

BILDERKENNUNG IN DER OPTISCHEN MESSTECHNIK FÜR SOLARE KONZENTRATOREN

Christoph Prah^{*}, Marc Röger, Klaus Pottler

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

Zusammenfassung

Optische Messmethoden haben sich in der Produktion und im Betrieb solarthermischer Kraftwerke erfolgreich etabliert. Die automatisierte Erkennung von Strukturen in Digital-Bildern führt zu einer erheblichen Zeitersparnis, z.B. in der Online-Qualitätssicherung in der Produktion von Parabolrinnen-Kollektoren. Des Weiteren ergeben sich daraus neue Anwendungsgebiete wie die vollautomatische Form-Messung und Tracking-Kontrolle von Heliostaten im laufenden Kraftwerksbetrieb mittels Nahbereichs-Photogrammetrie.

1 Einführung und Ziele

Die Anforderungen an die Effizienz optischer Konzentratoren haben zu Folge, dass deren Struktur mit hoher Präzision im Bereich weniger Zehntel Millimeter hergestellt werden muss. Um die Einhaltung dieser Toleranzen mit vertretbarem Aufwand zu messen, bietet sich die Nahbereichs-Photogrammetrie an^[1]. Die Platzierung der hierfür nötigen, retroreflektierenden Zielmarken an den Referenzpunkten der Struktur macht jedoch bis zu 2/3 des zeitlichen und nahezu den gesamten personellen Aufwand der Messung aus. Mit der automatischen Erkennung bereits vorhandener Strukturen wie den Befestigungspunkten der Spiegelfacetten soll bei nur geringer Verschlechterung der Messgenauigkeit der Aufwand erheblich reduziert werden. Bild 1 zeigt eine Klammer zur Spiegelbefestigung mit Messtarget (links) sowie zwei Klammervarianten mit Rund- bzw. Langloch als Spiegelbefestigungspunkte (rechts).

Eine weitere Anwendung der optischen Messtechnik sind solare Turm-Kraftwerke. Hier bestimmt die Genauigkeit der Nachführung und die Heliostat-Form die Flussdichte-Verteilung auf dem Receiver und hat somit großen Einfluss auf dessen Wirkungsgrad. In hochauflösenden Digitalbildern von einer auf dem Turm montierten Kamera lassen sich die Eckpunkte der einzelnen Spiegel-Facetten bestimmen. Mit diesen Beobachtungen kann aus einem einzelnen Bild nach wenigen Sekunden die Orientierung des Heliostaten bestimmt werden. Werden Daten unterschiedlicher Zeitpunkte mittels Nahbereichs-Photogrammetrie verknüpft, so erhöht sich die Genauigkeit der Orientierung. Zusätzlich ist eine präzise und schnelle Bestimmung der 3D-Struktur des Heliostaten möglich.

2 Resultate

Parabolrinne: Mit dem Messsystem QFoto konnte die auf die Befestigungspunkte der Spiegelfacetten ausgelegte Bilderkennung an einem Kollektormodul qualifiziert werden. Dazu wurde dasselbe Modul erst mit retroreflektierenden Marken bestückt und vermessen. Diese Daten dienen als Referenz für die Messung ohne Zielmarken. Um einen ausreichenden Kontrast zu erhalten, wurden die Oberflächen der Befestigungsklammern ebenfalls mit einer retroreflektierenden Schicht versehen, welche bei Verwendung dieser Methode bei der Produktion der Klammern aufzubringen wäre (z. B. als Farbe).

Bild 2 zeigt Histogramme der Abweichung zwischen der Messung ohne Targets (Rundloch) und der Referenz mit Targets, aufgeteilt in die 3 Raumrichtungen dx, dy und dz, sowie als Gesamtwert in alle Richtungen dxyz. Aus dem Vergleich mit der Referenzmessung ergaben sich mittlere Abweichungen von 0.44 ± 0.22 mm, welche auf die drei Dimensionen gleichverteilt ist. Bild 3 zeigt die räumliche Verteilung der Differenzen zwischen der Referenz und der Messung ohne Targets. Die Abweichungen sind statistisch über den Kollektor verteilt.

Heliostat: Für die Tracking-Kontrolle und Bestimmung der Form von Heliostaten wurden zu verschiedenen Zeiten und Bedingungen auf der PSA vom zentralen Turm (CESA-1) Aufnahmen mehrerer Heliostaten gemacht. Die aus den Bildkoordinaten der Facettenecken berechnete Orientierung wurde mit Berechnungen der Orientierung aus Flussdichte-Messungen verglichen. Bild 4 zeigt die reale und gemessene Heliostat-Orientierung (Azimut und Elevation) zweier 24-Facetten Heliostate über den Verlauf des Vormittags mit den Unsicherheitsbereichen der Messung. Für einen in der Symmetrielinie des Feldes liegenden Heliostaten in 88m Entfernung vom Turm und den Orientierungen Elevation $[0^\circ; 80^\circ]$ und Azimut $[-60^\circ; 60^\circ]$, werden 50% der Heliostat-Orientierungen mit einer Unsicherheit kleiner als 3 mrad und 80% mit einer Unsicherheit kleiner als 4 mrad gemessen^[2].

* Korrespondenzautor: Christoph Prah^{*}, Telefon: +34-950-265883; e-mail: Christoph.Prah^{*}@dlr.de

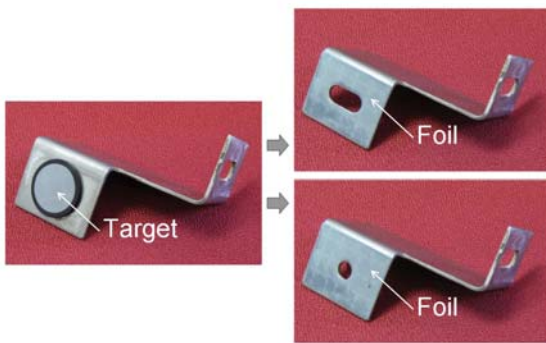


Bild 1: Z-Klammern mit Messtarget (links) und ohne Targets (rechts oben Langloch, unten Rundloch)

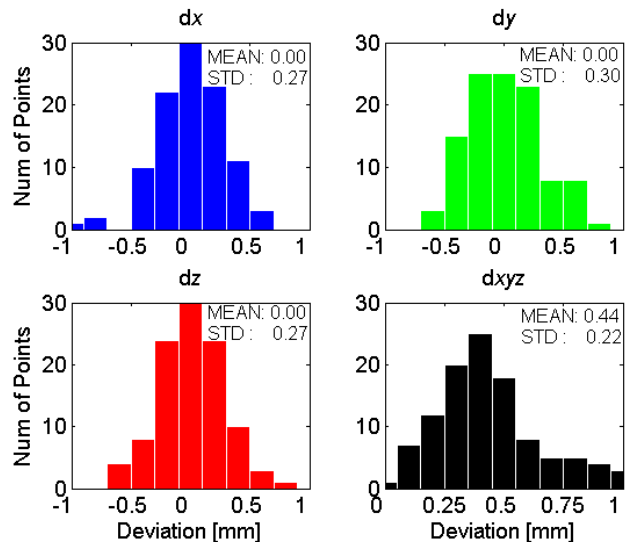


Bild 2: Histogramm der Abweichungen zwischen Messung ohne Targets (Rundloch) und Referenzmessung mit Targets

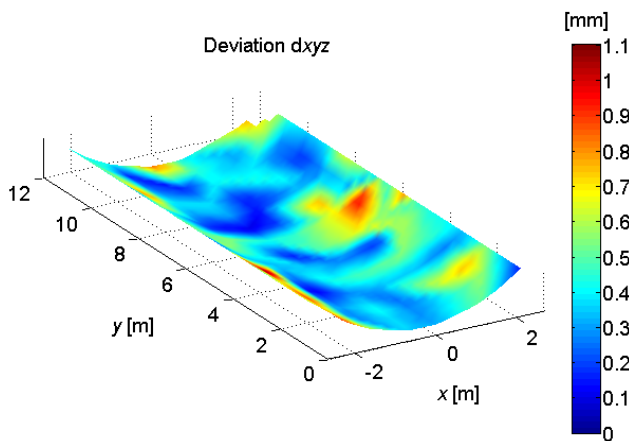


Bild 3: Räumliche Verteilung der Abweichung zwischen Messung ohne Targets (Rundloch) und Referenzmessung mit Targets

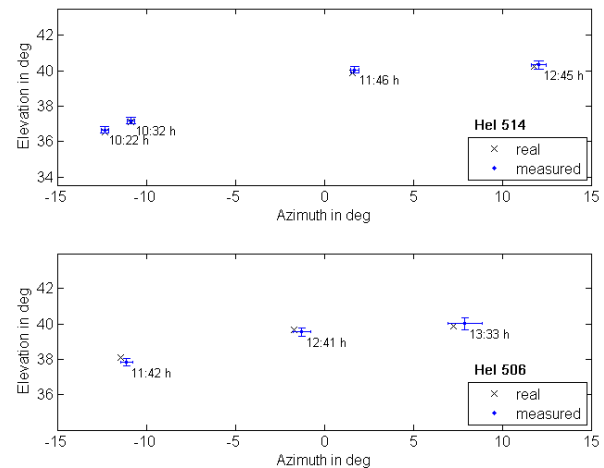


Bild 4: Reale und gemessene Heliostat-Orientierung zweier 24-Facetten Heliostate über den Verlauf des Vormittags

3 Diskussion

Durch die Verwendung bereits vorhandener Strukturen ergibt sich im Vergleich zu speziellen Messmarken im Allgemeinen eine reduzierte Genauigkeit der Beobachtungen, wodurch sich die Präzision der letztendlich zu bestimmenden Größen wie Orientierung und 3D-Koordinaten ebenfalls verringert.

Parabolrinne: Die erreichten Genauigkeiten sind unter den gegebenen Messumständen vielversprechend: Das in der Bilderkennung genutzte Rundloch der Klammer (Bild 1 rechts unten) besitzt einen 2,5-fach kleineren Durchmesser als das Messtarget der Referenzmessung (Bild 1 links). Deshalb waren die Messpunkte der Rundlöcher nur zwischen 1,5 bis 3 Pixel groß, was eine erhöhte Unsicherheit bei der Bestimmung der Mitte des Rundlochs zur Folge hat. Unter diesen Randbedingungen beträgt die Standardabweichung in den einzelnen Dimensionen ca. 0,3 mm. In einer realen Anwendung würde ein optimierter Setup gewählt werden, um die in der Qualifizierung von Parabolrinnenmodulen geforderte Messgenauigkeit zu erreichen (ca. 0,1-0,2 mm).

Heliostat: Die erreichten Genauigkeiten reichen aus, um während des Betriebes ein Tracking-Monitoring, sowie beim Start-up einen ungefähren Getriebe-Offset zu ermitteln. Für eine Offset-Korrektur ist diese Messmethode im Moment noch nicht geeignet. An einer weiteren Erhöhung der Genauigkeit wird gearbeitet.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Sowohl für die Qualitätssicherung in der Produktion von Parabolrinnen-Konzentratoren als auch für die Canting- und Tracking-Kontrolle von Heliostaten von Turmkraftwerken wurden Bilderkennungs-Algorithmen entwickelt, die neue Möglichkeiten und Kosteneinsparungen bei den genannten Aufgaben versprechen. Weitere Arbeiten werden sich mit der Erweiterung der Anwendungen und der Verbesserung der Genauigkeit beschäftigen.

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Projekts QUARZ-CSP (Förderkennzeichen 16UM0095) und SAPHIR (Förderkennzeichen 16UM0068) finanziell unterstützt.

Literatur

^[1] Pottler, K.; Röger, M.; Lüpfert, E.; Schiel, W.: Automatic Noncontact Quality Inspection System for Industrial Parabolic Trough Assembly. *J. Sol. Energy Eng.*, Vol. 130, No. 1, 011008 (5 pages), 2008.

^[2] Röger, M.; Prahl, C.; Ulmer, S.: Fast Determination of Heliostat Shape and Orientation by Edge Detection and Photogrammetry. *Proc. 14th CSP SolarPACES Symposium 2008*, March 4-7, Las Vegas, Nevada, 2008, CD-550-42709.