



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 09.05.2016

Standardisierte Hardware für Betriebsüberwachung von Sonnenkollektoranlagen

Auftraggeber:

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

Auftragnehmer:

Egon AG
General Wille-Str. 59
CH-8706 Feldmeilen
www.egonline.ch
(Projektkoordination)

Hoval AG
General Wille-Str. 201
CH-8706 Feldmeilen

Stadt Luzern Immobilien
Hirschengraben 17
CH-6002 Luzern

Autoren:

Sandra Stettler, Egon AG, sandra.stettler@egonline.ch
Dominik Annen, Hoval AG, dominik.annen@hoval.ch
Simon Alge, Stadt Luzern Immobilien, Simon.Alge@stadtluzern.ch

BFE-Bereichsleiter:	Yasmine Calisesi
BFE-Programmleiter:	Jean-Christophe Hadorn
BFE-Vertragsnummer:	SI/501085-01

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

Zusammenfassung

In diesem Projekt wurde eine standardisierte Hardware für das Monitoring von Solarthermieranlagen entwickelt. Die Hardware konnte soweit vereinfacht werden, dass sie bei jeder beliebigen Anlage und von einem beliebigen Solarinstallateur innerhalb von weniger als 2 Stunden in Betrieb genommen werden kann. Das Monitoringsystem wurde bei 13 Solarthermieranlagen während einem Jahr ausgetestet. Innerhalb dieser Testphase konnte der jährliche Ertrag dieser Anlagen um durchschnittlich über 20% gesteigert werden. Der Betreiber der Anlagen spart nun jährlich ca. CHF 9'000.- an Heizkosten. Am Projektende lagen die Kosten für das Monitoringsystem noch bei ca. CHF 1'750.-, womit das System für Anlagen ab ca. 25 m² Kollektorfläche finanziell interessant ist. Im Projekt konnte die notwendige Hardware auf 4 Temperatursensoren reduziert werden. Das erlaubt es, in Zukunft einen einfacheren, kostengünstigeren Datenlogger zu verwenden. Damit wäre es möglich, die Kosten auf ca. CHF 1'000.- über 15 Jahre Nutzungsdauer zu senken. Damit wäre das Monitoringsystem auch für Anlagen auf EFH wirtschaftlich. Es ist ein Folgeprojekt geplant, um diese Weiterentwicklung umzusetzen. Das Webportal und die aktuelle Version der Hardware werden von Egon AG bereits auf dem Markt angeboten. Rund 200 Solarthermieranlagen nutzen bereits das Webportal egonline.solarthermie.ch.

Résumé

Dans ce projet, on a développé un kit de monitoring standardisé pour des systèmes de chauffages solaires. Le kit de monitoring a été simplifié énormément. Maintenant il est possible pour n'importe quel installateur solaire de le mettre en place en moins de 2 heures sur n'importe quel système solaire. On a testé le kit sur 13 systèmes solaires pendant une durée de un an. Pendant cette phase de test, il a été possible d'augmenter le rendement des systèmes de 20% en moyenne. Cela a réduit les frais de chauffage de ces 13 systèmes de CHF 9'000.- par année. A la fin du projet, un kit valait env. CHF 1'750.-, ce qui le rend intéressant pour des systèmes avec plus de 25 m² de surface. Durant ce projet il a été possible de réduire le nombre de senseurs à 4 détecteurs de températures. A l'avenir cela permettra d'utiliser un enregistreur plus simple et moins cher. On pourrait ainsi réduire les coûts à environ CHF 1'000.-. En conséquence, le kit deviendra économiquement intéressant pour des systèmes solaires dans des maisons individuelles. Il est prévu de continuer avec un nouveau projet pour tester cet enregistreur meilleur marché. Egon AG offre le portail web et l'enregistreur actuel aux opérateurs professionnels de systèmes de chauffages solaires. Environ 200 systèmes sont déjà enregistré dans le portail web « egonline.solarthermie.ch ».

Abstract

In this project we developed a standardized monitoring hardware for solar thermal systems. During the project, it was possible to reduce the cost and the complexity of the monitoring hardware drastically. Now, the same monitoring kit can be used for every kind of thermal system. It can be installed within less than 2 hours by any solar installer. The monitoring kit was tested during one year at 13 test systems. Thanks to the monitoring, the yield of the systems could be enhanced by 20% in average. This reduces the heating costs by CHF 9'000.- each year. The costs for one monitoring kit including installation and service for 15 years reach CHF 1'750.- now. This means, that the monitoring kit is financially interesting now for systems with at least 25 m² of collector surface. Within this project, the number of sensors could be reduced to 4 temperature sensors. Because no other sensor types are necessary any more, now it will be possible to use a simpler data logger. Data loggers that only measure temperatures are available for less than CHF 100.-. This means that the costs for the complete monitoring kit including installation and service can be reduced to approximately CHF 1'000.-. Thus, the monitoring kit gets profitable also for smaller solar thermal systems on family homes. It is planned to test the monitoring kit with a low-cost data logger in a new project. Egon AG already offers the web portal and the actual hardware kit to professional operators of solar thermal systems. Approximately 200 solar thermal systems are already registered on the web portal "egonline.solarthermie.ch".

Ausgangslage

In der Schweiz sind ca. 1.5 km² Solarthermiekollektoren mit einer Wärmeleistung von 1 MW installiert [1]. Es wird erwartet, dass diese jährlich über 600'000 MWh Wärme erzeugen [1]. Damit wird – zum allergrössten Teil – Brauchwarmwasser aufbereitet und somit Strom zur Brauchwassererwärmung gespart. Wird von einem Stromtarif von 20 Rp./kWh ausgegangen, entspricht dies jährlichen Einsparungen von über 120 Mio. CHF!

Mehrere Feldstudien [2] haben aber gezeigt, dass bis zu 1/3 der Solarthermie-Anlagen in der Schweiz deutlich weniger effizient ist als geplant, oder sogar überhaupt nicht funktioniert. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass tatsächlich nur etwa 400'000 MWh Wärme aus Solaranlagen erzeugt werden. Den Solaranlagenbesitzern entgehen somit pro Jahr Einsparungen in der Grössenordnung von 40 Mio. CHF.

Dabei wäre es in den meisten Fällen mit sehr einfachen Mitteln möglich, die Solaranlagen korrekt und optimal zu betreiben. Dies haben ebenfalls die Feldstudien gezeigt. Das Problem liegt darin, dass es bei Solaranlagen typischerweise keine Betriebsüberwachung gibt. Die – meist privaten – Anlagenbesitzer haben keine Möglichkeit festzustellen, ob ihre Anlage genügend Ertrag liefert. Sogar der Totalausfall einer Anlage wird oft jahrelang nicht bemerkt, da ja trotzdem immer Warmwasser vorhanden ist.

Im BFE-Projekt „Funktions-Check Sonnenkollektoranlagen“ [3] wurde ein Monitoringsystem für Solarthermieanlagen erarbeitet. Das dabei entwickelte Webportal „egonline.solarthermie“ wird mit Messdaten von Solaranlagen gefüttert und analysiert dann, ob die Anlage korrekt funktioniert. Es gab bisher aber keine Hardware, welche Messdaten bei der Anlage sammelt und an das Webportal sendet.

In diesem Projekt wird jetzt eine externe, standardisierte Hardware für die automatisierte Betriebsüberwachung von Solaranlagen getestet und für die Marktreife vorbereitet. Diese Hardware soll kostengünstig und zuverlässig die Messdaten der Anlage erfassen und an egonline.solarthermie senden. Somit wird der Betreiber informiert, sobald Reparatur- oder Optimierungsmassnahmen nötig werden. Damit soll dazu beigetragen werden, dass die Solaranlagen in der Schweiz den erwarteten Ertrag auch tatsächlich liefern.

Projektteam

Das Projekt wird durch Sandra Stettler von der Firma Egon AG geleitet. Zusätzlich ist die Firma Hoval AG (Dominik Annen) und die Immobilienverwaltung der Stadt Luzern (Simon Alge) am Pilotprojekt beteiligt.

Ziele der Arbeit

Um das Monitoringsystem „egonline.solarthermie“ zu komplettieren wird ein Messgerät entwickelt, welches kostengünstig und zuverlässig die Messdaten der Anlage erfasst und an egonline.solarthermie sendet.

Das Monitoringsystem soll folgende technischen Kriterien erfüllen:

- Versand von Servicemails bzw. Alarmmeldungen per Email an die zuständige Person, je nach Schwere der auftretenden Störung
- Sicherheit / Überprüfungsmöglichkeit dass die Anlage korrekt funktioniert und die geplante Leistung erbringt
- Das Messgerät inklusive Sensoren kann einfach, d.h. ohne Schweissen oder Ablassen des Wassers installiert werden. Dies auch nachträglich bei bereits bestehenden Anlagen.
- Die Installation des Messgeräts mit allen Sensoren sollte maximal 1 h dauern und bei jeder Solarthermie-Anlage, unabhängig vom Anlagensystem oder Lieferanten möglich sein.
- Die Installation des Messgeräts kann von jedem Installateur für Solarthermie-Anlagen problemlos installiert werden. Es ist kein weiteres Fachpersonal wie z.B. ein Elektriker oder ein IT-Spezialist für den Einbau und die Inbetriebnahme nötig

Das Monitoringsystem inkl. Messgerät soll bei mindestens 5 Solaranlagen während einem Jahr getestet werden. Während diesem Test soll folgendes festgestellt werden:

- Erfüllt das Monitoringsystem die oben beschriebenen technischen Kriterien?
- Konnte der Ertrag der Anlage dank dem Monitoringsystem gesteigert werden? Um wie viel?

- Liefern die Anlagen (dank dem Monitoringsystem) den erwarteten Ertrag?
- Wie teuer ist das Monitoringsystem (Investitions- und Betriebskosten)?
- Lohnt sich das Monitoringsystem finanziell?
- Welches Marktpotential hat das Monitoringsystem in der Schweiz?

Vorgehen / Methode

Das Projekt war in drei Teilschritte gegliedert. In einem ersten Schritt wurde bei zwei Pilotanlagen ausgetestet, welche Messungen notwendig sind und welche Sensoren und Messgeräte dafür in Frage kommen. Um die Kosten für das Monitoringsystem tief zu halten, sollen möglichst wenig Sensoren eingesetzt werden. Aufgrund der Erfahrungen mit den Pilotanlagen wurde dann die Messhardware zusammengesetzt.

Im zweiten Schritt wurden insgesamt 13 Solarthermieranlagen mit der Messhardware ausgerüstet. Es handelt sich um 10 Anlagen der Stadt Luzern, eine Testanlage der Firma Hoval und zwei private Solaranlagen auf Einfamilienhäusern. Diese Anlagen wurden während einem Jahr mit dem Monitoringsystem betrieben.

Im letzten Schritt wurden die Ertragsdaten der Anlagen ausgewertet und der Nutzen des Monitoringsystems bewertet. Anhand dieser Resultate wurden auch Verbesserungen für den zukünftigen Einsatz des Monitoringsystems erkannt und spezifiziert.

Die drei Teilschritte sind im Folgenden detailliert beschrieben:

1. Zusammenstellen Messhardware

Der Betriebszustand und der Ertrag einer Solarthermieranlage hängen von verschiedensten Messgrößen ab:

- Kollektortemperatur
- Speichertemperaturen
- Vor- und Rücklauftemperatur im Solarkreislauf
- Betriebszeit der Solarpumpe sowie allfälliger weiterer Pumpen und Ventile
- Anlagendruck
- Durchfluss im Solarkreislauf

Der grösste Teil der Solaranlagen in der Schweiz (ca. 90%) und auch alle Solaranlagen in diesem Projekt weisen im Solarkreis ein sehr einfaches Anlagenschema auf (s. Abb. 1). Dieses besteht aus einem Solarkollektorfeld und einem Solarspeicher. Das Solarregister befindet sich im unteren Teil des Speichers. Es gibt lediglich eine Solarpumpe, und keine Ventile im Solarkreislauf. Als Speichertemperatur ist lediglich die Temperatur auf Höhe des Solarregisters relevant. In diesem Projekt fokussierten wir uns auf Anlagen mit einem solch einfachen Anlagenschema.

Anhand von bestehenden Messdaten aus dem vorhergehenden BFE-Projekt [3] und der zwei Pilotanlagen wurde untersucht, welche Sensoren für das Monitoring unbedingt erfasst werden müssen. Es wurden auch verschiedene Sensortypen ausgetestet, um diejenigen mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis zu finden. Das Ergebnis – ein Messhardware-Kit – ist im Kapitel „Ergebnisse/Erkenntnisse“ zusammengestellt.



Abb. 1: Anlagenschema der Solaranlagen in diesem Projekt

2. Ausrüstung Test-Solarthermieranlagen

13 Solarthermieranlagen wurden mit dem Messhardware-Kit ausgerüstet. Alle Anlagen waren bereits in Betrieb. Das Monitoring wurde also bei allen Anlagen nachträglich eingebaut. Die 13 Solarthermieranlagen haben sehr unterschiedliche Eigenschaften. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die technischen Eigenschaften der Solaranlagen.

Tabelle 1: Anlagengrößen und Inbetriebnahme des Monitorings

Anlagen-Name	Kollektorfläche (m ²)	Inbetriebnahme Monitoring	Spezielles
Allm	50	Seit 19.11.14	
Baue	9	Seit 16.4.15	Für Brauchwarmwasser und Heizungsunterstützung
EFHW	9	Seit 23.5.15	
FCKi	27	Seit 28.1.15	
MFHR	18	Seit 23.12.14	
MFHW	10	Seit 20.3.15	
STIL	32	Seit 24.11.14	Für Brauchwarmwasser und Heizungsunterstützung
SchuM	39	Seit 30.3.15	Vorwärmung Brauchwarmwasser
SchuS	7	Seit 22.12.14	
THTr	27	Seit 14.4.15	
Trai	5	Seit 2.3.15	Testanlage Hoval, wird zu Schulungszwecken genutzt. Drain-Back Anlage.
Trib	6	Seit 7.4.15	Röhrenkollektoren. Anlage bei Freibad. Nur im Sommer in Betrieb.
Zube	3	Von 17.11.14 bis 20.8.15	Das Monitoring wurde wieder ausgebaut. Private Anlage eines Hoval-Mitarbeiters. Nach seiner Kündigung bei Hoval wurde das Monitoring bei seiner Anlage gestoppt.

Bei allen Solarthermieranlagen (ausser Zube) konnte eine Auswertung der Monitoringdaten bis April 2016 vorgenommen werden. Für die meisten Anlagen liegen somit Monitoringwerte von mindestens einem ganzen Jahr vor. Im Kapitel „Ergebnisse/Erkenntnisse“ werden die Monitoringverfahren bei allen Anlagen beschrieben.

3. Auswertung der Resultate

Um die Qualität und den Nutzen des Monitoringsystems zu beschreiben, wurden folgende Kenngrößen ermittelt:

- Erfüllt das Messgerät die technischen Spezifikationen aus dem Projektziel? Hier wurden vor allem die Aspekte „einfache Installation“ und „Sicherheit, dass die Anlage korrekt funktioniert“ bewertet. Die Installation wurde bei allen Anlagen von derselben Person ausgeführt. Dieser Installateur wurde zu seinen Erfahrungen bei der Installation befragt. Für den Aspekt „Sicherheit, dass die Anlage korrekt funktioniert“ wurde bei jeder Anlage die Anzahl abgesetzte Störungsmeldungen untersucht. Anschliessend wurde mit dem Anlagenbetreiber besprochen, ob die Störungsmeldungen gerechtfertigt sind. Weiter wurde der Anlagenbetreiber gefragt, ob weitere Störungen aufgetreten sind, die vom Monitoringsystem nicht erkannt wurden.
- Konnte der Ertrag der Anlage dank dem Monitoringsystem gesteigert werden? Um wie viel? Zuerst wurde mit dem Anlagenbetreiber geklärt, bei welchen Anlagen während der Monitoringperiode eine Sanierung oder Optimierung durchgeführt wurde. War dies bei einer Anlage der Fall, wurde der Wirkungsgrad der Anlage vor und nach der Sanierung anhand der Daten im Monitoringsystem ermittelt.
- Liefern die Anlagen (dank dem Monitoringsystem) den erwarteten Ertrag? Der Jahresertrag der Anlagen wurde mit dem Monitoringsystem ermittelt, ebenso die Solarstrahlung auf die Kollektorfläche. Als Soll-Ertrag wurden die spezifischen Erträge gemäss dem SPF Online Kollekt-

torkatalog [4] angenommen, welche für eine durchschnittliche, südausgerichtete Anlage im Mittelland gelten. Dies bei einer jährlichen Einstrahlung von ca. 1'219 kWh/m² auf die Kollektorebene (siehe Tabelle 2). Der jährliche Sollertrag der 13 Testanlagen wurde dann durch eine lineare Korrektur mit der tatsächlichen Einstrahlung ermittelt:

- $\text{Sollertrag}_{\text{Anlage X}} = \text{Sollertrag nach Tabelle 2} \times \text{Solarstrahlung}_{\text{Anlage X}} / 1'219 \text{ kWh/m}^2$
- Wie teuer ist das Monitoringsystem (Investitions- und Betriebskosten)? Bei den 13 Testanlagen wurden die Kosten des Monitoringsystems ermittelt. Da es sich um einen Test mit lediglich 13 Anlagen handelt, sind die Stückkosten natürlich deutlich höher als nach Markteinführung bei einer grösseren Stückzahl Anlagen. Auf Basis der Kosten in diesem BFE-Projekt wurde abgeschätzt, wie teuer die Investitions- und Betriebskosten für eine Serie von 100, 250 und 500 Anlagen wäre.
- Lohnt sich das Monitoringsystem finanziell? Um diese Frage zu beantworten, wurden die Kosten für das Monitoringsystem mit der Ertragssteigerung verglichen. Für verschiedene Anlagentypen und Anlagengrössen wurde untersucht, ob das Monitoringsystem wirtschaftlich ist.
- Welches Marktpotential hat das Monitoringsystem in der Schweiz? Gemäss Markterhebung Sonnenenergie [1] sind in der Schweiz ca. 88'000 Solarthermieranlagen installiert. Rund 85% davon befinden sich auf Einfamilienhäusern, weitere gut 10% auf Mehrfamilienhäusern. Die restlichen 5% verteilen sich auf Industrie, Dienstleistungsgebäude und die öffentliche Hand. Aufgrund der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde abgeschätzt, in welchem Marktsegment das Monitoringsystem die besten Marktchancen hat und wie viele Monitoringsysteme höchstwahrscheinlich verkauft werden könnten.

Tabelle 2: jährlicher spezifischer Soll-Ertrag nach SPF Online Kollektorkatalog

Anlagen-Typ	Jährlicher Soll-Ertrag Flachkollektor (kWh/m ²)	Jährlicher Soll-Ertrag Röhrenkollektor (kWh/m ²)
Brauchwarmwasser	500	600
Wasservorwärmung	750	750
Heizungsunterstützung	350	450

Ergebnisse / Erkenntnisse

Um das Monitoringsystem „egonline.solarthermie“ zu komplettieren wird ein Messgerät entwickelt,

1. Zusammenstellen Messhardware

Ziel der Messung ist es, bei einer Anlage mit einfachem Anlagenschema die korrekte Funktion festzustellen und den Ertrag der Anlage abzuschätzen. Die Sensoren für das Monitoringsystem werden parallel zu den bereits installierten Sensoren für die Regelung der Solaranlage installiert. Für das Monitoring sollen möglichst wenige Sensoren benötigt werden und die Installation sehr einfach sein. Die korrekte Funktion umfasst vor allem folgende Kriterien:

- An einem sonnigen Tag ist die Anlage in Betrieb und lädt den Speicher (sofern er nicht schon die Maximaltemperatur erreicht hat)
- Ist die Anlage in Betrieb, erreicht sie einen vernünftigen Wirkungsgrad
- Nachts, bzw. wenn die Sonne nicht scheint ist die Anlage nicht in Betrieb

Zu Beginn des Projekts war klar, dass die Speichertemperatur gemessen werden soll. Daraus wird ersichtlich, ob und wann der Speicher geladen wird und wann der Speicher voll ist. Es stellte sich heraus, dass die nachträgliche Installation eines Speicherfühlers teilweise recht aufwändig ist. Meistens ist auf Höhe des Solarregisters keine Tauchhülse mehr frei, um einen Speicherfühler zu platzieren. Die Ummantelung des Speichers muss dann entfernt werden, und ein Anlegefühler aussen auf den Speicher geklebt werden. Es zeigte sich auch, dass kritisch ist, auf welcher Höhe im Solarregister der Speicherfühler installiert wird. Liegt der Fühler bei einem sehr grossen Speicher zu weit unten im Solarregister, erkennt er keinen Temperaturanstieg. Denn aufgrund der Schichtung im Speicher wird oft nur der oberste Teil des Speichers erwärmt.

Ebenfalls zu Beginn des Projekts war klar, dass die Vor- und Rücklauftemperatur auf Höhe der Solarpumpe gemessen werden. Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur wird benötigt, um eine Ertragsabschätzung zu erhalten. Das Messen von Vor- und Rücklauftemperatur ist einfach mit einem Rohranlegefühler möglich. In diesem Projekt wurden verschiedene Rohranlegefühler ausgetestet. Am praktikabelsten hat sich ein 1-wire Temperatursensor mit selbstklebender Oberfläche und RJ45-Stecker erwiesen (s. Abb. 2). Die selbstklebende Oberfläche kann schnell am Vor- bzw. Rücklaufrohr angebracht werden. Dank der Steckverbindung können die Sensoren schnell und ohne zu schrauben montiert werden.

Ebenfalls bereits zu Beginn des Projekts war klar, dass auf folgende Messungen verzichtet wird:

- Kollektortemperatur: Damit entfällt die aufwändige (nachträgliche) Installation eines Temperaturfühlers auf dem Dach. Die Kollektortemperatur ist für die Regelung der Anlage zwar extrem wichtig, um den genauen Zeitpunkt für das Ein- und Ausschalten der Anlage zu bestimmen. Für das Monitoring kann darauf aber verzichtet werden, da anhand der anderen Messdaten klar ist, ob und wann die Anlage in Betrieb war.
- Durchfluss-Messgerät : Um den Ertrag abzuschätzen wird ein konstanter mittlerer Durchfluss angenommen, der im Webportal hinterlegt werden kann. Die meisten Solarregler ermitteln den Durchfluss ebenfalls auf diese Weise. Dies ist zwar relativ ungenau. Aber der Einbau eines Durchflusszählers ist sehr aufwändig. Insbesondere muss die Anlage komplett entleert werden.

Unklar war zu Beginn des Projekts, wie die Betriebszeit der Anlage erfasst werden soll. Die Betriebszeit der Anlage ist eine sehr wichtige Grösse für die Funktionsbewertung. Ein Elektriker kann zwar einfach über ein Relais die Betriebszeit erfassen. Ein Solarinstallateur hat aber nicht die nötige Ausbildung, um ein Relais zu installieren. In diesem Projekt wurde deshalb zuerst ein Pumpendetektor entwickelt (s. Abb. 3). Dieser erkennt berührungslos, ob an einem Kabel Spannung anliegt. Der Pumpendetektor kann einfach an das Kabel der Solarpumpe angelegt werden und detektiert, wann die Pumpe mit Spannung versorgt wird. Bei allen Testanlagen wurde ein solcher Pumpendetektor installiert. Er funktionierte in den meisten Fällen einwandfrei. Die Herstellung eines Pumpensensors erforderte aber einen Zeitaufwand von gut zwei Stunden. Die dadurch entstehenden Kosten sind für das Monitoring nicht tragbar. Wenn der Pumpensensor automatisiert hergestellt würde, wären die Herstellungskosten deutlich tiefer. Dazu wären aber grössere Serien von mehreren tausend Stück notwendig. Diese sind zumindest bei Beginn der Markteinführung nicht zu erwarten.

Neben dem Pumpendetektor wurde bei allen Testanlagen ein Drucksensor installiert (s. Abb. 4). Dieser kann einfach durch Aufschrauben auf ein Entleerungsventil installiert werden. Der Anlagendruck kann zur Detektion von Luft im Solarkreislauf genutzt werden. Luft im Solarkreislauf führt zu einer erhöhten Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf sowie im schlimmsten Fall zu einem Anlagenstillstand. Es stellte sich während dem Projekt aber heraus, dass Luft im Solarkreislauf auch anhand der Veränderung der Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf erkannt werden kann. Zu Beginn bestand auch die Hoffnung, dass anhand des Druckunterschieds bei ein- bzw. ausgeschalteter Anlage die Betriebszeit der Anlage ermittelt werden kann. So sollte auf den Pumpendetektor verzichtet werden können. Es stellte sich aber heraus, dass die Druckunterschiede im Betrieb zu gering sind, um daraus die Betriebszeit ermitteln zu können.

Da sowohl der Pumpendetektor wie auch der Drucksensor nicht ideal sind, um die Laufzeit der Anlage zu bestimmen, wurde schlussendlich versucht, allein anhand der Temperaturmessdaten zu bestimmen, wann die Anlage in Betrieb ist. Bei einer „normal“ funktionierenden Anlage ist es problemlos möglich, aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf die Betriebszeit der Anlage zu bestimmen. Schwieriger wird es, wenn bei der Anlage ein Problem vorliegt: bedeutet eine Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf von über 40°C, dass die Anlage in Stagnation ist? Oder ist sie in Betrieb und es hat Luft im Kreislauf? Oder funktioniert sie sogar korrekt? Bedeutet nachts eine negative Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf und sinkende Speichertemperatur, dass die Anlage in Betrieb ist? Oder ist dies ein Zufall?

Gegen Ende des Projekts wurde dann bei einer Anlage noch eine weitere Alternative zur Bestimmung der Laufzeit getestet: Bei einer Anlage wurde zusätzlich zur Vorlauftemperatur auf Höhe der Solarpumpe noch die Temperatur direkt beim Eintritt der Vorlauftemperatur in den Speicher gemessen (S. Abb. 5). Die Idee ist folgende: Solange die Anlage in Betrieb ist, sollten die Vorlauftemperatur und die Temperatur bei Speichereintritt identisch sein. Denn der Volumenstrom benötigt nur wenige Sekun-

den, um von einem Messpunkt zum nächsten zu fließen. Wenn die Anlage ausgeschaltet ist, sollten sich die beiden Temperaturen hingegen unterscheiden. Denn die Temperatur auf der Höhe der Solarpumpe sinkt bei ausgeschalteter Anlage langsam auf Raumtemperatur ab. Die Temperatur direkt beim Speichereintritt hingegen bleibt in etwa auf Speichertemperatur. Abb. 6 zeigt einen Tagesverlauf der gemessenen Temperaturen im April. Anhand der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Speichereintritt kann tatsächlich sehr genau bestimmt werden, wann die Anlage in Betrieb war! Ob diese Messweise generell bei allen Solaranlagen so gut funktioniert muss noch ausgetestet werden. Die ersten Resultate deuten aber darauf hin, dass diese Messung zuverlässig funktioniert. Es kann evtl. sogar auf die Messung der Temperatur am Speicher verzichtet werden und statt dessen nur die Temperatur beim Speichereintritt verwendet werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Entwicklung der Mess-Sensorik während dem Projektverlauf:

Tabelle 3: Übersicht, welche und wie viele Sensoren mindestens installiert werden müssen, um das Monitoring der Anlage sicherzustellen. Die Anzahl notwendiger Sensoren konnte im Verlauf des Projekts deutlich gesenkt werden.

Bei den 2 Pilotanlagen installiert	- Vorlauftemperatur PT1000 - Rücklauftemperatur PT1000 - Speichertemperatur PT1000 - Anlagendruck - Wärmezähler - Pumpenlaufzeit ab Relais - Pumpenlaufzeit ab Pumpendetektor
Bei den 13 Testanlagen installiert	- Vorlauftemperatur 1-wire Sensor - Rücklauftemperatur 1-wire Sensor - Speichertemperatur 1-wire Sensor - Anlagendruck - Pumpenlaufzeit ab Pumpendetektor
Notwendig nach Projektstand April 2016	- Vorlauftemperatur 1-wire Sensor - Rücklauftemperatur 1-wire Sensor - Speichertemperatur 1-wire Sensor - Pumpenlaufzeit ab Pumpendetektor
Notwendig in Zukunft	- Vorlauftemperatur 1-wire Sensor - Rücklauftemperatur 1-wire Sensor - Temperatur Speichereintritt 1-wire Sensor - Evtl. Speichertemperatur 1-wire Sensor



Abb. 2: 1-wire Temperatursensor

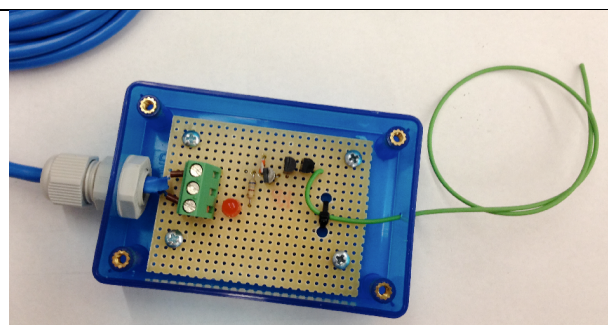


Abb. 3: Pumpendetektor



Abb. 4: Drucksensor

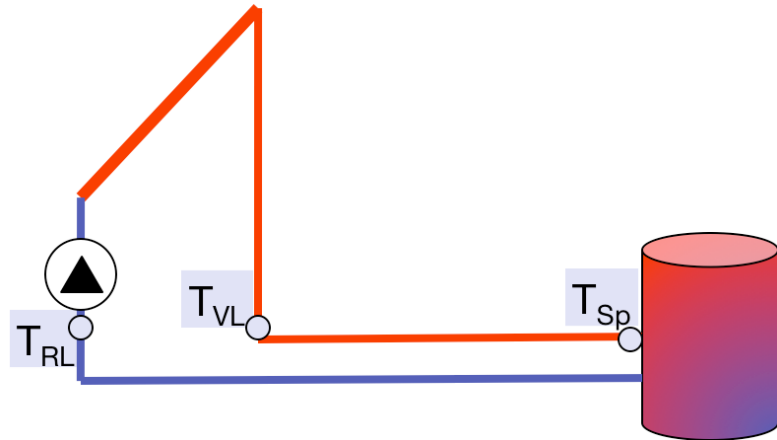


Abb. 5: Anlagenschema mit den 3 mindestens notwendigen Messpunkten:

T_{RL} : Rücklauftemperatur

T_{VL} : Vorlauftemperatur

T_{SP} : Speichertemperatur bei Speichereintritt

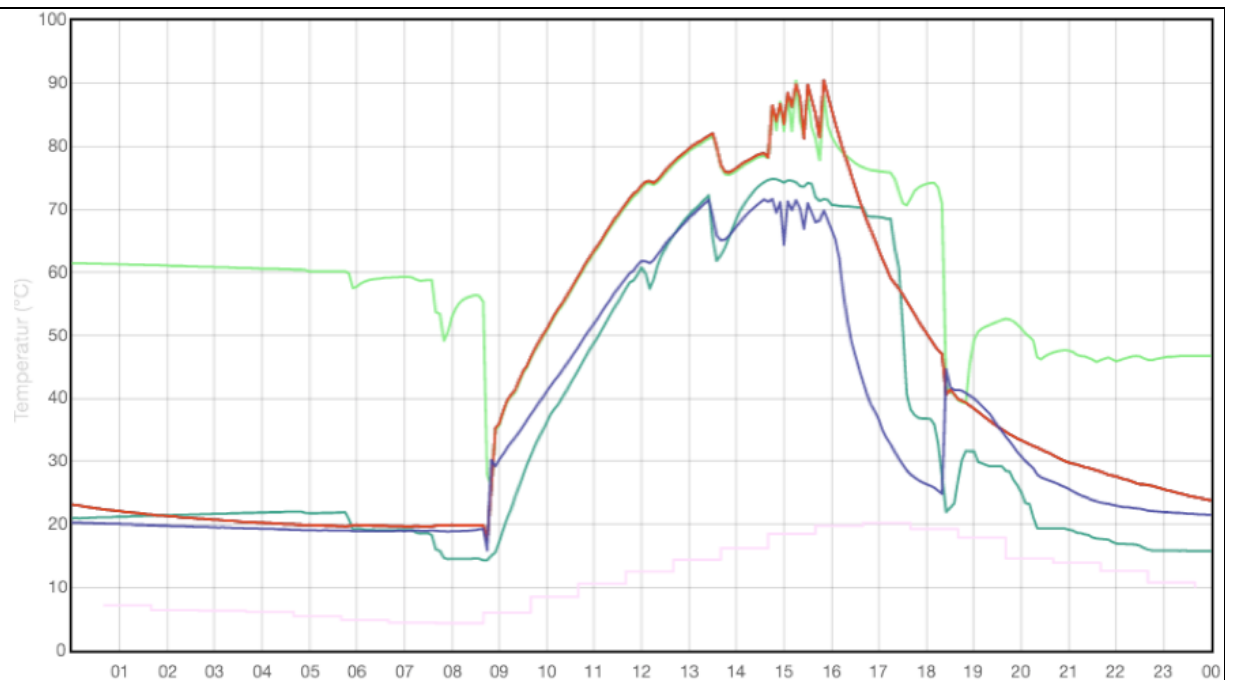


Abb. 6: Tagesverlauf Solarthermieanlage MFHR am 11. April 2016.

Blaue Linie: Rücklauftemperatur

Rote Linie: Vorlauftemperatur

Hellgrüne Linie: Speichertemperatur direkt beim Speichereintritt

Dunkelgrüne Linie: Speichertemperatur in der Mitte des Solarregisters

Pinke Linie: Aussentemperatur

Die Laufzeit der Solaranlage kann aus der Vorlauftemperatur und der Speichertemperatur bei Speichereintritt abgelesen werden: Die Anlage ist in Betrieb, so lange diese beiden Temperaturen identisch sind.

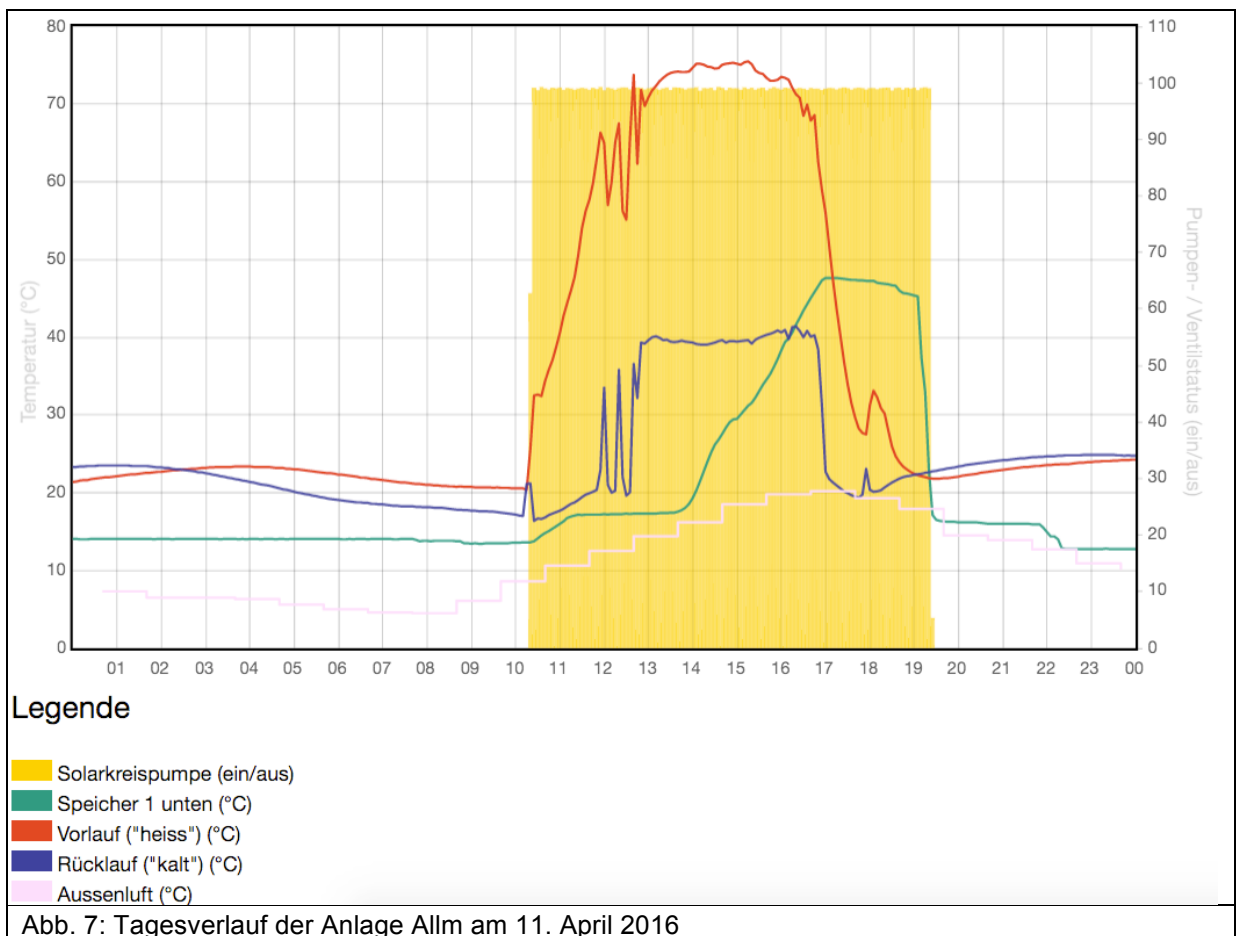
2. Ausrüstung Test-Solarthermieranlagen

Alle 13 Testanlagen wurden mit dem in Tab. 3 definierten Messkit ausgerüstet. Im Folgenden werden die Monitoring-Erfahrungen mit den Testanlagen beschrieben.

Allm

Bei der Installation des Monitoringsystems wurde festgestellt, dass die Regelung der Anlage nicht mehr richtig funktionierte und die Anlage vermutlich nicht mehr in Betrieb war. Es wurde eine neue Regelung eingebaut. Während dem Monitoring fiel dann auf, dass die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf extrem hoch ist (ca. 35°C) und dass der Temperaturanstieg im Speicher immer erst mit ca. 3h Verspätung erfolgt (siehe Abb. 7). Der Wirkungsgrad der Anlage lag vor allem im Sommer oft unter 20%, obwohl der Speicher nicht voll war.

Diskussionen mit dem Betreiber ergaben, dass es sich bei dieser Anlage um ein low flow System mit extrem grossem Speicher handelt. Der Betreiber ging davon aus, dass aufgrund dieser Anlagenkonfiguration die vom Monitoringsystem gemeldeten Fehler nicht zutreffend waren. Ende März 2016 wurde die Anlage dann trotzdem vor Ort kontrolliert. Dabei stellte sich heraus, dass sich ein Temperatursensor gelöst hatte und der Volumenstrom nicht einmal 4l/h/m² betrug. (typisch für ein low flow System sind 10 bis 15 l/h/m²). Der spezifische Jahresertrag betrug 286 kWh/m², der durchschnittliche Wirkungsgrad 23%.



Baue

Die Anlage Baue funktioniert einwandfrei und liefert einen jährlichen Ertrag von knapp 530 kWh/m². Bei dieser Anlage ist der GPRS-Empfang sehr schlecht. Die Datenübertragung funktionierte deshalb an einzelnen Tagen nicht. Für solche Standorte mit schlechtem GPRS-Empfang wäre eine andere Übertragungsart (z.B. per WIFI) besser geeignet.

EFHW

Die Anlage EFHW funktioniert einwandfrei und liefert einen jährlichen Ertrag von rund 510 kWh/m².

FCKi

Die Anlage FCKi war eine der beiden Pilotanlagen, die zuerst mit Messgeräten ausgerüstet wurden. Dabei wurde festgestellt, dass die Anlage tagsüber zwar korrekt funktioniert, in der Nacht aber weiterläuft (s. Abb. 8). Dadurch wurden jede Nacht rund 15 kWh Energie aus dem Solarspeicher vernichtet, jährlich also fast 5'500 kWh bzw. ein Drittel des Anlagenenertrags. Der Grund dafür war eine falsch eingestellte Steuerung. Seit die Steuerung korrekt eingestellt wurde, funktioniert die Anlage einwandfrei und liefert einen jährlichen Ertrag von über 700 kWh/m². Ein Grund für diesen hohen Ertrag ist, dass die Anlage niemals in Stagnation geht. Wie die Anlage Allm ist auch die Anlage FCKi ein Low Flow System. Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf beträgt durchschnittlich über 30°C, der Durchfluss liegt bei 15l/h/m²

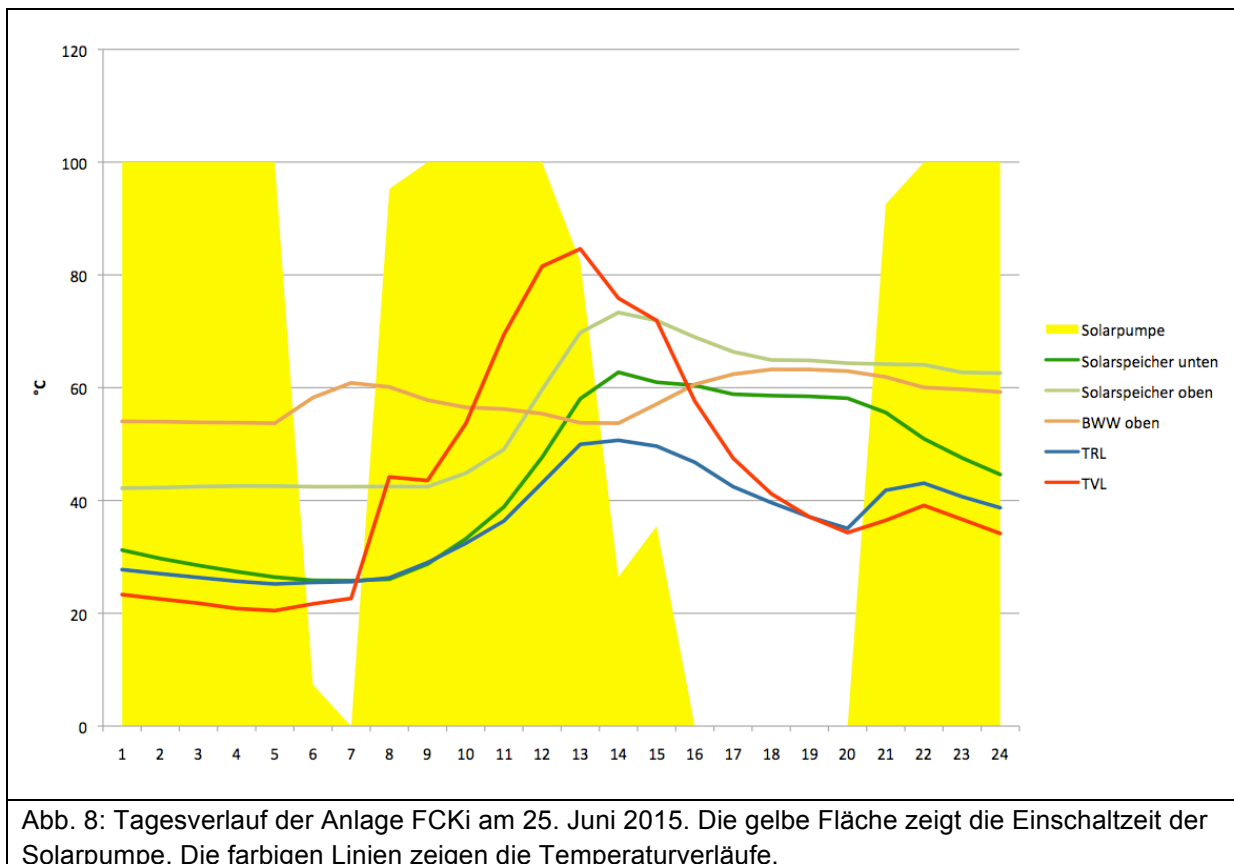


Abb. 8: Tagesverlauf der Anlage FCKi am 25. Juni 2015. Die gelbe Fläche zeigt die Einschaltzeit der Solarpumpe. Die farbigen Linien zeigen die Temperaturverläufe.

MFHR

Die Anlage MFHR funktioniert einwandfrei und liefert einen jährlichen Ertrag von rund 540 kWh/m².

MFHW

Die Anlage MFHW funktioniert einwandfrei und liefert einen jährlichen Ertrag von rund 440 kWh/m².

SchuM

Wie bei der Anlage FCKi funktionierte die Anlage SchuM tagsüber zwar korrekt, lief in der Nacht aber weiter (s. Abb. 9). Dadurch wurden jede Nacht rund 20 kWh Energie aus dem Solarspeicher vernichtet, jährlich also über 7'000 kWh. Der Grund dafür war eine falsch eingestellte Steuerung. Seit die Steuerung korrekt eingestellt wurde, funktioniert die Anlage korrekt. Trotzdem ist der Anlagenenertrag gegenüber vorher nur wenig angestiegen, von 170 auf 260 kWh/m²/Jahr. Der Grund für den immer noch sehr tiefen Anlagenenertrag liegt darin, dass bei dieser Anlage auf einem Schulhaus nur ein sehr geringer Warmwasserverbrauch vorhanden ist. Bzw. in den Sommermonaten wird oft sogar überhaupt kein Warmwasser verbraucht. Die Speichertemperatur sinkt deshalb fast nie unter 40°C ab. Das führt dazu, dass die Anlage nur an sehr sonnigen Tagen überhaupt einschaltet. Die Anlage ist im Verhältnis zum Warmwasserverbrauch deutlich überdimensioniert.

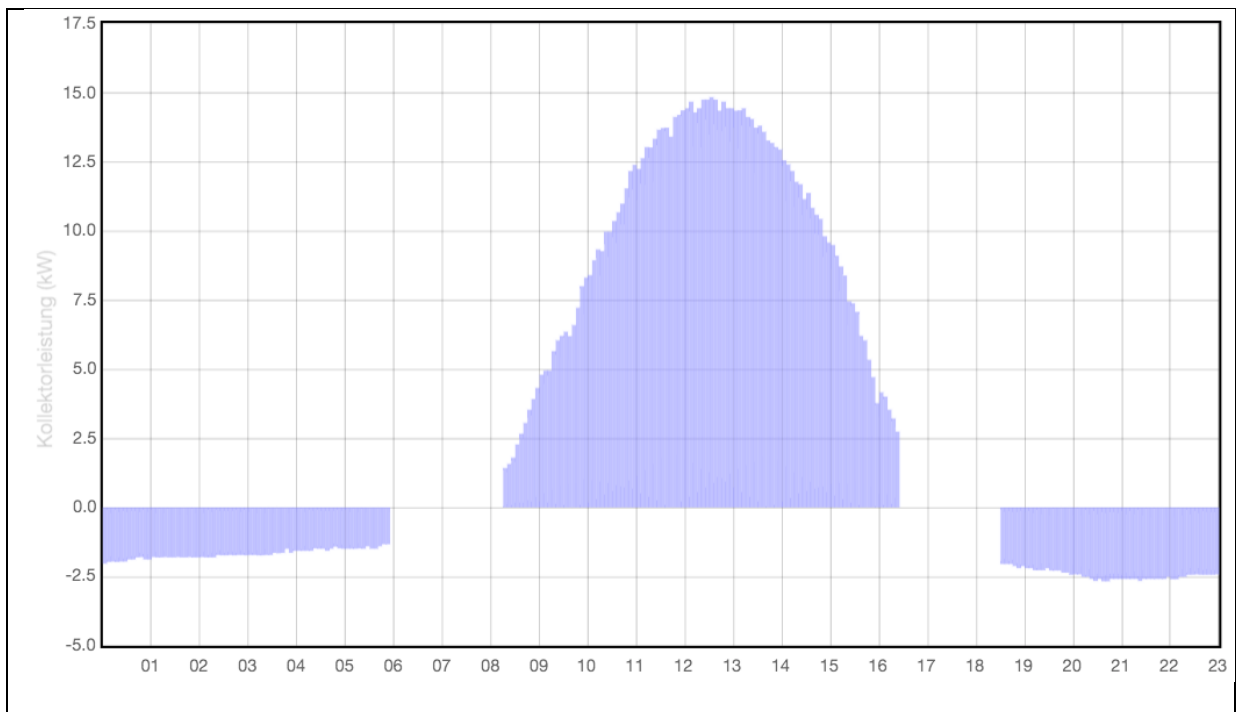


Abb. 9: Tagesverlauf des Anlagenenertrags der Anlage SchuM am 10. Mai 2015. In der Nacht werden rund 20 kWh Energie aus dem Solarspeicher vernichtet

SchuS

Die Anlage SchuS befindet sich wie die Anlage SchuM auf einem Schulhaus und hat dasselbe Problem wie die Anlage SchuM: es wird praktisch kein Warmwasser bezogen. Die Temperaturen im Speicher liegen sogar mitten im Winter nach Wochen praktisch ohne Sonnenschein noch deutlich über 40°C (siehe Abb. 10). Es gibt somit nur wenige Tage im Jahr, an denen sich das Kollektorfeld genügend erwärmt, damit die Anlage überhaupt in Betrieb gehen kann. Die durchschnittliche Betriebszeit liegt bei 2.3h pro Tag. Der Jahresertrag bei lediglich 290 kWh/m²/Jahr.

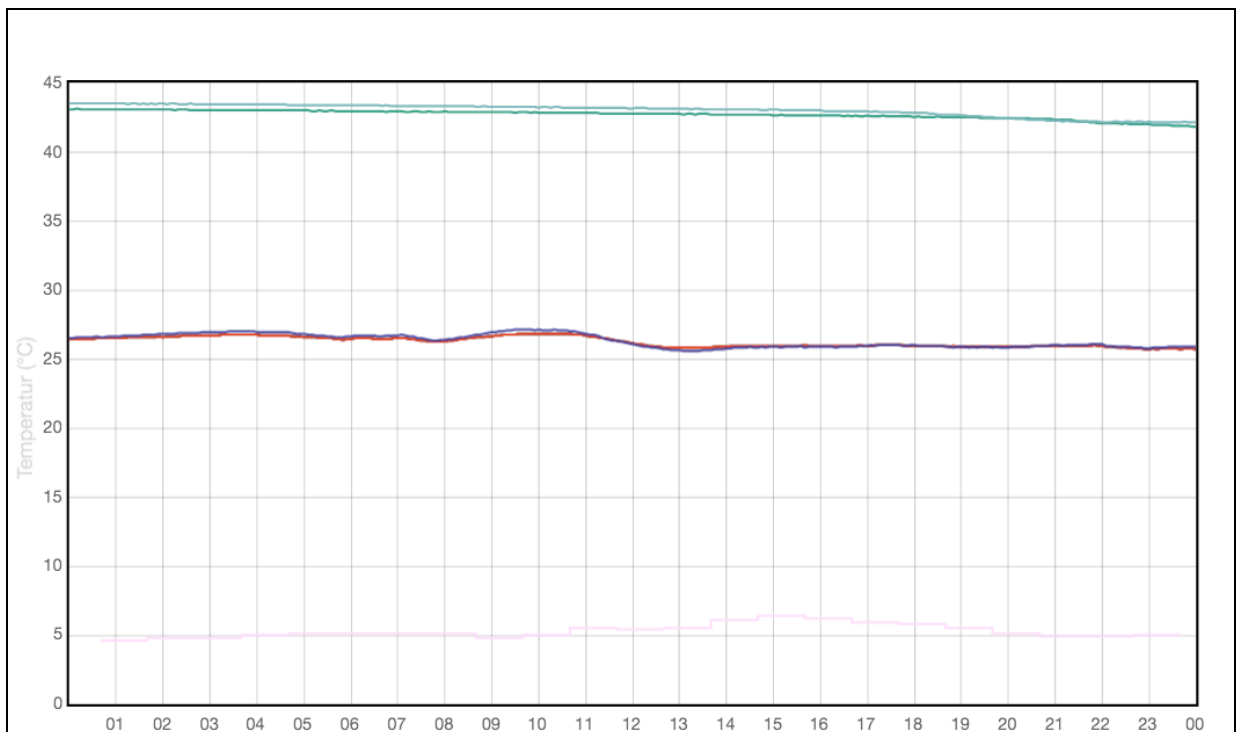


Abb. 10: Tagesverlauf der Anlage SchuS am 1. Januar 2016. Die Speichertemperatur bleibt den ganzen Tag auf über 40°C.

Rote Linie: Vorlauftemperatur

Blaue Linie: Rücklauftemperatur
 Dunkelgrüne Linie: Temperatur im Speicher unten
 Hellgrüne Linie: Temperatur im Speicher oben
 Pinke Linie: Aussentemperatur

STIL

Die Anlage funktioniert korrekt. Da sie auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt wird, ist sie in den Sommermonaten deutlich überdimensioniert und geht ab Frühling bis Herbst fast jeden Tag in Stagnation, weil der Speicher „voll“ ist (s. Abb. 9). Ausserdem wird der Speicher nachts durch die Nachheizung aufgeheizt. Dies führt dazu, dass die Stagnation noch früher auftritt. Die durchschnittliche Pumpenlaufzeit pro Tag beträgt nicht einmal 3h (im Vergleich zu mehr als 6h z.B. bei der Anlage MFHR). Anfang April 2016 wurde die Speicher Soll-Temperatur von 80°C auf 90°C erhöht und die Nachheizzeit reduziert. Das hat dazu geführt, dass die Speichertemperatur morgens um 8 Uhr jetzt noch etwa 38°C beträgt, gegenüber ca. 45°C vor der Anpassung. Dadurch startet die Anlage jetzt früher am morgen und hat an bewölkten Tagen eine deutlich längere Laufzeit. Die Stagnationszeiten konnten aber nicht spürbar verringert werden. Die mit dem Monitoringsystem gemessene Speichertemperatur erreicht bei Stagnation 65°C. Evtl. würde eine Umplatzierung des Speichersensors die Stagnationszeiten verringern. Der jährliche Ertrag lag vor der Anpassung bei weniger als 300 kWh/m². Der Einfluss der längeren Laufzeiten auf den Ertrag konnte noch nicht quantifiziert werden. Er liegt wohl bei wenigen Prozent.

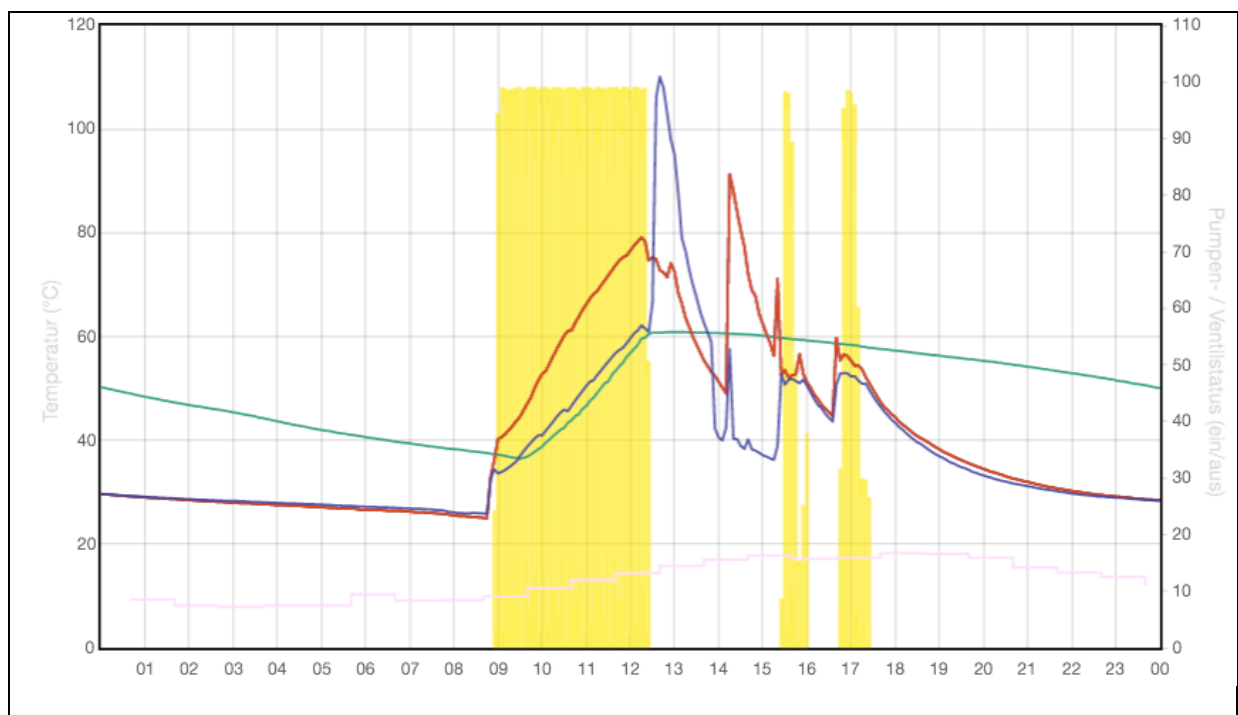


Abb. 11: Tagesverlauf der Anlage STIL am 12. April 2016.

Rote Linie: Vorlauftemperatur
 Blaue Linie: Rücklauftemperatur
 Grüne Linie: Temperatur im Speicher unten
 Pinke Linie: Aussentemperatur
 Gelbe Fläche: Pumpenlaufzeit

THTr

Bei dieser Anlage wurde zu Beginn des Monitorings erkannt, dass der Anlagendruck zu tief ist. Die Ursache war ein Leck im Solarkreislauf. Dies wurde sofort behoben. Seither funktioniert die Anlage korrekt und liefert einen Ertrag von über 550 kWh/m²/Jahr.

Trai

Die Anlage Trai wird zu Schulungszwecken benutzt. Sie hat deshalb nur sporadischen Warmwasserbezug und ist deshalb auch nur sporadisch in Betrieb. Der Jahresertrag liegt bei ca. 200 kWh/m²/Jahr. Die Anlage funktioniert korrekt.

Trib

Diese Anlage bei einem Freibad ist nur in den Sommermonaten in Betrieb. Die Anlage funktioniert korrekt und liefert pro Jahr einen Ertrag von ca. 1'100 kWh.

Zube

Die Anlage Zube funktioniert korrekt. Da der Solarkombispeicher jede Nacht vom externen Heizstab auf mindestens 50°C erwärmt wird, schaltet die Anlage an Tagen mit wenig Sonnenschein nur sehr selten ein (siehe Abb. 11). Der Jahresertrag liegt bei knapp 360 kWh/m². Der Ertrag könnte optimiert werden, wenn die Nachheizzeit reduziert würde.

3. Auswertung der Resultate

Um die Qualität und den Nutzen des Monitoringsystems zu beschreiben, wurden folgende Kenngrößen ermittelt:

Erfüllt das Monitoringsystem die technischen Kriterien „einfache Installation“ und „Sicherheit, dass die Anlage korrekt funktioniert“?

Die Installation wurde vom Installateur als technisch einfach, aber trotzdem relativ zeitaufwändig beschrieben. Am meisten Zeit benötigte die Verkabelung und Platzierung des Drucksensors und des Pumpensensors. Inklusive An- und Rückreise dauerte die Installation im Schnitt etwa einen halben Tag pro Anlage. Zusätzlich gab es bei einigen Anlagen technische Probleme mit dem entwickelten Pumpensensor und mit dem Drucksensor. Dies führte dazu, dass der Installateur nachträglich noch einmal zu den Anlagen hinfahren musste. Die Installationszeit soll in Zukunft durch folgende Massnahmen verkürzt werden:

- Der Drucksensor wird noch optional, bei ausdrücklichem Wunsch des Kunden, eingebaut. Es hat sich gezeigt, dass der Drucksensor nicht nötig ist, um zu erkennen, wann eine Anlage nicht mehr funktioniert. Er ist aber hilfreich, um den Grund für den Anlagendefekt zu eruieren (Leck im Kreislauf?).
- Ersatz Pumpensensor + evtl. Speichersensor durch Temperatursensor bei Speichereintritt: Dies wurde im Kapitel „Ergebnisse/Erkenntnisse 1. Zusammenstellen Messhardware“ beschrieben. Wenn die beiden Sensoren „Pumpensensor“ und „Speichertemperatur“ durch einen Sensor beim Speichereintritt ersetzt werden könnten, reduziert sich die Anzahl Sensoren und somit die Installationszeit. Es müssen zuerst noch Erfahrungen gesammelt werden, ob mit dem Temperatursensor bei Speichereintritt die Pumpenlaufzeit auch tatsächlich genau genug ermittelt werden kann. Und es ist noch nicht sicher, ob auf den Speichersensor in der Mitte des Solarregisters verzichtet werden kann.

Mit diesen Anpassungen werden in Zukunft für das Monitoring nur noch 1-Wire Temperatursensoren benötigt. Dies reduziert die Kosten, da:

- 1-wire Sensoren sehr einfach und schnell in einem Bus-System mittels Steckern installiert werden können.
- Datenlogger für die Erfassung von 1-wire Temperatursensoren deutlich kostengünstiger sind als Datenlogger, die noch zusätzliche Kanäle wie z.B. Analogeingänge benötigen.

Es wurde ausserdem geprüft, ob die verkabelten Temperatursensoren durch drahtlose Temperatursensoren mit Funkübertragung ersetzt werden sollen. Dadurch würde der Aufwand der Verkabelung wegfallen. Stattdessen müsste aber jeder Funksensor einzeln an einer Mauer befestigt werden. Insgesamt wäre damit der Installationsaufwand nicht geringer als jetzt. Zusätzlich wäre es regelmässig notwendig, die Batterien der Funksensoren auszuwechseln. Und schlussendlich ist die Datenübertragung per Funk weniger zuverlässig als die Datenübertragung per Kabel. Aus diesen Gründen wurde die Variante Funkübertragung verworfen.

Die automatisierte Fehlererkennung wurde bereits im vorangegangenen Projekt entwickelt und in diesem BFE-Projekt nur geringfügig angepasst. Es zeigten sich folgende Besonderheiten:

- Die Laufdauer der Anlage (Pumpenlaufzeit) ist eine extrem wichtige Grösse, um die korrekte

Funktion der Anlage zu bestimmen. Gleichzeitig ist die Pumpenlaufzeit relativ schwierig messbar. Der entwickelte Pumpensensor hat sich als zu teuer herausgestellt (siehe Kapitel „Wie teuer ist das Monitoringsystem?“). Es soll deshalb in Zukunft darauf verzichtet werden und statt dessen die Temperatur beim Eintritt des Speichers verwendet werden (siehe Kapitel „Ergebnisse/Erkenntnisse 1. Zusammenstellen Messhardware“)

- Die Fehlererkennung war bisher immer von „Normal Flow“ Anlagen ausgegangen. Diese haben im Betrieb eine konstante Temperaturdifferenz von ca. 8 bis 12°C. Entsprechend wurden Temperaturdifferenzen von mehr als 25°C bisher als Fehler ausgewiesen. In einer Normal Flow Anlage entsteht eine so hohe Temperaturdifferenz nur bei einem Leck im Solarkreislauf oder dem Ausfall der Anlage. Unter den Testanlagen befanden sich nun aber auch Low Flow Anlagen. Diese haben im Betrieb Temperaturdifferenzen von 30°C oder sogar mehr. Low Flow Anlagen wurden von der Fehlererkennung deshalb zuerst immer als fehlerhafte Anlagen eingestuft. Die Fehlererkennung wurde nun so angepasst, dass die Temperaturdifferenz bei Low Flow Anlagen bis zu 50°C betragen darf.
- „Normal Flow“ Anlagen haben typischerweise einen relativ gut gemischten Solarspeicher. Sobald die Anlage in Betrieb ist, erwärmt sich der gesamte Solarspeicher. Es ist deshalb an der ansteigenden Speichertemperatur gut erkennbar, ob der Speicher geladen wird. „Low Flow“ Anlagen hingegen haben meistens eine sehr ausgeprägte Schichtung. Der Speicher wird nur in derjenigen Schicht wärmer, in der gerade eingelagert wird. Befindet sich der Speicher-Temperaturfühler nicht genau in der geladenen Schicht, bemerkt das Monitoringsystem nicht, dass der Speicher geladen wird. „Low Flow“ Anlagen wurden deshalb von der Fehlererkennung immer zuerst als fehlerhafte Anlagen eingestuft. Indem in Zukunft anstatt die Speichertemperatur die Eintrittstemperatur zum Speicher gemessen wird, soll dieses Problem umgangen werden.

Konnte der Ertrag der Anlage dank dem Monitoringsystem gesteigert werden? Um wie viel?

Dieses Projekt wurde an städtischen Solaranlagen durchgeführt, die regelmässig gewartet werden. Es wurde deshalb davon ausgegangen, dass die Anlagen korrekt funktionieren. Wie untenstehende Tabelle 4 zeigt, war dies aber durchaus nicht bei allen Anlagen der Fall. Dank dem Monitoringsystem konnte bei vier Anlagen der Ertrag deutlich gesteigert werden. Dank dem Mehrertrag der Anlagen spart der Betreiber nun jährlich fast CHF 9'000.- an Energiekosten.

Tabelle 4: Ertragssteigerung und Energieertrag der Anlagen

Anlage	Mit Monitoring erzielte Ertragssteigerung		Erreichter Energieertrag (kWh/m2/Jahr)
	%	CHF/Jahr	
Allm	∞	3'400.-	286
Baue			526
EFHW			514
FCKi	30%	1'300.-	717
MFHR			539
MFHW			440
SchuM	50%	700.-	259
SchuS			240
STIL			286
THTr	∞	3'500.-	579
Trai			211
Trib			316
Zube	1%-5%		362
Total		8'900.-	

Liefern die Anlagen (dank dem Monitoringsystem) den erwarteten Ertrag?

Tabelle 4 zeigt, dass nicht alle Anlagen einen Energieertrag von ca. 500 kWh/m2/Jahr erreichen. Dies hat vor allem zwei Gründe:

1. Einige Anlagen haben ein konzeptionelles Problem: die Anlage ist im Verhältnis zum Brauchwasserbedarf so gross dimensioniert, dass sie eine deutlich reduzierte jährliche Betriebszeit hat. Es ist einfach nicht genügend Wärmebedarf da, damit die Anlage effizient arbeiten könnte. Dies ist bei den Anlagen SchuM, SchuS, Trai, Trib und STIL der Fall.
2. Das Monitoringsystem alleine führt noch nicht zu einer Ertragssteigerung. Es erkennt, ob ein Optimierungspotential vorhanden ist. Anschliessend sind Massnahmen bei dieser Anlage notwendig, um das Optimierungspotential auch tatsächlich zu realisieren. Es stellte sich heraus, dass besonders ältere Anlagen sehr schlecht dokumentiert sind und es deshalb für den

Betreiber schwierig bis unmöglich ist, Anpassungen an der Regelung vorzunehmen. Das ist z.B. bei den Anlagen Allm und STIL der Fall.

Wie teuer ist das Monitoringsystem (Investitions- und Betriebskosten)?

Die Hardware- und Installations-Kosten konnten im Verlauf dieses Projekts deutlich gesenkt werden. Wie bereits weiter oben erwähnt, konnte die Anzahl Sensoren auf vier Stück gesenkt werden. In Zukunft sind vermutlich sogar nur noch drei Sensoren unbedingt notwendig. Der Betrieb des Monitoringsystems wurde auch kostengünstiger, da der Datenlogger jetzt einen direkten Ethernet-Anschluss hat. Wenn vor Ort ein Internet-Anschluss vorhanden ist, kann damit auf die laufenden Datenübertragungskosten für die SIM-Karte verzichtet werden.

Abb. 11 vergleicht die Monitoring-Kosten zu Projektbeginn, heute und in Zukunft. Die Kosten setzen sich zusammen aus:

- Hardware: Datenlogger, drei Temperatursensoren. Zu Projektbeginn zusätzlich noch mit Drucksensor und Pumpensensor. Heute zusätzlich noch mit Pumpensensor. In Zukunft nur noch mit Temperatursensoren. Dafür kann ein kostengünstigerer Datenlogger verwendet werden.
- Installation bei der Solaranlage, mit einem Stundenansatz von CHF 160.-. Der An- und Rückfahrtsweg wurde nicht eingerechnet. Es wurde davon ausgegangen, dass die Installation während einem Servicegang erledigt wird. Die 1-wire Temperatursensoren können dank Steckverbindungen und dem Bus-System deutlich schneller verkabelt werden als andere Sensoren (Ca. 15 min Aufwand pro Temperatursensor gegenüber ca. 30 min Aufwand für einen analog- oder digital-Sensor).
- Erfassen der Anlagenkenndaten im Webportal: Adresse, Kollektorfläche etc.. Es wurde ein Stundenansatz von CHF 160.- angenommen.
- Betrieb der Hardware und des Webportals während 15 Jahren. Lieferung der Wetterdaten (Einstrahlung und Aussentemperatur) während 15 Jahren. Bei Datenübertragung via GPRS: regelmäßige Datenübertragungskosten für die SIM-Karte. Es wurde eine Lebensdauer von 15 Jahren angenommen, da dies der voraussichtlichen Lebensdauer des Datenloggers entspricht.

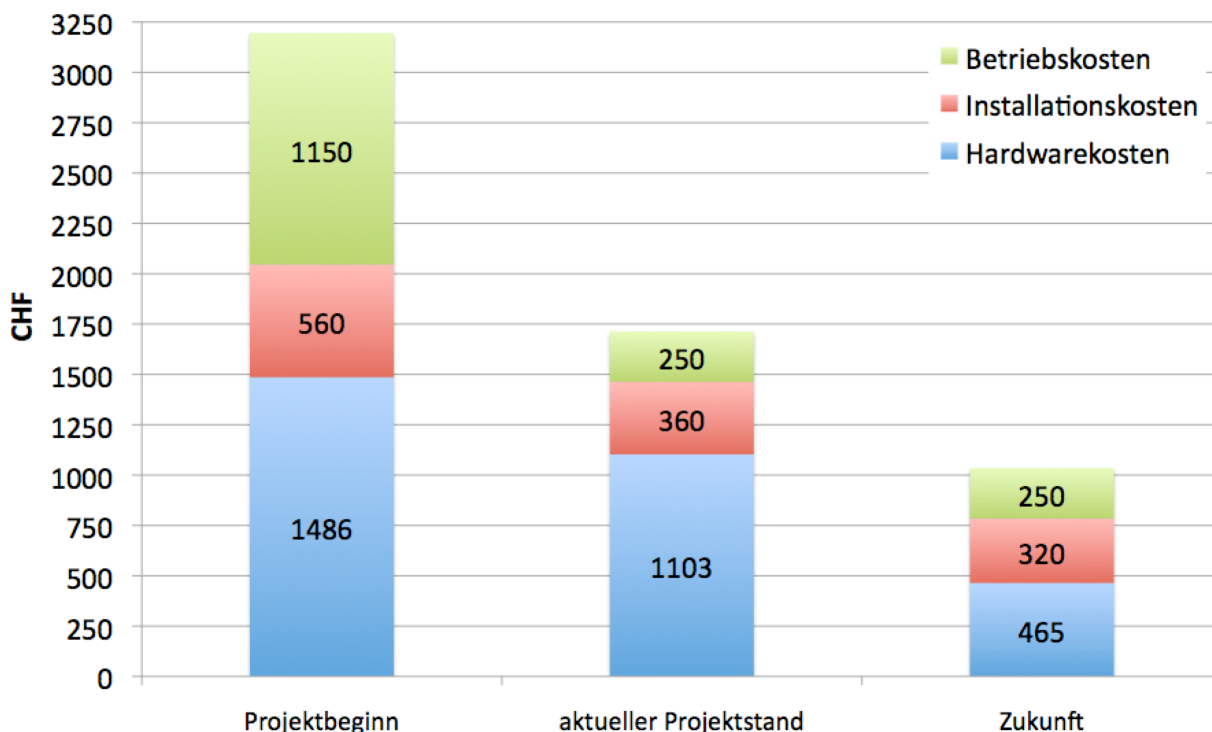


Abb. 12: Kostenzusammenstellung: Kosten des Monitoringsystems in CHF pro Solaranlage, exkl. MWSt.

Die Hardwarekosten für das Monitoring betragen aktuell ca. CHF 1'100.-. Die Gesamtkosten über 15 Jahre knapp CHF 1'750.- In Zukunft können die Hardwarekosten auf unter CHF 500.- gesenkt werden und die Gesamtkosten auf ca. CHF 1'000.-

Lohnt sich das Monitoringsystem finanziell?

Das Kosten-/Nutzen Verhältnis eines Monitoringsystems ist schwierig zu definieren. Das Monitoring ist eine Art Versicherung vor Ertragsausfällen. Bei einer Anlage, die 25 Jahre lang ohne Probleme funktioniert, wäre ein Monitoring nicht nötig. Viele Untersuchungen haben aber gezeigt, dass bei rund einem Drittel der Anlagen schwerwiegende Fehler auftreten. Auch in diesem Projekt konnte bei 4 von 13 Anlagen der Ertrag dank dem Monitoring deutlich gesteigert werden. Um das Kosten-/Nutzen-Verhältnis des Monitorings aufzuzeigen, wurde folgendermassen vorgegangen:

- Es wird angenommen, dass eine typische Anlage zur Brauchwassererwärmung jährlich 500 kWh/m² Solarertrag hat und eine Anlage, die zusätzlich die Heizung unterstützt zusätzlich noch 200 kWh/m²
- Es wird angenommen, dass eine kWh Solarertrag zur Brauchwassererwärmung einen Wert von 20 Rp hat (entspricht der Kostenersparnis an Strom zum Erhitzen des Brauchwassers). Und es wird angenommen, dass eine kWh Solarertrag zur Heizungsunterstützung einen Wert von 10 Rp/kWh hat

Mit diesen Annahmen wird in Tabelle 5 der Wert des jährlichen Solarertrags aufgezeigt. Diskussionen mit Anlagenbetreibern haben gezeigt, dass diese bereit wären, Monitoringkosten in der Höhe von einem Jahresertrag zu bezahlen.

Im Vergleich mit den aktuellen Kosten für das Monitoring gemäss vorherigem Abschnitt wird klar: Für Anlagen ab 15 m² bis 20 m² Kollektorfläche lohnt sich das Monitoring mit dem aktuellen Projektstand. Voraussetzung dafür ist, dass keine Datenübertragungskosten anfallen. Wenn GPRS-Datenübertragungskosten anfallen, lohnt sich das Monitoring erst für Anlagen ab 30 m² Kollektorfläche. Wenn in Zukunft die Lösung mit dem kostengünstigeren Datenlogger umgesetzt werden kann, lohnt sich das Monitoring ab einer Anlagengrösse von ca. 10 m². Damit wird das Monitoring auch für die meisten Anlagen auf EFH finanziell interessant.

Tabelle 5: Verhältnis Monitoringkosten zu Anlagenenertrag

Anlagen zur Brauchwassererwärmung						
Kollektorfläche (m2)	6	8	10	15	20	30
Wert jährlicher Solarertrag (CHF)	600.-	840.-	1'000.-	1'500.-	2'000.-	3'150.-
Anlagen mit Heizungsunterstützung						
Kollektorfläche (m2)	6	8	10	15	20	30
Wert jährlicher Solarertrag (CHF)	720.-	960.-	1'200.-	1'800.-	2'400.-	3'600.-

Welches Marktpotential hat das Monitoringsystem in der Schweiz?

Die folgende Tabelle zeigt auf, wie viele Solarthermieranlagen in den verschiedenen Grössenkategorien in der Schweiz installiert sind und jährlich neu installiert werden. Die Zahlen wurden aus der Markterhebung Sonnenenergie [1] berechnet.

Tabelle 6: Übersicht über die Anzahl Solarthermieranlagen in der Schweiz

Anlagengrösse	Anzahl bestehende Anlagen	Jährlich neu installierte Anlagen
1 – 10 m2	98'870	7'535
11 – 20 m2	15'575	1'187
21 – 50 m2	1'548	118
> 50 m2	1'194	91

Wie viele dieser Anlagen das Monitoring nutzen würden hängt davon ab:

- ob ein nutzbarer Internetanschluss in der Nähe der Solaranlage vorhanden ist (in EFH fast immer der Fall. In Zweckgebäuden hingegen fast nie der Fall)
- wie rentabel das Monitoring ist (Grösse der Anlage)
- ob der Betreiber ein Monitoring sinnvoll findet

Das Gesamtpotential wurde folgendermassen abgeschätzt:

- Anlagen über 50m²: hier lohnt sich sogar das Monitoring mit GPRS Datenübertragung. Viele dieser Anlagen sind aber bereits mit einem massgeschneiderten Monitoring ausgestattet. Sie verfügen teilweise über spezielle Anlagenkonfigurationen (z.B: mehrere Speicher, externer Wärmetauscher). Die in diesem Projekt entwickelte standardisierte Hardware ist vor allem auf einfache Anlagenschemas ausgerichtet und bei so grossen Anlagen wahrscheinlich oft nicht ausreichend.
- Anlagen zwischen 21 und 50 m²: Hier lohnt sich das Monitoring in den meisten Fällen. Falls ein LAN-Anschluss vorhanden ist sowieso. Diese Anlagen befinden sich oft auf öffentlichen Gebäuden. Es ist allenfalls ein Schul-WLAN vorhanden.
- Anlagen zwischen 11 bis 20 m²: Hier lohnt sich das Monitoring sofern ein LAN-Anschluss vorhanden ist. Diese Anlagen befinden sich meistens in Mehrfamilienhäusern. In diesem Fall sind zwar in den einzelnen Mietwohnungen private LAN-Anschlüsse vorhanden. Im Keller befindet sich aber üblicherweise kein allgemein genutzter LAN-Anschluss. Das Monitoring via GPRS lohnt sich finanziell aber bei dieser Anlagengrösse nicht.
- Anlagen von 1 bis 10 m²: Diese Anlagen befinden sich typischerweise auf Einfamilienhäusern. Ein LAN-Anschluss, oder dann mindestens ein WLAN-Anschluss ist fast immer vorhanden. Dies ist mit ca. 84% der Solarthermieranlagen auch deutlich die grösste Kundengruppe. Die aktuelle Hardware ist aber zu teuer für diese Kundengruppe. Für diese Kundengruppe müsste die Lösung mit kostengünstigerem Datenlogger ausgearbeitet werden.

Tabelle 7: Herleitung des Marktpotentials für das Monitoringsystem

Anlagengrösse	Wahrscheinlichkeit, dass Monitoring technisch möglich und wirtschaftlich ist	Anzahl neu installierte Anlagen pro Jahr, die für das Monitoring geeignet sind
1 – 10 m ²	50% (nur bei günstigerem Datenlogger)	3'767
11 – 20 m ²	5%	59
21 – 50 m ²	20%	23
> 50 m ²	20%	18

Diskussion der Erkenntnisse

In diesem Projekt wurde eine standardisierte Hardware für Solarthermieranlagen entwickelt, die robust und zuverlässig Anlagenfehler erkennt. Das Messkonzept ist so ausgelegt, dass bei jeder beliebigen Solarthermieranlage dieselbe Messung durchgeführt werden kann. Das Monitoringsystem ist völlig unabhängig davon, welche Regelung bei der Anlage installiert ist, ob es sich um eine Anlage zur Brauchwassererwärmung oder zur Heizungsunterstützung handelt oder wie gross die Anlage ist. Lediglich bei Anlagen, die mehrere Speicher / Zonen beladen, müssen mehr Sensoren installiert werden. Die Hardware konnte auch soweit vereinfacht werden, dass sie von einem beliebigen Solarinstallateur ohne elektrische Kenntnisse installiert und in Betrieb genommen werden kann. Und dies innerhalb von weniger als 2 Stunden.

Das Monitoringsystem wurde bei 13 Solarthermieranlagen während einem Jahr ausgetestet. Innerhalb dieser Testphase konnte der jährliche Ertrag dieser 13 Solarthermieranlagen dank dem Monitoring deutlich gesteigert werden (um durchschnittlich über 20%). Der Betreiber der Anlagen spart dank dieser Ertragssteigerung nun jährlich ca. CHF 9'000.- an Heizkosten.

Trotz diesen Erfolgen müssen vor der Markteinführung noch zwei Punkte verbessert werden:

- Erstens ist die entwickelte Lösung zur Messung der Pumpenlaufzeit technisch noch nicht ausgereift und zu teuer.
- Zweitens zeigt die Marktpotentialanalyse, dass mit Abstand das grösste Potential bei den kleinen Anlagen auf Einfamilienhäusern liegt. Denn diese Anlagen machen über 80% der Solarthermiemarkts aus. Für diese Anlagen ist die Überwachungslösung mit einem aktuellen Preis von über CHF 1'500.- aber noch zu teuer.

Ausblick

Die oben erwähnten zwei Punkte zur Verbesserung des Monitoringsystems wurden bereits in Angriff genommen. Bei einer der Testanlagen wurde gegen Ende der Projektzeit als Alternative zum Pumpensensor ein Temperatursensor beim Speichereintritt installiert (siehe Kapitel „Ergebnisse / Erkenntnisse Zusammenstellen Messhardware“). Die Resultate sind sehr vielversprechend. Es muss nun noch an weiteren Anlagen getestet werden, ob aufgrund der Temperatur beim Speichereintritt tatsächlich bei allen Anlagen genügend genau die Laufdauer der Anlage ermittelt werden kann. Und die Software auf dem Monitoringportal muss noch so angepasst werden, dass sie aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Speichereintritt die Laufdauer der Anlage ermittelt.

Das zweite Problem ist schwieriger zu lösen. Mit der aktuellen Hardware ist es nicht möglich, die Kosten genügend weit zu senken. Denn der Datenlogger wird auch bei sehr grossen Stückmengen immer noch über CHF 400.- kosten. Wenn in Zukunft tatsächlich nur noch Temperatursensoren für das Monitoring nötig sind, kann aber ein deutlich kostengünstigerer Datenlogger verwendet werden. Z.B. wäre ein Monitoring mit einem Raspberry Pi denkbar. Dieser kleine Computer kostet weniger als CHF 100.-. Damit wäre es möglich, die Kosten auf ca. CHF 1'000.- über 15 Jahre Nutzungsdauer zu senken. Davon ca. CHF 750.- für Hardware und Installation (siehe Abbildung 12). Die Portalkosten betragen einmalig CHF 250.- (keine jährlichen Portalkosten).

Um diese zwei Punkte zu verbessern ist ein Folgeprojekt mit kleinen Solarthermieranlagen auf Einfamilienhäusern geplant.

Das Webportal „egonline.solarthermie“ ist bereits auf dem Markt erhältlich. Die Firma Egon AG bietet dieses Webportal Solarfirmen und professionellen Betreibern von Solaranlagen an. Bereits nutzen ca. 200 Solarthermieranlagen das Webportal „egonline.solarthermie“. Egon AG verkauft auch die aktuell verfügbare Hardware für das Solarthermie-Monitoring. Die Stadt Luzern setzt für das Monitoring ihrer Solarthermieranlagen bereits diese Hardware ein. Ziel von Egon AG ist es, bis Ende 2016 den neuen, kostengünstigeren Datenlogger anbieten zu können.

Referenzen

[1] Markterhebung Sonnenenergie 2014, Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien, Juni 2015; Bundesamt für Energie BFE, Ausgearbeitet durch Swissolar

[2] Dipl. Ing. (FH) Bernd Sitzmann. Qualitätsprüfung thermische Solaranlagen 2013. On behalf of: Kantone Basel-Stadt (Amt für Umwelt und Energie) und Basel-Landschaft (Amt für Umweltschutz und Energie); 2013; p.7-15

[3] S. Stettler et al, Funktions-Check Sonnenkollektoranlagen, BFE Schlussbericht vom 21. Okt. 2014

[4] SPF Institut für Solartechnik; SPF Online Kollektorkatalog;
http://www.spf.ch/index.php?id=111&L=-1&no_cache=1; Auswertung der typischen Solarerträge gemäss Solar Collector Factsheet