

Ansätze zur automatisierten Fehlerdetektion bei großen thermischen Solarsystemen

Frank Wiese, Michael Krause, Klaus Vajen

Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, D-34119 Kassel

Tel.: 0561 / 804-3892, Fax: 0561 / 804-3993, solar@uni-kassel.de

Einleitung

In diesem Beitrag soll ein sich in der Entwicklung befindliches Verfahren zur automatisierten Fehlerdetektion mittelgroßer und großer Solarsysteme (vgl. Anlagenschema in Bild 1) dargestellt werden, dessen Ziel die sichere Detektion von Fehlfunktionen bei möglichst geringem Investitionsaufwand ist.

Die zur Überwachung benötigte Messdatenaufnahme soll dafür mit Hilfe des Solarreglers und weitgehend mit den ohnehin zum Anlagenbetrieb erforderlichen Sensoren realisiert werden. Die Datenzwischenspeicherung an einer Testanlage erfolgt mittels eines PC-Systems, das gemessene Minutenmittelwerte in Tagesdateien zusammenfasst. Dieser „Logging-PC“ ist über ein Modem an das Telefonnetz angeschlossen. Die Archivierung und Auswertung der Messdaten erfolgt zentral auf einem PC in den Räumen der Universität Kassel, vgl. [Wie02].

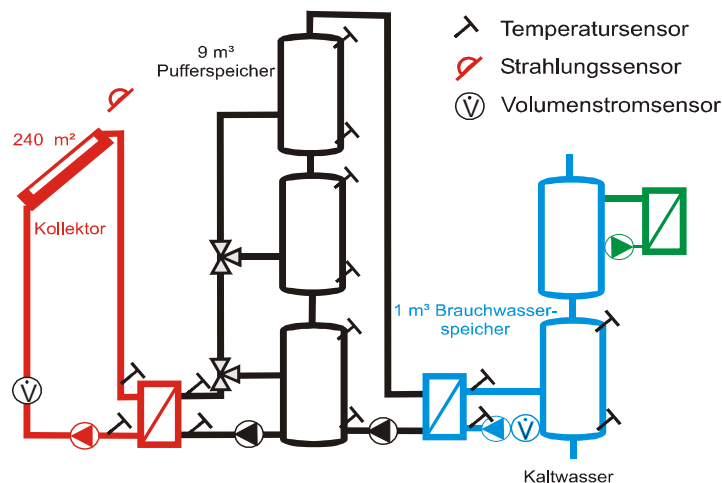


Bild 1: Vereinfachtes Schaltbild einer Solaranlage in Frankfurt (M), deren Messdaten als Entwicklungsbasis für die Funktionskontrolle dienen. Die eingezeichneten Sensoren wurden in die Funktionskontrolle einbezogen. Der Betrieb der primären Kollektorkreispumpe wird bei dieser Anlage über die Einstrahlung geregelt.

Verfahren zur Funktionskontrolle

Bei dem hier vorgestellten Verfahren erfolgt eine Kontrolluntersuchung jeweils für einen abgeschlossenen zurückliegenden Zeitraum, z. B. für den Vortag. Ziel des Verfahrens ist es, ein möglichst breites Spektrum möglicherweise vorkommender Fehlfunktionen detektieren und identifizieren zu können. Um die auftretenden Fehler einzugrenzen muss zunächst untersucht werden, welche Anlagenfehler bei großen Solarsystemen prinzipiell auftreten können und welchen Einfluss jeder dieser Fehler auf das Systemverhalten hat. Anschließend lassen sich, aufbauend auf die Ergebnisse von [FUKS99], Algorithmen entwickeln, mit denen ein Fehlverhalten des Solarsystems entdeckt und lokalisiert werden kann. Dabei sind, je nach Systemfehler, Identifizierungsalgorithmen in unterschiedlichen Komplexitätsstufen erforderlich. So ist beispielsweise ein Kabelbruch an einem Temperatursensor infolge der dadurch auftretenden ungewöhnlichen Messwerte relativ einfach zu detektieren, während es zur Identifikation des Ausfalls einer Pumpe bereits der Verknüpfung mehrerer Messkanäle bedarf. Zusätzlich zu der Ermittlung des Volumenstroms in dem jeweiligen hydraulischen Abschnitt muss dazu z. B. noch detektiert werden, ob die Einschaltbedingungen für die betreffende Pumpe überhaupt erfüllt waren. Noch schwieriger zu ermitteln sind Anlagenfehler, die einen „schleichenden“ Energieverlust bewirken, wie z. B. eine mangelhafte Speicherisolierung, und möglicherweise ohne aufwändige Energiebilanzen nicht detektiert und identifiziert werden können. Durch diese Beispiele wird deutlich, dass eine Fehlersuche in mehreren aufeinander folgenden Schritten erfolgen sollte, entsprechend der Komplexität der erforderlichen Detektionsalgorithmen. Dazu lassen sich Anlagenfehler in (mindestens) drei Kategorien einteilen:

1. Kategorie: Sensorausfälle
2. Kategorie: Fehler, die durch Verknüpfung zeitgleicher Signale mehrerer Messkanälen detektiert werden können
3. Kategorie: Komplexe Fehler (alle übrigen Anlagenfehler).

Ausschließlich anhand der Auswertung von Messdaten lassen sich möglicherweise die Fehler der 1. und 2. Kategorie weitgehend feststellen und eingrenzen. Hierauf lag auch der Schwerpunkt der bisherigen Untersuchungen. Für die Identifizierung von Fehlern der 3. Kategorie ist zusätzlich eine Nachsimulation des dynamischen Verhaltens der Anlage vermutlich unumgänglich.

Fehlersuche und Identifizierung durch Überprüfung der Messdaten

Die Messdaten werden in einem ersten Schritt auf das Auftreten von Fehlern der ersten und zweiten Kategorie untersucht.

1. Kategorie: Identifizierung von Sensorausfällen.

Die Untersuchung bezieht sich auf alle Sensoren, die an das Messsystem angeschlossen sind (Einstrahlungs-, Temperatur- und Volumenstromsensoren). Dabei sind zwei Fehlerzustände eines Sensors denkbar.

Zum einen registriert das Messsystem beim Bruch eines Messkabels kein auswertbares Signal des jeweiligen Sensors mehr. Je nach Reglerhersteller werden dann unterschiedliche, unrealistische Messwerte ausgegeben.

Zum anderen kann ein Sensordefekt auftreten, bei dem zwar theoretisch denkbare Messwerte registriert werden, die aber für die jeweilige Messstelle außerhalb der zu

erwartenden Grenzen liegen. Bei der Implementierung der Funktionskontrolle für eine neue Anlage könnte für jeden einzelnen Sensor ein vertrauenswürdiger Messbereich festgelegt werden, da z. B. in Kollektoren höhere Temperaturen auftreten dürfen als in Speichern. Ein Über- oder Unterschreiten dieses Bereichs wird als „Ausfallmesswert“ registriert. Ob der Sensor komplett ausgefallen ist oder das Messsystem nur eine kurze Störung aufwies, gilt es anhand der vorherigen und der nachfolgenden Messwerte zu prüfen.

2. Kategorie

Neben diesen einfachen Sensorausfall-Prüfungen lassen sich durch Verknüpfung von Messwerten unterschiedlicher Sensoren weitere Untersuchungen durchführen. Im Bereich der solaren Beladung sollten zur Detektion der im Anschluss genannten Fehlfunktionen die Solarstrahlung möglichst in der Kollektorebene, vgl. [Uec00], alle vier Temperaturen am Solarwärmeübertrager sowie einer der beiden Volumenströmen (möglichst auf der Sekundärseite¹) erfasst werden. Der jeweils andere Volumenstrom kann dann über die Energiebilanz am Wärmeübertrager berechnet werden.

Mit den genannten Sensoren lassen sich auch Fehler im Pufferspeicherbeladebereich detektieren, wie z. B. eine fehlende oder defekte Schwerkraftbremse oder eine abweichende Leistungsfähigkeit des Wärmeübertragers (UA-Wert-Kontrolle).

Mit diesen Untersuchungen können auch gleichzeitig aufgetretene Anlagenfehler der ersten Kategorie identifiziert werden. Allerdings lassen sich gegebenenfalls bereits bei einem Sensorausfall bestimmte verknüpfte Größen der zweiten Kategorie nicht mehr sinnvoll berechnen.

Umsetzungsbeispiel

Die bisherige Entwicklung und Erprobung der Algorithmen erfolgte an den Messdaten, die in einem Zeitraum von ca. zwei Jahren als Minutenmittelwerte an einem großen Solarsystem in Frankfurt (M) aufgenommen wurden.

Bei der Erprobung der bisher umgesetzten Algorithmen stellte sich heraus, dass für die Untersuchung dieser Anlage die Verwendung der Messdaten in verschiedenen Zeitaufösungen sinnvoll ist. Während für die Detektion von Temperatursensorausfällen am besten die hochaufgelösten Minutenmittelwerte verwendet werden, ist zur Kontrolle der Volumenströme, abhängig von der Impulswertigkeit des Volumenstromsensors die Verwendung einer gröberen Datenauflösung sinnvoll, da die berechneten Mittelwerte auf 1-Minutenbasis großen Schwankungen unterliegen und dadurch schlecht auswertbar sind. Letzteres gilt auch für die Kontrolle des Wärmeübertrage UA-Wertes. Bild 2 zeigt z. B. den berechneten UA-Wert am Solarwärmeübertrager auf zwei Zeitbasen.

Aufgrund der Impulswertigkeit des bei dieser Anlage verwendeten Volumenstromsensors von 10 l/Impuls ergeben sich starke Schwankungen im empfangenen Messsignal die zu einer ungenauen Bestimmung des UA-Wertes bei der Verwendung der Minutenmittelwerte führen.

¹ Die Stoffeigenschaften von Wasser sind genauer bekannt.

Durch Zusammenfassung zu 10-Minutenmittelwerten kann eine deutliche Glättung und damit eine bessere Auswertbarkeit der Kurve erreicht werden.

Ein Beispiel für die Detektion eines fehlerhaften Volumenstroms zeigt Bild 3. Der gemessene Kollektorvolumenstrom fiel gegen Mittag auf etwa die Hälfte des Nennvolumenstroms ab, obwohl bei der untersuchten Anlage keine drehzahlgeregelte Pumpe zum Einsatz kam und die Einschaltbedingung permanent erfüllt war.

Gegen Abend stieg der Volumenstrom wieder auf normale Werte an. Der hier gezeigte Fehler ist ab dem Zeitpunkt des ersten Auftretens nicht jederzeit detektierbar, weil gewissermaßen eine Selbstheilung der Anlage auftritt. Der fehlerhafte Volumenstrom konnte mit einer ungleichmäßigen Durchströmung der Kollektorfelder in Verbindung gebracht werden. In Teilfeldern traten dann temporär Überhitzungs- und Verdampfungseffekte auf.

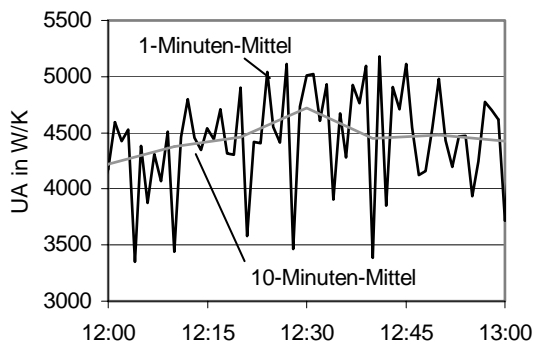


Bild 2: Dargestellt ist der für den Solarkreiswärmeübertrager berechnete UA-Wert auf Basis von 1- und 10-Minutenmittelwerten. Die Impulswertigkeit des dazu benutzten Volumenstromsensors betrug 10 l/Impuls bei einem Nennvolumenstrom von ca. 36 l/Minute.

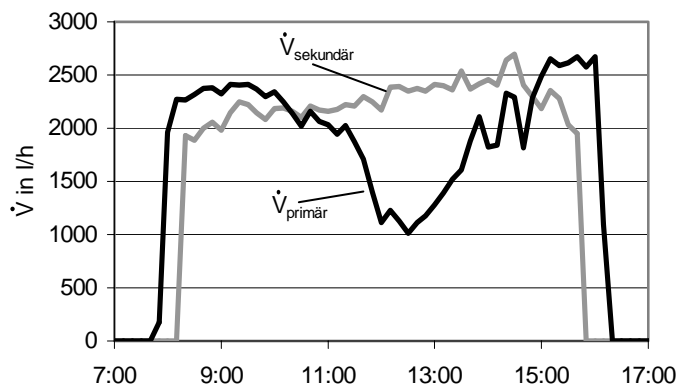


Bild 3: Gemessener primär- und berechneter sekundärseitiger Volumenstrom am Solarkreiswärmeübertrager einer solaren Trinkwarmwasseranlage in Frankfurt (M) am 10. März 2002.

Der anhand der Energiebilanz am Wärmeübertrager berechnete sekundärseitige Volumenstrom liegt dennoch im Bereich des bei der Auslegung geplanten Nennwertes. Die Berechnung liefert auch für die Zeiten eines zu geringen primärseitigen Volumenstroms vertrauenswürdige Werte. Anhand eines gemessenen Volumenstromes kann daher der andere mit hinreichender Genauigkeit über eine Temperaturmessung ermittelt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein in der Entwicklung befindliches Verfahren zur Funktionskontrolle großer thermischer Solarsysteme vorgestellt. Die bisherigen Schwerpunkte der Untersuchung waren dabei die Detektion von Sensorausfällen sowie die Funktionsprüfung des (Pufferspeicher-)Beladeteils der Anlage. Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Wärmeübertrager (UA-Wertes) kann allerdings auch für alle weiteren Wärmeübertrager der Anlage eingesetzt werden.

Die bisher umgesetzte Fehlerdetektion erfolgt über eine automatisierte Auswertung von Messdaten. Diesbezüglich sollen noch weitere Algorithmen für Fehlzustände implementiert werden.

Literatur

[Wie02] Wiese, F., Krause, M., Vajen, K.: *Verfahren zur simulationsgestützten Funktionskontrolle großer thermischer Solarsysteme*, 13. Internationales Sonnenforum, 12. – 13.09.2002, Berlin.

[FUKS99] Altgeld, H., Mahler, M.: *Funktionskontrolle bei kleinen thermischen Solaranlagen ohne Wärmemengenmessung*, Abschlussbericht, Juli 1999, Saarbrücken.

[Uec00] Uecker, M., Krause, M., Vajen, K., Ackermann, H.: *Monitoring of Solar Systems - Theoretical and Experimental Investigation on Measurements of Solar Radiation*, Proceedings Euro Sun 2000, 19.-22.6.2000.

Dieses Forschungsvorhaben wird unterstützt von der Rudolf Otto Meyer Umwelt-Stiftung und der Firma Wagner & Co. Solartechnik Cölbe.