

Monitoring einer Parabolrinnen-Pilotanlage zur Bereitstellung von solarem Prozessdampf

A. Anthrakidis¹, F. Weis¹, M. Rusack¹,
D. Krüger², S. Fischer³, A. Lokurlu⁴, K. Saidi⁴, M. Walder⁵, R. Croy⁶

¹ Solar-Institut Jülich der Fachhochschule Aachen, Heinrich-Mußmann-Str. 5, D-52428 Jülich,
Tel.: +49 241 6009-53507, Fax: +49 241 6009-53570,
E-Mail: anthrakidis@sjj.fh-aachen.de, Internet: www.sjj.fh-aachen.de

² Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Linder Höhe, D-51147 Köln, Tel.: +49 2203 6012661

³ Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Pfaffenwaldring 6, D-70550
Stuttgart, Tel.: +49 711 68563231

⁴ Solitem GmbH, Süsterfeldstraße 83, D-52072 Aachen, Tel.: +49 241 9809060

⁵ ALANOD GmbH & Co. KG, Egerstr. 12, D-58256 Ennepetal, Tel.: +49 2333 986757

⁶ ZfS-Rationelle Energietechnik GmbH, Verbindungsstr. 19, D-40723 Hilden, Tel: +49 2103 2444-10

1. Einleitung

Im Rahmen des vom „Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit“ geförderten Projekts **P3** wurde eine **Pilotanlage** zur solaren **Prozesswärmeerzeugung** mit **Parabolrinnenkollektoren** errichtet. Die Anlage ist auf dem Dach der ALANOD Aluminium-Veredlung GmbH & Co. KG installiert und speist den direkt erzeugten Prozessdampf in die Produktionsdampfschiene des Werks ein.

Die Projektleitung wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt übernommen. Als Projektpartner waren die ALANOD GmbH, die Solitem GmbH, das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart sowie Prof. Dr.-Ing. Volker Quaschnig der HTW Berlin beteiligt. Das Anlagen-Monitoring übernahmen das Solar-Institut Jülich (SIJ) der FH Aachen und die ZfS-Rationelle Energietechnik GmbH. Die Prozesswärmeanlage ging im Frühjahr 2010 in Betrieb. Seitdem wurde durch das SIJ mit Hilfe von umfangreicher Messtechnik das thermodynamische Anlagenverhalten untersucht und die Leistungsfähigkeit der Anlage bewertet. Auf diese Weise wurden anfängliche Fehlfunktionen der Anlage erkannt und behoben.

2. Beschreibung der Anlage

Die Parabolrinnen-Anlage weist eine Gesamt-Aperturfläche von 108 m² auf. Zum Einsatz kommen die in Abbildung 2-1 dargestellten Kollektoren des Typs PTC-1800 der Solitem GmbH.



Abbildung 2-1: PTC-1800 auf dem Dach der ALANOD GmbH

Wie in Abbildung 2-2 dargestellt, arbeitet die Anlage nach dem Rezirkulationsprinzip. Bei einem Absolutdruck von 4 bar und einer Temperatur von 143 °C erfolgt die Verdampfung direkt in den Absorbern der Kollektoren. Der Dampf wird getrocknet und in die Dampfschiene der Produktion eingespeist.

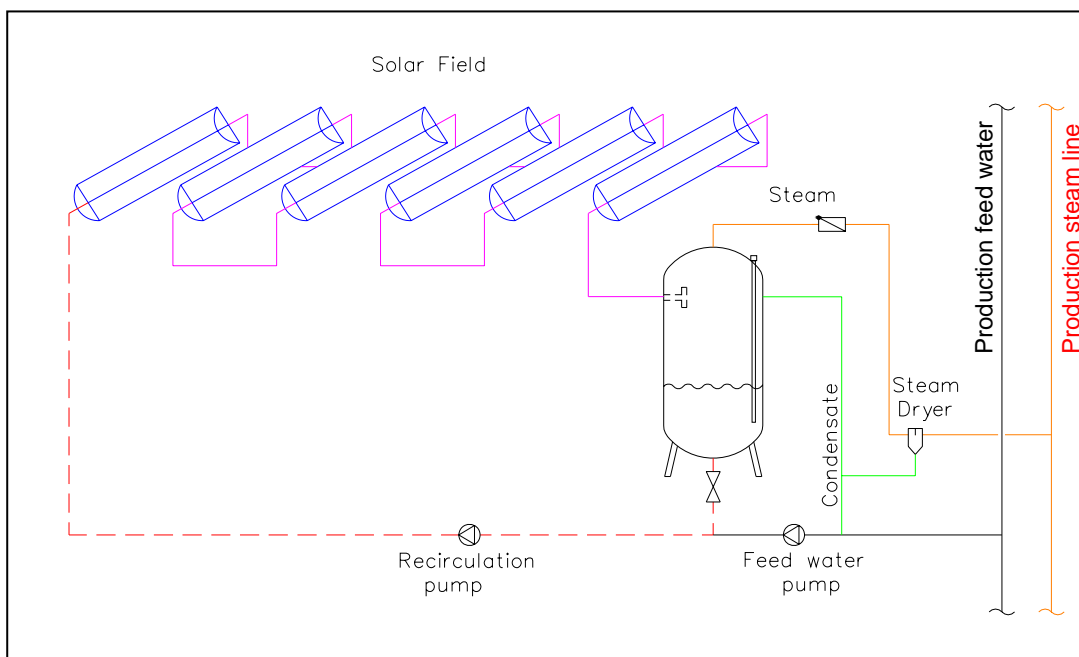


Abbildung 2-2: P3 - Anlagenschema /3/

3. Ergebnisse

Als ein exemplarischer Tag für den regulären Betrieb der Pilotanlage wurde in den folgenden Darstellungen der 11.10.2010 gewählt. Die folgende Abbildung zeigt die Fokussierung und Defokussierung der Kollektoren in Abhängigkeit der horizontalen

Globalstrahlung. Steigt die horizontale Globalstrahlung über einen Wert von 300 W/m^2 (vgl. Abbildung 3-1 gegen 9:00 Uhr), werden zwei Motorventile geöffnet, die eine Verbindung zur Kondensat- bzw. Dampfschiene der Firma ALANOD herstellen. Dann wird die Rezirkulationspumpe eingeschaltet. Nachdem der Volumenstromzähler einen Durchfluss registriert, erfolgt die Fokussierung der Kollektoren. Fällt die horizontale Globalbestrahlung unter 200 W/m^2 , so werden die Kollektoren defokussiert. Anschließend wird der Rezirkulationsvolumenstrom durch Abschalten der Pumpe gestoppt.

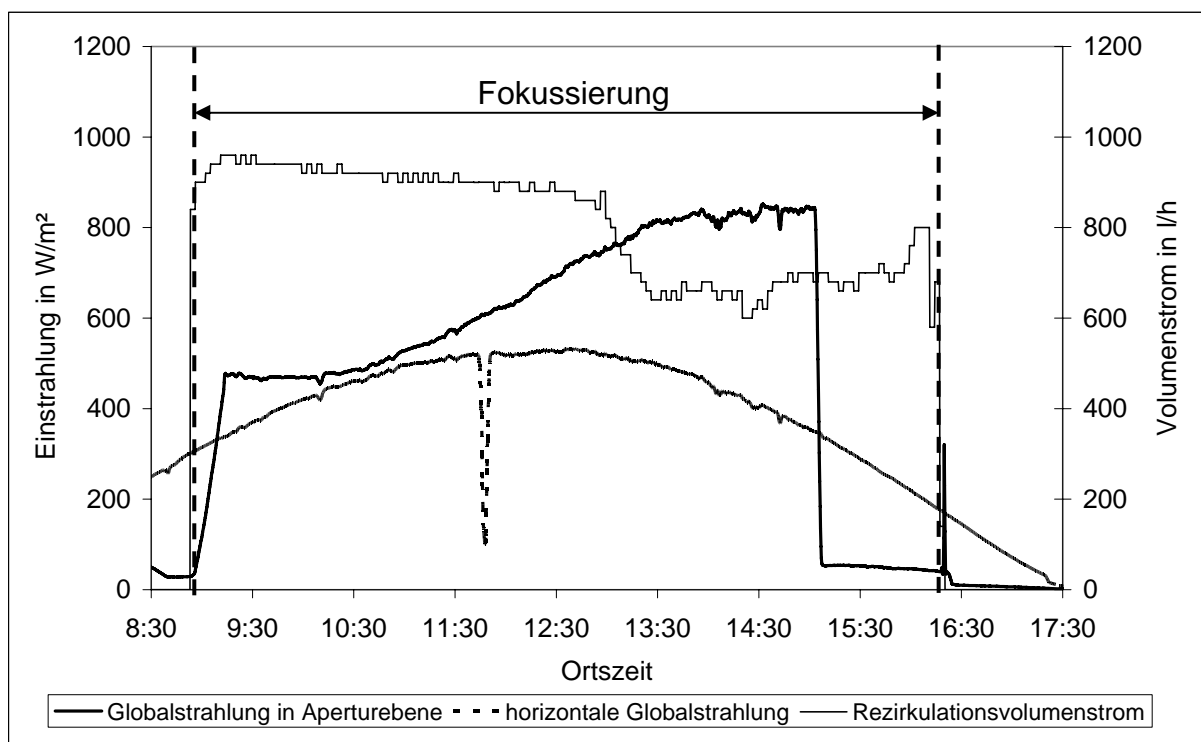


Abbildung 3-1: Strahlungsbedingungen und Volumenströme bei Fokussierung und Defokussierung der Kollektoren am 11.10.2010

Die Messdatenauswertung zeigt, dass sich die Anlage gemäß den vorgegebenen Regelungsparametern verhält. Der Globalstrahlungssensor in Aperturebene ist an den Parabolrinnenkollektoren befestigt und wird an diesem Tag gegen 15 Uhr durch die benachbarten Kollektoren verschattet. Dies erklärt den abrupten Abfall der gemessenen Strahlungswerte in Aperturebene gegen 15 Uhr.

Abbildung 3-2 zeigt die Temperaturverläufe beim Anfahren der Anlage bis zur Direktverdampfung. Anhand dieser Temperaturverläufe kann die Anfahrzeit bzw. Aufwärmzeit der Anlage untersucht werden.

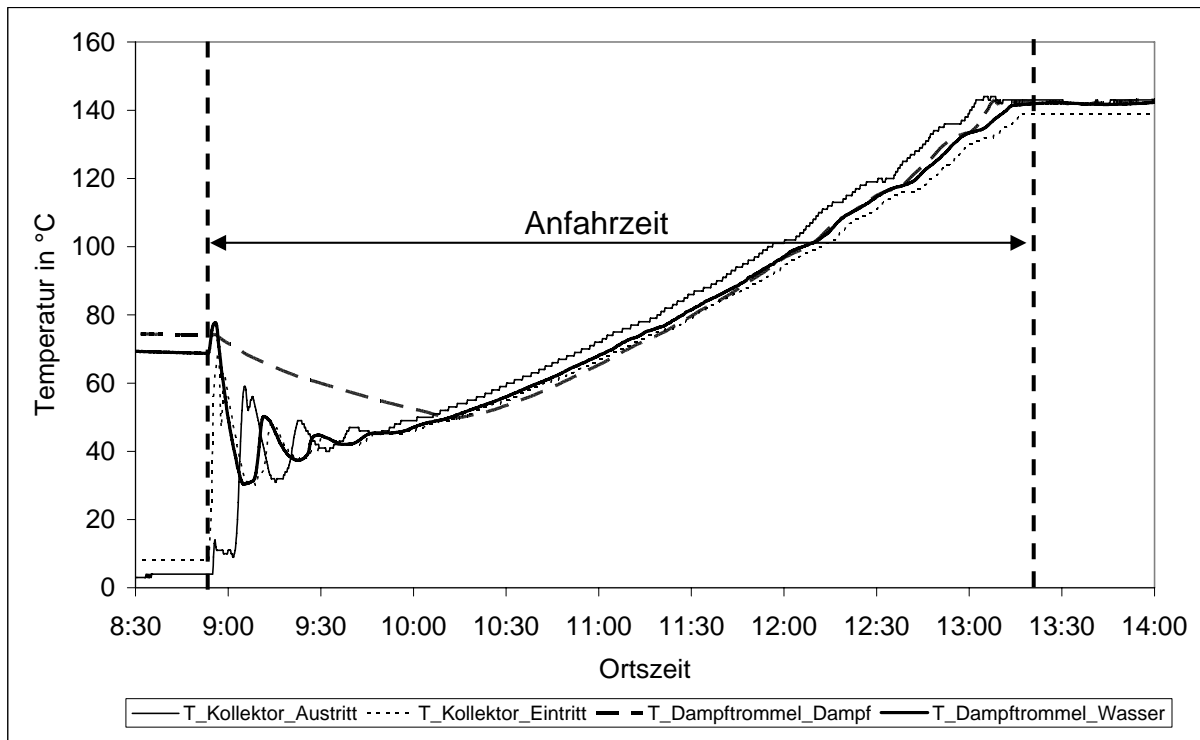


Abbildung 3-2: Temperaturverläufe beim Anfahren der P3-Anlage bis zur Dampferzeugung um 13:20Uhr am 11.10.2010

Nach der Fokussierung strömt das kalte Wasser aus den Rohrleitungen des Rezirkulationskreislaufs in die Dampftrommel. Aufgrund des hohen Rezirkulationsvolumenstroms von über 900 l/h wird die Dampftrommel stark durchmischt. Zudem wird kurzzeitig Speisewasser aus dem Kesselhaus nachgespeist. Dadurch sinkt die anfängliche Wassertemperatur von etwa 70 °C in der Dampftrommel ab. Da die Strecke vom Kesselhaus zur Dampftrommel etwa 200 m beträgt, wird in dem kurzen Intervall ebenfalls nur das Wasser in die Anlage gepumpt, das sich in der Rohrleitung über die Nacht auf Umgebungstemperatur abgekühlt hat. Die Wassertemperatur schwingt sich innerhalb von etwa einer Stunde auf 45 °C ein.

Beim Durchströmen der Kollektoren erfährt das Wasser gegen 10 Uhr einen Temperaturhub von 3 K bei einer direkten Strahlung in Aperturbene von 400 W/m² (vgl. Abbildung 3-2). Mit steigender Einstrahlung erhöht sich der Temperaturhub in den Kollektoren bis auf 13 K bei einer direkten Strahlung von 660 W/m² um 12:50 Uhr. Gegen 13:20 Uhr bleibt die Kollektoreintrittstemperatur konstant bei etwa 139 °C und das Wasser erfährt in den Kollektoren nur noch einen Temperaturhub von 3 bis 4 K bei einer direkten Strahlung von über 700 W/m². Der kleine Temperaturhub sowie die stabile Kollektoreintrittstemperatur lassen sich mit der isobaren Verdampfung des Wassers in den Kollektoren erklären (vgl. Abbildung 3-3). Die Anlage befindet sich ab diesem Zeitpunkt in dem regulären Betriebszustand der Dampferzeugung. Die Anfahrzeit bzw. Aufwärmzeit des Systems bis zu diesem Punkt betrug 4,5 h bei einer

steigenden direkten Strahlung in Aperturebene von 400 W/m^2 auf 700 W/m^2 , einer Speicheranfangstemperatur von $70 \text{ }^\circ\text{C}$ und eine Umgebungstemperatur von $3 \text{ }^\circ\text{C}$ um 8:30 Uhr.

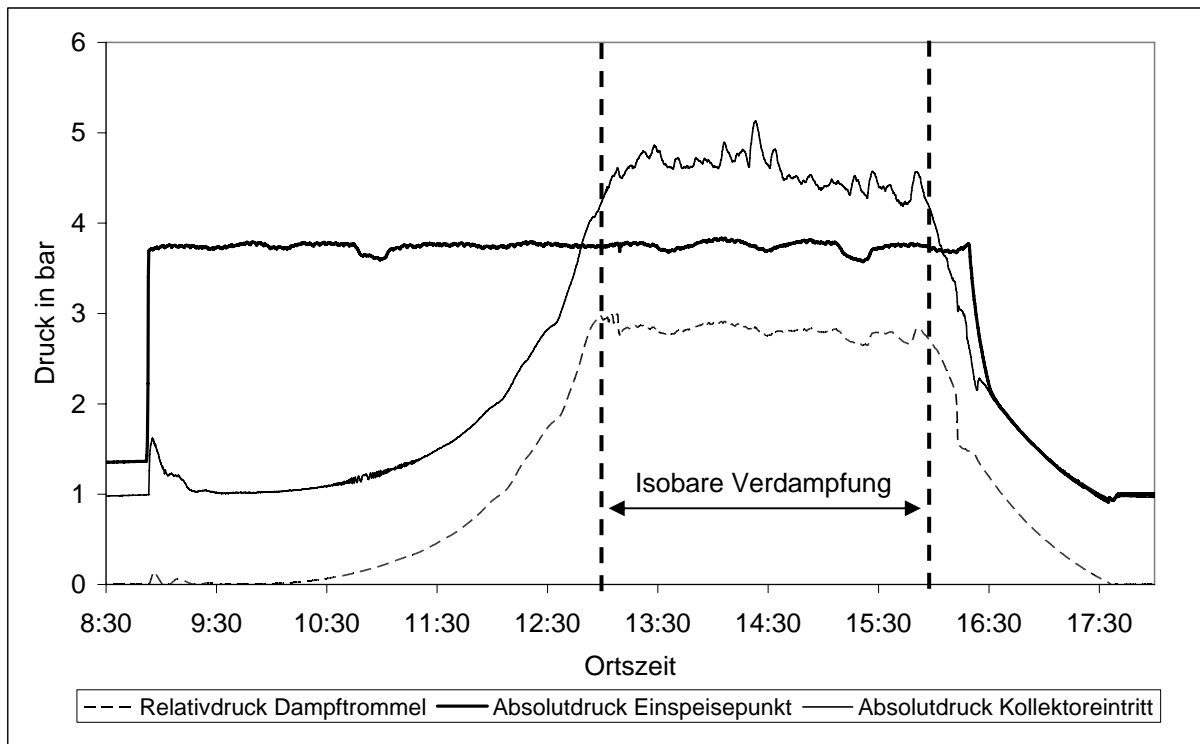


Abbildung 3-3: Druckverläufe der P3-Anlage am 11.10.2010

Bei der Betrachtung der Druckverläufe (vgl. Abbildung 3-3) wird das Betriebsverhalten der Anlage ebenfalls deutlich. Am 11.10.2010 wurde für eine Zeitdauer von etwa 3 h in den Absorberrohren der Parabolrinnenkollektoren Wasser verdampft. Die Dampfeinspeisung erfolgte an diesem Tag für eine Zeitdauer von 1,5 h mit durchschnittlich ca. 10 kg/h . In den Spitzen erreichte der Dampfmassenstrom Werte bis 28 kg/h . Die dynamische Einspeisung lässt sich mit dem Rückschlagventil vor dem Einspeisepunkt erklären. Dieses öffnet, sobald der Druck in der Anlage über den der Dampfschiene steigt. Dann wird Dampf in die Dampfschiene eingespeist. Infolgedessen sinkt der Druck in der Parabolrinnenkollektoranlage und die Rückschlagklappe schließt wieder. Für eine aussagekräftige und reproduzierbare Bilanzierung stehen leider nur relativ wenige Messdaten zur Verfügung, da die Anlage im Laufe des Projekts immer weiter optimiert wurde und so erst gegen Ende des Projekts die aktuellen Regel- und Betriebsparameter eingestellt wurden. Zwar wurde der Wärmewirkungsgrad für die Gesamtanlage bestimmt, jedoch konnten aufgrund der bislang nicht ausreichenden Anzahl von Messtagen mit solarer Dampferzeugung keine exakten Aussagen über den Anlagen-Wärmewirkungsgrad gemacht werden. Dennoch lässt sich

die Größenordnung des Wärmewirkungsgrades auf Grundlage der Messdaten mit 8 % bis 12 % abschätzen. Genauere Angaben zum Gesamtwirkungsgrad der P3-Anlage sind bei Fortsetzung des Monitorings zu erwarten.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Einrichtung von etwa 40 Messstellen konnte das Anlageverhalten untersucht und Optimierungen durchgeführt werden. Die installierte Parabolrinnen-Anlage produziert inzwischen zuverlässig und störungsfrei solaren Prozessdampf und koppelt diesen in die vorhandene Dampfschiene der ALANOD GmbH ein. Die Dampf-massenströme fallen bisher jedoch geringer aus als in der Anlagenauslegung zu Grunde gelegt. Dies liegt zum einen an dem niedrigen Anlagen-Wärmewirkungsgrad, der u.a. aus Ungenauigkeiten in der Nachführung der Kollektoren resultiert. Zum anderen besteht Optimierungsbedarf bzgl. der Anlagenregelung. So können z.B. die An- und Abfahrtskriterien der Parabolrinnen-Anlage dem Strahlungsangebot besser angepasst werden. Zu beachten ist außerdem, dass die relativ lange Hochfahrzeit (bis zur Dampferzeugung) aus der ungünstig orientierten Kollektorachse resultiert. Insbesondere im Winterhalbjahr muss deshalb mit einem ungünstigen Einfallswinkel der Direktstrahlung in den Morgenstunden gerechnet werden. Dieser beträgt zum Beispiel am 11.10.2010 um ca. 10:30 Uhr über 60°. Mit optimal ausgerichteten Kollektoren wären die Verluste geringer und damit die Anfahrzeit kürzer. Eine günstigere Ausrichtung der Kollektorachsen war jedoch aufgrund von Ausrichtung und begrenzter Fläche des Flachdachs nicht zu realisieren.

Literatur:

- /1/ Krüger, D.; Anthrakidis, A.; Fischer, S.; Lokurlu, A.; Walder, M.; Croy, M.; Quaschnig, V.: Experience with solar steam supply for an industrial steam network in the P3 project, 15th Solar PACES International Symposium on Solar Thermal Concentrating Systems, Berlin, Germany, 2009
- /2/ Hennecke, K. et al.: The P3 Demonstration Plant: Direct Steam generation for Process Heat Applications, Solar Paces, 14th Solar PACES International Symposium on Solar Thermal Concentrating Systems, Las Vegas, USA, 2008
- /3/ Krüger, D.; Hennecke, K.; Dathe, S.: Parabolrinnen für Prozesswärme-Projekte und Entwicklungen, 11. Kölner Sonnenkolloquium, Köln, 24.6.2008