

Vorhersagemethoden für Solarstrahlung basierend auf Wolkenkameras

Birk Kraas, Thomas Schmidt, Anne Forstinger (CSP Services)
Stefan Wilbert, Bijan Nouri, Kareem Noureldin, Tobias Hirsch (DLR)

DLR Sonnenkolloquium 2020

09. Juni 2020

Überblick

- WobaS und WobaS-A Forschungsprojekte
- Funktionsweise des Systems
- Validierung des Systems (DNI-spezifisch)
- Beispiel der Anwendung von räumlich aufgelösten DNI-Informationen am Parabolrinnenkraftwerk
- Ausblick

WobaS Förderprojekte

- WobaS und WobaS-A BMWi Forschungsprojekte
- WobaS: Wolkenkamera-basierte Betriebsstrategien für konzentrierende Solarkraftwerke
- Verbundförderprojekt WobaS: Entwicklung Nowcasting System durch DLR, CSPA und TSK Flagsol (12/2015 - 11/2018), Bewertung und Entwicklung von vorhersagebasierten Betriebsstrategien
- WobaS-A (Nachfolgeprojekt, seit 12/2018: Optimierung des Systems, Marktstudie, Verwendung des Systems in Parabolrinnen-, Turm- und PV-Kraftwerken

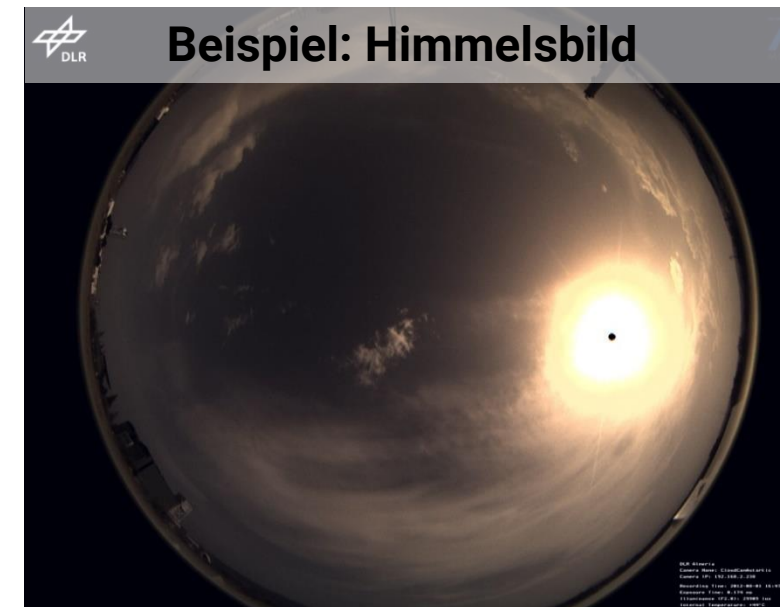
Gefördert durch:



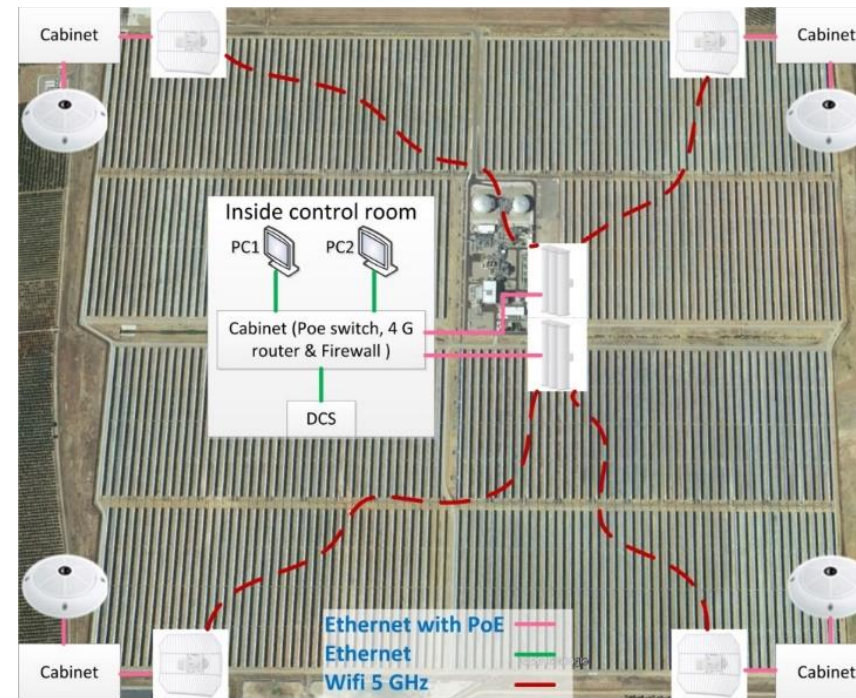
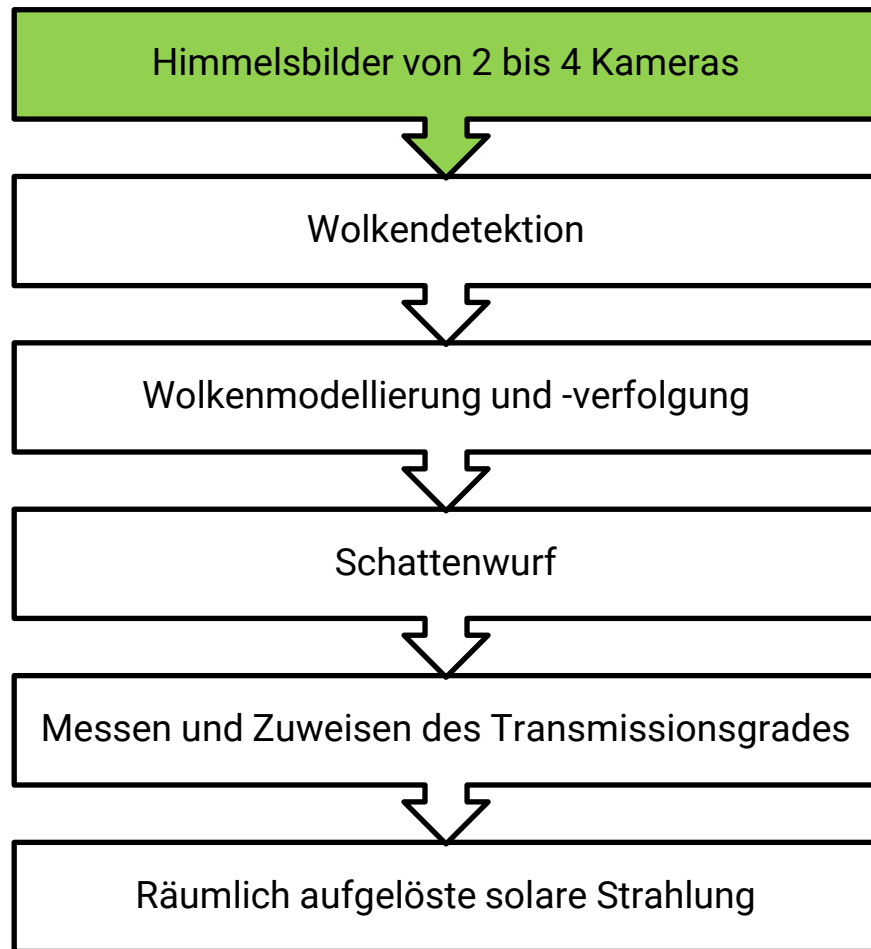
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Nowcasting System entwickelt in WobaS

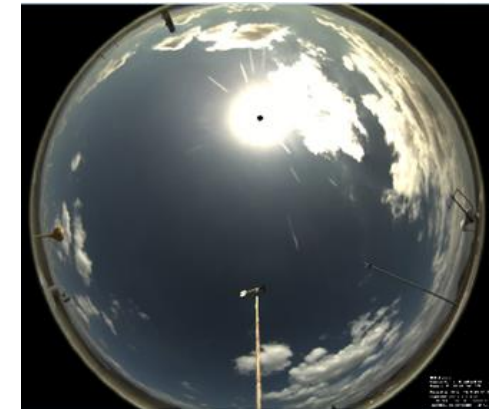
- Einstrahlungskarten (DNI, GTI, GHI) mit hoher zeitlicher Auflösung (z.B. 30 sec)
- Vorhersage für nächste ~15 min, Update alle 30sec
- Räumliche Auflösung bis zu 5m x 5m
- Räumliche Abdeckung bis zu ~10km x 10km



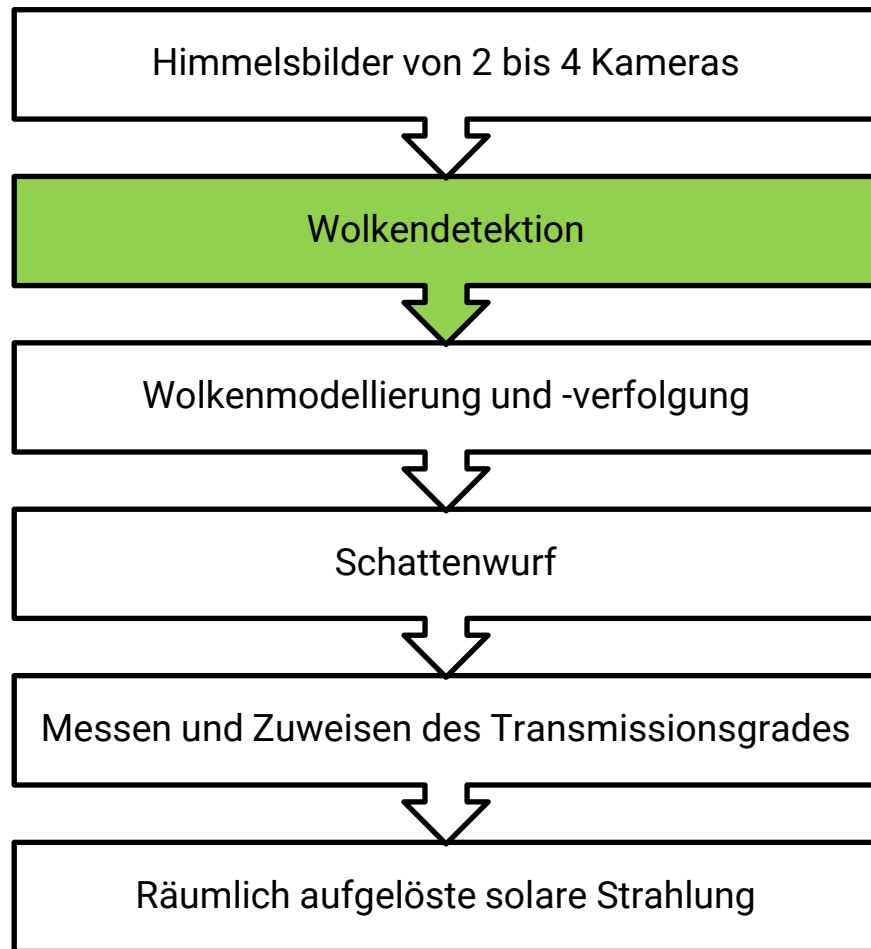
Grobe Funktionsweise des Wolkenkamera-Systems



Images: DLR

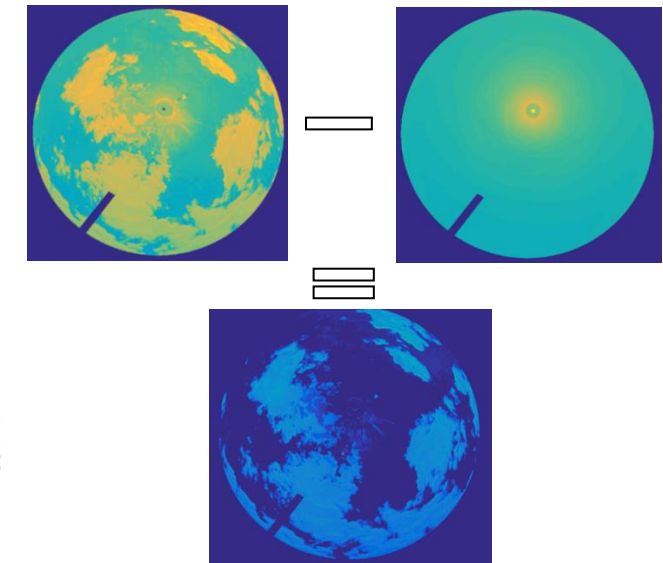
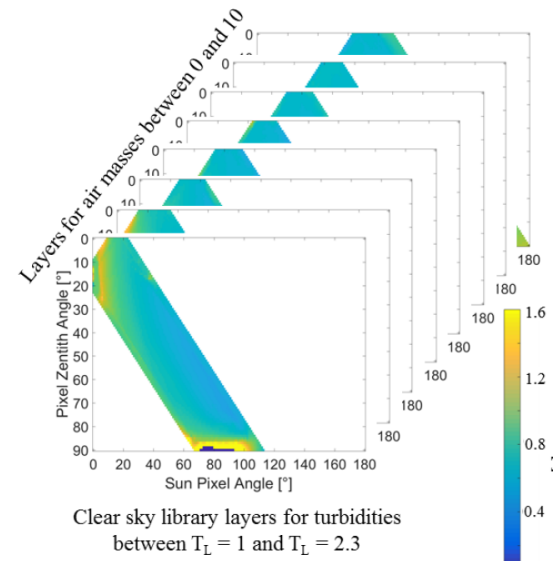


Grobe Funktionsweise des Wolkenkamera-Systems



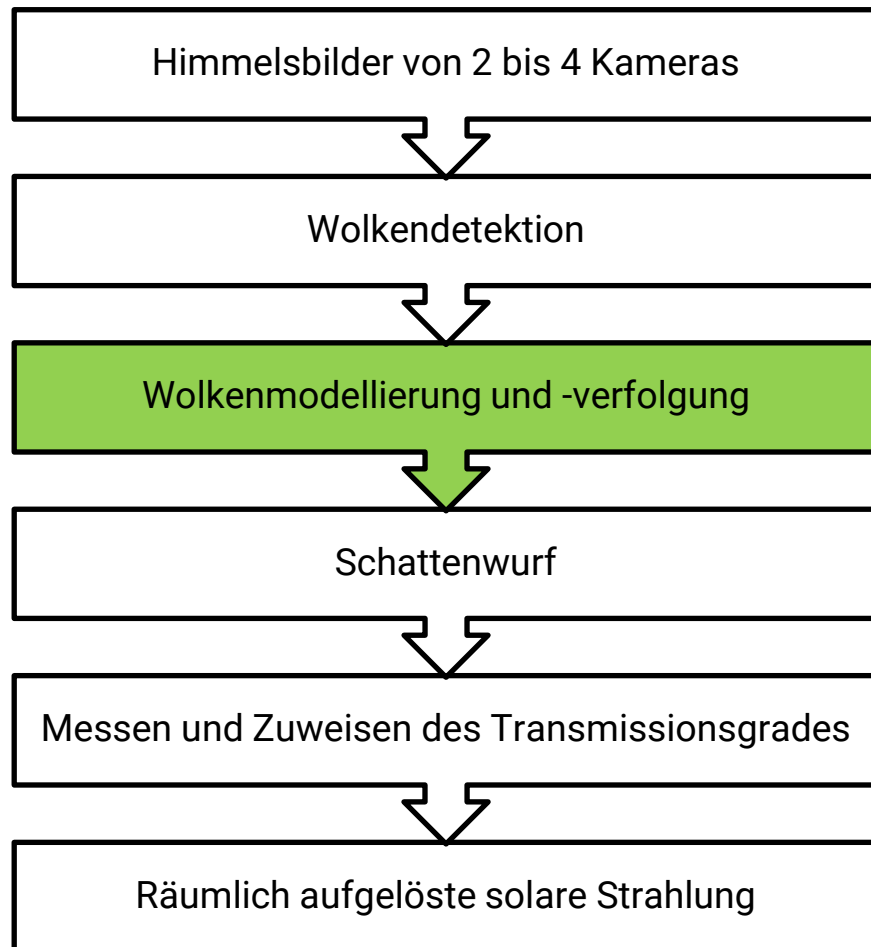
4D Clear Sky Bibliothek für Wolkendetektion:

- RGB Informationen einer großen Anzahl an Rohbildern mit Clear Sky Verhältnissen
- Erwartetes Clear Sky Bild wird mit 4 Infos bestimmt:
 - 1) Winkel Pixel zu Zenit
 - 2) Winkel Pixel zu Sonne
 - 3) Airmass
 - 4) Linke-Trübung



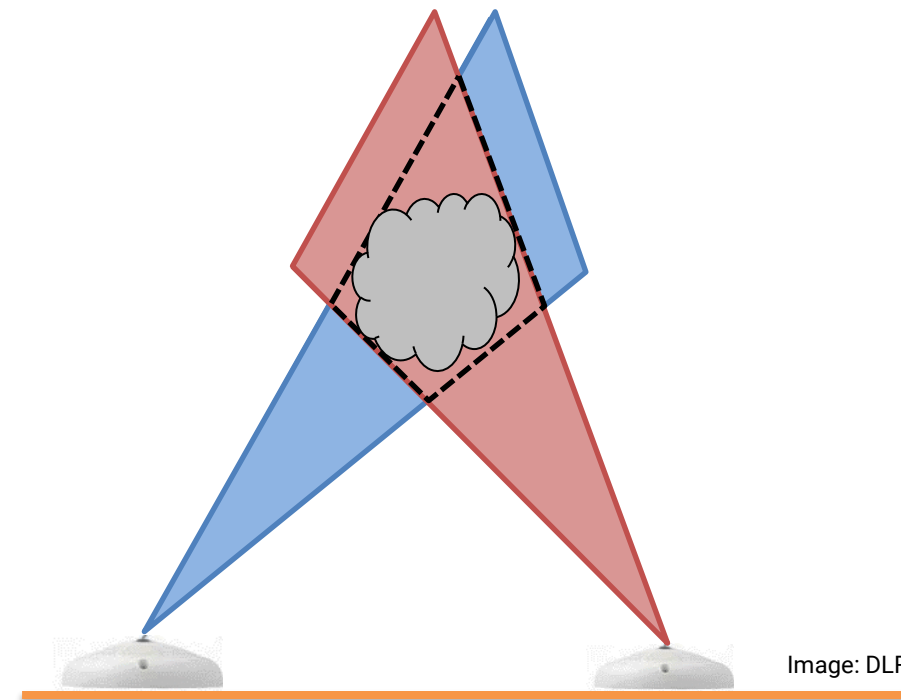
Kuhn, P., et al., 2017. Validation of an all-sky imager-based nowcasting system for industrial PV plants. *Prog. Photovolt.: Res. Appl.* doi: 10.1002/pip.2968

Grobe Funktionsweise des Wolkenkamera-Systems



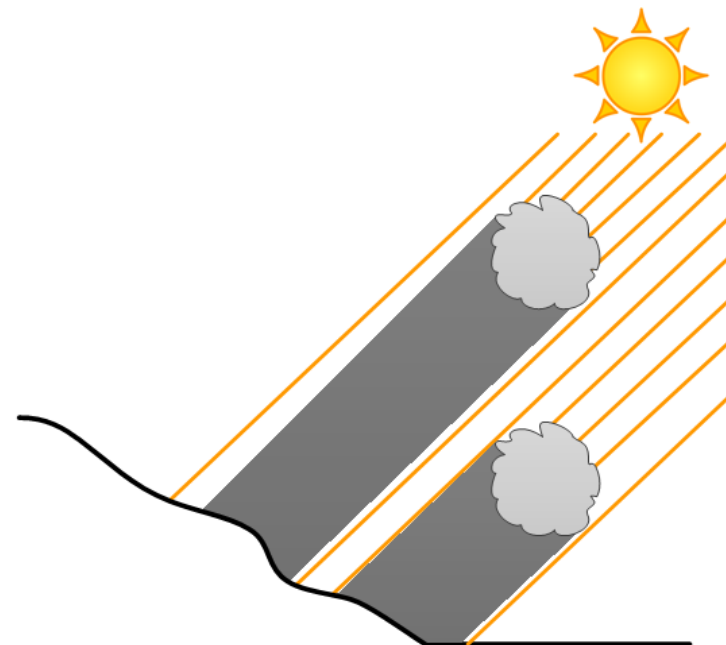
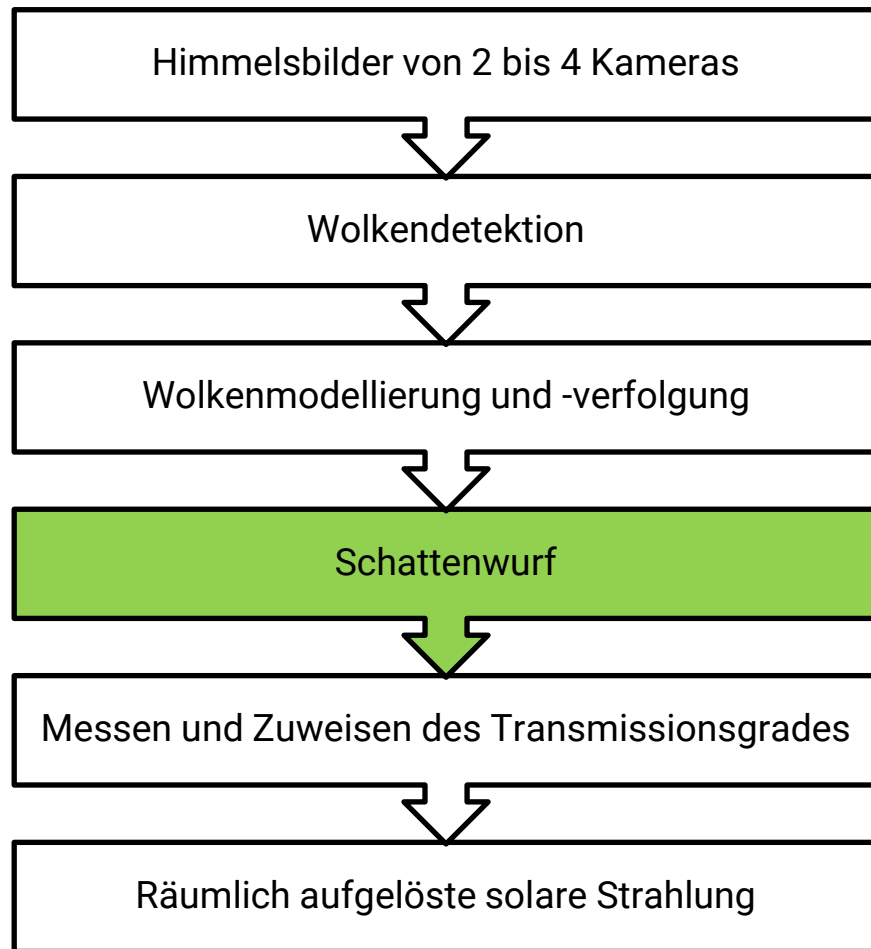
Wolkenverfolgung und -positionsbestimmung mit:

- einem 3D Ansatz
- aufeinanderfolgenden Bildern mehrerer Kameras



Nouri, B., et al., 2019. Cloud height and tracking accuracy of three all sky imager systems for individual clouds. *Sol. Energy* 177, 213–228

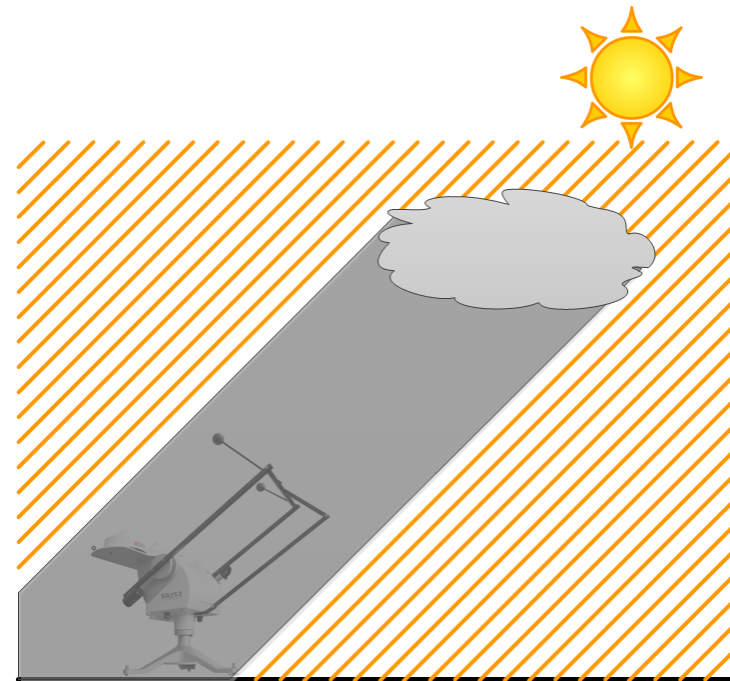
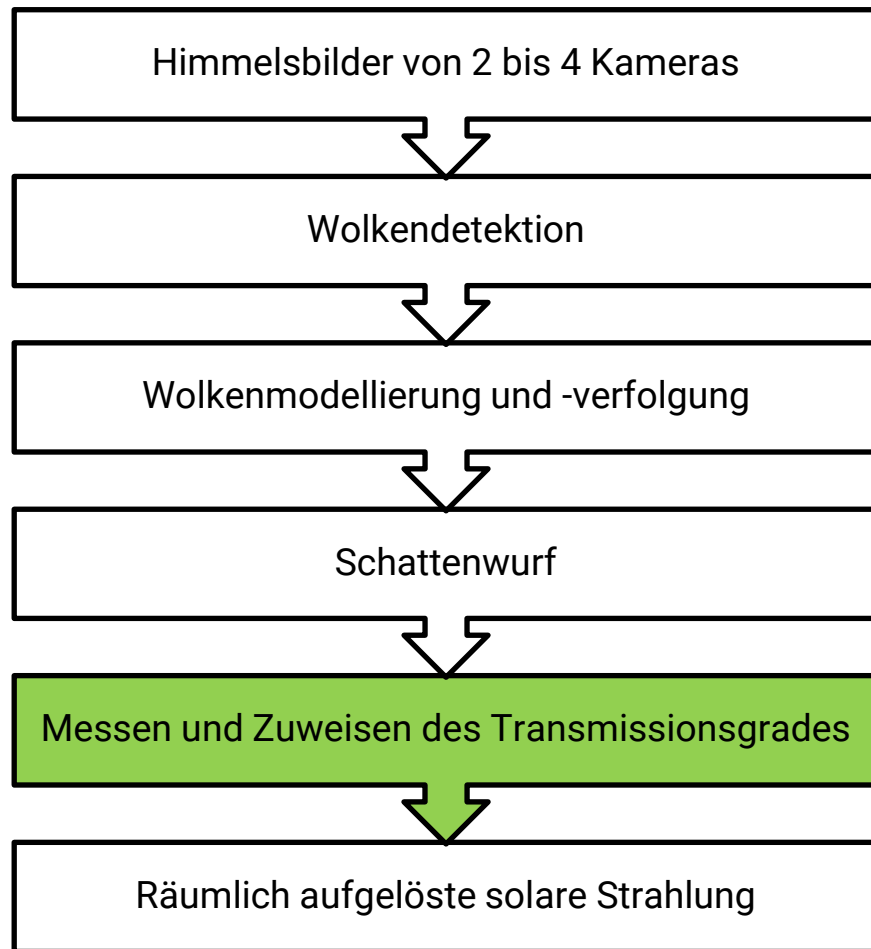
Grobe Funktionsweise des Wolkenkamera-Systems



topografische Informationen vom TanDEM-
X global elevation model
(DLR Hochfrequenztechnik und
Radarsysteme)

Nouri, B., et al., 2018. Nowcasting of DNI Maps for the Solar Field Based on Voxel Carving and Individual 3D Cloud Objects from All Sky Images, AIP Conference Proceedings. Vol. 2033. doi:10.1063/1.5067196

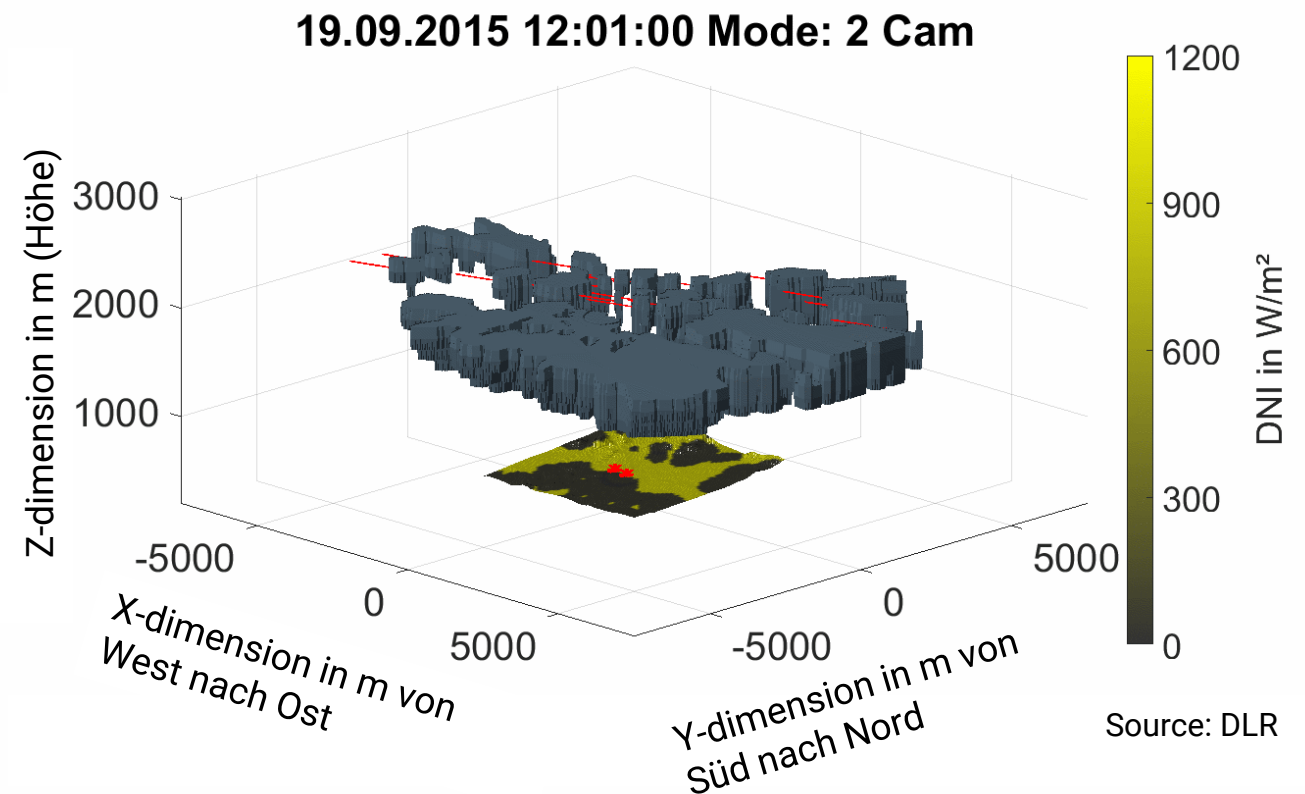
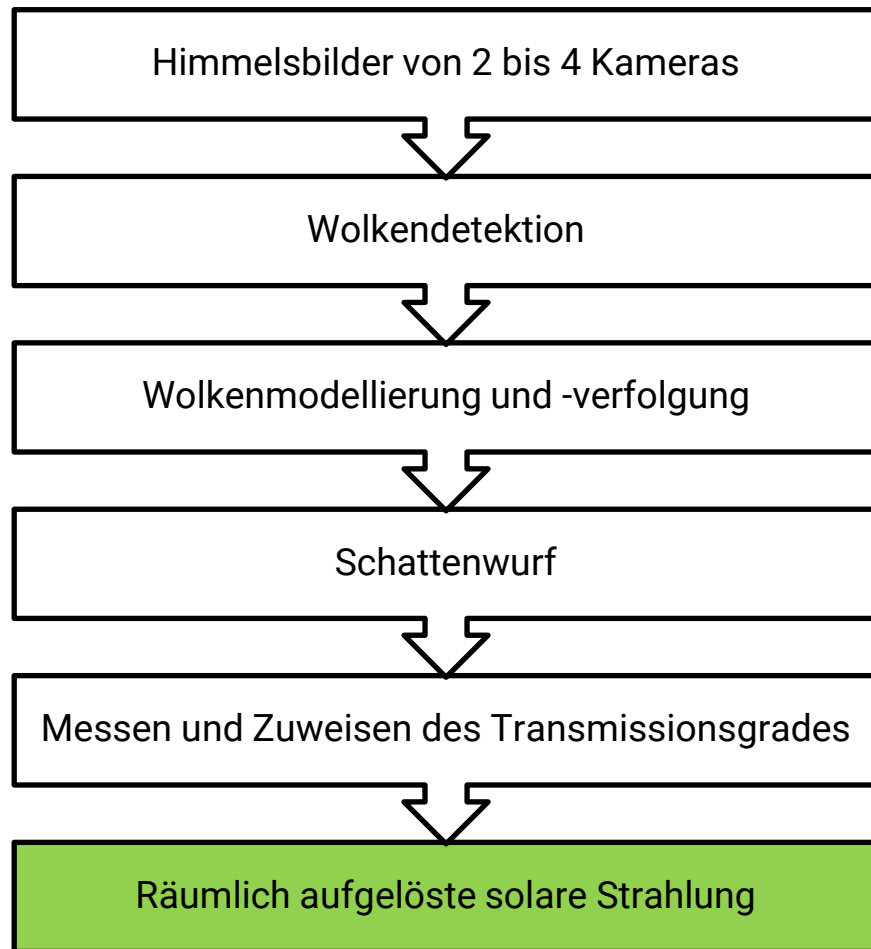
Grobe Funktionsweise des Wolkenkamera-Systems



Transmissionsgrad an DNI Messstellen $\tau = \frac{DNI_{shaded}}{DNI_{clear}}$
 Für alle anderen Punkte: probabilistischer Ansatz

Nouri, B., et al., 2019. Determination of cloud transmittance for all sky imager based solar nowcasting. Sol. Energy, 181, 251–263. doi: 10.1016/j.solener.2019.02.004

Grobe Funktionsweise des Wolkenkamera-Systems

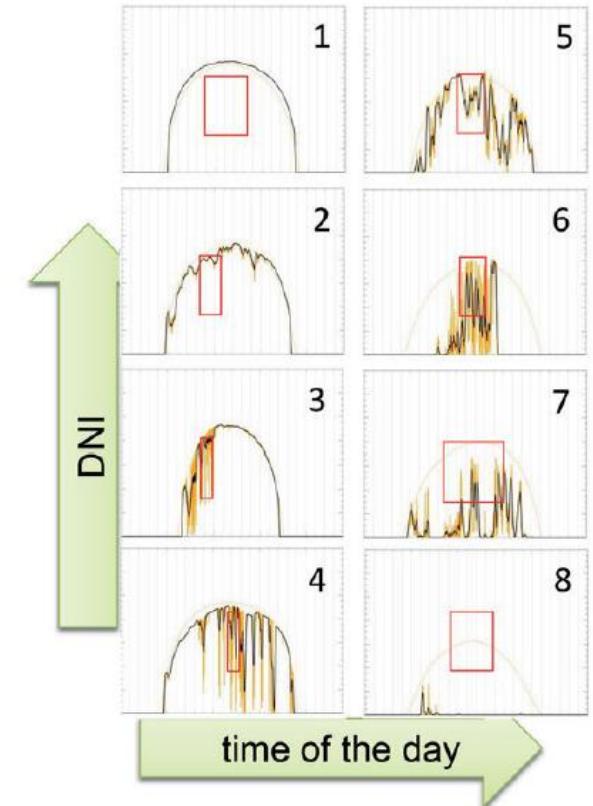


Evaluierung des Systems an 5 Standorten

Unter Beachtung der Klassifizierung der zeitlichen DNI Variabilität

Anlage	Validierungszeitraum
PSA, ESP	Volle Jahre 2016, 2017, 2018
La Africana, ESP	Volles Jahr 2017
Évora, POR	42 Tage Mai 2017 - März 2018
Jülich, DE	80 Tage Juni 2019 - August 2019
Oldenburg, DE	86 Tage April 2019 - Juli 2019

- Weltweit mit Abstand umfangreichste Validierung von Wolkenkameravorhersagen
- DNI Variabilität ist wichtiger Treiber der Vorhersage-Unsicherheit
- Validierung separat für 8 DNI Variabilitäts-klassen

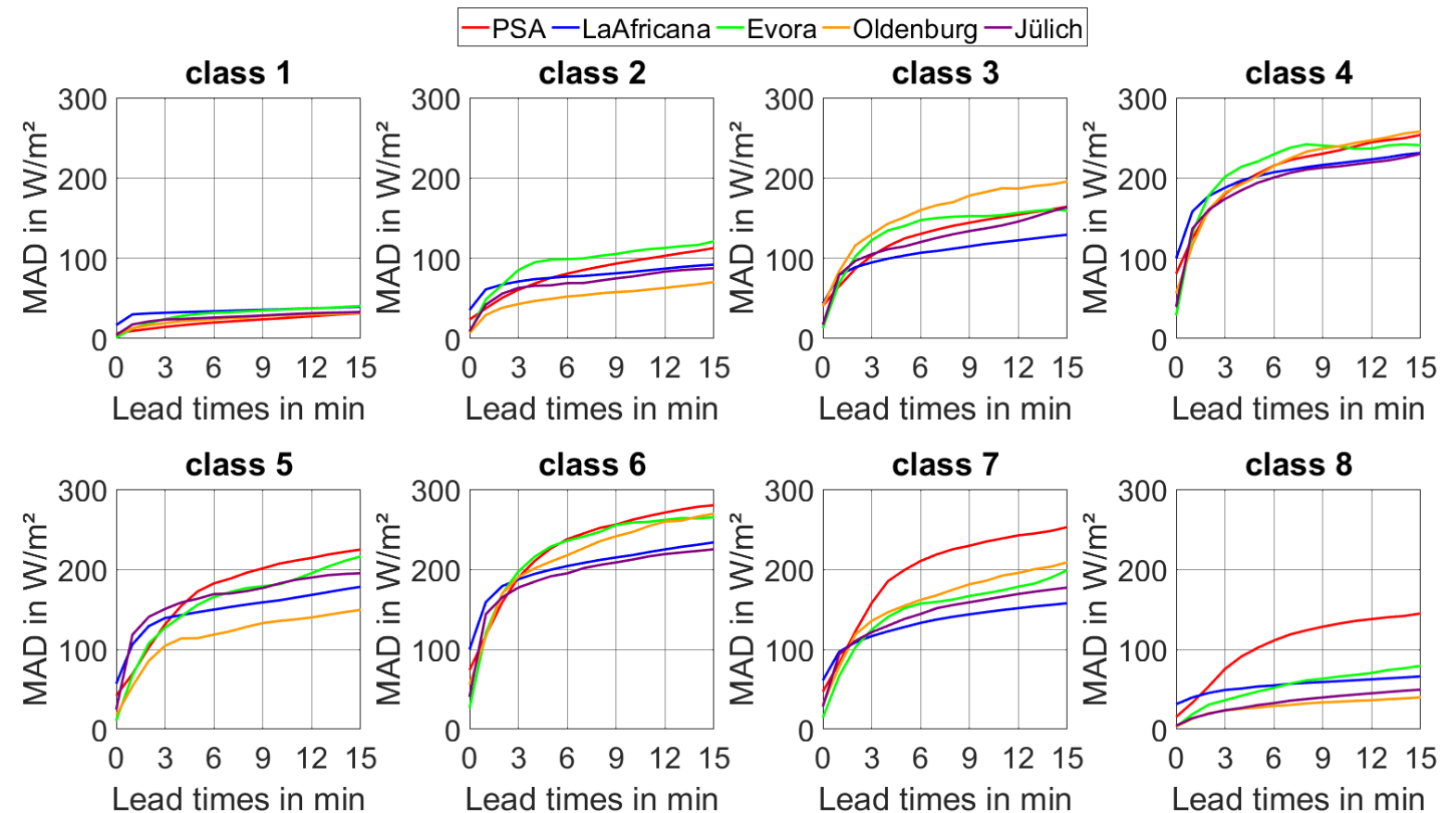


B. Nouri et al. "Evaluation of an All Sky Imager Based Nowcasting System for Distinct Conditions and Five Sites." SolarPaces Daegu 2019

M. Schroedter-Homscheidt, et al., 2018. Classifying ground-measured 1 minute temporal variability within hourly intervals for direct normal irradiances. Met. Z., 27, 161-179

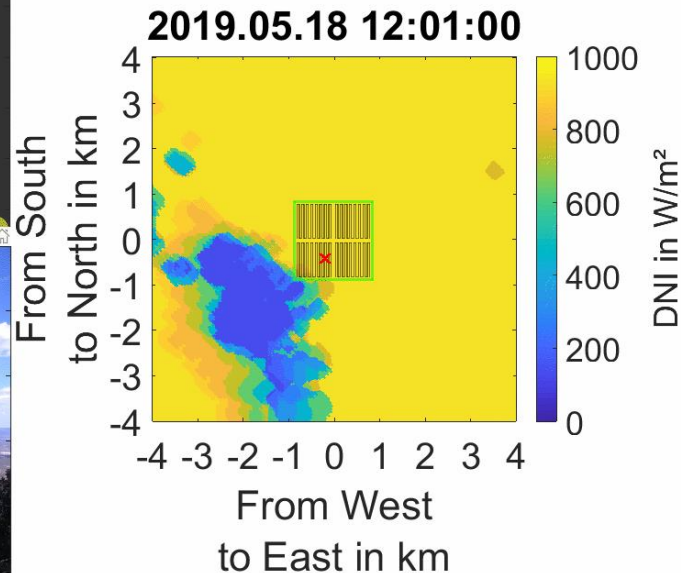
Validierung in verschiedenen DNI Variabilitätsklassen

- Gutes Verständnis der Systemgenauigkeit
- Zusätzliche Unsicherheitsfaktoren separat untersucht:
 - Zenitwinkel der Sonne
 - Wolkenhöhe
 - Wolkengeschwindigkeit
 - Wolkenklassen
 - mehrere Wolkenschichten
 - Bildauflösung
 - Abstand zwischen Kameras
- Einfluss räumlicher Mittelung & Rampen untersucht



B. Nouri et al. "Evaluation of an All Sky Imager Based Nowcasting System for Distinct Conditions and Five Sites." *SolarPaces Daegu*, 2019

Verwendung von DNI-Karten für PT Kraftwerke

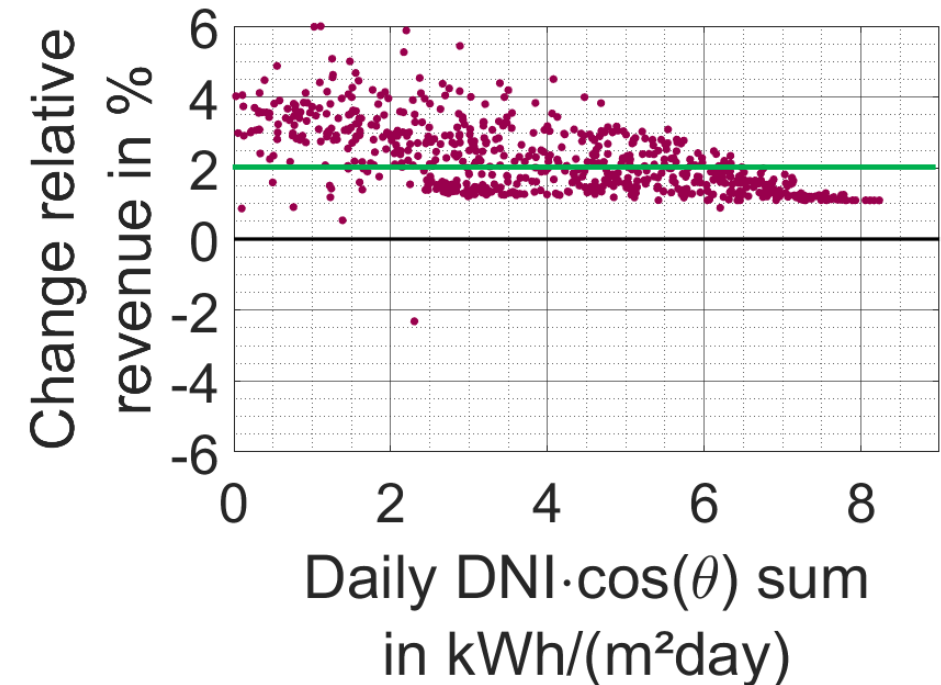


- variable DNI ist Herausforderung für Kraftwerksbetrieb
- wenige DNI-Messpunkte können Variabilität im Feld nicht abbilden
- visuelle Beurteilung der Beschattung durch Operator nicht möglich
- Variabilität kann zu Unter-/Überhitzungen und nichtoptimalem HTF Massenstrom führen
- mit DNI-Karten für das Solarfeld kann Betrieb weiter automatisiert & optimiert werden

Noureldin, K., et al., 2017. Virtual Solar Field-Validation of a detailed transient simulation tool for line focus STE fields with single phase heat transfer fluid. *Sol. Energy*146, 131–140. doi: 10.1016/j.solener.2017.02.028

Verwendung von DNI-Karten für Parabolrinnen-Kraftwerke

- Simulation mit virtuellem Solarfeld und angepasstem Solarfeldcontroller (automatischer Betrieb basierend auf DNI-Karten für Bildaufnahmezeitpunkt)
 - Vergleich gegen Referenzfall (“normaler” Controller mit punktueller DNI-Messung)
 - Abgeschätzter Mehrertrag: 2%
- Ohne Verwendung der DNI Vorhersage, nur Jetzt-Situation
- weitere Ertragssteigerungen durch Vorhersage erwartet



Nouri, B., et al., 2020. Optimization of parabolic trough power plant operation using irradiance maps from all sky imagers. *Solar Energy*, Vol 198, p. 434-453

Wolkenkamerabasierte Strahlungs-Vorhersage

Q4cast – kommerzielles System von CSP Services



Q4cast system

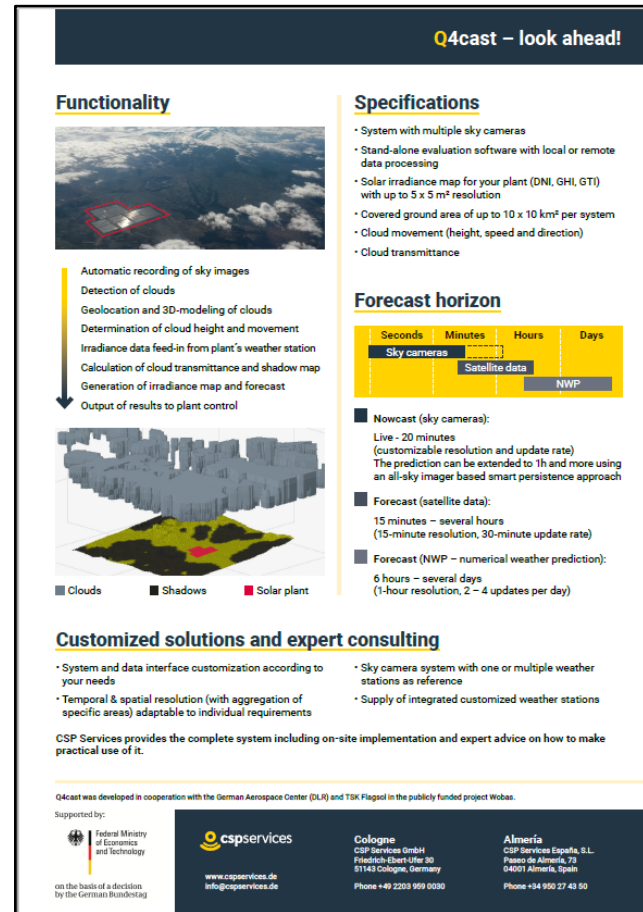
Our irradiance forecasting system Q4cast provides you with reliable information about the varying solar irradiance on the area of interest.

The sky camera based real-time nowcasting connects multiple cameras and weather stations for the most accurate determination and prediction of solar irradiance in the short-term. The results can be combined with satellite data and numerical weather prediction for mid- and long-term irradiance and weather forecasts.

This makes Q4cast the perfect tool for solar power plant and electricity grid operators.

Key benefits

- Optimize electricity market trading
 - Improve your power output predictions
 - Avoid penalties
 - Maximize your revenues
- Optimize plant control and maintenance
 - Adapt your operation strategy and ramp control
 - Receive predictive data to decrease wear of components and to adjust maintenance schedules
- Increase power plant yield
 - Adjust plant (and storage) operation to real-time irradiance
 - Maximize your sun harvest
- Customized technical solution
 - Each system can be customized for site-specific requirements
 - Easy system integration with adaptable data interfaces



Functionality

- Automatic recording of sky images
- Detection of clouds
- Geolocation and 3D-modeling of clouds
- Determination of cloud height and movement
- Irradiance data feed-in from plant's weather station
- Calculation of cloud transmittance and shadow map
- Generation of irradiance map and forecast
- Output of results to plant control

Specifications

- System with multiple sky cameras
- Stand-alone evaluation software with local or remote data processing
- Solar irradiance map for your plant (DNI, GHI, GTI) with up to 5 x 5 m² resolution
- Covered ground area of up to 10 x 10 km² per system
- Cloud movement (height, speed and direction)
- Cloud transmittance

Forecast horizon

Seconds	Minutes	Hours	Days
■ Sky cameras	■ Satellite data	■ NWP	

- Nowcast (sky cameras):
 - Live - 20 minutes (customizable resolution and update rate)
 - The prediction can be extended to 1h and more using an all-sky imager based smart persistence approach
- Forecast (satellite data):
 - 15 minutes – several hours (15-minute resolution, 30-minute update rate)
- Forecast (NWP – numerical weather prediction):
 - 6 hours – several days (1-hour resolution, 2 – 4 updates per day)

Customized solutions and expert consulting

- System and data interface customization according to your needs
- Temporal & spatial resolution (with aggregation of specific areas) adaptable to individual requirements
- Sky camera system with one or multiple weather stations as reference
- Supply of integrated customized weather stations

CSP Services provides the complete system including on-site implementation and expert advice on how to make practical use of it.

Q4cast was developed in cooperation with the German Aerospace Center (DLR) and TSK Flagplan in the publicly funded project Wobas.

Supported by:

Federal Ministry of Economic Affairs and Technology

csp services

Cologne
CSP Services GmbH
Friedrich-Ebert-Ufer 30
51143 Cologne, Germany
Phone +49 2203 959 0030
www.cspservices.de
info@cspservices.de

Almería
CSP Services España, S.L.
Paseo de Almería, 73
04001 Almería, Spain
Phone +34 950 27 43 50

- System-Grundlagen beruhen auf Arbeiten im WobaS-Projekt
- Kommerziell verfügbar
- Anfragen von verschiedenen CSP Kraftwerken in Bearbeitung

Ausblick

- Simulationsstudien zur Ertragssteigerung in Turmkraftwerken, PV-Kraftwerken und CSP-PV-Hybridkraftwerken
- Parabolrinnenkraftwerk: optimierte Betriebsführung unter Nutzung von Nowcasts entwickeln und demonstrieren
- Turmkraftwerk: Demonstration der ASI-basierten Regelung
 - verbesserte Zielpunktstrategie für Heliostatenfeld
 - gleichmäßigere Wärmeflussverteilung auf Receiver durch stetige Neuausrichtung Heliostaten basierend auf erwarteter DNI-Verteilung
- PV-Kraftwerk: Vorhersage von räumlicher Variabilität und plötzlichen Leistungsschwankungen (Rampen)
- Verbesserung des Nowcasting durch künstliche Intelligenz (z.B. bei Wolkendetektion, -tracking, -klassifizierung)
- Netzintegration Solarkraftwerke: verbesserte Kurzestfristvorhersage der Einspeiseleistung

Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!





Contact:

Birk Kraas

Commercial Head Meteorological Services

+49 2203 959 0036

b.kraas@cspservices.de

www.cspservices.de