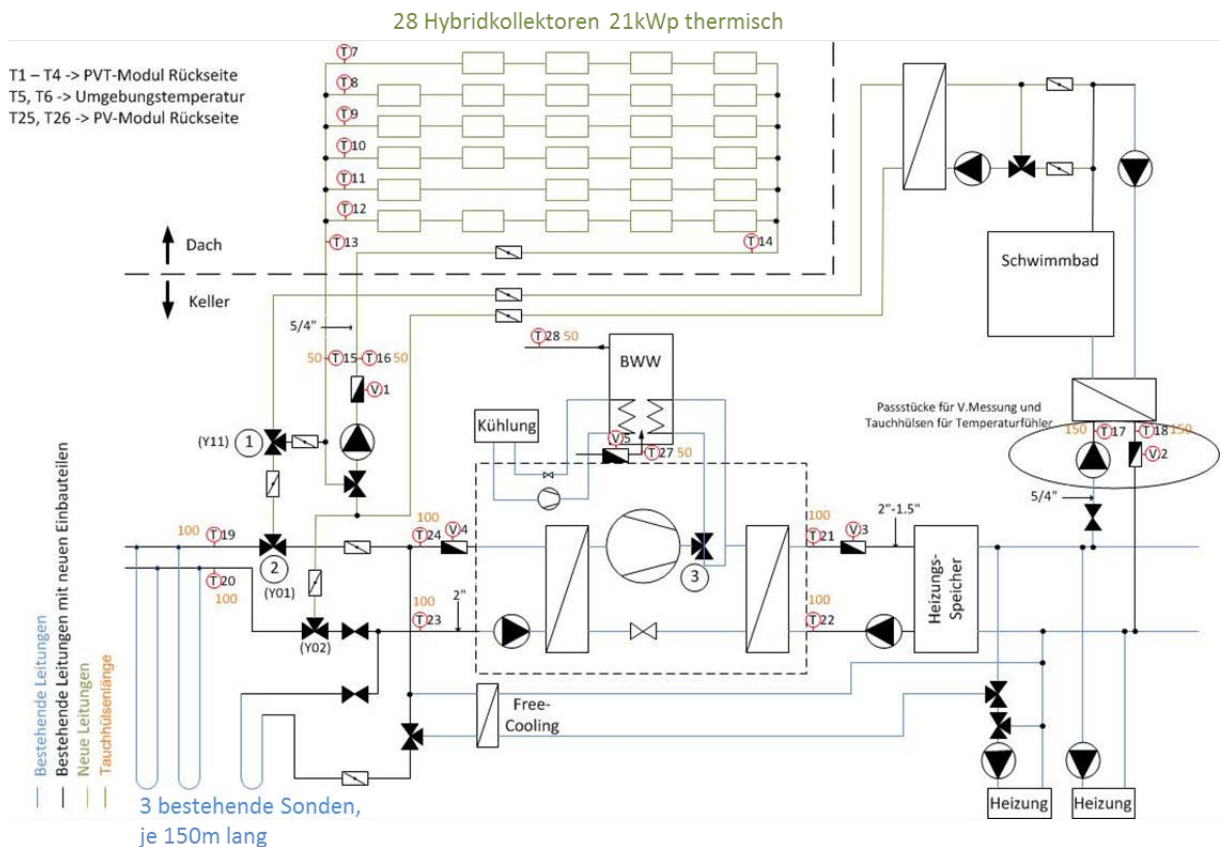


Abb. 4 Anlagenschema der mit den 28 Hybridkollektoren und den 3 Erdsonden mit je 150m Länge.

Ergebnisse / Erkenntnisse

Datenverfügbarkeit

Das Aufzeichnungsgerät fiel wiederholt während 2 bis 3 Wochen aus unbekannten Gründen aus. Aus diesen Ausfallzeiten ergab sich eine im Laufe der Jahre abnehmende Datenverfügbarkeit (Tab. 1). Die Länge der Ausfallzeiten ist der schlechten Zugänglichkeit der Anlage geschuldet. Das Messsystem leider nicht ohne Zugriff aufgestartet werden und erforderte die Koordination mit dem häufig abwesenden Hausbesitzer. Die präsentierten Ergebnisse sind vor dem Hintergrund der unvollständigen Datenerfassung zu verstehen. Dieser Umstand mindert die Aussagekraft des Messprojektes erheblich.

Der Kostendruck führte zu Kosteneinsparungen beim Aufzeichnungsgerät, was zu dieser preisgünstigen aber ungenügenden Lösung führte.

Die Autoren sind der Ansicht, dass die Kosteneinsparungen zu unverhältnismässig hohen wissenschaftlichen Einbussen geführt haben. Das Sparen hat sich in diesem Fall eindeutig nicht gelohnt.

Messjahr	2013	2014	2015
Datenverfügbarkeit [%]	94.1	88.3	67.2

Tab. 1 Datenverfügbarkeit während der Messjahre 2013, 2014 und 2015

Verschattung

Der Bewuchs der Solaranlage führte zu erblicher Verschattung der Module (Abb. 4). Der spezifische Jahresertrag 2013 mit 116 kWh^2 pro Quadratmeter Modulfläche, bei einer gemessenen Sonneneinstrahlung von 1000 kWh/m^2 , liegt mindestens 20% unter Erwartung. Durch die Verschattung wird nicht nur der elektrische Ertrag gemindert, sondern verunmöglicht auch den direkten Ertragsvergleich zwischen den Hybrid- und den PV-Modulen. Der thermische Ertragsverlust durch die Verschattung kann nicht genau zugeordnet werden, da hier die Güte der Wärmeverwertung, bzw. der Wärmespeicherung eine entscheidende Rolle spielt.



Abb. 5 Bewuchs der Solar-Hybridanlage im Herbst 2014.

² 773 kWh/kWp/Jahr

Erträge Solar-Hybridanlage

Die spezifischen Erträge der Solar-Hybridanlage in Tab. 2 sind weit unter Erwartung. Die Hauptgründe liegen in den Ausfällen der Messaufzeichnung (Datenverfügbarkeit) und der Verschattung. Das verdeutlicht der über die drei Messjahre abnehmende elektrische Ertrag, der bei vergleichbaren Anlagen sehr konstant bleibt. Gemäss der in Abb. 5 dargestellten Wärmeenergieerträge aus einer Simulation darf bei einer Kollektormitteltemperatur von 25°C mit einem thermischen Jahresertrag von 350 kWh/m² gerechnet werden, was auch den Messergebnissen der Solar-Hybridanlage der Wohnüberbauung Oberfeld in Ostermündigen entspricht.

	2013	2014	2015 ³
Sonneneinstrahlung	990	1000	757
Elektrischer Ertrag	116	113	74
Thermischer Ertrag	57	191	195

Tab. 2 Spezifische Jahreserträge der Solar-Hybridanlage in kWh/m².

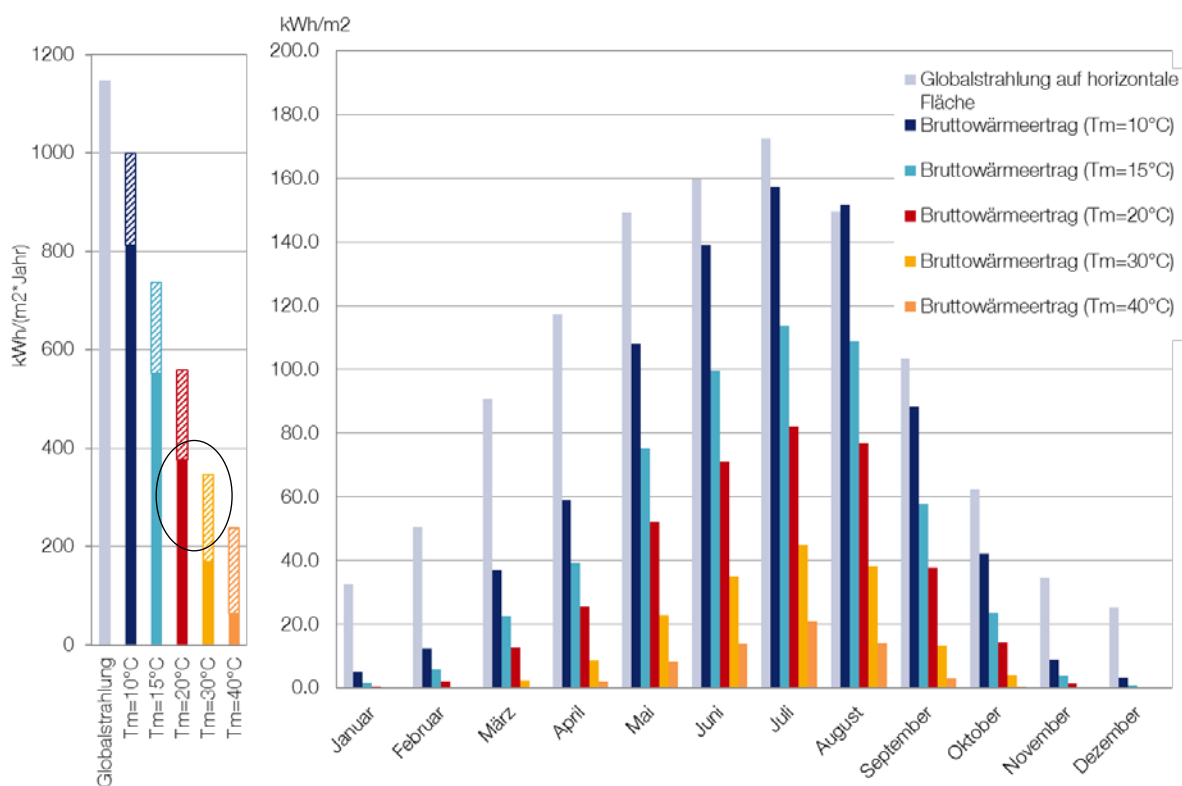


Abb. 6 Wärmeenergieertrag des Hybridkollektors aus Simulation mit Standort Bern (10°-Aufständigung und Süd-Ausrichtung).

³ Die Messungen hören Anfangs Oktober auf.

Erdsonden: Energiebilanz und Temperaturen

Die drei Erdsonden mit je 150 m Tiefe werden durch die Wärme der Solar-Hybridanlage und die Gebäudekühlung regeneriert. In der Auswertung der Erdsondentemperaturen wird zwischen den Solar regenerierten Sonden (Temperatur Erdsonde 1+2) und der Temperatur aller drei Sonden zusammen (Temperatur Erdsonden gesamt) unterschieden. Siehe dazu auch Abb. 4.

Im ersten Betriebsjahr (2013) war die Regeneration durch die Solar-Hybridanlage (PVT) fälschlicherweise ausgeschaltet, was die Messung von 30 kWh belegt (Tab. 3, Abb. 6) und durch die Fernüberwachung der Anlage bemerkt wurde.

Der Grad der Regeneration, also der durch die Solar- und Gebäudewärme eingespeiste Energie-Anteil, stieg von 20% im ersten auf 66% im dritten Betriebsjahr.

Die höchste Monatstemperatur der Erdsonden steigt durch die einsetzende Regeneration von 11°C im August 2013 (Abb. 6) auf 19°C im August 2015 (Abb. 8).

Die tiefste Monatstemperatur pendelt in den drei Jahren zwischen 5 und 6°C (Abb. 6, Abb. 7, Abb. 8) während sich der Netto Bezug aus den Sonden (Netto Bezug, Tab. 3) von rund 18'000 auf 3'600 kWh reduziert.

Die Regeneration der Erdwärmesonden 1 und 2 setzt in den Jahren 2014 und 2015 erst ab Juli ein, (Abb. 9 und Abb. 11) da während der Sommermonate die Solarwärme in erster Priorität für die Beheizung des Schwimmbades verwendet wird (Abb. 13 bis Abb. 15).

Der Effekt der Regeneration der Erdsonden kann streng genommen erst nach fünf bis zehn Jahren abschliessend beurteilt werden, weshalb die bisherige Temperaturentwicklung der Sonden nur als Indikator verwendet werden kann.

	2013	2014	2015*
Bezug	-22'945	-15'879	-11'011
Regeneration durch Kühlung	+4'671	+1'660	+811
Regeneration durch PVT	+30	+5'052	+6'518
Regeneration Erdsonden	20%	42%	66%
Netto Bezug	18'244	9'167	3'682

Tab. 3 Energiebilanzen der Erdsonden in kWh. In Rot der ausgeschaltete Regenerationsmodus. *Die Regeneration im 2015 liegt in der Realität noch höher, wegen unvollständiger Daten kann der korrekte Wert nicht ermittelt werden.

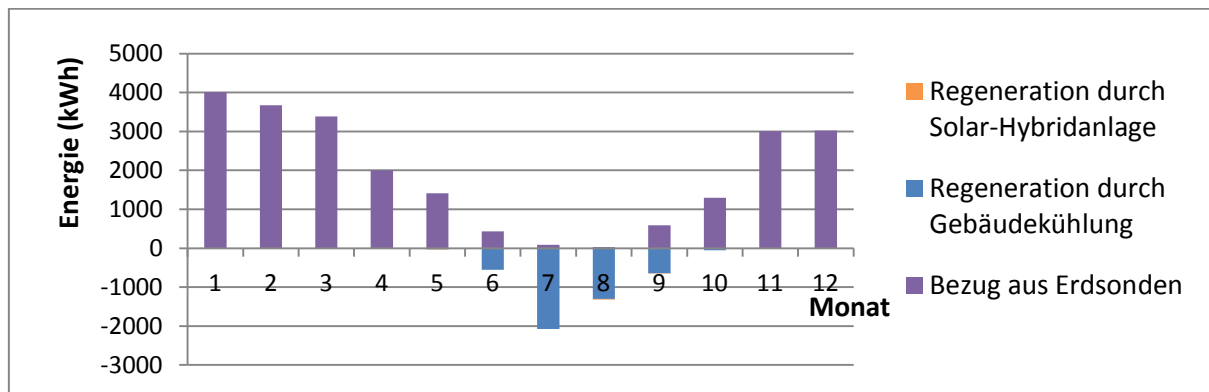


Abb. 7 Energiebilanz Erdsonden 2013.

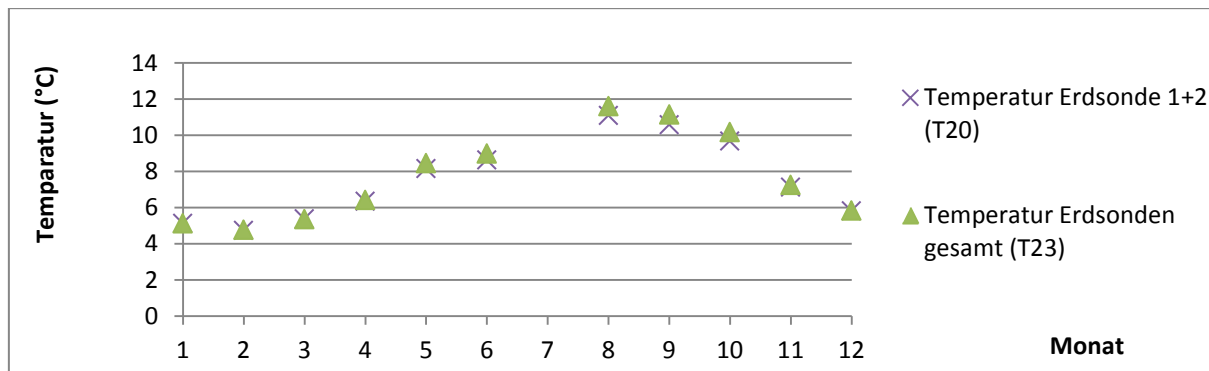


Abb. 8 Temperatur der Erdsonden 2013, gemessen bei Energiebezug. Erdsonden 1+2 werden durch die Solar-Hybridanlage regeneriert. Fehlende Datenpunkt wegen Ausfall des Aufzeichnungsgeräts. „Erdsonden gesamt“ sind alle 3 Erdsonden.

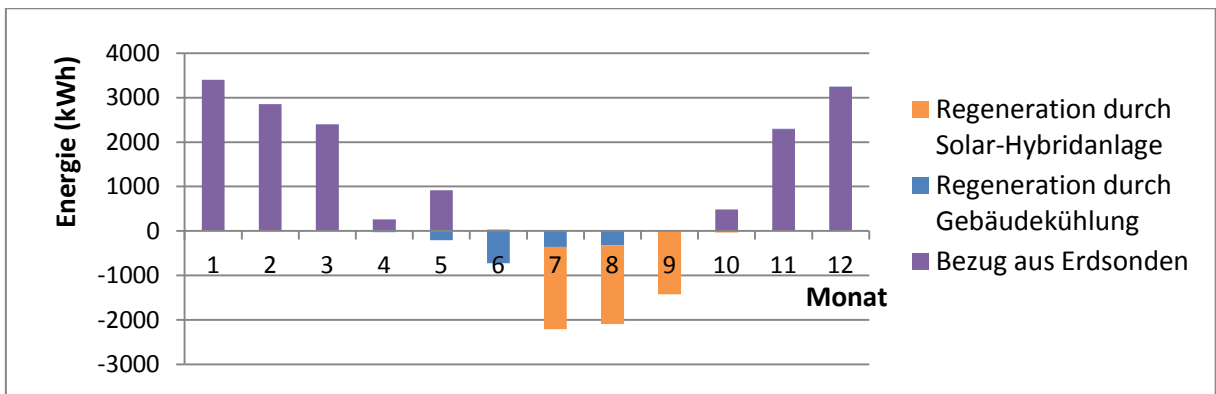


Abb. 9 Energiebilanz Erdsonden 2014.

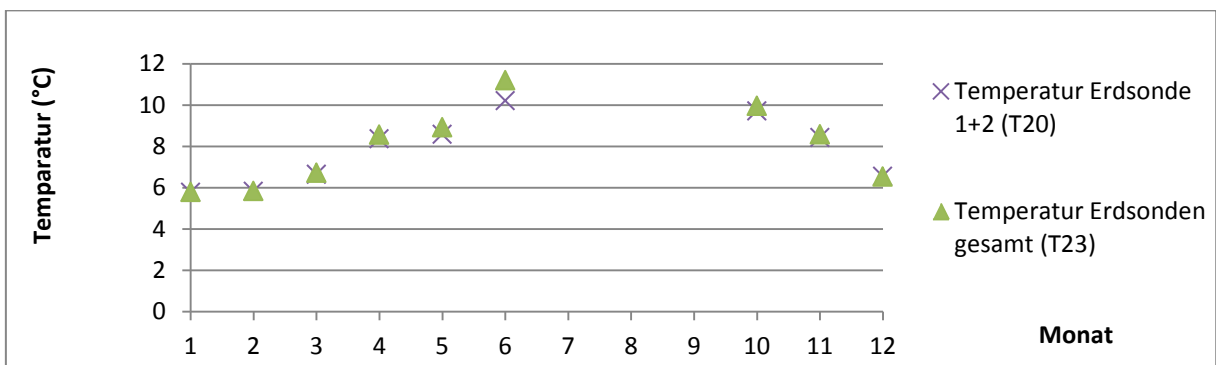


Abb. 10 Temperatur der Erdsonden 2014, gemessen bei Energiebezug. Erdsonden 1+2 werden durch die Solar-Hybridanlage regeneriert. Fehlende Datenpunkte wegen Ausfall des Aufzeichnungsgeräts. „Erdsonden gesamt“ sind alle 3 Erdsonden.

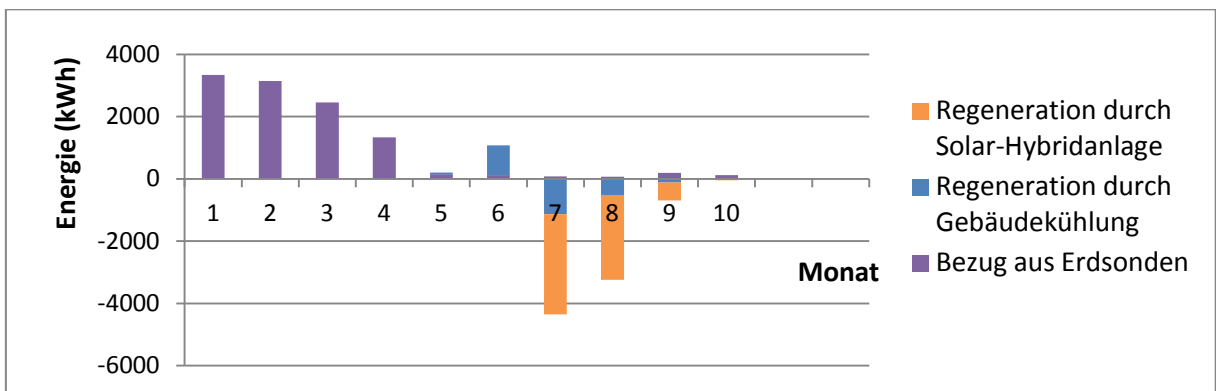


Abb. 11 Energiebilanz Erdsonden 2015.

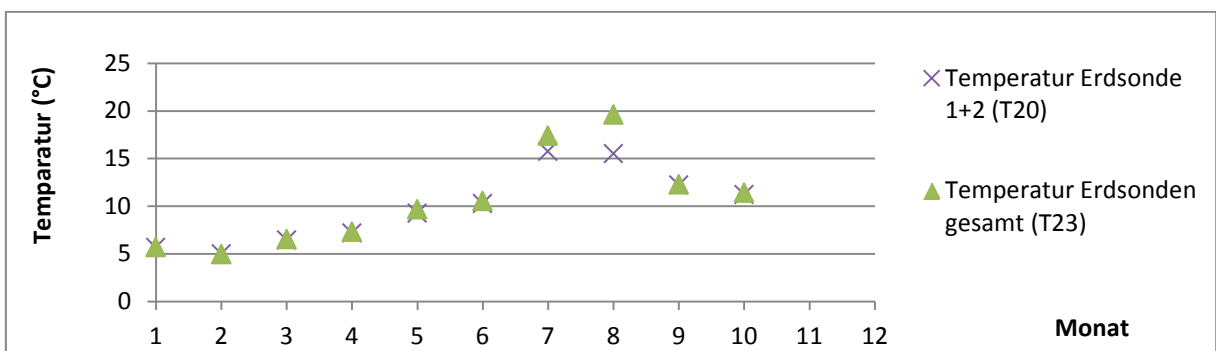


Abb. 12 Temperatur der Erdsonden 2015, gemessen bei Energiebezug. Erdsonden 1+2 werden durch die Solar-Hybridanlage regeneriert. „Erdsonden gesamt“ sind alle 3 Erdsonden.

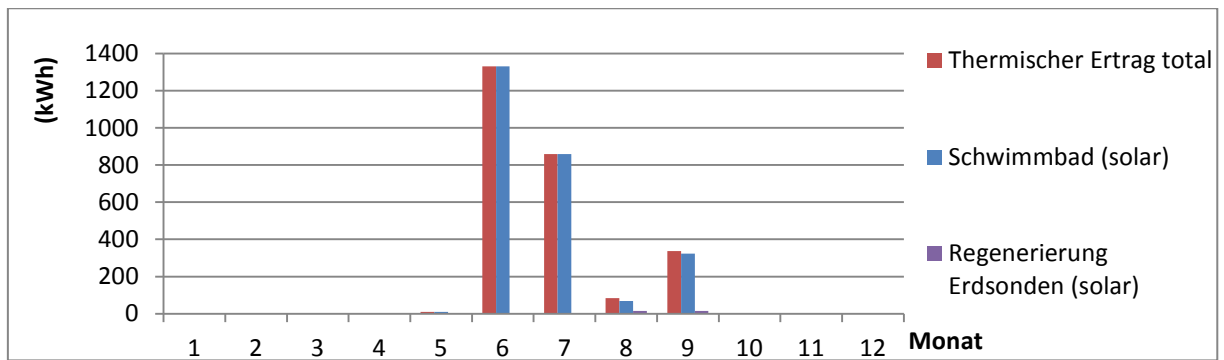


Abb. 13 Verwendung der Solarwärme 2013.

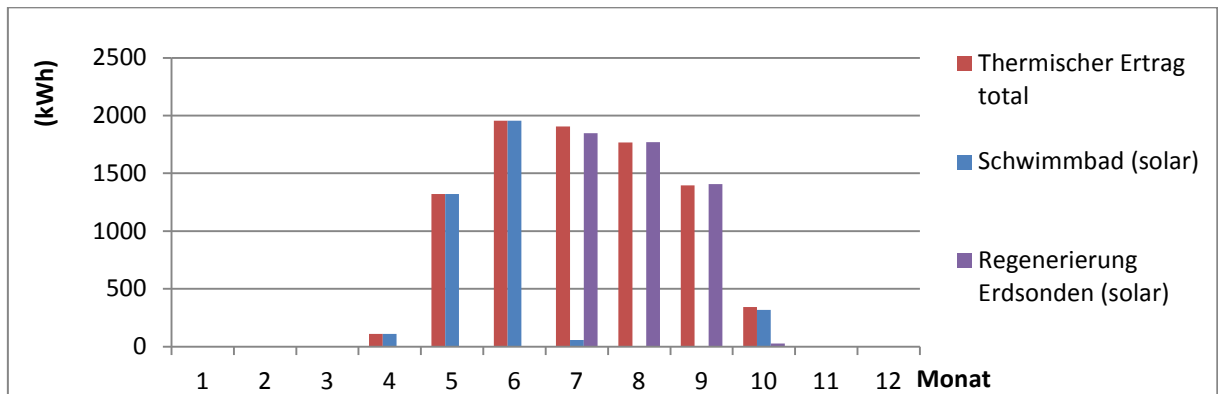


Abb. 14 Verwendung der Solarwärme 2014.

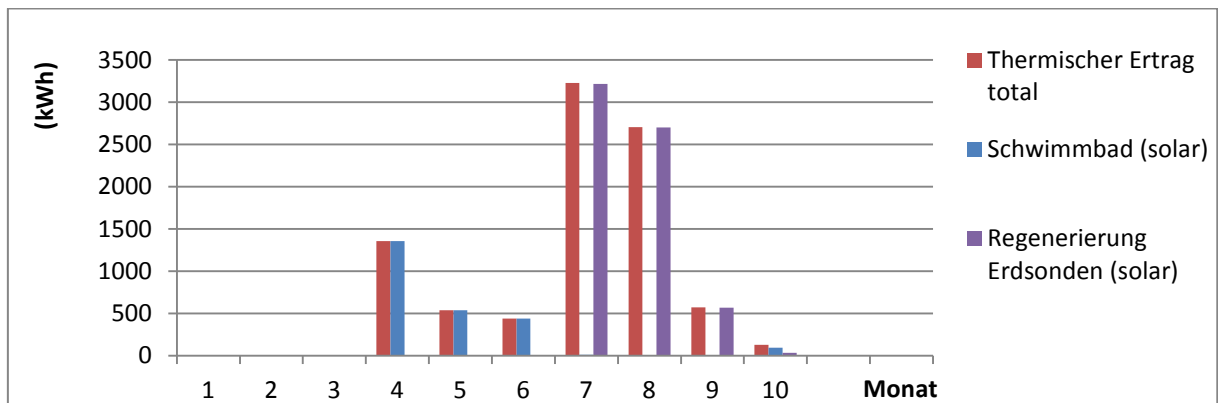


Abb. 15 Verwendung der Solarwärme 2015. Der abnehmende thermische Ertrag in den Monaten Mai und Juni ist den Ausfällen der Messinstallation zuzuschreiben.

Wärmeerzeugung

Die Abb. 12 bis Abb. 14 zeigen die Produktion von Wärmeenergie für das Heizen und die Warmwasseraufbereitung überlagert mit der Erdsonden- und Umgebungstemperatur. Auffällig ist der verhältnismässig geringe Energieverbrauch für die Warmwasseraufbereitung.

Die Überlagerung der Temperatur mit der Wärmeproduktion zeigt, dass die Wärmepumpe meist dann in Betrieb ist, wenn die Umgebungstemperatur (Mittlere Monatstemperatur) unter der Erdsondientemperatur liegt. Hieraus sollten sich die gewünschten Effizienzvorteile einer erdsondengekoppelten Wärmepumpe erwachsen. Stabile und leicht erhöhte Quelltemperaturen durch die solare Regeneration ermöglichen bei kalter Witterung eine deutliche Einsparung an elektrischer Energie für die Wärmeaufbereitung. Die gemessenen Jahresarbeitszahlen schwanken jedoch zwischen 3.16 und 3.23 und erfüllen diese Erwartungen in keiner Weise (siehe unten Tab. 4).

Der Vergleich mit den Auslegungsdaten eines bekannten Wärmepumpenherstellers gibt für eine Temperaturerhöhung von 0°C auf 35°C einen COP von gut 5 an. Über die Gründe für die schlechte Jahresarbeitszahl kann auf Grund der vorhandenen Daten nur spekuliert werden. Die Einflussfaktoren können von einer ungünstigen Installation der Wärmepumpe bis hin zu Fehlern im Steuer- und Regelalgorithmus herrühren.

	2013	2014	2015
Durchschnittliche Temperaturerhöhung [°K]	33.6	33.2	27.1
Jahresarbeitszahl gemessen (JAZ)	3.23	3.18	3.16

Tab. 4 Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb.

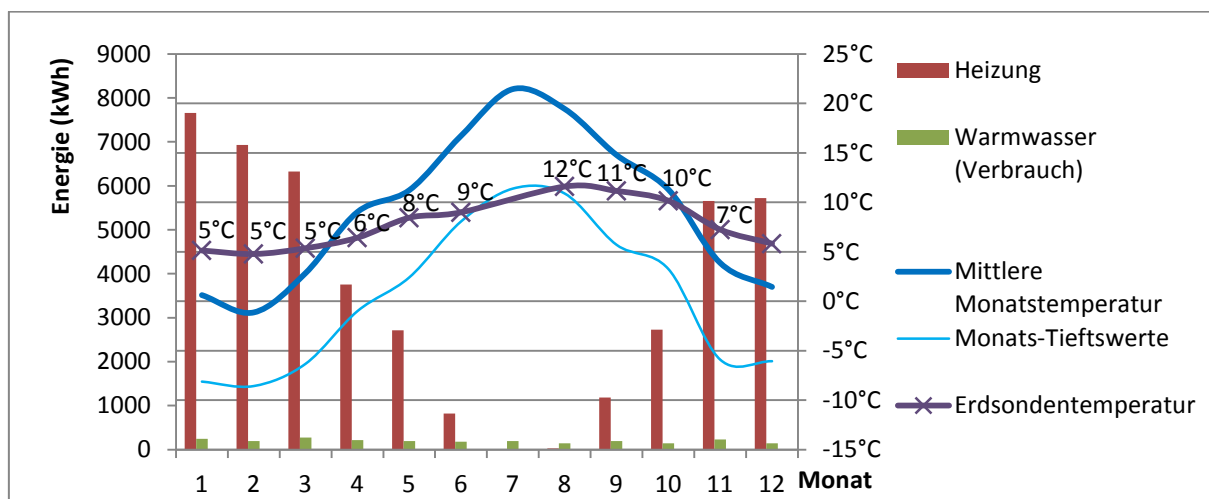


Abb. 16 Wärmeproduktion, Erdsonden- und Umgebungstemperaturen 2013.

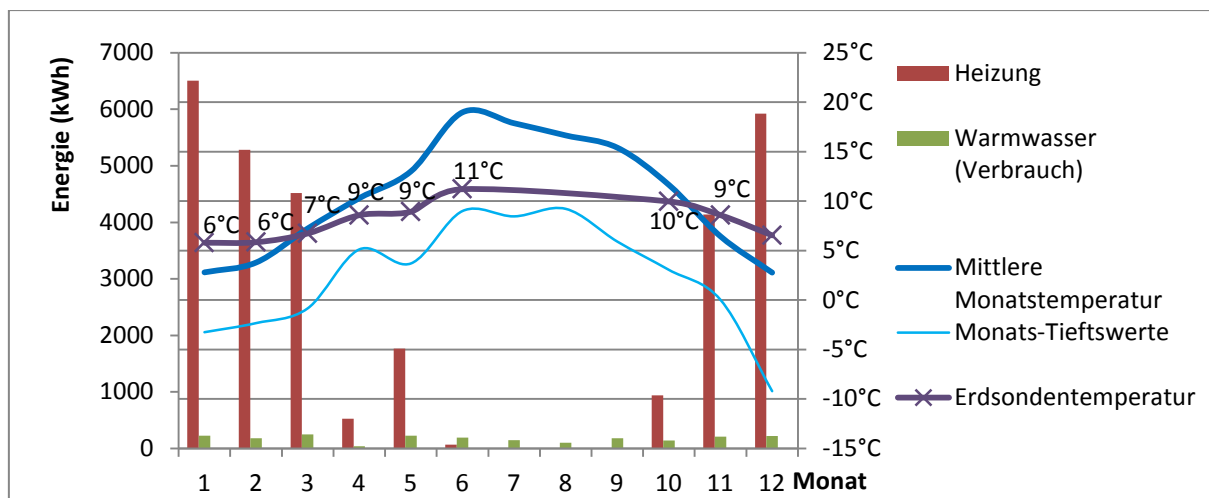


Abb. 17 Wärmeproduktion, Erdsonden- und Umgebungstemperaturen 2014. Für die Monate Juni, Juli August fehlen die Erdsondientemperaturen.

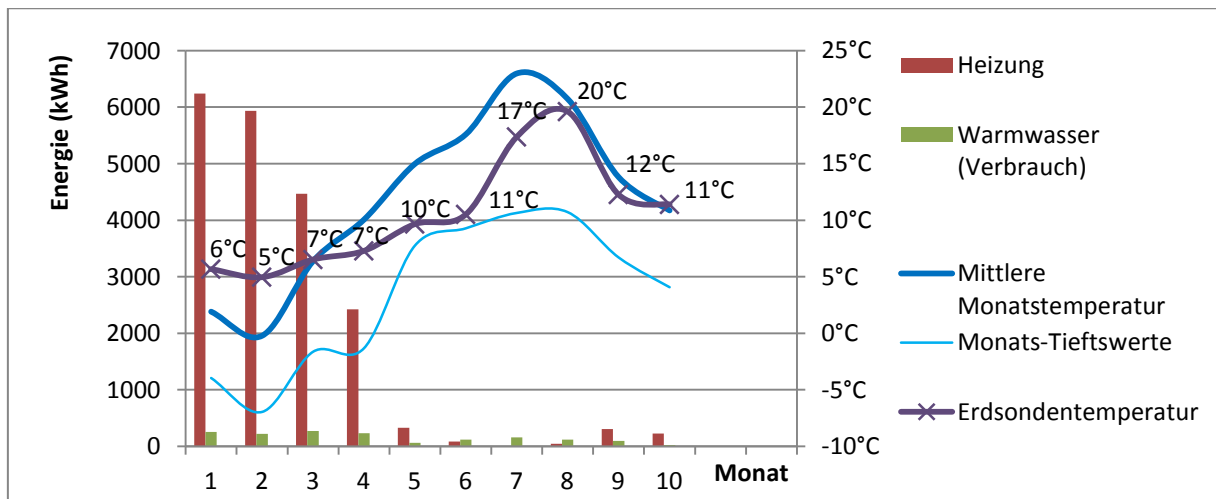


Abb. 18 Wärmeproduktion, Erdsonden- und Umgebungstemperaturen 2015.

Diskussion und Würdigung der Ergebnisse

Die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Messprojekt sind die folgenden:

1. Die Regeneration der Erdwärmesonden mit Hybridkollektoren funktioniert nach der Steuerungsoptimierung sehr gut und zuverlässig (nach der Optimierung der Steuerung über die gemessenen drei Jahre)
2. Komplexe Anlagen wie diese (mit Schwimmbad, Gebäudekühlung, Hybridkollektoren, Erdwärmesonden) müssen mindestens in den ersten Jahren überwacht und optimiert werden.
3. Durch die Überwachung der Anlage konnte eine massive Verbesserung der Regeneration vom ersten bis ins dritte Jahr erreicht werden
4. Die Anlage muss unterhalten werden. Um Verschattungen durch Pflanzenwuchs bzw. Unterhaltsarbeiten zu vermeiden, empfiehlt Meyer Burger immer den Einbau von wasserdurchlässigen Kunststoffabdeckfolien unter dem Modulmontagesystem.
5. Die Messeinrichtungen für das Überwachungsprojekt genügten industriellen Standards nicht und daher können im Bericht nur lückenhafte Resultate präsentiert werden. Das ist für uns enttäuschend.

Insgesamt können also sehr wichtige Rückschlüsse gezogen werden in den ersten drei Betriebsjahren. Die Anlage läuft, konnte optimiert werden und das Gesamtkonzept funktioniert. Allerdings sind die Resultate gemessen an den Zielsetzungen nicht in allen Punkten überzeugend.. Insbesondere enttäuschend ist der letzte Punkt 5.

Dazu kann zusammenfassend festgehalten werden, dass es für die fehlende Datenqualität eine Vielzahl an Gründen gibt: der mehrfache Ausfall der Messinstallation während längerer Perioden, die knappen Ressourcen für eine technisch zuverlässige Messapparatur, die schlechte Zugänglichkeit der Messinstallation oder die ungenügende Wartung der Solaranlage. Vertieft betrachtet hätten wir gerne die tiefe gemessene Jahresarbeitszahl, die fehlenden Daten über längere Zeitperioden verunmöglichten die notwendige Analyse leider.

Weiter verbessert werden sollte die Zusammenarbeit mit den vielen involvierten Parteien vor allem nach der Inbetriebnahme der Anlage. In Anbetracht der Komplexität dieser speziellen Energieanlage, der stark fragmentiert arbeitenden Partner und der fehlenden ökonomischen Anreize nach der Inbetriebnahme das System zu optimieren, ist es erklärbar, dass die Beteiligten für eine Optimierung schwierig zu motivieren sind. Trotzdem können für die kommerzielle Umsetzung von Low-Ex-Gebäude-Energiesystemen nach dem 2Sol-Konzept (www.2sol.ch) Empfehlungen gemacht werden. Die Zusammenarbeit der involvierten Parteien muss bereits bei der Auftragsvergabe auch für die Betriebsphase geregelt und eine zuverlässige Überwachung, Optimierung und Unterhalt sichergestellt werden.

Das erst in den letzten beiden Jahren aufgetauchte Thema des Eigenverbrauchs von selbst produziertem Solarstrom muss zusätzlich integriert werden und kann das Gesamtsystem ökonomisch interessanter gestalten. Dies bedeutet aber erneut einen weiteren Schritt in Richtung Integration von Strom und Wärme in ein System. Diese Komplexität verlangt nach einer Reduktion bzw. noch klareren Definition der Schnittstellen. Das beinhaltet die gesamte Wertschöpfung vom Verkauf über die Planung, die Installation und die Betreuung der Anlage nach der Inbetriebnahme bis zum Rückbau. Um den Bedürfnisse der Bauherren möglichst gerecht zu werden und die Kosten weiter zu senken sind Gesamtsysteme aus einer Hand ein möglicher Ansatz. Die Abstimmung der Schnittstellen im Gesamtsystem ermöglicht zum einen die Investitionskosten zu senken und zum anderen die Erreichung einer hohen Systemeffizienz. Dazu gehört auch eine Überwachung der Anlage während mindestens zweier Jahre um das korrekte Funktionieren zu kontrollieren und die Anlage auf die Benutzer einzustellen.

Schlussfolgerungen, Ausblick, nächste Schritte nach Projektabschluss

Energiesysteme nach dem Low-Ex-Zero-Emission-Konzept wecken zunehmend das Interesse von Entscheidungsträgern, insbesondere bei grossen Bauvorhaben. In den vergangenen Jahren wurden eine ganze Hand voll grössere Objekte realisiert. Es scheint, dass die etablierten Abläufe und Geschäftsmodelle in der Bauindustrie hinterfragt und neue Ansätze gefunden werden müssen, um moderne Energieanlagen erfolgreich zu verkaufen, planen, installieren und betreiben.

Auf der technischen Seite bietet das Pilot- und Demonstrationsprojekt der Energieanlage der Wohnüberbauung Oberfeld in Ostermundigen mit dem zugehörigen vom Bundesamt für Energie ebenfalls geförderten P+D-Projekt die Möglichkeit, weiterhin offene Fragen zu beantworten. Die Anlage Oberfeld ist eine solar regenerierte und erdsondengekoppelte Wärmepumpenanlage und wird durch das Solarinstitut Rapperswil (SPF) und Meyer Burger AG vermessen. Die Ergebnisse des ersten Messjahres sind sehr erfreulich und erfüllen die Erwartungen.

Die Messungen an der hier beschriebenen Anlage werden nicht weiter geführt. Die Objektart (grosses EFH mit Schwimmbad und gekühltem Weinkeller) ist sehr spezifisch und ermöglicht nur eine beschränkte Übertragung der Ergebnisse auf andere Objekte. Eine notwendige Investition von Seiten Meyer Burger für eine zuverlässigere Datenerfassung wird entsprechend nicht getätigt.

Am interessantesten wäre eine Weiterführung der Messungen der Erdsondentemperaturen. Die Regeneration der Sonden zeigt womöglich erst nach Jahrzehnten einen positiven Effekt. Die beschränkte Beobachtungszeit von drei Jahren ist noch zu abhängig von saisonalen Wetterschwankungen.

Wir bedanken uns bei folgenden involvierten Parteien:

- BFE, Bern (Finanzielle Unterstützung)
- Bauherrschaft (Bereitschaft für das Projekt und Gewähren des Zugangs)
- SPF, Rapperswil (Mithilfe bei der Datenauswertung)
- NTB, Buchs (Datenerfassung)
- Allen weiteren mitwirkenden Firmen, insbesondere für die Anpassungen bei der Steuerung und Regelung
- Allen involvierten Mitarbeitenden von Meyer Burger (ehemals 3S Swiss Solar Systems AG)