

Vermessung des Stagnationsverhaltens von Kombi-Systemen

Robert Hausner, Christian Fink

Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – AEE

A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19

Tel.: +43-3112-5886, Fax: +43-3112-5886-18

e-mail: r.hausner@aee.at, c.fink@aee.at

Im Rahmen des von der Europäischen Union unterstützten Projektes „Stagnation Technology for Thermal Solar Systems“ (CRAFT-JOULE-Programm) werden von der Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE-AEE über zwei Sommerperioden „Insitu“ Messungen hinsichtlich der auftretenden Vorgänge bei Stagnation an drei Anlagen durchgeführt. Aufgrund der zum Teil langen Stillstandszeiten von Kombi-Systemen (Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung) in den Sommermonaten, ergeben sich im speziellen bei dieser Anwendung interessante Phänomene bezüglich des Stagnationsverhaltens.

1 Anlagenauswahl und Messkonzept

Drei problembehaftete Kombi-Systeme in Einfamilienhäusern mit repräsentativer Dimensionierung und Anlagenhydraulik, jedoch unterschiedlicher Kollektorhydraulik, wurden aus einer Vielzahl von Anlagen ausgewählt, mit einem Messsystem versehen und während der ersten Messperiode über einige Sommermonate vermessen. Erfasst wurden dabei:

- die solare Einstrahlung in Kollektorebene sowie die Umgebungstemperatur
- die Temperaturverteilung im Kollektorfeld, zahlreiche Temperaturen an Vor- und Rücklaufleitungen, am Ausdehnungsgefäß sowie am Wärmetauscher im Sekundärkreis
- der Druck in Vor- und Rücklauf und am Ausdehnungsgefäß
- die Strömungsgeschwindigkeiten in Vor- und Rücklauf.

Als Beispiel ist in Abbildung 1 das hydraulische Schaltbild (maßstäbliche geodätische Höhen) einer vermessenen Anlage mit 44 m² Bruttokollektorfläche (Flachkollektoren) und 4,5 m³ Energiespeicher mit den eingezeichneten Messpunkten dargestellt.

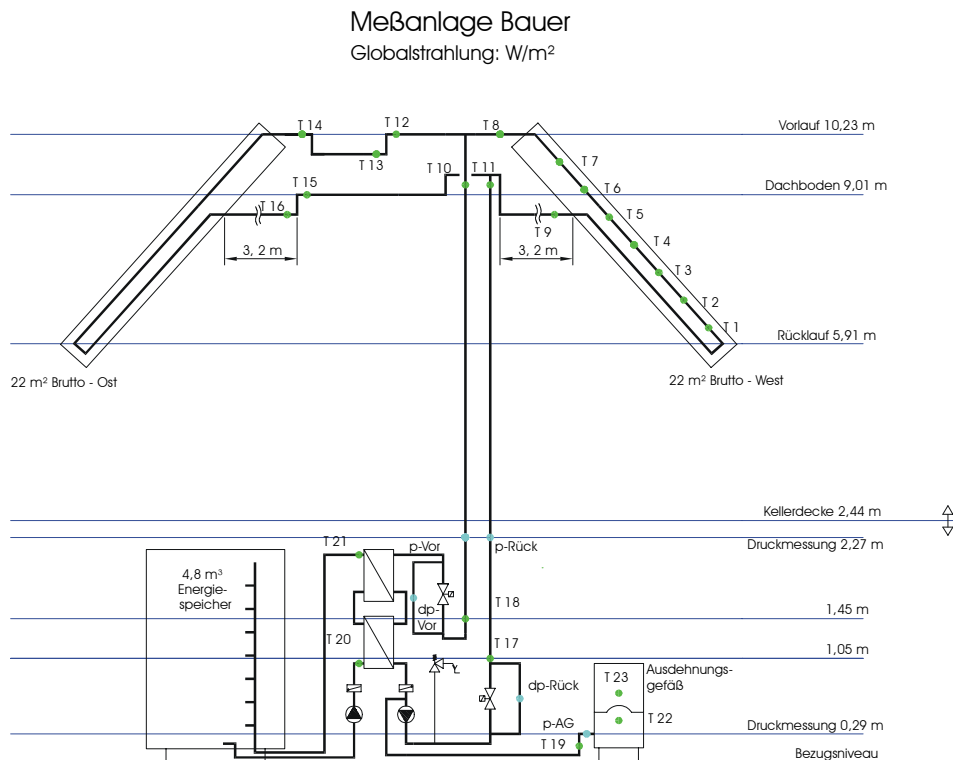


Abbildung 1: Hydraulik- und Messkonzept einer Anlage mit 44 m² Kollektorfläche und 4,5 m³ Energiespeichervolumen.

Ziel dieser Messungen war, beobachtete Stillstands-Phänomene wie

- hohe Temperaturbelastungen bis in Bereiche des Technikraumes und dadurch verursachte Zerstörung von Systemkomponenten sowie auftretende Leckagen
- Öffnen des Überdruckventils, obwohl übliche Auslegungsrichtlinien bezüglich Ausdehnungsgefäßgröße und Druckverhältnisse eingehalten wurden
- Kondensations-Druckschläge in Primär- und Sekundärkreis der Solaranlage

zu quantifizieren bzw. zu erklären sowie angepasste Planungs- und Auslegungsrichtlinien zu erarbeiten.

2 Beschreibung der Vorgänge während Stagnation

Aus den Messungen abgeleitet, läuft der Stagnationsvorgang, abgesehen von anlagenspezifischen Unterschieden, generell nach folgendem, in mehrere Phasen unterteilbarem, Schema ab. Voraussetzung ist, dass die Anordnung der Rückschlagklappe beim Verdampfungsvorgang ein Füllen des Ausdehnungsgefäßes mit Flüssigkeit sowohl von Vor- als auch Rücklaufleitung ermöglicht.

Phase 1 Flüssigkeitsdehnung

Nach Abschalten der Kollektorkreis- und Sekundärkreispumpen aus dem normalen Betriebszustand heraus, steigen die Kollektortemperaturen rasch gleichmäßig an, bis im oberen Bereich des Kollektors an einer Stelle eines Absorberstreifens der Verdampfungsvorgang beginnt. Bis hierher ist der Anstieg des Systemdruckes nur sehr gering.

Phase 2 Leerschieben des Kollektors

Der Beginn der Verdampfung entspricht der Siedetemperatur, die sich aus dem lokal an dieser Stelle des Kollektors herrschenden Druck ergibt. Diese Siedetemperatur ist vorerst noch relativ niedriger.

Eine kleine Menge Medium verdampft und schiebt einen größeren Teil des flüssigen Kollektorinhalts aus, bis die Vor- und Rücklaufleitungen unter Satttdampf sind. Dadurch ergibt sich ein relativ rascher Druckanstieg, da große Mengen Flüssigkeit in das Ausdehnungsgefäß geschoben werden. Bei einfacher Kollektorhydraulik mit - in Strömungsrichtung gesehen - nur waagrechten oder ansteigenden Rohrstücken fließt dabei die größere Menge über die Rücklaufleitung (Kollektorinhalt) und die kleinere Menge über die Vorlaufleitung (kommunizierende Gefäße). Bei komplexerer Kollektorhydraulik - steigende, waagrechte und fallende Rohrstücke gemischt - ist auch das Entleerungsverhalten komplexer.

Der Systemdruck steigt in dieser Phase rasch an. Ebenso die Siedetemperatur im mit Satttdampf gefüllten Bereich. Die Dauer dieser Phase beträgt nur einige Minuten.

Die Temperaturen der Vor- und Rücklaufleitungen im Technikraum und der Zulaufleitung zum Ausdehnungsgefäß sind zuerst niedriger (nach Pumpenstillstand abgekühlt) und steigen später (heißer Kollektorinhalt) an, erreichen jedoch nicht die ursprünglich hohen Kollektortemperaturen aufgrund Abkühlverlusten in den Leitungen. Sind diese Leitungen kurz und haben niedrige Abkühlverluste, so kann es zu unzulässig hohen Temperaturbelastungen am Ausdehnungsgefäß und anderen Systemkomponenten kommen, insbesondere wenn bei hoch gewähltem Systemdruck das Verdampfen erst bei höheren Temperaturen beginnt. Lange und ungedämmte Leitungen zum Ausdehnungsgefäß senken dessen Temperaturbelastung deutlich.

Phase 3 Leersieden des Kollektors - Phase mit Satttdampf

Dies ist die Phase mit langsamer werdendem Druckanstieg. Ein kleinerer, jedoch nicht unbedeutender Teil des Kollektorinhaltes ist in den Absorber- und Sammelrohren noch in flüssiger Form vorhanden. In dieser Phase wird an allen Messstellen entweder flüssiges Medium, oder Satttdampf im Gleichgewicht mit Flüssigkeit beobachtet. Die Vor- und Rücklaufleitungen werden zunehmend nach unten in Richtung Technikraum mit etwa gleichem Flüssigkeitsniveau leergedrückt (kommunizierende Gefäße) und der Wärmetauscher kann vom Dampf erreicht werden. Dies bewirkt auch auf der Sekundärseite des Wärmetauscher Dampfbildung. Der Druck am Ausdehnungsgefäß erreicht seinen Maximalwert und damit auch die Siedetemperatur.

Die vom Kollektor mittels Dampf abgeführte Energie (ergibt sich aus Kollektorwirkungsgrad bei hohen Temperaturen und mit Berücksichtigung der gespeicherten Energie) steht dabei immer im Gleichgewicht mit den Wärmeverlusten des unter Dampf stehenden Bereiches in den Rohrleitungen, Armaturen und am Wärmetauscher. Nach dem Prinzip des Wärmerohres wird hierbei sehr effektiv Energie bei nahezu konstanter Temperatur von der Wärmequelle bis zu allen Wärmesenken transportiert, wobei hier der Dampf wieder kondensiert und als Flüssigkeit nach unten abläuft. Die Temperaturunterschiede zwischen Wärmequelle (Kollektor) und Wärmesenke (z. B. Wärmetauscher) sind dabei niedrig (Größenordnung wenige K), da nur geringe Druckunterschiede (Strömungsdruckverluste des Dampfes, es sind jedoch auch Konzentrationsunterschiede im System Wasser-Glykol zu beachten - fraktionierte Destillation) bestehen. Das bedeutet, dass der maximal erreichte Druck (an der Phasengrenze Dampf - Flüssigkeit) die maximale Temperaturbelastung der vom Dampf erreichten Anlagenkomponenten entsprechend des Zusammenhanges Druck – Siedetemperatur bestimmt.

Am Beginn dieser Phase können die Temperaturen der Vor- und Rücklaufleitungen im Technikraum und der Zulaufleitung zum Ausdehnungsgefäß sinken, da der Dampfbereich sich jetzt wesentlich langsamer vergrößert und die mit Flüssigkeit gefüllten Leitungen abkühlen. Zu einem schlagartigen Temperaturanstieg bis zur Siedetemperatur kommt es erst wenn Dampf an diesen Stellen auftritt.

Phase 4 Leersieden des Kollektors - Phase mit Sattdampf und überhitztem Dampf

Im oberen Kollektorbereich beginnt die Flüssigkeit vollständig zu verdampfen. Diese Bereiche überhitzen. Dadurch sinkt der Kollektorwirkungsgrad weiter und die mit Dampf abtransportierende Energiemenge sinkt, so dass auch die "Verlustfläche" der Anlage sinken kann. Das Dampfvolument sinkt auch bei gleichbleibender solarer Einstrahlung rasch. Der Anlagendruck sinkt (und damit auch die Sattdampf Temperatur) und Flüssigkeit wird aus dem Ausdehnungsgefäß langsam in die Rücklaufleitung geschoben. Die Rückschlagklappe verhindert letzteres vorlaufseitig. Mit sich ausdehnenden Überhitzungsbereichen im Kollektor sinkt der Anlagendruck weiter und das Flüssigkeitsniveau des Rücklaufes erreicht den Kollektorzulauf. Auch der Vorlauf füllt sich langsam durch Kondensat.

Die Überhitzungsphase kann an wolkenlosen Tagen einige Stunden dauern und endet durch sinkende Einstrahlung.

Phase 5 Wiederbefüllen des Kollektors

Über die Rücklaufleitungen wird der Kollektor wiederbefüllt, wobei hier die Temperaturen rasch absinken. Das Wiederbefüllen der Vorlaufleitung folgt gering verzögert durch Kondensat.

3 Ergänzendes

Bei komplexerer Anlagen- und Kollektorhydraulik überlagern sich diesem beschriebenen Verhalten komplexere, auch periodische Vorgänge (sinus- oder sägezahnartige Druck- und Strömungsschwingungen mit Periodendauern von Sekunden bis einige Minuten), die zum Teil ihre Ursache in der Rohrführung (auf und ab) inner- und außerhalb des Kollektors haben.

Höchste Temperatur- und Druckbelastungen treten an den Anlagen nicht an wolkenlosen Tagen auf, sondern an klaren Tagen mit wechselnder Bewölkung. Letztere bewirkt einen sehr hohen Diffusanteil der Strahlung und die Globalstrahlung in Kollektorebene erreicht kurzfristig extreme Werte.