

Entladeregelung mit Anpassung des Volumenstroms der Entladepumpe an den Zapfvolumenstrom

Solarthermie-2000, Teilprogramm 2

Felix A. Peuser¹⁾, Reiner Croy¹⁾, Hans Peter Wirth¹⁾, Guido Filler²⁾

¹⁾ ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH; Verbindungsstr. 19; D-40723 Hilden

Tel.: 02103/2444-0; Fax: 02103/2444-40; eMail: zfs.energie@t-online.de

²⁾ Resol GmbH, Heiskampstr. 10; 45527 Hattingen; Tel.: 02324/9648-25, Fax: -55; guido.filler@resol.de

1. Einleitung

Die Anbindung einer Solaranlage an das Trinkwassernetz erfolgt häufig mit einem Wärmetauscher (WT), der primärseitig vom Heizwasser aus einem Solar-Pufferspeicher und sekundärseitig direkt nur vom gezapften und zu erwärmenden Trinkwasser durchströmt wird ("Durchlauferwärmungsprinzip"; vgl. Abb. 1).

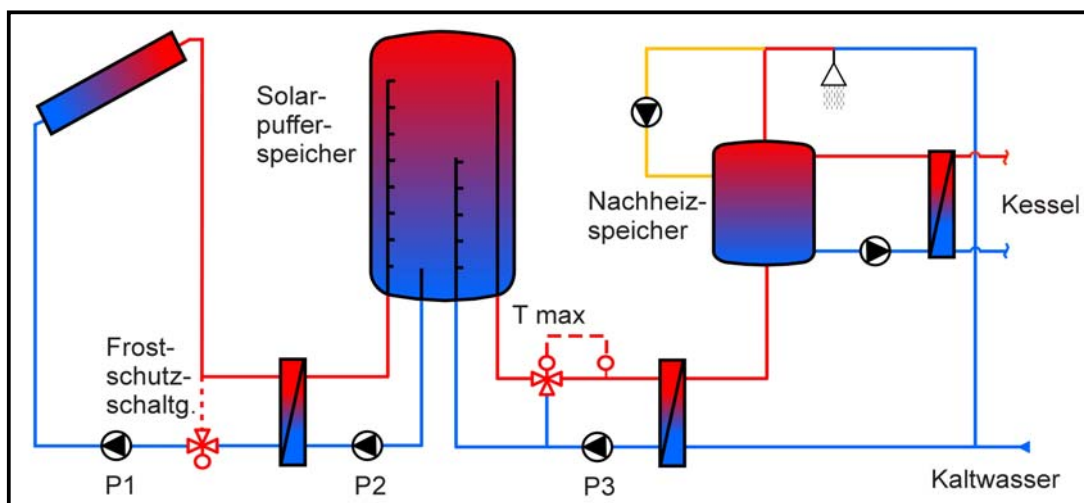


Abb. 1: Solaranlage mit Entladewärmetauscher zur Durchlauferwärmung

Von den möglichen Anbindungen eines solaren Pufferspeichers an das konv. System /1-3/ ist die in Abb. 1 gezeigte Variante die am einfachsten aufgebaute, wenn die Zirkulation nicht in das Solarsystem integriert wird /3/. Sie bietet zudem - bei korrekter Auslegung - die niedrigste Rücklauftemperatur zum Solarpuffer und damit die beste Systemeffizienz. Es zeigten sich jedoch zwei Probleme, die eine große Verbreitung dieses Systemaufbaus bei sehr großen Gebäuden (über 100 Bewohner) behinderten:

- Die Auslegung des WT ist schwierig. Er muss so gewählt werden, dass bei geringer Durchflussmenge noch ein guter Wärmeübergang stattfindet und dass zudem bei hohen Zapfspitzen der Druckabfall nicht zu groß wird. Bei zu hohem Druckabfall kann die Warmwasserversorgung gestört werden. Kurzzeitige Zapfspitzen (Mittel über ca. 10 sec. in l/h) liegen in Wohngebäuden ca. bei 25 % des Tagesverbrauchs (in l/d). Diese Untersuchungen /1,2/ müssen noch abgesichert werden.
- Viele der im Programm Solarthermie-2000 eingesetzten Entladeregler funktionierten bei diesen Systemen unzureichend und erfüllten nicht die Anforderungen.

Wegen der beiden o.g. Probleme konnte die ZfS diese einfache, kostengünstige und prinzipiell effiziente Systemvariante bisher nicht uneingeschränkt empfehlen.

Das Projekt Solarthermie-2000 wird vom Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert (ehemals durch BMWa). Der BMU übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Verantwortlich für den Inhalt dieser Veröffentlichung sind die Autoren.

2. Anforderungen an einen Entladeregler für Durchlauferwärmung

Wichtig für eine gute Effizienz des Kollektorkreises ist, dass die Temperatur im unteren Teil des Puffers nur wenig oberhalb der Kaltwassertemperatur liegt. Voraussetzung dafür ist ein guter Temperaturabbau am Wärmetauscher im Entladekreis. Zugleich soll das Kaltwasser auf der Sekundärseite des WT bis dicht an die Einlaufftemperatur des Pufferwassers in den WT erwärmt werden. Diese beiden Bedingungen werden dann gleichzeitig erfüllt, wenn erstens der Entlade-WT korrekt dimensioniert ist, und wenn zweitens die Volumenströme auf beiden Seiten des Entlade-WT gleich sind /1-3/. Zusätzlich soll die Pufferspeicher-Entladepumpe (P3) nur dann einschalten, wenn gezapft wird und die Temperatur im Puffer oben hoch genug über der Kaltwassertemperatur liegt.

Die meisten Reglerhersteller versuchten bisher, sowohl die Abfrage, ob gezapft wird, als auch das Einstellen der oben beschriebenen Temperaturzustände durch Abfrage und Auswertung diverser Temperatursignale zu realisieren. Derart temperaturgeführte Regelungen funktionieren jedoch unzureichend (siehe Kapitel 4 und /2-5).

Idealerweise wird ein Regler so aufgebaut, dass er die Werte misst, die direkt für die Funktionsweise des Systems ausschlaggebend sind und die auch geregelt werden sollen. In diesem Fall sind das Volumenströme, aber keine Temperaturen - abgesehen von der Temperaturdifferenz zwischen Pufferspeicher und Kaltwasser. Dies gilt sowohl für die Einstellung der Volumenstromgleichheit auf beiden Seiten des WT als auch für das Signal, ob Warmwasser gezapft wird.

Bisher war kein Regler am Markt, der dieses o.g. Prinzip vollständig realisiert hatte.

3. Beschreibung des neuen Entladereglers

Nach Definition des Konzeptes (vgl. Abb. 2) und der Regelanforderungen durch die ZfS GmbH wurde im Rahmen eines Auftrages der ZfS von der Firma Resol ein neuer Regler entwickelt. Die geregelte Entladepumpe ist eine Neuentwicklung der Fa. Wilo, mit der eine enge Zusammenarbeit stattfand. Die Aktivitäten der ZfS sind Bestandteil des Forschungsprojektes "Concheck" (Begleitforschung zu Solarthermie-2000), das mit Förderung durch BMU von FhG-ISE mit mehreren Partnern durchgeführt wird.

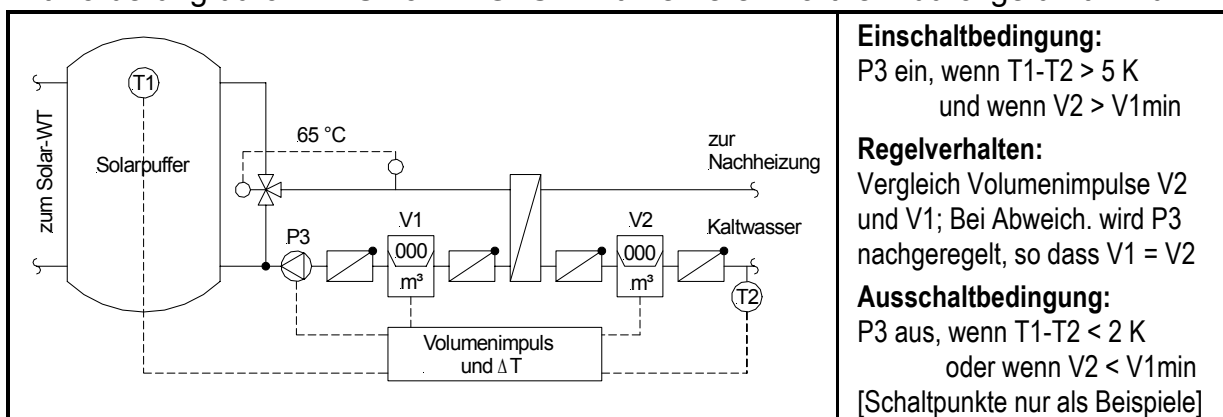


Abb. 2: Funktionsbeschreibung der neuen Entladeregleranlage

Ein Prototyp der Gerätekombination Regler/Pumpe wird seit Oktober 2002 in der ST-2000-Anlage der JH Saarbrücken /6/ getestet. Der Grundaufbau der Solaranlage entspricht im Wesentlichen dem in Abb. 1 dargestellten "Durchlauferwärmerprinzip".

Das Ein- und Ausschalten der Entladepumpe P3 erfolgt durch das Impulssignal des Volumenzählers V2 in der Kaltwasserleitung und einer im Regler integrierten ΔT -Abfrage zwischen der Temperatur im Puffer (T1) und der Kaltwassertemperatur (T2). Zum Abgleich des Volumenstroms der Entladepumpe V1 an den Zapfvolumenstrom V2 wird die Impulsfrequenz von V1 alle 1 bis 20 Sek. (Zeit einstellbar) mit der von V2 verglichen und das Fördervolumen der Pumpe P3 durch Änderung der Pumpenstufe so angepasst, dass die Impulsabweichung gegen Null geht. Überschreitet der Zapfvolumenstrom V2 das maximale Fördervolumen der Pumpe, läuft diese auf höchster Stufe weiter. Im Entladekreis der Solaranlage JH Saarbrücken wird dabei ein Fördervolumen von ca. 2,3 m³/h erreicht. Bei sehr flachen Rohrnetzkenlinien sind ca. 2,5 bis 3 m³/h mit dieser Pumpe möglich.

Für den Fall, dass der Zapf-Volumenstrom unter den Wert absinkt, der in kleinster Stufe von der Pumpe gefördert wird, stehen folgende Optionen zur Verfügung:

- Entladepumpe schaltet ab
(günstig bei Systemen ohne geschichtete Einspeisung des Rücklaufs in den Puffer)
- Pumpe läuft in kleinster Stufe weiter bis der Zapfvolumenstrom unter einen einstellbaren Grenzwert absinkt (mit Schalthysterese)
(mit nicht zu niedrigem Grenzwert nutzbar bei geschichteter Rücklaufeinspeisung)

Bei der Entladepumpe P3 handelt es sich um einen Prototyp, der vom Grundaufbau her identisch ist mit einer Nassläuferpumpe (Baureihe Wilo-Star-RS). Besonderheit ist, dass die Pumpe über einen M-Bus angesteuert wird, wodurch eine sehr feine Volumenstromanpassung in 24 Pumpenstufen möglich wird. Es können aber auch Pumpen mit anderem Regelungssignal (z.B. 0-10 V) eingesetzt werden.

Da für eine ausreichend gute Anpassung der Volumenströme eine sehr gute Auflösung der Volumenimpulsgeber (geringe Impulswertigkeit) erforderlich ist, sind die Volumenzähler mit induktiven Namur-Impulsköpfen bestückt. Handelsübliche Volumenzähler von DN15 bis DN50 mit Namur-Kopf haben niedrige Impulswertigkeiten von ca. 0,01 bis 0,08 Liter pro Impuls. Reed-Impulsgeber mit 1, 10 oder 100 Litern pro Impuls lösen für die hier gestellte Aufgabe zu schlecht auf.

Um Fehlimpulse durch eventuelles Pendeln der Wassersäule in den Rohrleitungen möglichst zu vermeiden, wurden federbelastete Rückschlagklappen vor und hinter beiden Volumenzählern eingebaut. Nach Ablauf der ersten Testphase soll noch untersucht werden, ob und an welchen Stellen diese Klappen notwendig sind.

Ein Nebeneffekt der im Entladekreis eingebauten federbelasteten Klappen war, dass der Druckabfall im Entladekreis einen konstanten Offset von ca. 80 mbar erhielt. Dadurch kann der Entlade-Volumenstrom bis hinab zu etwa 90 l/h (kleinste Stufe) geregelt werden. Ohne diesen Offset läge der Minimaldurchsatz bei ca. 360 l/h.

4. Betriebserfahrungen mit altem und neuem Regler

Alter Regler mit Temperaturgradient als Zapfsignal

Bei der alten Entladeregelung wurde als Einschaltsignal für P3 der Temperaturabfall an einem Fühler gemessen, der beim Zapfen durch das anströmende Kaltwasser entsteht. Außerdem sollte die Austrittstemperatur des Trinkwassers aus dem WT durch die drehzahlgeregelte Entladepumpe so geregelt werden, dass sie um 7 K unter der Temperatur im oberen Pufferbereich liegt, maximal jedoch bei 60 °C. P3 soll abschalten, wenn die Rücklauftemperatur in den Puffer nur noch weniger als 5 K unterhalb der Trinkwasser-Solltemperatur ist (alle genannten Werte sind einstellbar).

Wegen der regelungstechnisch vorgesehenen Temperaturbegrenzung des Trinkwassers auf 60 °C war keine Rücklaufbeimischung im Entladekreis (s. Abb. 1) vorhanden. Diese wurde erst mit dem Einbau des neuen Reglers nachgerüstet.

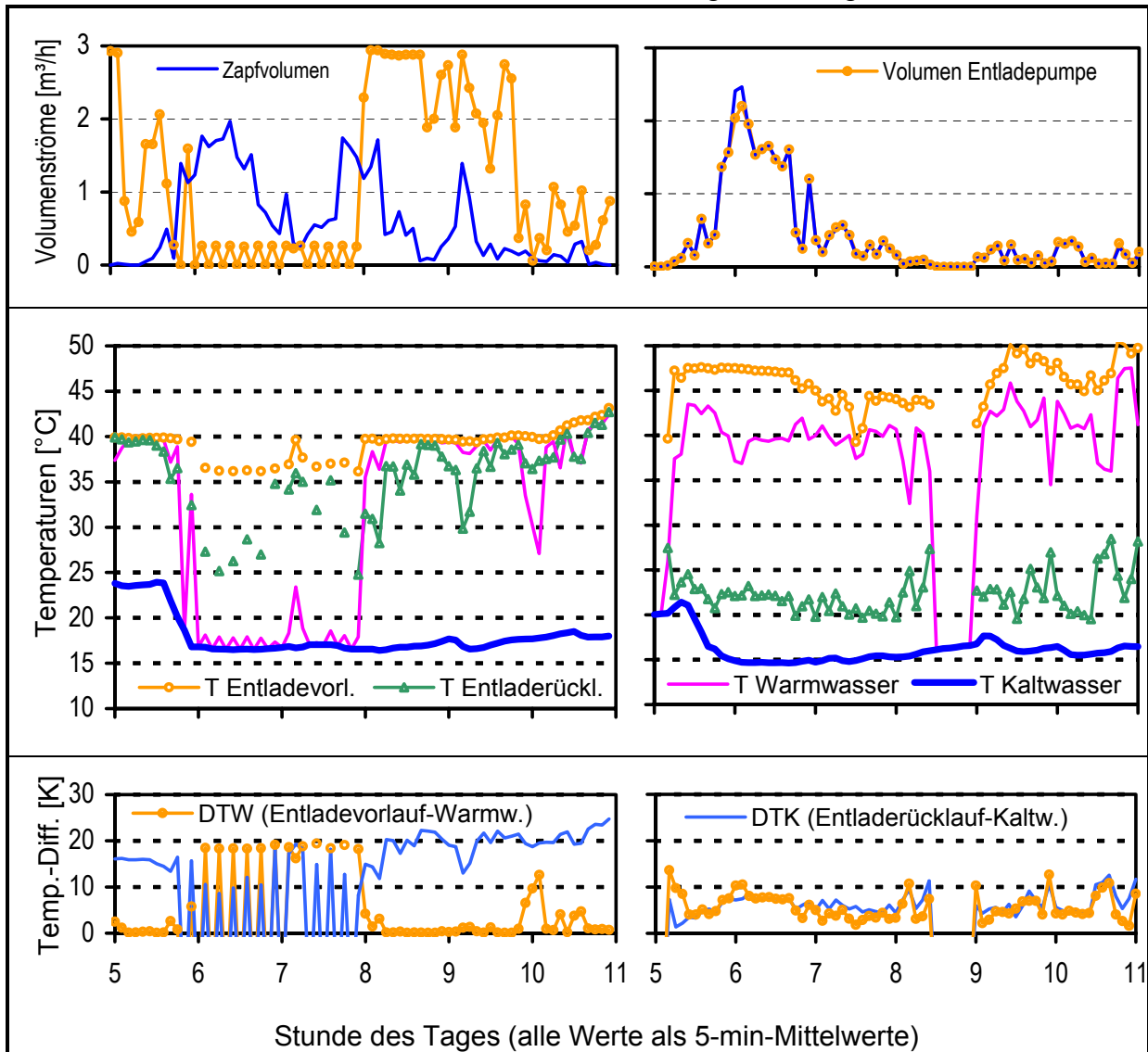


Abb. 3: Volumina, Temperaturen und Temperaturdifferenzen am Entladewärmetauscher vor (Teilbilder links) und nach (rechts) Umbau der Entladeregulung (Temperaturen bei nicht vorhandenem Volumen ausgeblendet, da dann irrelevant)

Ohne im Einzelnen auf die komplexen Temperaturabhängigkeiten des alten Regelkonzeptes einzugehen, wird in Abb. 3 (Bild links oben) deutlich, dass der Volumenstrom der Entladepumpe nicht an den Zapfvolumenstrom angepasst ist. Bis kurz nach Beginn der 5. Tagesstunde fördert die Pumpe bereits seit über einer Stunde (nicht im Bild dargestellt) 1,5 bis 2,9 m³/h, obwohl nicht gezapft wird. Die für das Solarsystem schwerwiegende Folge ist, dass der Rücklauf fast mit Vorlauftemperatur in den Solarpuffer einströmt (vgl. linke Seite mittleres Bild und unteres Bild mit den Temperaturdifferenzen). Selbst bei den hier "zum Glück" eingebauten Schichtbeladungsanlagen tritt ein negativer Effekt für die Effizienz des Solarsystems auf, weil der Puffer unnötig durchmischt wird. Bei einem System ohne Schichteinspeisung würde der Puffer unten nahezu auf seine Temperatur im oberen Bereich erwärmt. Erheblich

che Effizienzeinbußen wären die Folge. Die Kosten für die relativ teuren - und noch keineswegs im Dauerbetrieb über ca. 20 Jahre bewährten - Schichtanlagen könnte man mit einer korrekt arbeitenden Regelung bei dieser Systemschaltung einsparen. Mit Beginn des Warmwasserverbrauchs schaltet die Entladepumpe in einen schnellen Taktbetrieb. Die Fördermenge erreicht bei weitem nicht den Volumenstrom auf der Trinkwasserseite. So strömt die morgendliche Zapfspitze bis 7:00 Uhr nahezu ohne Erwärmung (vgl. Bild links unten mit Temperaturdifferenz) durch den WT. Die Austrittstemperatur des erwärmten Trinkwassers liegt unter 20 °C, obwohl primärseitig am WT ca. 40 °C anstehen (vgl. links, Mitte). Dabei "hilft" es auch nicht, dass der Rücklauf zum Puffer jetzt sehr gut abgekühlt wird.

Ab etwa der 8. Tagesstunde (ca. Mitte der zweiten Morgenspitze) schaltet die Pumpe auf 2,9 m³/h hoch. Warum sie erst so spät hochschaltet, obwohl die abgefragten Regeltemperaturen um diese Zeit ähnlich sind wie zu Beginn der ersten Morgenspitze, ist unerklärlich. Zudem fördert die Pumpe nunmehr wieder erheblich zu viel. Auch im weiteren Verlauf des dargestellten Tagesausschnitts liegt das Fördervolumen von P3 immer erheblich über dem Zapfvolumen. Das Trinkwasser wird so zwar gut erwärmt, im Entladekreis findet wegen des zu hohen Fördervolumens aber nur ein geringer Temperaturabbau mit den o.g. negativen Effekten statt (vgl. unteres Bild links mit Temperaturdifferenzen).

Zu bedenken ist hier noch, dass an diesem Tag der Puffer oben nur auf ca. 40 °C erwärmt war. Wäre der Puffer evtl. 65 °C warm gewesen, so wäre zeitweise Wasser mit diesem hohen Temperaturniveau in den Puffer zurückgeströmt.

Trotz intensiver Bemühungen, den Regler besser einzustellen, konnte in dieser Anlage kein befriedigender Entladebetrieb erreicht werden. In einer anderen ST-2000-Anlage läuft ein ähnlicher Regler zwar mit einem etwas besseren Verhalten, aber auch dort keineswegs optimal /5/.

Neuer Regler mit Volumenimpulsregelung

Mit dem neuen Entladeregler (Teilbilder auf rechter Seite in Abb. 3) ist das Fördervolumen der Pumpe jetzt so gut an das Zapfvolumen angepasst, dass die Volumenkurven fast ständig deckungsgleich übereinander liegen und nicht mehr zu unterscheiden sind. Dies gilt auch, wenn man die Messwerte in 10-sec-Schritten auflöst. Ausnahme bilden Zeiten, in denen während der Mittelungsperiode von 5 Minuten zeitweise mehr Warmwasser gezapft wurde als die Entladepumpe in maximaler Leistungsstufe fördern kann (kurz nach Beginn der 6. Tagesstunde). Diese obere Grenzleistung der Pumpe sollte man immer etwas unterhalb der maximal zu erwartenden Zapfspitze wählen, um die Pumpe nicht zu groß und zu teuer werden zu lassen und um zugleich auch weit genug nach unten hin regeln zu können. Die seltenen Fälle, in denen mehr Warmwasser gezapft wird als die Pumpe auf der Entladeseite fördern kann, stören das Entladeverhalten des Pufferspeichers nur sehr wenig.

Auf der Primärseite des WT wird der Rücklauf des Entladekreises je nach übertragener Leistung auf eine Temperatur nur ca. 3-10 K höher als die Kaltwassertemperatur abgekühlt (mittleres und unteres Bild rechts). Zu beachten ist hier, dass der Wärmetauscher zu klein ausgelegt ist. Er sollte ein mittleres log. ΔT von ca. 5 K bei Vollast (wird hier nie ganz erreicht) haben.

Die Erwärmung des Kaltwassers ist ebenfalls sehr gut. Die Temperatur des vorerwärmten Wassers liegt nur ca. 3-10 K unterhalb der Temperatur des Entladevorlaufs.

Das Betriebsverhalten bei besonders hohen Speichertemperaturen konnte noch nicht getestet werden, da die neue Gerätekombination Pumpe/Regler erst Mitte 10/2002 in Betrieb ging und bis zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung keine entsprechenden Temperaturen erreicht wurden.

In den kommenden Wochen werden noch einige kleinere Einstellungsänderungen getestet werden, die das Regelverhalten evtl. noch etwas verbessern können – wobei sicher nicht viel an diesem Gerät zu verbessern ist.

Obwohl die Tests an diesem neuen Regler noch nicht vollständig abgeschlossen sind, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt bereits feststellen, dass der Regler die Erwartungen bisher erfüllt hat.

Sollte die weitere Testphase erfolgreich verlaufen, so ist damit zu rechnen, dass die Gerätekombination Pumpe/Regler evtl. noch im Jahr 2003 am Markt verfügbar sein wird.

5. Literatur

- /1/ Peuser, F. A., Croy, R., Rehrmann, U., Wirth, H. P.:
Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen – Praktische Erfahrungen
TÜV-Verlag GmbH Köln, 1999, ISBN: 3-8249-0541-8
- /2/ Peuser, F. A., Remmers, K.-H., Schnauss, M.:
Langzeiterfahrung Solarthermie – Wegweiser für das erfolgreiche Planen und Bauen von Solaranlagen;
Solarpraxis Berlin, 2001; ISBN 3-934595-07-3
- /3/ Peuser, F. A., Meyer, F.:
BINE-Themeninfo III/02: "Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung"
Hrsg.: Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2003; ISSN: 1610-8302
- /4/ Peuser, F. A., Croy, R., Wirth, H. P.:
Erfahrungen mit Regelungen für thermische Solaranlagen im Programm ST-2000;
10. Symposium "Thermische Solarenergie" 10. – 12.5.2000 im Kloster Banz
- /5/ Croy, R., Wirth, H. P.:
Zwischenbericht zur Solaranlage im Städt. Klinikum Solingen, Bezug über ZfS
- /6/ Flyer "Solaranlage zur Trinkwassererwärmung – JH Saarbrücken", Bezug über ZfS

Discharge Control with Adaptation of the Flow Rate of the Discharge Pump to the Tapping Flow Rate

Abstract

Fig. 1 shows the principle of heating potable water in a discharge heat exchanger in the flow which is an inexpensive, simple and frequently practised variant for coupling the solar buffer to the drinking water system. The discharge pump is switched on only if water is tapped and, at the same time, the temperature at the top of the solar buffer is higher than that of the running drinking water. The pump should be so adjustable that the same flow rates are found on both sides of the heat exchanger, thereby ensuring a good reduction of the temperature level in the discharging circuit (a condition for high efficiency of the collector field) at the same time optimum heating up of the temperature of the cold water.

So far there is no automatic control on the market that can guarantee these criteria completely. The automatic controls available are insufficient (Fig. 3, left picture). In the context of sub-programme 2 of Solarthermie-2000 a combination of devices was developed by the companies Wilo (pump manufacturer) and Resol (controls) and this fulfils the requirements.

After the pump has switched on (tapping signal and a sufficient temperature difference are present), the automatic control continuously compares the pump flow rate with the tapping flow rate and if necessary adapts the delivery of the pump by a change-over to a higher or lower pump stage to the tapping rate. In order for the automatic control to react quickly, volume flow meters with inductive pulse generators are used, since these have a high impulse rate. Reed pulse generators with only one impulse per 1, 10 or 100 litre are not suitable.

A prototype device, which is approaching the series production stage, is at present being tested in a solar plant. The first results show a very good agreement between the flow rates (Fig. 3 right). If the further test phase runs successfully, then it is expected that the combination of pump and automatic control will be available on the market in the year 2003. The application of a double pump is planned for systems with higher tapping peaks of up to 5 m³/h. The practical test for this is still pending.