

Transientes Messverfahren zur Bestimmung der Wärmeverluste von Receivern in Parabolrinnen-Kraftwerken

Marc Röger*, Johannes Pernpeintner¹, Peter Potzel²

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) e. V., Solarforschung
Plataforma Solar de Almería, Apartado 39, 04200 Tabernas, Spanien

Kurzzusammenfassung

Vorgestellt wird eine auf transiente Thermografie basierende Feldmesstechnik zur Bestimmung der Wärmeverluste von Parabolrinnen-Receivern. Durch thermische Anregung des innen liegenden Absorberrohres und Messung von Absorberrohr-, Glashüllrohr- und Umgebungstemperaturen lässt sich unter Verwendung eines numerischen Receivermodells auf die Wärmeverluste schließen. Zusätzlich ableitbar sind Emissivität der selektiven Beschichtung und die Güte des Vakuums, so dass Aussagen über einen potenziellen Schadensmechanismus ermöglicht werden. Die transiente Methode ergänzt bestehende stationäre Messtechniken. Sie ist, verglichen mit einer reinen Messung der Glashüllrohrtemperatur, aufwändiger in der Durchführung, bietet aber eine kleinere Messunsicherheit und einen höheren Informationsgehalt.

1 Einführung und Ziele

Thermische Verluste der Receiverrohre in Parabolrinnen-Kraftwerken betragen im Jahresmittel 10 bis 15% der auf die Kollektorfläche einfallenden Strahlungsenergie und spielen somit eine wichtige Rolle in der Performance eines solarthermischen Kraftwerks. Die Messtechnik zur Detektion von Degradation der thermischen Eigenschaften der Receiver hat daher große Bedeutung zur Sicherung der Leistungsfähigkeit des Solarfeldes.

Das vorgestellte transiente Thermografie-Verfahren ergänzt die bestehenden Messverfahren zur Kontrolle des Zustands von Receiverrohren. Labormesstechniken mit elektrischer Heizung für nicht montierte Receiver wurden von zahlreichen Institutionen und Firmen entwickelt, z.B. DLR^[1], NREL^[2], Schott^[3]. Bestehende Feldmesstechniken nützen im Allgemeinen die Glashüllrohrtemperatur als Indikator für die Wärmeverluste, siehe z. B.^[4]. Dieses Vorgehen ist einfach und zeiteffizient, im Allgemeinen ist aber die Messgenauigkeit limitiert, denn die Glastemperatur ist nicht nur von der Receiverqualität, sondern auch von Umgebungseinflüssen wie Wind und Temperatur von Boden und Himmel abhängig.

Das vorgestellte transiente Thermografie-Messverfahren beansprucht mehr Messzeit und wird daher für eine detaillierte Untersuchung von Rohren vorgeschlagen. Es hat den Vorteil einer höheren Genauigkeit und es liefert die Emissivität der selektiven Beschichtung und die Güte des Vakuums getrennt, wodurch sich Hinweise auf den Degradationsmechanismus ableiten lassen.

2 Methode, Arbeiten und Resultate

Transiente Wärmeverlustmessung bedeutet, dass die Messung nicht im thermischen Gleichgewichtszustand, sondern mit zeitlich veränderlichen Absorber- und Glastemperaturen durchgeführt wird. Dabei wird die Temperatur des innenliegenden Absorbers variiert. Dies kann durch eine elektrische Heizung oder durch Fokussierung und Defokussierung von stromaufwärts liegenden Kollektoren realisiert werden. Sowohl die Absorbertemperatur, als auch die thermische Antwort des Glashüllrohres werden infrarotmesstechnisch erfasst. Die Auswertung erfolgt mithilfe eines numerischen Receivermodells, mit dem auf die Wärmeübergangseigenschaften im Receiver zurückgeschlossen wird.

Zunächst wurde die Methode mit Kosinus-förmiger Anregung entwickelt, da dies die Auswertung vereinfacht. Mittelfristig sollen auch andere Anregungsformen, die in einem Solarfeld erzeugt werden können, getestet werden. Zur Validierung des entwickelten numerischen Modells werden in Bild 1 die berechneten stationären Wärmeverluste (Kreuze) mit Messdaten des stationären Labormessstandes von NREL^[2] (Kreise) eines Schott PTR70 Receiverrohres verglichen. Die Validierungsmessungen des transienten Verfahrens sind ebenso in das Diagramm eingetragen (Dreiecke).

* Korrespondenzautor: Marc Röger, Tel: +34-950-259806, Fax: +34-950-260315, marc.roeger@dlr.de:

¹ Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Solarforschung, Linder Höhe, 51147 Köln

² zur Zeit der Erstellung der Arbeit: Universität Stuttgart, ITW, Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart

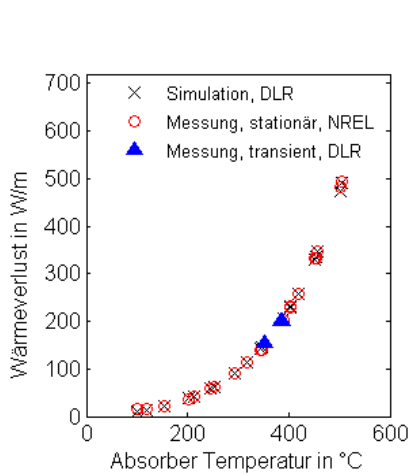


Bild 1: Simulierte und gemessene Wärmeverluste

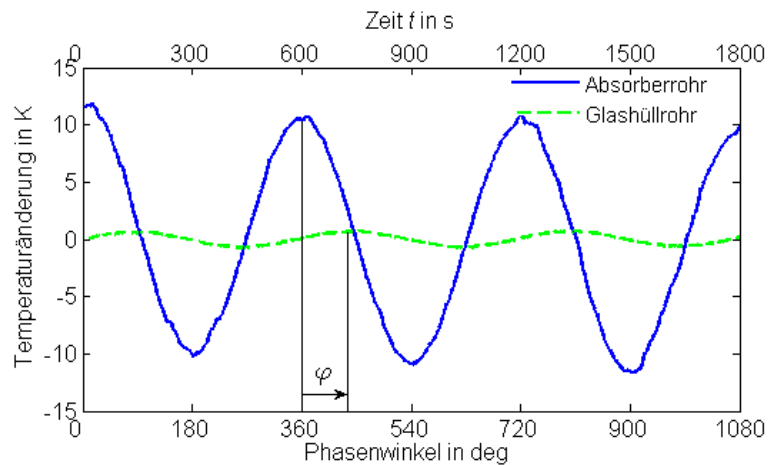


Bild 2: Gemessene Absorberrohr- und Glashüllrohrtemperaturen (Mittlere Absorbertemp. 385°C; mittlere Glastemp. 91°C)

Zur Heizung und Anregung bei transienten Labormessungen wurde das Absorberrohr direkt mit Strom durchflossen. Absorber- und Glashüllrohrtemperaturänderung wurden mit Pyrometer und IR-Kamera gemessen. Eine Beispielmessung ist in Bild 2 gezeigt. Im Fall der Kosinus-förmigen Anregung mit kleiner Amplitude reicht es aus, im eingeschwungenen Fall die Phasenverschiebung, die Schwingungsamplituden und die Mitteltemperaturen von Absorber und Glas zu gemessen. Durch Verwendung des numerischen Simulationsmodells lassen sich aus diesen Größen die Qualität der selektiven Beschichtung sowie des Vakuums ableiten. Für die transiente Messung muss eine Strahlungsreflexionshülle installiert werden, welche vom Glashüllrohr an die Umwelt abgestrahlte Wärmenergie wieder auf das Glashüllrohr zurückwirft. Aus diesem Grund ist auch die gemessene mittlere Glashüllrohrtemperatur mit 91°C höher als normal. Mehr Informationen sind in ^[5] zu finden.

3 Diskussion

Numerische Simulation, die stationären Messungen sowie die Messungen mit der transienten Methode zeigen eine sehr gute Übereinstimmung (siehe Bild 1). Eine Unsicherheitsanalyse zur Bestimmung der Wärmeverlustleistung mit der transienten Methode ergab, dass diese bei einem zukünftigen Einsatz im Solarfeld, eine Messunsicherheit von ca. 6% aufweist. Für stationäre Messverfahren im Feldeinsatz, die über die gemessene Glashüllrohrmethode arbeiten, wurde eine Messunsicherheit von 15% bis 20% berechnet. Die Übertragung vom Labor in das Solarfeld und die Bestätigung dieser Aussagen steht derzeit noch aus.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Erste Validierungsmessungen haben gezeigt, dass das transiente Messverfahren wie über Simulationsstudien gezeigt, prinzipiell funktioniert. Neben den Wärmeverlusten lässt sich ein potenzieller Schadensmechanismus der Receiverrohre separieren. Die nächsten Schritte sind neben einer Validierungs-Messkampagne mit Rohren verschiedenster Qualitäten (verschieden künstlich gealterte Rohre) die Übertragung der Messtechnik vom Labor in ein Solarfeld, um auch eingebaute Rohre vermessen zu können. Hier muss insbesondere der Einfluss von Störfaktoren sowie eine andere Art der Anregung gefunden werden. Vorgesehen sind Versuche mit Temperaturänderungen durch Fokussierung bzw. Defokussierung stromaufwärts liegender Kollektoren.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für die Unterstützung im Rahmen des Projekts QUARZ-CSP (Förderkennzeichen 16UM0095).

Literatur

- [1] Lüpfer, E., Riffelmann, K.-J., Price, H., Moss, T., Experimental Analysis of Overall Thermal Properties of Parabolic Trough Receivers, J. Sol. Energy Eng., 130 (2008)
- [2] Burkholder, F., Kutscher, C., Heat Loss Testing of Schott's 2008 PTR70 Parabolic Trough Receiver, National Renewable Energy Laboratory Technical Report, NREL/TP-550-45633 (2009)
- [3] Dreyer, S., Eichel, P., Gnaedig, T., Hacker, Z., Janker, S., Kuckelkorn, T., Silmy, K., Pernpeintner, J., Lüpfer, E., Heat Loss Measurements on Parabolic Trough Receivers. SolarPACES 2010, September 21-24, Perpignan, France (2010).
- [4] Price, H., Forristall, R., Wendelin, T., Lewandowski, A., Moss, T., Gummo, C., Field Survey of Parabolic Trough Receiver Thermal Performance, Solar 2006 Conference (ISEC'06), Denver, United States of America (2006).
- [5] Röger, M., Potzel, P., Pernpeintner, J., A New Transient Thermography Method For Parabolic Trough Receiver Heat Loss Measurement. SolarPACES 2010, September 21-24, Perpignan, France (2010)