

WOLKEN-TRANSMISSIONSGRAD-ZUWEISUNG FÜR EIN RÄUMLICH HOCHAUFGELÖSTES ECHTZEIT DNI KARTEN-KURZZEITPROGNOSE-SYSTEM

Bijan Nouri¹, Luis Segura¹, Pascal Kuhn¹, Stefan Wilbert¹, Christoph Prah¹,
Robert Pitz-Paal², Lourdes Ramirez Santigosa³, Luis F. Zarzalejo³

¹Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Institut für Solarforschung, Plataforma Solar de Almería

²DLR, Institut für Solarforschung, Linder Höhe, 51147 Köln

³CIEMAT Abteilung für erneuerbare Energien, Av. Complutense 40, 28040 Madrid

bijan.nouri@dlr.de

Einleitung

Kurzzeitprognosen der Solarstrahlung für die nächsten 15 Minuten bergen ein großes Potenzial zur Betriebsoptimierung von solarthermischen Kraftwerken, PV-Systemen als auch des Netzbetriebs. Kameragestützte Prognosesysteme erfuhren in den letzten Jahren einen signifikanten Entwicklungsschub, begünstigt durch die Verfügbarkeit von günstigen hochauflösenden Kameras, der Fortschritte bei den verfügbaren Speicher- und Rechenkapazitäten und dem stetigen Wachstum des solaren Anteils im weltweiten Energiemix. Das Potenzial für räumlich aufgelöste Kurzzeitprognosen der Globalstrahlung wurde u.a. in [1] untersucht. [2] und [3] beschreiben Methoden für Direktstrahlungsprognosen, welche bis zu vier unabhängige 2D Wolkenschichten berücksichtigen. In [4] werden zwei Kameras mit Fischaugenobjektiven für eine detaillierte 3D Wolken-Photogrammetrie eingesetzt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Echtzeit-Kurzzeitprognose-System für räumlich hochaufgelöste (5mx5m) DNI Karten basierend auf zwei bis vier Standard Überwachungskameras (Mobotix Q24 oder Q25) entwickelt [5]. Im vorgestellten System wird jede sichtbare Wolke als individuelles 3D Objekt in einem virtuellen Raum modelliert. Jedem Wolkenobjekt im Raum werden die Attribute Höhe, Position, Dicke und Transmissionsgrad zugewiesen. Ein individueller Bewegungsvektor wird für jedes Wolkenobjekt ermittelt. Mittels dieses Systems können Kurzzeitprognosen der Direktstrahlung (DNI) auch bei komplexen mehrschichtigen Wolkenzugsbedingungen erstellt werden.

Beschreibung des Kurzzeitprognose-System

Das System setzt sich aus sechs Modulen zusammen:

- Wolkendetektion mittels einer 4D clear sky library, mit den Dimensionen Pixel Zenit Winkel, Pixel Sonnen Winkel, Air Mass und Linke-Trübungsfaktor.
- 3D Wolken-Modellierung mittels Voxel carving [5]
- Strahlverfolgung für den Wolkenschattenwurf auf ein GPS berechnetes Bodenmodell
- Zuweisung des Transmissionsgrades
- Nachführen der Wolkenobjekte
- Erstellen von räumlich hochaufgelösten DNI Karten für den aktuellen Zeitpunkt sowie für Prognosen (15 Prognosen von 1 bis 15 Minuten)

Ein beispielhaftes Ergebnis inkl. der Wolkenobjekte, deren Bewegungsvektoren und der dazugehörigen DNI Karte ist in Abb. 1 (links) zu sehen. Im Rahmen dieser Arbeit wird nach einer kurzen Vorstellung des Systems die Zuweisung des Transmissionsgrades detailliert erläutert. Der Transmissionsgrad wird für alle Wolken direkt gemessen, deren Schattenwurf ein Pyrheliometer verschattet (in CSP Kraftwerken stets verfügbares). Transmissionsgrad-Messungen fließen in eine Datenbank mit einem Verfallsdatum von wenigen Stunden ein. Für Wolken ohne individuelle Transmissionsgradmessung wird ein gewichteter Mittelwert aus der Datenbank berechnet. Hierzu werden nur die Transmissionsgrad Informationen berücksichtigt, die von Wolkenobjekten aus ähnlichen Höhen stammen. Die Gewichtungsfaktoren basieren auf einer Studie von Transmissionsgrad-Messungen bezogen auf Wolkenhöhen. Der eingesetzte Datensatz für die Studie beinhaltet mehrere Hundert Tage, aufgezeichnet auf der Plataforma Solar de Almería (PSA) und ist in Abb. 1 (rechts) gezeigt. Transmissionsgradmessungen von Wolken sind in verschiedenen Wolkenhöhen und Transmissionsgrad Kategorien unterteilt (Abszisse). Auf der Ordinate ist die beobachtete Häufigkeit der Transmissionsgradmessungen aufgetragen. Es zeigt sich gerade bei Wolken mit einer Höhe unterhalb von 5000 m eine klare Tendenz für einen Transmissionsgrad unterhalb von 17.5%, mit zunehmender Höhe der Wolken wurde eine breitere Verteilung des Transmissionsgrads beobachtet.

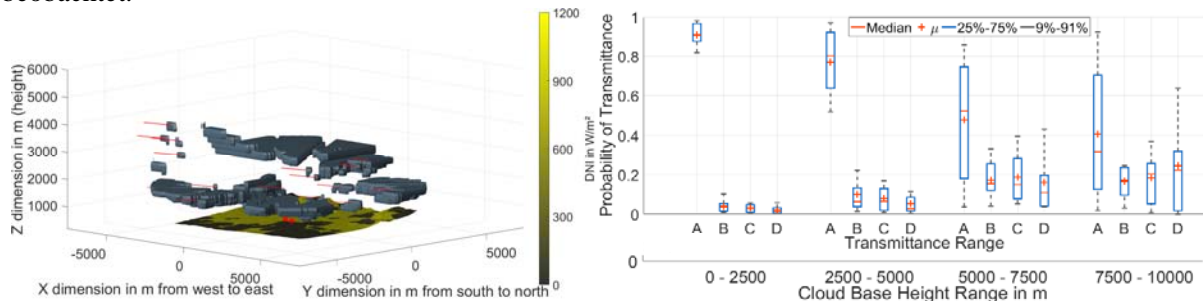


Abbildung 1: (Links) Modellierter Raum mit Wolkenobjekten und DNI Karte (Rechts) Ergebnisse Transmissionsgrad Studie: Wahrscheinlichkeit über vier Transmissionsgrad Bereiche (A: 0-17.5%, B: 17.5% – 35%, C: 35% – 52.5% und D: 52.5% – 70%) und vier Wolkenhöhen Kategorien .

Mittels der umfangreichen Messinfrastruktur der PSA konnte das Gesamtsystem validiert werden. Hierzu wurden ein Netzwerk aus Pyrheliometern und Pyranometern sowie ein Ceilometer eingesetzt. Eine Validierung über 30 Tage mit drei bodengestützten DNI Messpositionen stellte einen MAE (Mittlerer Absoluter Fehler) von 15 % fest (7.5 Minuten Prognose) [6].

Referenzen

1. Schmidt T. et al., Evaluating the spatio-temporal performance of sky-imager-based solar irradiance analysis and forecasts, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, pp. 3399–3412, (2016).
2. Zhenzhou Peng et al., 3D cloud detection and tracking system for solar forecast using multiple sky imagers, *Solar Energy* 118, pp. 496-519, (2015).
3. Blanc P. et al., Short-Term Forecasting of High Resolution Local DNI Maps with Multiple Fish-Eye Cameras in Stereoscopic Mode, *AIP conference Proceedings* 1850, (2017).
4. Beekmans C. et al., Cloud photogrammetry with dense stereo for fisheye cameras, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, pp. 14231–14248, (2016)
5. Nouri B. et al., Nowcasting of DNI Maps for the Solar Field Based on Voxel Carving and Individual 3D Cloud Objects from All Sky Images, *23rd SolarPACES International Symposium on Concentrated Solar Power and Chemical Energy Technologies*, Santiago, Chile, (2017).
6. Kuhn P. et al., Validation of an all-sky imager based nowcasting system for industrial PV plants, submitted to *Progress in Photovoltaics*, (2017).