

# Funktionskontrolle und Fehlerdetektion bei großen solarunterstützten Wärmeversorgungssystemen

Frank Wiese, Klaus Vajen, Ansgar Willburger, Michael Krause

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

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

Andreas Knoch

Fa. Wagner & Co. Solartechnik, Zimmermannstr. 12, D-35019 Cölbe

Tel. 06421 / 8007-0, Fax: / 8007-322, andreas.knoch@wagner-solartechnik.de

## Einleitung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens laufen im Institut für Thermische Energietechnik der Universität Kassel Entwicklungsarbeiten für eine kostengünstige Langzeitüberwachung großer solarunterstützter Wärmeversorgungsanlagen. Darin wurde der Solarregler mit den ohnehin benötigten Sensoren in das Konzept integriert. Eine schematische Darstellung der verwendeten Hardwarekette zeigt Abb. 1, eine detailliertere Beschreibung findet sich in [Wie 03].

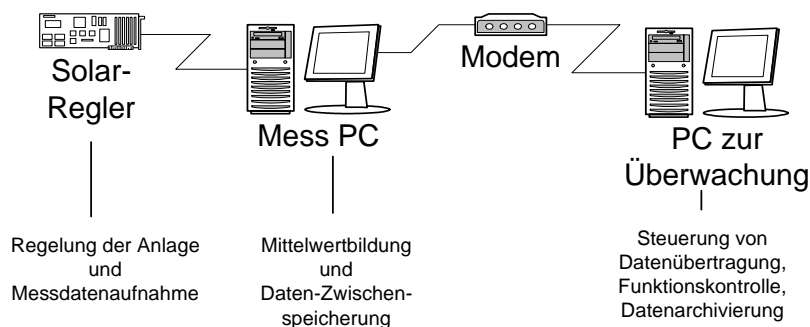


Abb. 1: Hardware des Langzeitüberwachungssystems im ersten Feldtest

## Verfahren zur Langzeitüberwachung

Ein Ablaufschema der Kontrollstruktur, wie sie auf dem Überwachungs-PC (Abb. 1) abläuft, zeigt Abb. 2. In einem ersten Teil des Verfahrens findet eine automatisierte Übertragung der Messdaten des Vortages vom Anlagenstandort auf den Überwachungs-PC sowie der dortige Import in eine Datenbank statt.

Es folgt Schritt 2 des Verfahrens, in dem die Messdaten auf Datenausfälle geprüft werden. Sind mehr als 95% der Tagesdaten in der Datenbank vorhanden, erfolgt mit Schritt 3 eine Plausibilitätsprüfung. Daran schließt sich in Schritt 4 eine simulationsgestützte Ertragskontrolle an. Abschließend werden die Kontrollergebnisse gespeichert und eventuelle Warn- oder Alarmmeldungen generiert und per Email verschickt. Die Vorgehensweisen zur Plausibilitätsprüfung und zur simulationsgestützten Ertragskontrolle werden nachfolgend genauer beschrieben.

## Plausibilitätsprüfung

Bei der Plausibilitätsprüfung handelt es sich um eine automatisierte Überprüfung der Messdaten auf unplausible Werte. Hierzu wurde das Anlagenverhalten durch stationäre mathematische Algorithmen abgebildet und die einzelnen Messdaten sukzessive nach Fehlern durchsucht. Abb. 3 zeigt beispielhaft die Überprüfung des UA-Wertes des Solarkreiswärmeübertragers einer Anlage in Frankfurt/M. (Orthopädische Klinik). Dieser UA-Wert wurde aus Messwerten der vier Temperaturen um den Wärmeübertrager und dem Kollektorkreisvolumenstrom berechnet.

Die obere und untere Kurve gibt dabei den Vertrauensbereich für

den UA-Wert unter Berücksichtigung der maximalen Messfehler an. Überprüft wird, ob die Auslegungs- oder Herstellerangaben innerhalb dieses Vertrauensbereichs der Messung liegen.

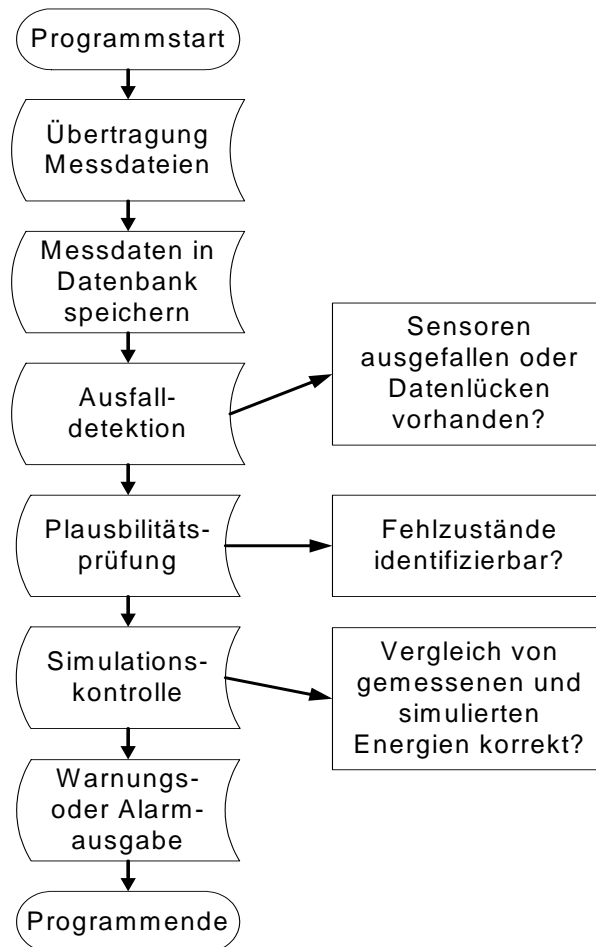


Abb. 2: Schematischer Ablauf der Funktionskontrolle

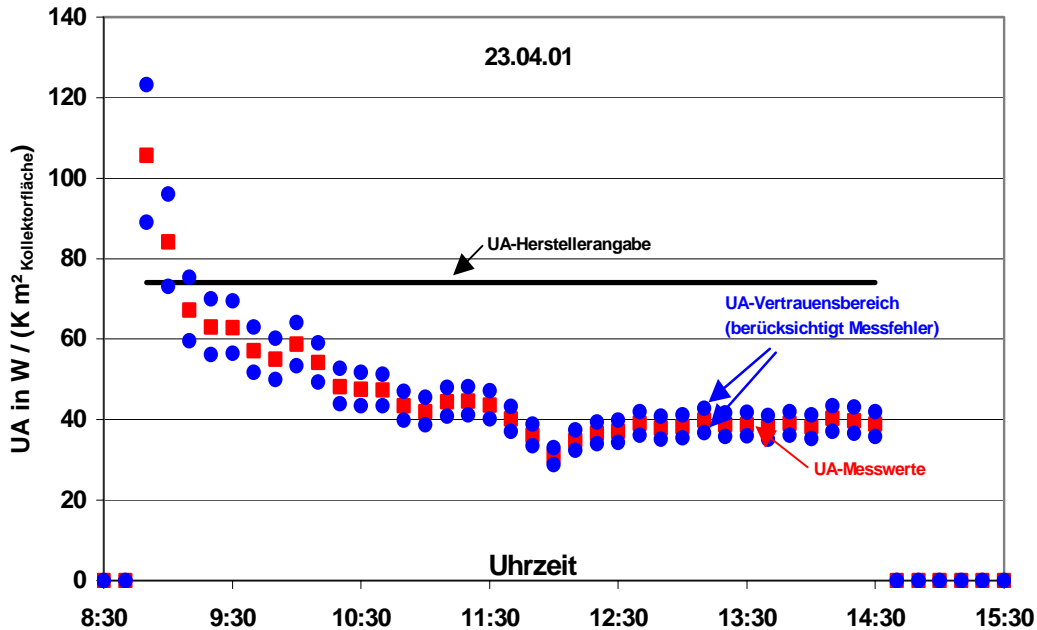


Abb. 3: Bestimmung des UA-Wertes des Solarkreiswärmeübertragers an der Anlage Frankfurt/M.(Orthopädische Klinik,  $A_{koll} = 240m^2$ ). Die obere und untere Kurve spannen den Vertrauensbereich für den berechneten Wert unter der Annahme auf, dass sich mögliche Messfehler zu einem Maximal- bzw. Minimalwert kumulieren. Basis 10 min. Mittelwerte.

Damit können fehlerhafte Produkte, vor allem aber auch schleichende Verminderungen des Wärmeübertragungsvermögens ermittelt werden. Liegt, wie in diesem Beispiel, der ermittelte Vertrauensbereich dauerhaft außerhalb der Toleranzgrenze, muss über Austausch, Reinigung oder unverändertem Betrieb entschieden werden. Wird der ermittelte Wert als noch tolerabel eingestuft, können die Alarmgrenzen ggf. entsprechend angepasst werden.

Wie am Beispiel des Wärmeübertragers gezeigt, ist es mit dem Plausibilitätsverfahren z. T. möglich, ausgefallene Komponenten direkt zu identifizieren. Die Grenzen dieses Verfahrens liegen darin, dass nicht für alle denkbaren Fehlzustände Identifikationsalgorithmen gefunden werden können und die Systemverschaltungen bei Großanlagen häufig individuell geplant sind. Damit sind, je nach Anlage, sehr unterschiedliche Fehler denkbar und es verbliebe auch bei sehr sorgfältiger Anpassung der Algorithmen an das jeweilige Solarsystem ein (Rest-)Risiko, dass ein Fehlzustand mit erheblichen Ertragsnachteilen nicht erkannt würde. Um dieses weitgehend auszuschließen, folgt als weiterer Kontrollschritt die simulationsgestützte Ertragskontrolle.

## Simulationsgestützte Ertragskontrolle

Die simulationsgestützte Ertragskontrolle ist eine Ergänzung zu der bereits beschriebenen Methode der Plausibilitätsbetrachtungen. Bei diesem Verfahrensteil findet ein Vergleich von gemessenen mit unter gleichen Randbedingungen simulierten Tageserträgen statt. Als Vergleichsstellen werden dabei die Energien für Be- und Entladung der Solarspeicher gewählt. Zwar können mit diesem (Teil-)Verfahren ausgefallene Komponenten nicht direkt identifiziert werden, grobe Systemstörungen werden aber in jedem Fall bemerkt.

In den Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass dieser letzte Verfahrensschritt auch mit zeitlich weniger hoch aufgelösten Daten funktioniert. Daher konnten mit diesem Verfahren auch Anlagendaten aus dem Forschungsprogramm Solarthermie 2000 (Teilprogramm 2) ausgewertet werden.

Das Auswerteprinzip soll am Beispiel der Messdaten für den Solarkreisenertrag der Anlage Leipzig (Joh.-R.-Becher-Str.) kurz vorgestellt werden (Abb. 4).

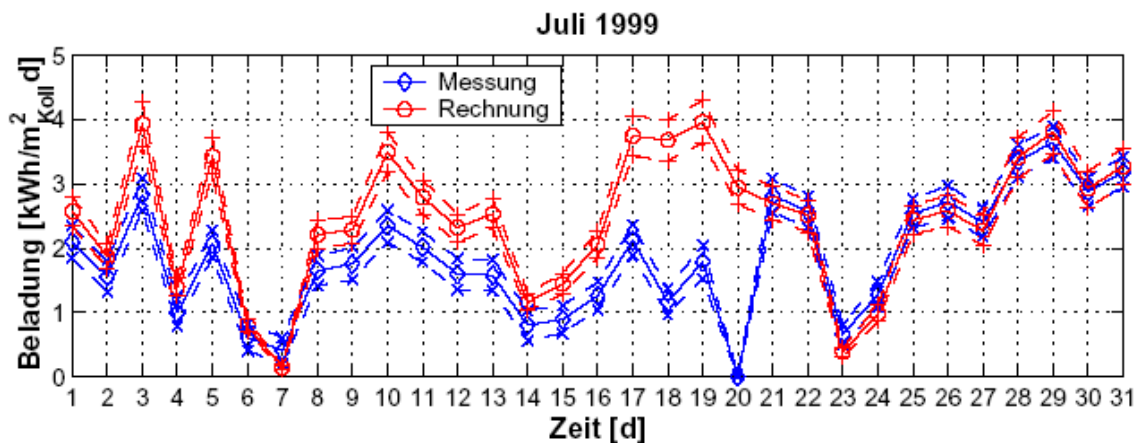


Abb. 4: Berechneter und simulierter Energieertrag am Solarkreiswärmeübertrager der Anlage Leipzig (Joh.-R.-Becher-Str.)

Die durchgezogene untere Kurve zeigt gemessene Tagesenergieerträge am Solarwärmeübertrager. Die gleichfarbig gestrichelt dargestellten Kurven verbinden gemessene Tageserträge unter der Annahme, dass sich Messfehler jeweils zu einem Maximal- bzw. Minimalwert kumulieren. Sie spannen somit einen Vertrauensbereich auf, in dem sich der simulierte Wert befinden sollte. Zur Überprüfung wird dieser Vertrauensbereich der Messung mit unter gleichen Randbedingungen simulierten Daten verglichen. Dazu wurde ein weitgehend standardisiertes TRNSYS-Deck an das installierte System angepasst, wodurch der Anpassungsaufwand für neue

Systeme gering gehalten werden konnte. Auch die Simulationsergebnisse sind fehlerbehaftet. Durch differentielle Sensitivitätsanalysen konnten die bzgl. des Solarertrags einflussreichsten Parameter und Eingangsdaten ermittelt werden. Für diese Größen werden jeweils plausible bzw. noch tolerable Minimal- und ein Maximalwerte angenommen und damit ein Vertrauensbereich der Simulation berechnet. An einem Tag mit ungestörtem Anlagenbetrieb müsste daher eine Überschneidung zwischen simuliertem und gemessenem Vertrauensbereich vorliegen. In dem in Abb. 4 dargestellten Zeitraum ist der gemessene Ertrag bis zum 20. Juli unterhalb der Erwartung, danach wurde die Anlage repariert und funktionierte anschließend fehlerfrei.

## **Zusammenfassung**

Das Gesamtverfahren wurde bisher an eigenen Messdaten getestet. An Messdaten aus dem Forschungsprogramm Solarthermie 2000 (Teilprogramm 2) konnte angesichts der gröberen Zeitaufösung nur das Teilverfahren der „simulierten Ertragskontrolle“ erprobt werden. Dabei konnten eine Reihe von kleineren Fehlern wie z. B. Regelstörungen, aber auch schwerwiegende Funktionsstörungen detektiert werden. Als auffallend konnte festgestellt werden, dass Störungen z. T. erhebliche Ertragseinbußen nach sich zogen, aber häufig nicht zu einem dauerhaften totalen Systemausfall führten. Dabei sind besonders Störungen, die nur in bestimmten Betriebszuständen auftreten, ohne (automatisierte) Funktionskontrolle kaum oder gar nicht detektierbar. Für eine breite Anwendung sollte anstelle des PC-Systems als Datenlogger (Mess-PC in Abb. 1) eine für das Problem angepasste Lösung gefunden werden.

Die Durchführung der Forschungsarbeiten wurde unterstützt von der Rudolf Otto Meyer-Umwelt-Stiftung. Dank auch an Thomas Freitag und Jens Göring von der TU Chemnitz, sowie Lars Staudacher vom ZAE Bayern für die Überlassung von Messdaten.

## **Literatur**

Wiese, F., Krause, M., Vajen, K.: *Ansätze zur automatisierten Fehlerdetektion bei großen thermischen Solarsystemen*, 13. Symposium Thermische Solarenergie, 14.-16.5.2003, Staffelstein, pp. 357-361