

Parabolrinnen-Qualitätskontrolle in der Serienfertigung „Q-Foto“

Klaus Pottler*, Marc Röger, Eckhard Lüpfer¹

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

Zusammenfassung

Mittels photogrammetrischer Methoden lassen sich quantitative Größen für die Qualifizierung der Genauigkeit eines Parabolrinnen-Kollektors schnell und zuverlässig messen^[1]. Für eine Serienfertigung der Parabolrinnen wurde eine automatisierte photogrammetrische Messeinrichtung entwickelt. Sie wird in die Kollektorproduktionslinie integriert und ermöglicht es, Montagefehler im Produktionsprozess sofort zu erkennen, um rechtzeitig deren Ursachen zu beseitigen. Der Einsatz eines solchen Systems stellt daher eine sinnvolle Maßnahme zur Dokumentation der Fertigung sowie zur Sicherung des energetischen Ertrags des Solarfeldes und damit des ökonomischen Erfolges eines Kraftwerkprojekts dar.

1 Einführung und Ziele

Um Ertragseinbußen durch eine schlechte Solarfeldqualität zu verhindern, ist eine kontinuierliche Kontrolle der Formgenauigkeit der Stahlstruktur von Parabolrinnen-Kollektoren bereits im Produktionsprozess notwendig. Mit Hilfe der Messergebnisse können geeignete Maßnahmen getroffen werden, um Abweichungen von der Sollform zu minimieren. Für diesen Zweck wurde im DLR ein computergesteuertes photogrammetrisches Messsystem und Hilfsmittel zu dessen Qualifizierung nach VDI-Richtlinien entwickelt^[2]. Bild 1 zeigt eine zu überprüfende Kollektorstruktur mit den für die photogrammetrische Vermessung notwendigen retroreflektierenden Zielmarken sowie das Kamera-Shuttle in zwei Positionen auf der Schiene über dem Messstand.



**Bild 1: Kollektorstruktur mit Zielmarken bei der 3d-Messung (links).
Kamera-Shuttle auf dem Schienensystem (rechts)**

2 Aufbau des Messsystems Q-Foto und Messablauf

Nach Voranalysen wurde eine hochauflösende Nikon D2X-Digitalkamera als Messkamera ausgewählt, die das zu prüfende Kollektor-Modul auf einer Kurvenbahn umläuft. An verschiedenen Stationen der Messfahrt werden Fotos von der mit retroreflektierenden Zielmarken bestückten Kollektorstruktur angefertigt (Bild 2 links) und über Funkdatenverbindung auf den Messrechner geladen. Mit Hilfe dieser Fotos werden über eine photogrammetrische Auswertung die Istkoordinaten der Messpunkte ermittelt.

Eine nachfolgende Auswerteroutine bestimmt daraus Koordinaten-, Längen- und Winkelabweichungen von den Sollwerten und wertet diese punktuell und statistisch aus. Die Ergebnisse werden innerhalb von wenigen Minuten gewonnen und protokolliert. Das Prüfergebnat (innerhalb/außerhalb Toleranz) wird dem Bedienungspersonal über eine Farbanzeige weitergegeben, so dass sofort Entscheidungen für die Weiterbehandlung des Moduls zur Verfügung stehen. Treten Abweichungen zwischen Ist- und Sollwerten auf, so können diese lokalisiert und die Ursache im Produktionsprozess zeitnah behoben werden.

* Telefon: +34 950 387915; Fax: +34 950 365313; e-mail: klaus.pottler@dlr.de

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V., Institut für Techn. Thermodynamik, Solarforschung, Linder Höhe, 51147 Köln

Alle Kamerabewegungen und -einstellungen, das Übertragen der Fotos, die photogrammetrische Auswertung, das Postprocessing und die Datenspeicherung sind vollständig automatisiert. Die Messung wird durch das Einscannen des spezifischen Modul-Barcodes gestartet und ist inklusive Modulpositionierung im Messsystem und Zielmarkenmontage nach 15-30 Minuten abgeschlossen.

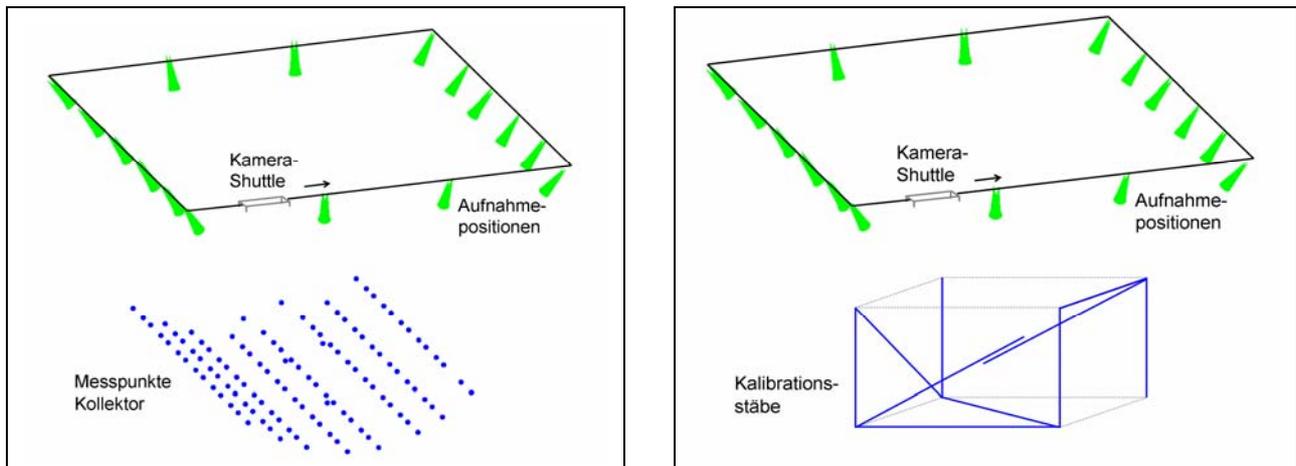


Bild 2: Aufnahmepositionen des Kamera-Shuttles mit Messpunkten des Kollektors (links) und Zertifizierungsnetzwerk aus Kalibrationsstäben (rechts)

3 Messgenauigkeit und Qualifizierung von Q-Foto

Gegenüber einfacher aufgebauten Standardsystemen, die in der Regel mehrere feststehende und vorkalibrierte Kameras nutzen, wird hier durch die Verwendung einer einzigen beweglichen Kamera eine in-situ Selbstkalibrierung der Kamera bei jeder Messung ermöglicht. Dadurch werden auch bei großen Schwankungen der Umgebungstemperatur an den Montageorten von solarthermischen Kraftwerken hohe Messgenauigkeiten erreicht.

Großer Aufwand wurde deshalb in die Qualifizierung des Messsystems nach VDI/VDE-Richtlinie 2634 gesteckt. Da hochgenaue Prüfkörper für diese Dimensionen (Längenabweichung maximal 0,06 mm auf 12 m Messlänge) kommerziell nicht verfügbar sind, wurden Kalibrationsstäbe aus CFK-Stangen angefertigt und zu einem Zertifizierungsnetzwerk ($12 \times 6 \times 1.5 \text{ m}^3$) aufgebaut (siehe Bild 2 rechts). Teilstrecken der Kalibrationsstäbe wurden abschnittsweise photogrammetrisch mit DKD-zertifizierten CFK-Prüflängen vermessen. Zur Vermessung der Gesamtlänge bis 12 m wurde ein Laser-Doppler-Interferometer (Messunsicherheit kleiner als 0,05 mm) verwendet. Die thermische Längenausdehnung der Kalibrationsstäbe wurde berücksichtigt.

Das so erstellte Zertifizierungsnetzwerk wurde benutzt, um Abweichungen zwischen den photogrammetrisch ermittelten Längen und den realen Längen der Kalibrationsstäbe und damit die Genauigkeit des Messsystems zu bestimmen. Die größte Unsicherheit eines einzelnen Messpunktes ist kleiner als $\pm 0,4 \text{ mm}$, die Standardabweichung beträgt 0,1 mm. Basierend auf den experimentellen Ergebnissen zeigt eine Simulationsstudie mit verbesserten Kamerapositionen und Kameraorientierungen eine weitere Reduktion der maximalen Abweichung, so dass die maximale Unsicherheit eines Einzelpunktes von 0,3 mm für ein industriell einsetzbares System erreicht werden kann. Die Messunsicherheit wird mit Hilfe der Prüfkörper während der gesamten Betriebszeit protokolliert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die hohen Anforderungen hinsichtlich Messgenauigkeit, Verlässlichkeit, Automatisierung und Schnelligkeit eines Messsystems zur Qualitätssicherung von Kollektorstrukturen in der Fertigung können mit dem photogrammetrischen Messsystem Q-Foto erfüllt werden. Das Q-Foto-Messsystem wurde nach VDI/VDE-Richtlinie 2634 qualifiziert.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit hat die Arbeiten unter den Förderkennzeichen OPAL-2 ZIII5-16UM0004 und OPAL-dynamic ZIII5-16UM0045 finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] Pottler, K.; Lüpfer, E.; Johnston, G.; Shortis, M.; A powerful tool for geometric analysis of solar concentrators and their components, *Journal of Solar Energy Engineering* 127 (2005), 94-101.
- [2] Pottler, K.; Röger, M.; Lüpfer, E.; Schiel, W.; Automatic Non-Contact Quality Inspection System for Industrial Parabolic Trough Assembly, 13th SolarPACES Int. Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technology, June 20-23, Sevilla, Spain, 2006.