

Demonstration solarer Prozessdampferzeugung

Dirk Krüger*, Klaus Hennecke, Tobias Hirsch und Markus Eck

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V.,
Institut für Technische Thermodynamik, Solarforschung,
Linder Höhe, 51147 Köln

Zusammenfassung

Bisher errichtete Solaranlagen zur solaren Dampferzeugung wurden mit Druckwasser oder Öl betrieben, um die unmittelbare, direkte Dampferzeugung im Solarfeld zu vermeiden. Erfahrungen am SOPRAN Teststand und neue Demonstrationsanlagen sollen zeigen, wie ein sicherer Betrieb mit Direktverdampfung im Absorberrohr möglich ist und welcher Anlagenaufwand dafür notwendig ist

1 Einführung und Ziele

Wasserdampf wird in Industriebetrieben und Hotels oftmals zur Wärmeübertragung bei verschiedenen Verbrauchern verwendet. Ein wesentlicher Vorteil sind kleine Wärmeübertragerflächen und schnelles Aufheizen der angeschlossenen Prozesse. Solarkollektoren können Dampf dafür bereitstellen, jedoch gibt es bisher kaum realisierte Anlagen, die dieses umsetzen. Dabei wurde der Dampf bisher indirekt erzeugt, im Solarfeld wurde Öl oder Druckwasser erhitzt und in einen Dampferzeuger oder eine Entspannung geführt. Durch eine direkte Verdampfung im Solarfeld können allerdings der Wirkungsgrad erhöht und möglicherweise die Anlagenkosten gesenkt werden. Dieser Beitrag soll einen Überblick über existierende solare Prozesswärmeanlagen zur indirekten Dampferzeugung und Erfahrungen mit der Direktverdampfung geben.

2 Resultate

Verstärkt seit den 80er Jahren, aber bereits auch vorher wurde die Dampferzeugung mit Parabolrinnenkollektoren, Paraboloidkonzentratoren und sogar Flachkollektoren erprobt. Demonstrationsanlagen gab es unter anderem in Mexico zur Entsalzung und Kühlung, in Pisticci, Italien (2-achsige nachgeführte Parabolrinne) und in Al Ain, Vereinigte Arabische Emirate (Helioman M480 Parabolrinne 640m², Thermoöl 140 - 230°C, Sattedampf 3,5 und 5 bar (139/152°C)). In den USA wurden etwa 3 Parabolrinnenanlagen mit Thermoöl zur indirekten Dampferzeugung und 2 Anlagen mit Druckwasser und Entspannung gebaut.

Eine Anlage zur Versorgung einer Molkerei (Helioman M480 Parabolrinne 1280m², Thermoöl 200 - 250°C, Sattedampf 12 bar, 188°C) wurde von MAN in Aguas de Moura, Portugal aufgestellt.

Auf der Plataforma Solar wurde eine Testanlage mit 2672m² Acurex 3001 Kollektoren aufgestellt zum Betrieb einer Entsalzungsanlage und einer Dampfturbine.

Die derzeit in Betrieb befindlichen Solaranlagen zur Dampferzeugung sind mit Parabolrinnen ausgerüstet. In El Nasr, Ägypten wurden 1900m² Parabolrinnenkollektoren der Fa. Lotus, Basis ist der Kollektor der Fa. Industrial Solar Technology (IST), aufgestellt. Dort wird im Solarfeld Druckwasser erhitzt und hinter dem Solarfeld entspannt um Dampf bei 173°C und etwa 8 bar zu erzeugen, der in einer pharmazeutischen Fabrik genutzt wird. In Sarigerme, Türkei wird in einem Feld von 180 m² Parabolrinnen des Typs PTC 1800 der Fa. Solitem Druckwasser bei 155°C/180°C gefahren und in einem Rohrkessel zur Erzeugung von 4 bar Sattedampf genutzt. Dampfverbraucher sind eine Kältemaschine und Wäscherei. Eine ähnliche Anlage, auch zur Dampfversorgung einer Kältemaschine, wird in Gebze, Türkei derzeit in Betrieb genommen.

Allen bisherigen kommerziellen Anlagen gemeinsam ist, dass die Direktverdampfung im Kollektor vermieden wird. Entweder wird Öl im Kollektor erhitzt und in einen Dampferzeuger geschickt oder im Solarfeld wird Druckwasser gefahren und anschließend zu Dampf entspannt.

Zur Untersuchung der Direktverdampfung in Prozesswärmekollektoren wurde der Teststand für Solare Prozesswärmeanwendungen (SOPRAN) um verschiedene Bauteile (Dampftrommel, Kondensator etc) erweitert, so dass in den Kollektoren Wasser verdampft werden kann. Der Aufbau ermöglicht den Betrieb im Rezirkulationsmodus. Dabei wird mit Wasserüberschuss gefahren, also nur ein Teil des Wassers verdampft. Das Wasser-/Sattedampfgemisch wird in einen Separator geleitet, das Wasser rezirkuliert und der Dampf dem Verbraucher zugeführt. Im Rahmen des vom BMU geförderten Projektes Soldi^[1] wurden anschließend Direktverdampfungstests im Parabolrinnenfeld (IST Kollektoren) mit 168m² Aperturfläche bei Temperaturen zwischen 120°C und 190°C gefahren. Mit Hilfe eines druckfesten Glasrohres am Ausgang des Kollektorfeldes kann die Strömung unmittelbar beobachtet werden (Bild 1). Das Glasrohr und die davor liegende relevante Rohrlänge haben den gleichen Innendurchmesser wie die Absorberrohre. Abgesehen von einem geringen Temperaturverlust sind dort also die Verhältnisse im letzten Absorberrohrabschnitt reproduzierbar.

* Korrespondenzautor: Telefon:02203 601 2661; Fax:02203 601 4141; e-mail: dirk.krueger@dlr.de



Bild 1: Zweiphasenströmung am Ausgang des Kollektorfeldes

Die Versuche zeigen, dass die Direktverdampfung im Rezirkulationsmodus mit ausreichendem Wasserüberschuss bei manueller Betreuung sicher betrieben werden kann. Es stellt sich in fast allen getesteten Bereichen eine Schwallströmung ein, so dass das Absorberrohr ausreichend gekühlt wird und eine thermische Überlastung ausgeschlossen werden kann. Lediglich bei Wolkendurchgang kommt es zur dann unproblematischen Schichtströmung. Die Verdampfungstemperatur stellt sich über den Druck ein, der sich über das Fluidvolumen in der Anlage ergibt. Es muss also mit der beginnenden Verdampfung eine definierte Menge Wasser aus dem Solarkreislauf gedrückt werden, was in der Testanlage manuell geführt wird.

Bei niedrigen Pumpmassenströmen unterhalb von etwa 800 kg/h kommt es allerdings zu erheblichen Druckschwankungen auf der Druckseite der Pumpe, die durch Rückstöße der bei der Verdampfung in den horizontalen Rohren entstehenden Pulse verursacht werden. Dies führt zu einem zu großen Differenzdruck für die Pumpe und zu ihrem Abschalten. Möglicherweise kann dies mit einem anderen Pumpentyp verbessert werden.

Bei solch niedrigen Massenströmen verringert sich auch der Wasseranteil erheblich. Im Glasrohr sind dann entsprechend lange Phasen mit geringem Wassergehalt verbunden mit einer geringeren Frequenz der Schwälle sichtbar. Entsprechend droht eine Austrocknung und thermische Überlastung des Absorbers. Die zu erwartende Strömungsform kann, bei Kenntnis der Betriebsparameter und der Rohrabmessungen, aus Strömungsformenkarten ermittelt werden. Demzufolge muss eine Anlage zu Beginn so ausgelegt werden, dass unerwünschte Strömungsformen vermieden werden können.

Projekte mit direkter Dampferzeugung in Planung: Im Rahmen des von der EU geförderten REACT Projektes wird am SOPRAN Teststand eine Kältemaschine mit ca. 26kW Leistungsbedarf angeschlossen, die mit Satttdampf zwischen 150°C und 190°C betrieben werden soll. Bei der Planung des Anschlusses zeigt sich, dass für hohe Kondensattemperaturen über 140°C und kleine Volumenströme nur besondere Pumpen zu hohen Kosten verfügbar sind. Üblicherweise wird Kondensat jedoch deutlich tiefer abgekühlt. Die sorgfältige Auswahl geeigneter Komponenten, in diesem Fall einer Kältemaschine, die das Kondensat unterkühlt, kann also die Investitionskosten an anderer Stelle deutlich verringern.

Der Anlagenaufbau soll der später im REACT Projekt geplanten solaren Kühlung in einem jordanischen Hotel, ebenfalls mit Direktverdampfung, so weit wie möglich ähneln, damit Fehler frühzeitig erkannt werden.

Im vom BMU geförderten Projekt „Pilotanlage zur solaren Prozesswärmeerzeugung in Parabolrinnenkollektoren“ (P3) werden zukünftig ebenfalls Erfahrungen zur Direktverdampfung mit einer Demonstrationsanlage gesammelt. Der Satttdampf aus einem Feld von ca. 100m² Parabolrinnenkollektoren der Fa Solitem wird in eine Prozessdampfversorgung der Alanod Werke geleitet. Mit der Aufstellung wird in 2008 gerechnet. Die ausführlich instrumentierte Anlage wird detaillierte Erkenntnisse über Betriebsverlauf, Wirkungsgrad und Kosten geben.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Während die direkte Dampferzeugung sich im manuellen Betrieb als gut kontrollierbar gezeigt hat, gibt es für automatisierte Anlagen noch Planungsbedarf für betriebssichere Konzepte mit geringem Betreuungsaufwand (z.B. automatische Druckhaltung und Entlüftung). Ob die direkte Dampferzeugung kostengünstiger als eine indirekte z.B. über Druckwasser sein kann, werden die Kosten für die Bauteile im P3 Projekt zeigen. Die Solarkollektoren selbst allerdings sind ohne Modifikationen ebenso für die Direktverdampfung, wie für den Druckwasserbetrieb geeignet.

Literatur

[1] Markus Eck; Soldi - Unterstützende F&E zur beschleunigten Markteinführung der solaren Direktverdampfung, BMU Abschlussbericht 16UM0024, 2007