

Luftgestützte photogrammetrische Bestimmung der Heliostat-Orientierung

W. Jessen¹, C. Prah¹, M. Röger¹, C. Happich²



Abb. 1: Messflug am Solarfeld CESA 1 der Plataforma Solar de Almeria

Motivation

Die korrekte Ausrichtung der Heliostate im Turmkraftwerk ist eine wichtige Voraussetzung, um die Direktstrahlung der Sonne auf den Receiver bündeln zu können. Durch die großen Entfernungen können selbst geringfügige Fehler in der Heliostatansteuerung dazu führen, dass die reflektierte Strahlung den Receiver verfehlt. Die derzeit etablierte Methode zur Überprüfung der Ausrichtung basiert auf der Flussdichtemessung und verwendet eine am Turm angebrachte weiße Fläche (Target), um jeweils ein bis vier Heliostate gleichzeitig zu überprüfen. Insbesondere nach der Errichtung eines neuen Kraftwerks kann es mehrere Monate in Anspruch nehmen, bis die Steuerung aller Heliostat kalibriert wurde.

Das hier vorgestellte luftgestützte Messsystem kann das gesamte Heliostatfeld mittels eines unbemannten Fluggeräts (UAV – unmanned aerial vehicle) im Überflug erfassen (Abb. 1). Dies ermöglicht, die Feldsteuerung bereits vor der Fertigstellung des Turms zu kalibrieren und damit die Inbetriebnahme des Kraftwerks deutlich zu beschleunigen. Außerdem kann das Heliostatfeld bei Bedarf mit geringem Zeitaufwand nachkalibriert werden.

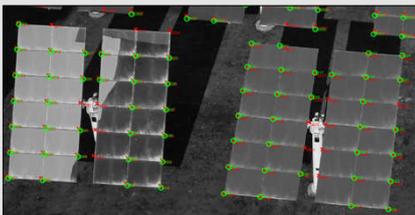


Abb. 2: Photogrammetrisches Verfahren; Detektion von Spiegelecken. Lage von Spiegelecken: Rot: geschätzt. Grün: detektiert

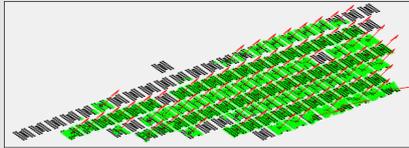


Abb. 3: Photogrammetriemessung. Schwarz: Vorannahme. Grün: gemessene Position von Spiegelecken. Rot: aus der Messung bestimmte Normalenvektoren.

Messverfahren in zwei Schritten

Das Messverfahren teilt sich in zwei Stufen. Der erste Schritt ist die Vermessung mit photogrammetrischen Methoden. Das Ziel ist hierbei, eine Messgenauigkeit der Heliostatausrichtung von besser als 10 mrad zu erreichen.

Im zweiten Schritt wird Deflektometrie zur Feinvermessung eingesetzt mit dem Ziel einer Messgenauigkeit von besser als 0.3 mrad. Dieser Messschritt kann ebenfalls zur Formmessung der Spiegelfacetten eingesetzt werden.

Photogrammetrisches Verfahren

- Kreisflug für photogrammetrisch verwendbare Bilder
- Bildregistrierung und Bestimmung der Kameraorientierung (EOR)
- Bilderkennung. Erkennung und Zuordnung der Spiegelecken im 2D Bild (Abb. 2)
- Photogrammetrie zur Bestimmung der 3D-Koordinaten (Abb. 3)
- Berechnung der Heliostat Normalenvektoren aus dem Photogrammetrieergebnis

Deflektometrisches Verfahren

- Am Fluggerät klar erkennbare Referenzpunkte; z.B. LEDs (Abb. 4)
- Im Kamerabild wird deren Reflexion erkannt
- Durch bekannte Position der Kamera (aus Photogrammetrie) und bekannte Lage der Referenzpunkte relativ zur Kamera wird der Normalenvektor der Spiegeloberfläche am Reflexionspunkt berechnet.



Abb. 4: Messsystem Prototyp für Deflektometriemessung (hier in Jülich). Rote/grüne/blau LED Targets montiert an der Kamera.

Validierung der photogrammetrische Vermessung

Auf der Plataforma Solar de Almeria wurde eine Validierungsmessung durchgeführt (Abb. 5).

Die Referenzorientierung für drei Heliostate (vorderste Reihe in Abb. 3) wurde per Flussdichtemessung ermittelt. Das Validierungsziel eines Messfehlers unter 10 mrad wurde für diese drei Heliostate erfüllt (Tab. 1). Insgesamt wurden 87 von 100 Heliostaten erfolgreich vermessen (Abb. 3). Nichtgemessene Heliostate sind auf die gewählte Flugroute zurückzuführen.

Tab. 1: Validierungsmessung

Gemessene Heliostate mit Referenzmessung	Abweichung des gemessenen Normalenvektors von der Referenz
#1	3,6 mrad
#2	6,8 mrad
#3	9,3 mrad

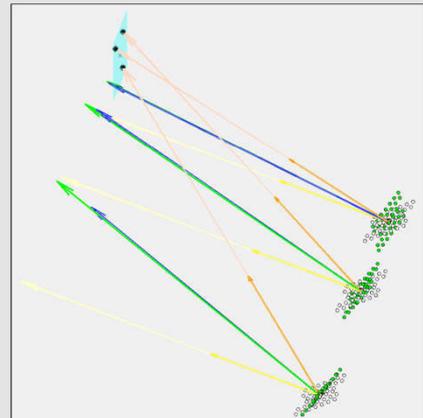


Abb. 5: Erste Validierung des photogrammetrischen Verfahrens mit Referenzmessung für drei Heliostate. Ebene in Cyan: Target am Turm und Fokussierungspunkte (schwarzer Stern). Weiße/grüne Punkte: Position der Ecken von Heliostat-Spiegelfacetten. Weiß: vor der Messung angenommene Heliostatstellung. Grün: gemessene 3-D Koordinaten. Vektoren am Heliostat: Gelb: Richtung zur Strahlungsquelle Sonne. Orange: reflektierter Lichtstrahl zum Target am Turm. Blau: Referenz-Normalenvektor aus der Flussdichtemessung. Grün: Normalenvektor gemessen mit UVA

Danksagung

Die Autoren danken dem BMWi (Förderkennzeichen: 0324201) und dem Land Nordrhein-Westfalen (Förderkennzeichen: PRO 0070A) für die finanzielle Unterstützung.