

Untersuchungen zum Steuer- und Regelverhalten von solaren Großanlagen zur Trinkwassererwärmung im Rahmen des Solarthermie-2000 Programmes

Elmar Bollin/Uta-Maria Klingenberger/Sascha Himmelsbach

Fachhochschule Offenburg

Badstr. 24, D-77652 Offenburg

e-mail: bollin@fh-offenburg.de

1. Einleitung

Der Automatisierung von versorgungstechnischen Einrichtungen in Gebäuden kommt große Bedeutung zu. Heute ist es selbstverständlich, dass durch das selbsttätige und zuverlässige Ablaufen von Heiz-, Kühl- und Klimatisierungsprozessen ein hoher Komfort bei behaglichem Klima im Gebäude garantiert wird. Bei solarthermischen Anlagen sorgt die Steuer- und Regelungstechnik für optimale Erträge durch effizientes „Verschieben“ von Energien vom Kollektor über Zwischenspeicher bis hin zum Verbraucher. Zusätzlich werden die Anlagenkomponenten vor thermischen Maximalbeanspruchungen geschützt.

Bekanntlich hat sich in diesem Bereich in den letzten Jahren ein Wechsel weg von analogen Kompaktreglern hin zur digitalen Regelung mit DDC-Einheiten (Direct Digital Control), sei es in Form von digitalen Einzelreglern oder digitalen Unterstationen einer Gebäudeleittechnik, vollzogen. Digitale Regler haben den Vorteil der Flexibilität und der Kommunikationsfähigkeit und ermöglichen so zusätzliche Transparenz bei der Beobachtung des Anlagenbetriebes. Speziell DDC-Einheiten im Rahmen der Gebäudeleittechnik stehen jedoch im Ruf teuer zu sein und nur noch von Spezialisten eingestellt bzw. programmiert werden zu können.

Unbestritten ist jedoch, dass ein grundlegendes regelungstechnisches Verständnis der Automatisierungsvorgänge verbunden mit verbesserter Transparenz bei der Dokumentation der Steuer- und Regelungstechnik bei solarthermischen Großanlagen den Inbetriebnahme- und Wartungsaufwand verringert, die Ertragsseite verbessert und die Kommunikation zwischen den am Projekt beteiligten deutlich verbessert.

An der Fachhochschule Offenburg werden seit Februar 1999 im Rahmen des BMWi – Programmes Solarthermie-2000 (ST-2000) Teilprogramm 2 solarthermische Großanlagen zur

Brauchwassererwärmung wissenschaftlich begleitet. Diese ST-2000-Anlagen zeichnen sich u.a. dadurch aus, dass sie mindestens über 100 m² Kollektorfläche verfügen und die Kosten für die solare Nutzwärme einen oberen Grenzwert von 0,25 DM/kWh nicht überschreiten. Letzteres muß vom Anlagenersteller garantiert werden! /1/

Neben intensiven Beratungen bei der Konzeption und Auslegung der Anlagen wird deren Realisierung von der Ausschreibung über die Vergabe bis zur Fertigstellung der Installationsarbeiten von der Hochschule begleitet. Mit Hilfe von hochauflösenden Messungen wird nach Inbetriebnahme der Anlagenbetrieb über mindestens 12 Monate analysiert und optimiert.

Dabei zeigt sich immer wieder, dass gerade die MSR-Technik in der Anfangsphase erheblichen zusätzlichen Aufwand bei den Installationsfirmen verursacht und die Effizienz der Solaranlage beeinträchtigt. Dies ist unter anderem in mangelnder Bedienerfreundlichkeit, unausgereiften bzw. unangepassten Regelkonzepten und fehlender Transparenz bei der Dokumentation von Regelstrategien begründet.

Im Rahmen einer umfassenden Untersuchung zum Steuer- und Regelverhalten solarthermischer Großanlagen /2/ wurden u.a. die Erfahrungen sämtlicher begleitenden Hochschulen im Rahmen des Programmes Solarthermie-2000 Teilprogramm 2 zusammengetragen und bewertet. In Anlehnung an die VDI Richtlinie 3814 „Gebäudeleittechnik“ wurden erstmalig für die solare Brauchwassererwärmung typische Regelstrategien zusammengestellt und übersichtlich dokumentiert /2/ /3/. Mit Hilfe von TRNSYS-Simulationen konnten verschiedene Einflußfaktoren auf das Regelverhalten wie Speichereffekte, Parametereinstellungen etc. untersucht und bewertet werden.

2. Praktische Erfahrungen mit der Steuerung und Regelung von Großanlagen zur solaren Trinkwassererwärmung

Bei Inbetriebnahme und Betrieb von ST-2000-Anlagen konnten u.a. folgende Ursachen für fehlerhafte Be- und Entladeregelung festgestellt werden:

- Temperaturfühler an falscher Stelle montiert
- Strahlungsmessung über Sensor liefert falsche Einstrahlungswerte
- Regelparameter ist vom Nutzer nicht veränderbar, so dass der Regler nicht an den realen Anlagenbetrieb angepaßt werden kann

- Zapferkennung über zwei unterschiedlich schnell reagierende Fühler im Trinkwasserzulauf funktioniert wegen der Vorwärmung des Trinkwassers nicht zuverlässig, d.h. falscher Regler für die Entladung ausgewählt
- Begrenzung der Solarspeicher-Rücklauftemperatur am Entladewärmetauscher durch Regelung der Pumpenleistung funktioniert nicht zuverlässig

Qualität der Regler

Es hat sich gezeigt, dass die DDC-Regelung sehr gut und schnell auf gewünschte Anlagenfunktionen angepaßt werden kann, vorausgesetzt das technische Personal vor Ort ist entsprechend geschult und kann Veränderungen an der Programmierung selbst vornehmen. Wenn selbst bei kleinen Änderungen am Regelprogramm der Kundendienst des Herstellers bestellt werden muß, dauert es u. U. sehr lange, bis die Regelung zufriedenstellend an die Solaranlage angepaßt ist.

Bei den Kompaktreglern ist entscheidend, dass in der Planungsphase die gewünschten Reglerfunktionen sehr genau festgeschrieben werden, so dass ein passender Regler ausgewählt werden kann. Die Kompaktregelgeräte können nachträglich meist nicht auf zusätzliche bzw. geänderte Anlagenfunktionen angepaßt werden. Zur Anpassung an den realen Anlagenbetrieb sollten möglichst viele Regelparameter vom Nutzer selbst anhand einer verständlichen Bedienungsanleitung eingestellt werden können.

Dokumentation der Regler

Die meisten Beschreibungen der Regler sind zu allgemein gehalten, eine einheitliche Schreibweise ist nicht vorhanden. Von den Reglerherstellern war erst nach mehrmaligen Anfragen eine detailliertere Beschreibung der Reglerfunktionen in mathematischer Schreibweise erhältlich. Zum einen erschwert dies die Auswahl eines geeigneten Reglers, zum anderen ist es oftmals recht schwierig, die Funktion der Regler im Anlagenbetrieb richtig nachzuvollziehen.

3. Relevante Steuer- und Regelkonzepte bei der solaren Trinkwassererwärmung

Die im Programm Solarthermie-2000 realisierten unterschiedlichen Anlagenkonzepte wurden klassifiziert, wobei zwei Grundtypen unterschieden werden können: Anlagen mit einem Vorwärmespeicher und Anlagen mit direkter Erwärmung. Bei der direkten Erwärmung wird das Kaltwasser direkt über einen Wärmetauscher vom Pufferspeicher erwärmt, im Vorwärmespei-

cher dagegen werden die Schwankungen im Warmwasserverbrauch gepuffert. In einem zweiten Schritt wurden die zu den Grundtypen gehörenden Steuer- und Regelkonzepte untersucht. Unterschiede zeigten sich in der Beladungsregelung, die entweder mit Hilfe der Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Pufferspeicher oder anhand der Einstrahlungswerte durchgeführt wird. Bei der Entladung unterscheiden sich die beiden Grundtypen der Anlagenkonzepte. Ein Vorwärmespeicher kann kontinuierlich Wärme aus dem Pufferspeicher abnehmen. Bei der Direkten Erwärmung muß der Volumenstrom variiert werden, um die übertragene Wärme dem Zapfvolumenstrom anzupassen.

4. Fragebogenaktion: Erfahrungen mit der Steuerung und Regelung von Großanlagen im Rahmen von Solarthermie-2000

Mit Hilfe eines Fragebogens wurden die Erfahrungen der betreuenden Hochschulen aus dem Projekt Solarthermie-2000 zusammengetragen und ausgewertet. Es wurde nach der Qualität der Regler und den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Regelkonzepte (Beladung mit Hilfe der Temperaturdifferenz oder mit Strahlungsschwellwert, Entladung mit Vorwärmespeicher oder direkte Erwärmung) gefragt. Dabei stellte sich heraus, dass eindeutig Kompaktregler bevorzugt werden, da sie günstiger, verständlicher und leichter zu bedienen sind. Bei den verschiedenen Möglichkeiten der Be- und Entladeregelung waren die Erfahrungen unterschiedlich. Etwas mehr wurde die Beladung mit Hilfe der Temperaturdifferenz und die Entladung mit Vorwärmespeicher bevorzugt. Die Regelung des Volumenstroms bei der direkten Erwärmung bereitet häufig noch Probleme.

Mit den Möglichkeiten der Dokumentation waren die Mehrzahl der Befragten nicht zufrieden. Deshalb wurden die verschiedenen Möglichkeiten der Darstellung von Regelkonzepten untersucht und erweitert.

5. Neuartige Methoden zur Dokumentation der Steuer- und Regelungstechnik in solarthermischen Anlagen

Zur Beschreibung der Regelvorgänge wurden verschiedene Darstellungsmethoden untersucht. Die vorhandenen Möglichkeiten sind : Wenn / Dann – Kriterium, Flußbild oder Text. Die Methode, die laut Befragung am häufigsten angewendet wurde, ist eine Kombination aus Wenn / Dann – Kriterien mit Text. Die Beschreibung ist übersichtlich und leicht nachzuvoll-

ziehen. Diese Darstellung hat jedoch den Nachteil, dass regelungstechnische Definitionen kaum berücksichtigt werden. Deshalb wurde erstmalig die VDI 3814 auf die Regelung und Steuerung in der Solartechnik angewandt.

Die VDI 3814 ist eine Richtlinie, die für die Gebäudeautomation entworfen wurde. Dort werden für die Darstellung der Automation unter anderem Regel- und Steuervorgänge dargestellt, Datenpunkte aufgelistet und übersichtliche Schemata entwickelt. Die Aufgabe des jeweiligen Reglers ist gleich zu erkennen und Regelkreise sind nachvollziehbar. Es kann mit dieser VDI ein Standard festgelegt werden, der eine eindeutige Beschreibung der Regelung ermöglicht.

Im Bild 1 ist beispielhaft die Beladeregulation mit den Wenn / Dann - Kriterien und nach VDI 3814 gegenübergestellt. Eine Kombination dieser beiden Möglichkeiten ist eine übersichtliche Darstellung, die auch für technisch weniger geschultes Personal nachzuvollziehen ist.

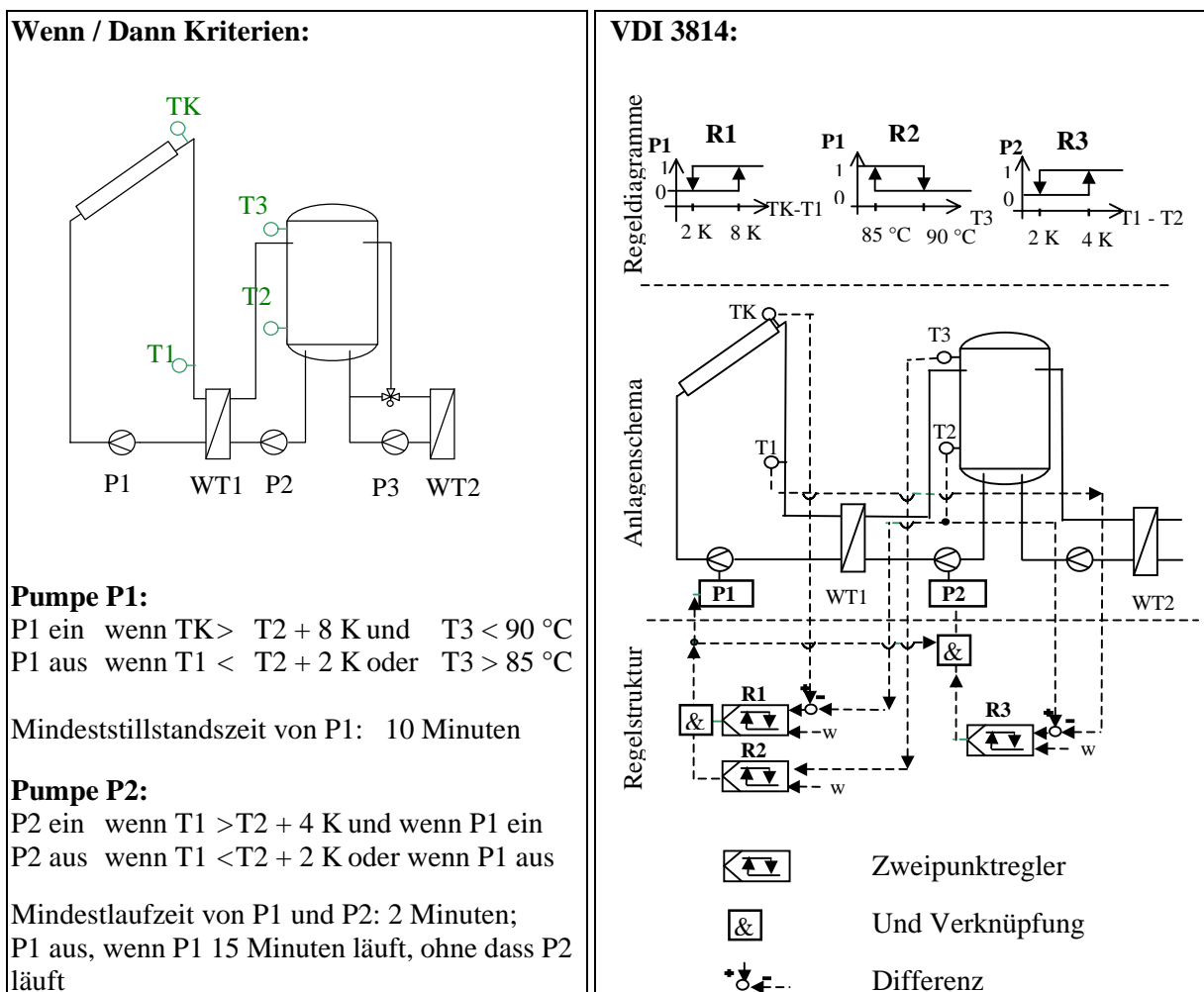


Bild 1: Beispielhafte Darstellung der Beladeregulation mit Wenn / Dann – Kriterien und nach der VDI 3814

6. Einfluß von Planungs- und Ausführungsfehlern, Betriebsart und Regelparameter auf die Regeldynamik und den solaren Ertrag

Die erarbeiteten Steuer- und Regelkonzepte wurden analysiert und mit Hilfe des Simulationsprogrammes TRNSYS bewertet. Das Ziel der Simulation war es, die verschiedenen Regel- und Steuerkonzepte zu bewerten, Auswirkungen von Fehlern, extremen Wetterbedingungen und Anlagencharakteristika auf die Regeldynamik und den Anlagenenertrag zu untersuchen.

Dazu wurde zuerst eine Referenzanlage modelliert. Es wurde eine für ST-2000 typische Anlage mit Vorwärm Speicher gewählt, die Beladung erfolgt mit Hilfe der Temperaturdifferenz. Diese Referenzanlage wurde für die verschiedenen Simulationen modifiziert und die Ergebnisse verglichen. Folgende Simulationen wurden durchgeführt:

- Variation der Parameter zum Einschalten der Kollektorkreispumpe
- Beladung mit Strahlungssensor
- Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten (Wärmeverluste der Leitungen)
- Zerstörte Schichtung im Speicher
- Erhöhung der Wärmekapazität der Rohrleitungen
- Extreme Wetterbedingungen (starke Schwankungen der Temperatur und der Einstrahlung)
- Matched Flow
- Entladung mit direkter Erwärmung

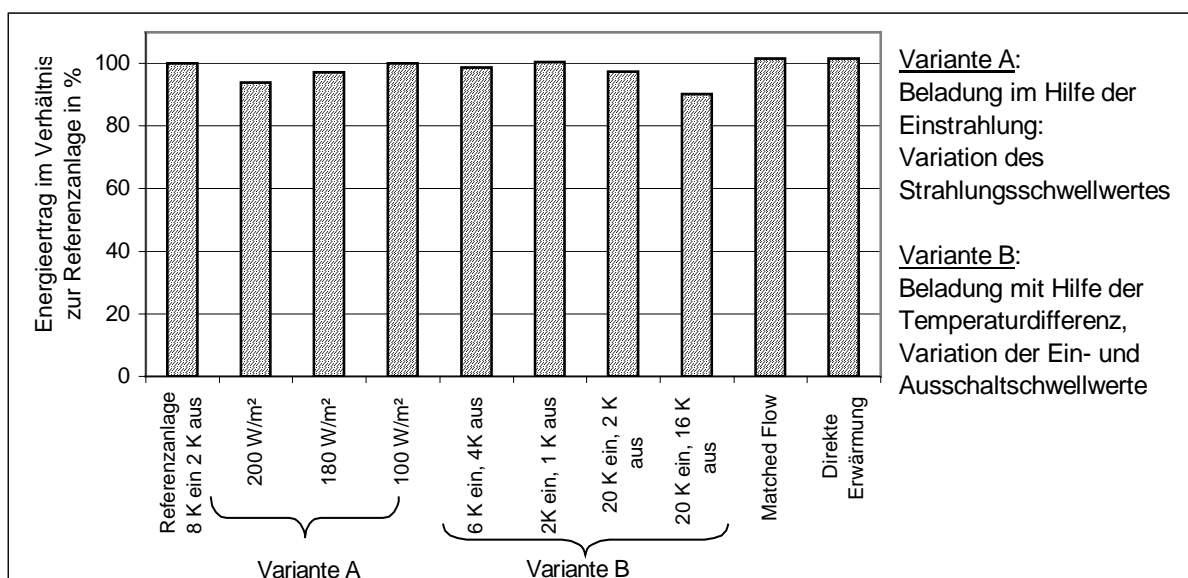


Bild 2: Simulierter Jahresenergieertrag bei verschiedenen Regelkonzepten

Die Simulation ermöglichte es sehr gut, Tendenzen zu erkennen und Einflüsse zu gewichten. Die Erfahrungen aus der Praxis bestätigen sich dabei. Jedes Konzept hat Vor- und Nachteile, die individuell abzuwägen sind.

Bei gut eingestellten Parametern kann die Beladung mit Hilfe eines Strahlungssensors gleiche solare Energieerträge erreichen wie eine Anlage, die mit der Temperaturdifferenz geregelt wird (siehe Bild 2). Die Gefahr des Taktens ist bei der Beladung mit Strahlungssensor größer. Es kommt jedoch hier häufiger vor, dass die Kollektorkreispumpe unnötig läuft. Fehler in der Anlage, wie eine zerstörte Schichtung im Speicher oder eine defekte Wärmedämmung, hatten bei der Simulation keine wesentlichen Auswirkungen auf den Ertrag und die Regeldynamik. Eine höhere Wärmekapazität der Rohrleitungen, wie es zum Beispiel bei langen Wegen zum Kollektor der Fall ist, hat beim Anfahren der Anlage die Folge, dass die Pumpen häufiger takten.

Beim Matched Flow Betrieb wird ab einer bestimmten Temperatur im Pufferspeicher oben (z.B. 65 °C) der Volumenstrom im Kollektorkreis erhöht, um das Erreichen der Maximaltemperatur und somit das Abschalten der Anlage hinauszuzögern oder zu verhindern. Es konnten bei der simulierten Anlage jedoch durch den Matched Flow Betrieb keine höheren solaren Erträge erreicht werden.

Die Entladung mit direkter Erwärmung ermöglichte ein ausgeprägteres Temperaturprofil im Pufferspeicher (siehe Bild 3). Dadurch konnte der Kollektorkreisnutzungsgrad um 4 % gesteigert werden und der Energieverbrauch der Pumpen um 15 % gesenkt werden. Dies ist eine wesentliche Erkenntnis der Simulation. Eine Anlage mit direkter Erwärmung ermöglicht eine wesentlich bessere Entladung des Pufferspeichers als ein Vorwärm Speicher.

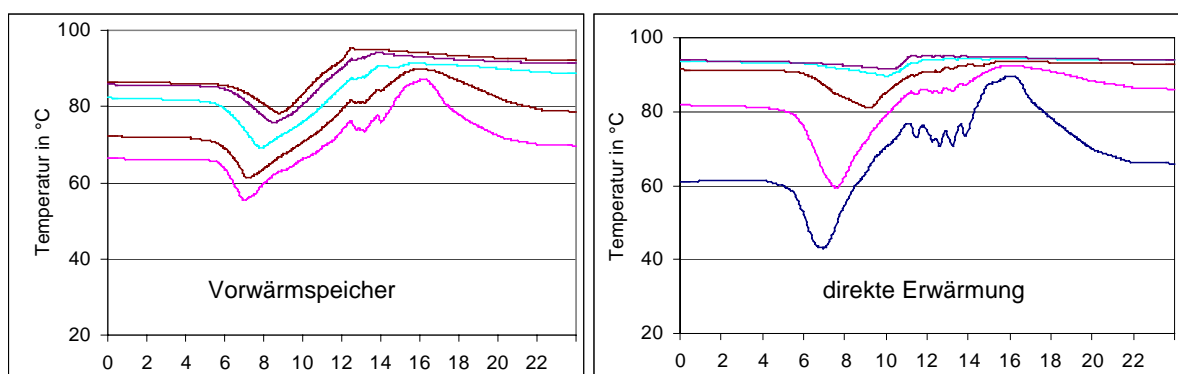


Bild 3: Tagesverlauf der Temperaturprofile des Pufferspeichers bei Entladung mit Vorwärm Speicher und mit direkter Erwärmung

Die zweite Erkenntnis ist, dass die Dynamik jeder Anlage beobachtet werden muß und die Parameter individuell eingestellt werden müssen. Es kann so Takten und unnötiger Betrieb der Pumpen vermieden werden und ein höherer solarer Ertrag erreicht werden. Eine Simulationsumgebung wäre hier für die exakte Regeleinstellung empfehlenswert.

7. Zusammenfassung

Fehlende Transparenz und mangelndes regelungstechnisches Verständnis verursachen bei der Inbetriebnahme und bei der Wartung und Instandhaltung von Solaranlagen erhöhte Kosten. Im Rahmen einer Untersuchung des Steuer- und Regelverhaltens von solarthermischen Anlagen des Projektes Solarthermie-2000 Teilprogramm 2 werden Erfahrungen zusammengetragen und bewertet.

Es gibt keine einheitliche, standardisierte Darstellung der Regelkonzepte. Deshalb wurde die VDI 3814 auf die Solartechnik angewandt. In Kombination mit der Darstellung nach Wenn / Dann – Kriterien wurde eine übersichtliche, der regelungstechnischen Sprache gerecht werdende Dokumentation eingeführt.

Die dynamische Simulation hat gezeigt, dass die Beladeregulungen mit Einstrahlwerten und mit Hilfe der Temperaturdifferenz die gleichen solaren Energieerträge erzielen können. Die Entladeregulung mit direkter Erwärmung ermöglicht eine bessere Entladung des Pufferspeichers durch ein ausgeprägtes Temperaturprofil im Pufferspeicher.

Mit einer gut eingestellten Regelung können laut Befragung und Simulation Mehrerträge von 5 – 10 % im Vergleich zur bestehenden Regelpraxis erreicht werden.

Quellen:

- /1/ Peuser, F.-A.; Croy, R.; Rehrmann, U.; Wirth, H. P.: „Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen, Praktische Erfahrungen“; TÜV-Verlag; 1999
- /2/ Klingenberger, Uta-Maria: „Regelung und Steuerung von solarthermischen Großanlagen zur Brauchwasserbereitung“; Diplomarbeit an der Fachhochschule Offenburg; 2000
- /3/ Bollin, Elmar: „Regelung von solarthermischen Anlagen“; Arbeitskreis der Professoren für Regelungstechnik in der Versorgungstechnik; Lehrbuch der „Regelungstechnik“; Verlag C.F. Müller GmbH Karlsruhe, Neuüberarbeitung 2000

Control of Large Scale Solar Domestic Hot Water Systems

Elmar Bollin/Uta-Maria Klingenberger/Sascha Himmelsbach

Fachhochschule Offenburg

Badstr. 24, D-77652 Offenburg

e-mail: bollin@fh-offenburg.de

In solar thermal systems the control unit has to shift energy from the collector via puffer storage to the consumer. Additionally it has to protect solar system components against overheating.

During the last years the control technology has changed from analog to digital units. Digital control units are more flexible in application and are able to communicate. DDC-units as part of a building automation system are known as high-costly and difficult to operate.

Nevertheless, an improved knowledge on control techniques and more transparency in documentation of control techniques could reduce the costs during the start up process and maintenance and improve solar system efficiency.

This paper presents a new type of documentation of control techniques for solar thermal systems. The experiences of the research groups of the Solarthermie-2000 programme is documented by evaluating questionnaires. Finally different impacts on the control process (heat capacity, heat losses of the tubes, inefficient planing and constructions, etc.) are analysed by dynamic system simulations.