

FUNKTIONSKONTROLLE & ERTRAGSÜBERWACHUNG

REGLERINTEGRIERTE ERTRAGSANALYSE FÜR SOLARTHERMISCHE ANLAGEN



Bild 1: Stadtquartier Erlangen, Kollektoranlage auf dem Dach.

Einleitung

Eine Funktionskontrolle von solarthermischen Anlagen im Sinne einer Fehlerdetektion, einer Fehleridentifikation sowie einer Ertragsüberwachung, d.h. einer Aussage über den erzielten Solarertrag bietet große Vorteile. Wie in der Photovoltaikbranche schon seit einigen Jahren zu beobachten ist, steigert ein solches Prüfsystem nicht nur die Akzeptanz beim Nutzer, sondern verbessert ebenfalls die Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage. Gerade größere thermische Solaranlagen könnten dann für Investoren zunehmend interessant werden ¹⁾.

Mit einer funktionierende Funktionskontrolle und Ertragsanalyse wird sichergestellt, dass solare Erträge genutzt werden und die sogenannte „Bankability“ steigt ²⁾.

Es gibt bereits einige Ansätze zur Funktionskontrolle und Ertragsüberwachung, die jedoch nicht vollständig überzeugen bzw. sich bisher nicht durchsetzen konnten, im Wesentlichen aufgrund der Kosten ³⁾.

Neben den Kosten ist ein weiteres Hemmnis, dass die Überprüfung der Planungs- und Installationsarbeit, die mit einem solchen System möglich ist, nicht von allen Beteiligten immer gern gesehen ist ⁴⁾.

Konzept der Funktionskontrolle und Ertragsanalyse

Im Rahmen einer Diplomarbeit ⁵⁾ wurde in enger Zusammenarbeit mit der Firma Rehau ein Konzept zur reglerintegrierten Funktionskontrolle und Ertragsanalyse solarthermischer Anlagen erarbeitet und überprüft. Am Beispiel eines Mehrfamilienhauses in Erlangen wurde das Konzept praktisch umgesetzt und getestet.

Das viergeschossige Haus besteht aus 29 Wohnungen und umfasst ca. 2.800 m² Wohnfläche. Die Bereitstellung von Warmwasser erfolgt durch eine Kombination aus Fernwärme und Solarthermie. Die thermische Solaranlage besteht aus einem 18 Solarkollektoren umfassenden Kollektorfeld auf einem Flachdach (Bild 1) und aus drei in Rei-

he verschalteten Pufferspeichern mit je einem Volumen von 910 l. Die solare Beladung der Pufferspeicher erfolgt über einen Plattenwärmeübertrager, der zusammen mit den dazugehörigen Pumpen in einer Hydraulikgruppe, der Solarübergabestation (Bild 2) vorinstalliert ist. Zur Regelung dient ein ebenfalls integrierter Solargrossregler vom Typ SC800.

Mit drei Zwei-Wege-Ventilen wird die solare Beladung der Speicher gesteuert. So ist sichergestellt, dass das Wasser entsprechend seiner Temperatur eingeschichtet wird. Die Beladung des ersten Speichers, der gleichzeitig als Bereitschaftswärmespeicher dient, wird durch die Fernwärme realisiert. Die Verteilung des Warmwassers erfolgt im Zweileiter-System, d.h. eine Vorlauf- und eine Rücklaufleitung wird zu den Wohnungen geführt, wo dann jeweils über eine Wohnungsübergabestation die Wärme zur Trinkwassererwärmung sowie zur Heizung übergeben wird.

Ein System zur Funktionskontrolle und Ertragsüberwachung solarthermischer Systeme gliedert sich in vier Teilbereiche, die einzeln, aber auch im Zusammenhang betrachtet werden:

1. Ertragsüberwachung und Kontrolle des Gesamtsystems,
2. Funktionskontrolle von Systemteilbereichen,
3. Ergebnisausgabe und Visualisierung und
4. Fehlerbehebung und Support

Ertragsüberwachung

Die Ertragsüberwachung kann umgesetzt werden, indem der Standardregler über zwei Wärmemengenzähler, die in die Speicher eingespeiste Energie (Solarertrag) und die aus dem Speicher entnommene Energie (Verbrauch) erfasst. Darüber hinaus sollte ebenfalls die Möglichkeit bestehen, Wetterdaten aufzuzeichnen oder über einen Wetterdatenanbieter (z.B. Meteonorm) zu beziehen. Über eine Kommunikationsschnittstelle werden diese Werte an ein dynamisches Simulationsprogramm übertragen.

Mit dem Simulationsprogramm wird die Anlage abgebildet und der Sollertrag bestimmt. Dieser wird mit dem (gemessenen) Ist-Ertrag verglichen. Differenzen deuten auf Fehler/Fehlfunktionen hin. Zur Überprüfung dieses Verfahrens wurde die Anlage mit dem Simulationsprogramm Polysun⁶⁾ abgebildet und die Resultate der Simulation den gemessenen Erträgen gegenüber gestellt (Tabelle).

Besonders sollte betont werden, dass gemessene Last- und Wetterdaten für die Simulation verwendet werden. Als Überprüfungszeitraum wurde ein Monat gewählt. Mit diesem Verfahren wurde ein Minderertrag festgestellt (Tabelle). Als Ursache wurde ein falsch eingebautes Dreiwegeventil erkannt.

Funktionskontrolle

Für die Funktionskontrolle des Systems bzw. von Systemteilbereichen wurden Funktionskontrollabfragen, basierend auf der Hydraulik und der Regelstrategie, entwickelt⁵⁾.

Bei der Analyse wurde deutlich, dass die meisten Fehleridentifikationsabfragen spezifisch auf jede Anlagenhydraulik angepasst werden müssen. Da die meisten Symptome und Identifikationsverfahren mehrere Fehlerursachen zulassen, sind Fehler häufig nicht eindeutig identifizierbar. So kann z.B. ein Takten der Solarkreispumpe durch eine falsche Kollektorfühlerposition oder ungünstige Regeleinstellungen der Solarkreispumpe oder eine überdimensionierte Pumpe verursacht werden.

Idealerweise wird für die Funktionskontrolle die ohnehin vorhandene Regel- und Messtechnik einer thermischen

	Mit Polysun ermittelte (Soll-)Werte August 2011	Mit Wärmemengenzähler aufgezeichnete (Ist-)Werte August 2011
Solarertrag Q_{sol} in kWh	2.619	2.010
Solare Deckung SF_0 in %	54,4	32,1

Tabelle 1: Vergleich von Soll- und Ist-Ertrag am Beispiel Stadtquartier Erlangen für den Beobachtungszeitraum August 2011. Unter bekannten Last- und Wetterdaten hätte im August 2011 ein Solarertrag von ca. 2.600 kWh in die Speicher eingespeist werden müssen. Aufgrund eines falsch eingebauten Dreiwegeventils wurde aber nur ein Solarertrag von ca. 2.000 kWh erreicht. Umgerechnet auf die solare Deckung ergab sich damit eine Reduzierung von ca. 54 auf 32% für den Beobachtungszeitraum August 2011.

Solaranlage zur Erfassung der relevanten Zustände im System genutzt. Dies ist bei vielen modernen Solarreglern bereits mehr oder weniger umfangreich üblich und Stand der Technik. Wichtig erscheint, dass die Funktionskontrolle möglichst automatisiert ablaufen sollte. Die Datenverarbeitung kann entweder im Regler direkt erfolgen oder über ein externen Rechner.

Erster Schritt der Funktionskontrolle ist eine Plausibilitätsprüfung der Sensoren. Anschließend erfolgen die Fehleridentifikationsabfragen. Anzahl und Position der zusätzlich benötigten Sensoren richten sich maßgeblich nach der verwendeten Anlagenhydraulik und der angestrebten Überwachungstiefe.

Der Markterfolg einer Funktionskontrolle und Ertragsanalyse ist maßgeblich von den zusätzlich entstehenden Kosten abhängig. Die Mehrkosten für eine Funktionskontrolle und Ertragsüberwachung sollten 10 % der Gesamtinvestitionskosten nicht überschreiten.

Ein Beispiel für eine Funktionskontrollabfrage ist der Vergleich der Kollektorausstrittstemperatur mit der Tempera-

tur am Plattenwärmeübertrager. So sollte die Temperatur am Kollektorausstritt bei Pumpenstatus „Ein“ stets größer als die Temperatur am Plattenwärmeübertrager sein. Ist beispielsweise die Temperatur am Plattenwärmeübertrager hingegen höher, kann entweder ein defekter Temperatursensor, eine Kollektorrückkühlung oder ein falsch platzierter Sensor am Kollektorausstritt die Ursache sein. Dieses Überschwingen der Temperatur am Plattenwärmeübertrager konnte an der vermessenen Solaranlage beobachtet werden (Bild 3).

Eine Kontrolle ergab, dass der Kollektorfühler falsch positioniert war (nach dem ersten von sechs Kollektoren). Nach Umbau des Sensors war der Fehler behoben (Bild 4).

Fehlerevaluierung

Um die erarbeiteten Fehlerkontrollabfragen auch auf andere Systeme zu übertragen, muss eine Anpassung auf das jeweilige System erfolgen.

Eine Standardisierung von Hydraulikschemen ist hierbei sinnvoll, um dies wirtschaftlich durchführen zu können.

Eine absolute Sicherheit der Fehleridentifikation ist nur in Ausnahmefällen zu erreichen, denn bei der Detektion einer Fehlfunktion wird eigentlich nur ein Symptom wahrgenommen, welches auf eine Fehlfunktion schließen lässt. Aus diesem Grund kann eine automatisierte Funktionskontrolle eine manuelle Anlagenwartung nicht komplett ersetzen, sondern bestenfalls unterstützen.

In Verbindung mit einer Plausibilitätskontrolle kann durch Fehleridentifikationsabfragen die Grundfunktionalität einer thermischen Solaranlage sichergestellt und ein Totalausfall identifiziert werden.

Entwicklungsbedarf besteht bei der Ergänzung der Fehleridentifikationsabfragen und bei der Umsetzung zur Integration in einen Regler. Vielversprechend erscheinen die Entwicklung eines Kalman-Filters zur Verbesserung der Plausibilitätskontrolle und die Integration einer Simulationssoftware zur Optimierung der Regelkriterien in Echtzeit.



Bild 2: Pufferspeicher und Solarübergabestation

Bild: Kunath

Schlussfolgerungen

- Es konnte gezeigt werden, dass die Nutzung von Simulationsprogrammen für die Ertragsüberwachung sinnvoll und zielführend ist. Darüberhinaus erreicht man hinreichend genaue Ergebnisse, wenn Wetterdaten über Fremdanbieter bezogen und in die Simulation eingefügt werden. Allerdings sollten diese Wetterdaten für den Standort und Zeitraum der zu überprüfenden Anlage vorliegen.
- Unter Einbeziehung der Lastbedingungen, der gemessenen Wetterdaten und der Systemhydraulik wurde damit eine Ertragsüberwachung erfolgreich durchgeführt.
- Auch konnte nachgewiesen werden, dass sich die entwickelten Fehleridentifikationsabfragen zur Funktionskontrolle eignen. Da die Fehleridentifikationsabfragen allerdings von der Anlagenhydraulik abhängig sind müssen sie für jede Anlagenhydraulik angepasst werden.
- Hoher Aufwand bedeutet vor allem die Erstellung und Anpassung der Simulationsmodelle für die eingebauten Solaranlagen. Bei standardisierten Anlagen reduziert sich der Aufwand jedoch erheblich.
- Wichtigste Aufgaben für die weitere Entwicklung sind die Umsetzung in Prototypen und eine Validierung. Dazu bedarf es der intensiven Zusammenarbeit zwischen den Herstellern von Regelungstechnik, den Solarsystemanbietern, den Herstellern der Simulationssoftware und ggf. den Anbietern von Wetterdaten.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Reichel von der Fakultät Maschinenbau an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden für die Betreuung und Unterstützung im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit. Besonderer Dank gilt den Betreuern der Firma Rehau, den Herren F. Späte und F. Trommter, für die viele Geduld und wertvollen Diskussionen. Bedanken möchte ich mich auch für die Unterstützung von Herrn S. Geißhüsler (Fa. Vela Solaris) und Herrn J. Remund (Fa. Meteororm).

Literatur

- 1) Peuser, F.A., Croy, R. Rehrmann, U., Wirth, H.P.: Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen, Praktische Erfahrungen, Fachinformationszentrum Karlsruhe, BINE Informationsdienst, Bonn 1999
- 2) Stryi-Hipp, G., Drück, H., Wittwer, V., Zörner, W.: Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030, Deutsche Solarthermie Technologie Plattform (DSTTP), Berlin, 2010
- 3) De Keizer, A.C., Vajen, K., Jordan, U.: Review of long-term fault detection approaches in solar thermal systems, Institute of Thermal Engineering Kassel University, Kassel, 2011
- 4) Oberzig, K.: Performance muss messbar sein, Fachartikel in Sonnenenergie 3-2011, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., Berlin 2011
- 5) Kunath, L.: Funktionskontrolle und Ertragsanalyse mittelgroßer Solarthermischer Systeme, Diplomarbeit (unv.), 2012, HTW Dresden, Fak. Maschinenbau/Verfahrenstechnik, LG TGA
- 6) Vela Solaris: Polysun Simulationssoftware 5.7 Version Designer, 2011, Vela Solaris, Winterthur, Schweiz

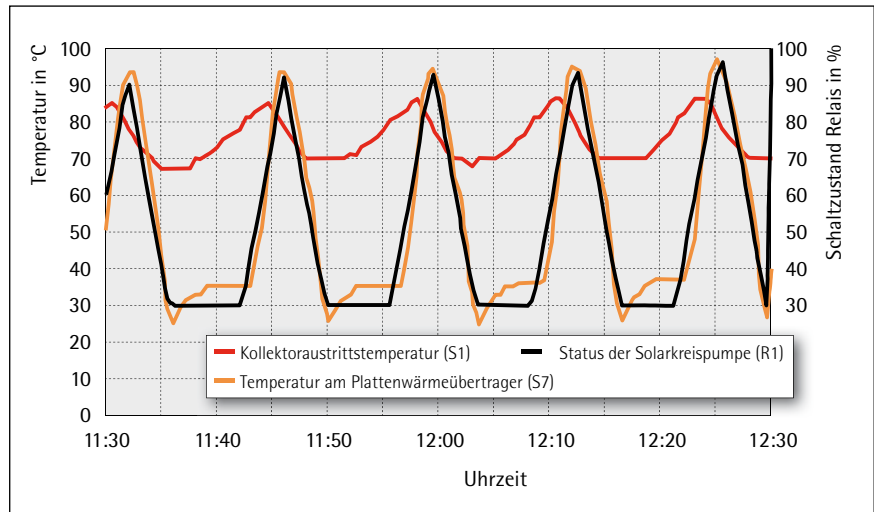


Bild 3: Messwerte bei falscher Position des Kollektorfühlers, Datenaufzeichnung am 25. April 2011.

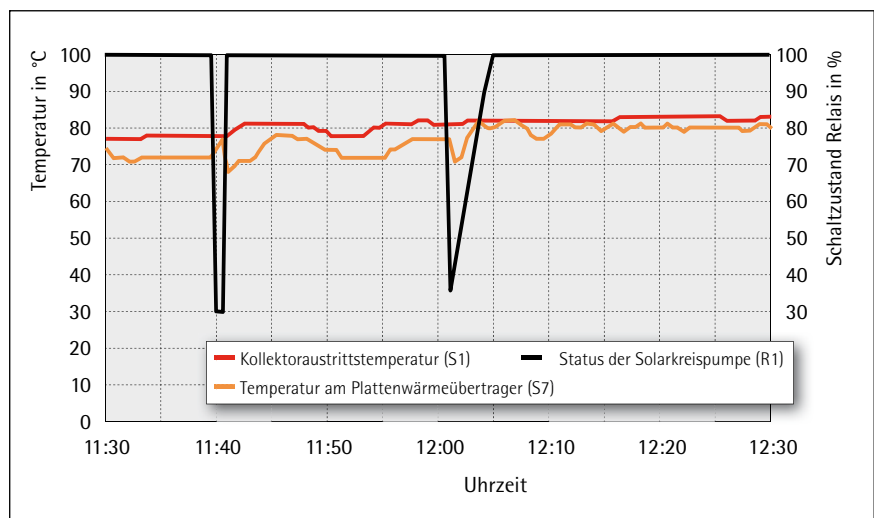


Bild 4: Messwerte nach der Neupositionierung des Kollektorfühlers, Datenaufzeichnung am 12. Juli 2011.

ZU DEN AUTOREN:

► *Dipl.-Ing. (FH) Lars Kunath*
Vela Solaris AG, Polysun, Stadthausstrasse 125, CH-8400 Winterthur, Schweiz

► *Prof. Dr.-Ing. Achim Trogisch*
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069, Dresden, Deutschland

► *Dipl.-Ing. MBA Frank Späte*
Solaringenieur

f.spaeete@gmx.de