

Erfassung und Vorhersage der Umweltbedingungen für optimalen Kraftwerksbetrieb

Stefan Wilbert, Fabian Wolfertstetter, Natalie Hanrieder, Bijan Nouri, Pascal Kuhn, Marc Röger,
Christoph Prahl

4.7.18

Sonnenkolloquium 2018, Köln



Wissen für Morgen



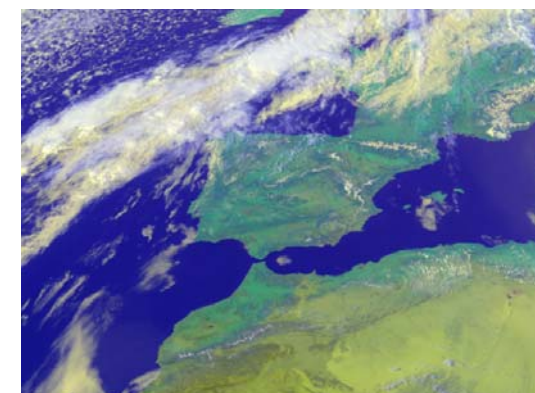
Erfassung und Vorhersage der Umweltbedingungen für optimalen Kraftwerksbetrieb -Inhalt-

- Direktstrahlung
 - Räumliche Verteilung im Solarfeld
 - Vorhersage
 - Zirkumsolarstrahlung
- Verschmutzung der Konzentratoren
- Extinktion der reflektierten Strahlung auf dem Weg zum Receiver

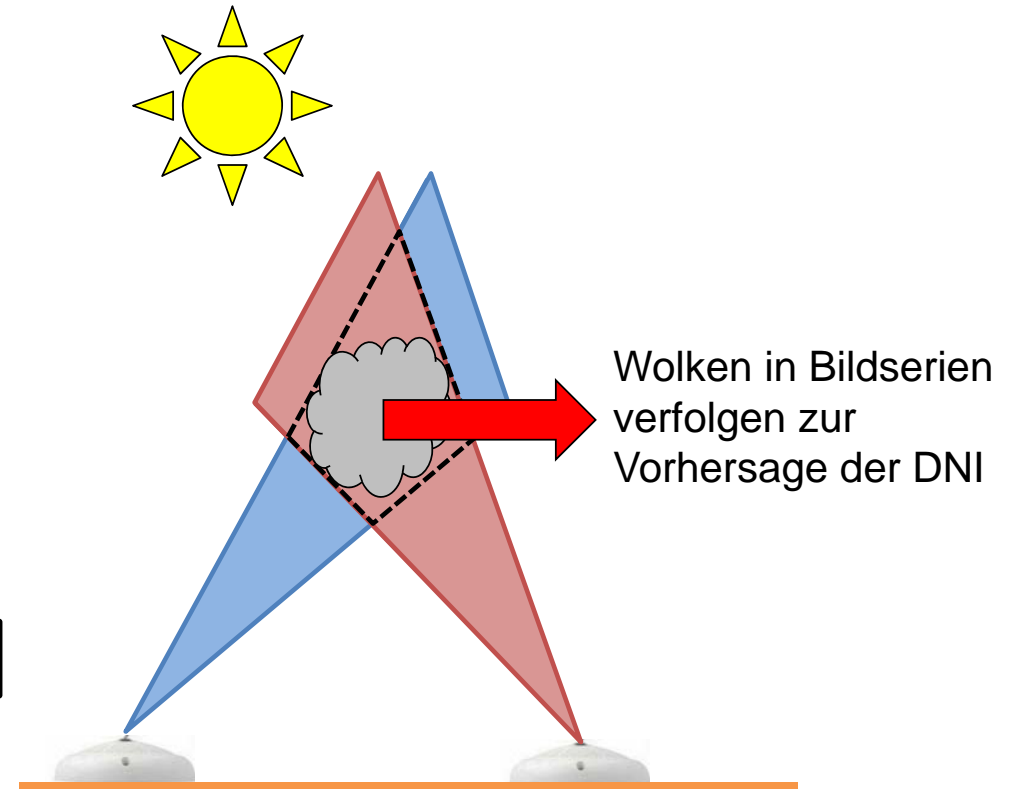
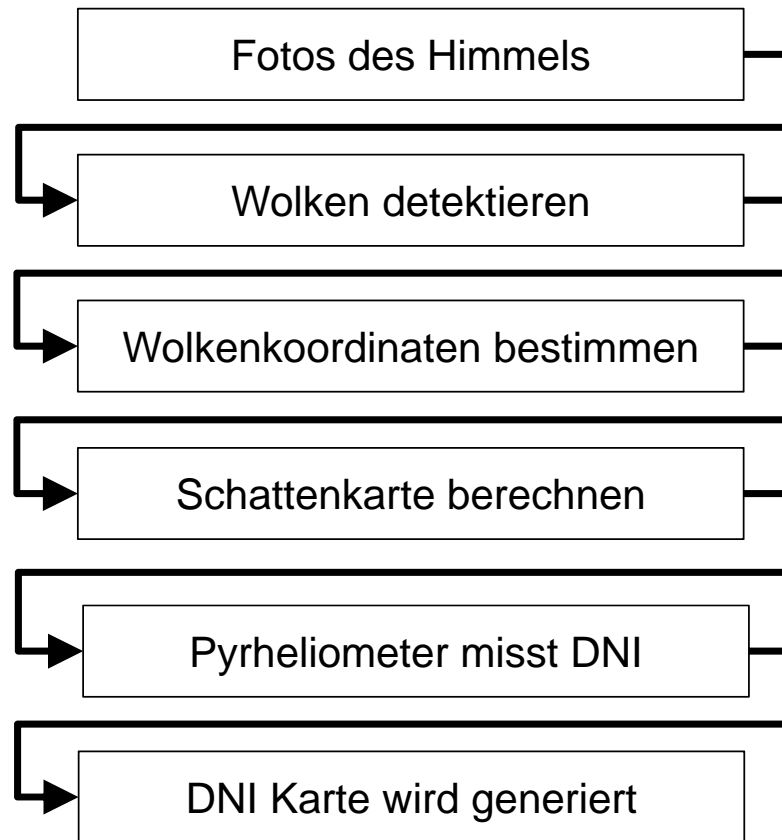


Erfassung und Vorhersage der Direktstrahlung (DNI)

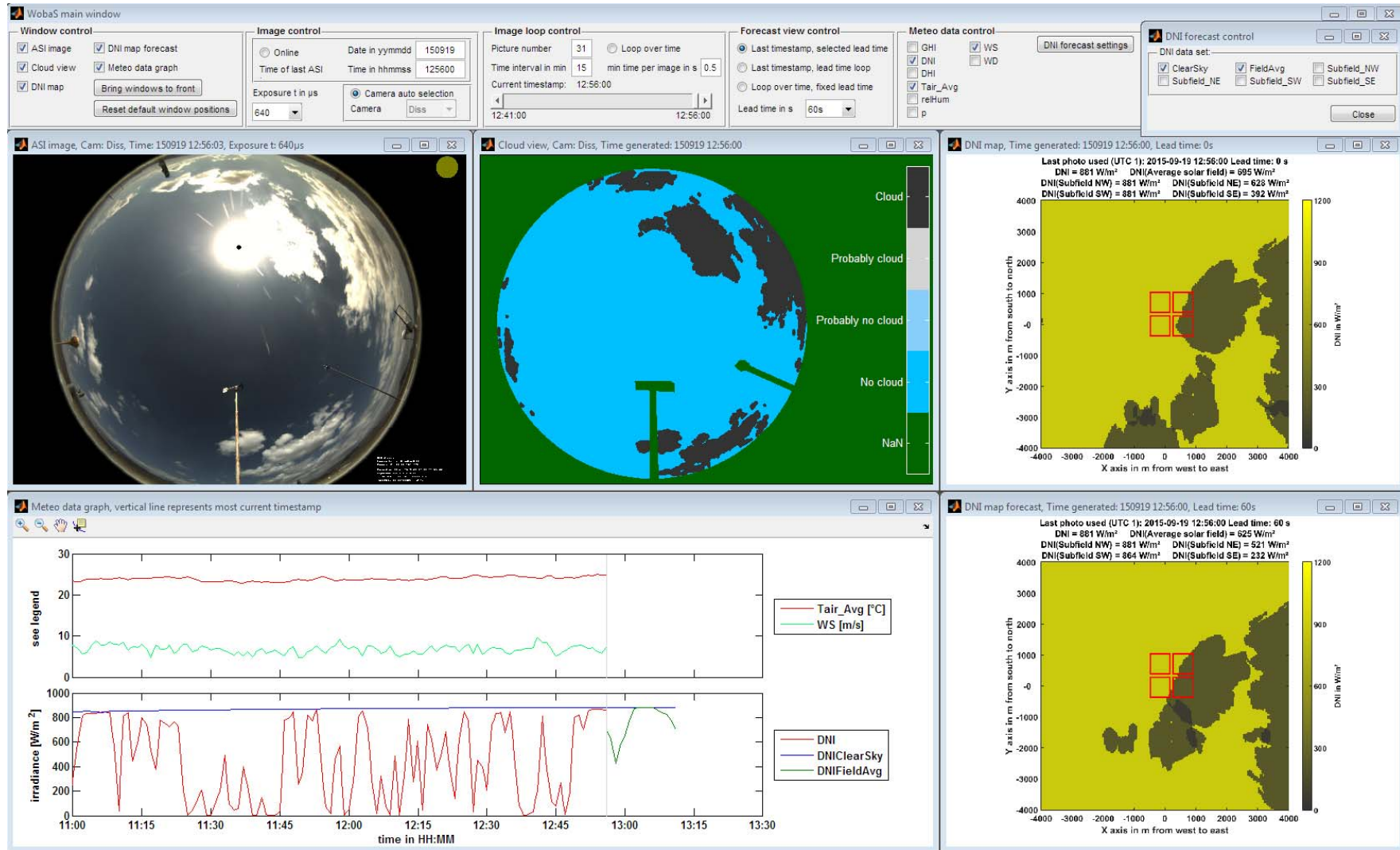
- Direktstrahlungsmessung an mindestens einem Ort im Kraftwerk für Regelung nötig
- Räumliche Verteilung im Solarfeld sowie Kurzzeitvorhersage
 - ⇒ Optimierung der Regelung, z.B. bei Teilabschattung
 - ⇒ Potential der Nutzung von DNI Karten = ~3% Ertragssteigerung (30 Testtage*)
- Strahlungskarten des Solarfeldes und Kurzzeitvorhersage basierend auf Wolkenkameras (15min)
 - Demonstration an drei Standorten seit 2013 bzw. 2017, bald vier
- Vorhersage der DNI mit Satelliten und Wettermodellen
 - Optimierung von Speichernutzung & Einspeisung



Funktionsprinzip Wolkenkamera-basierter Kurzzeitvorhersage



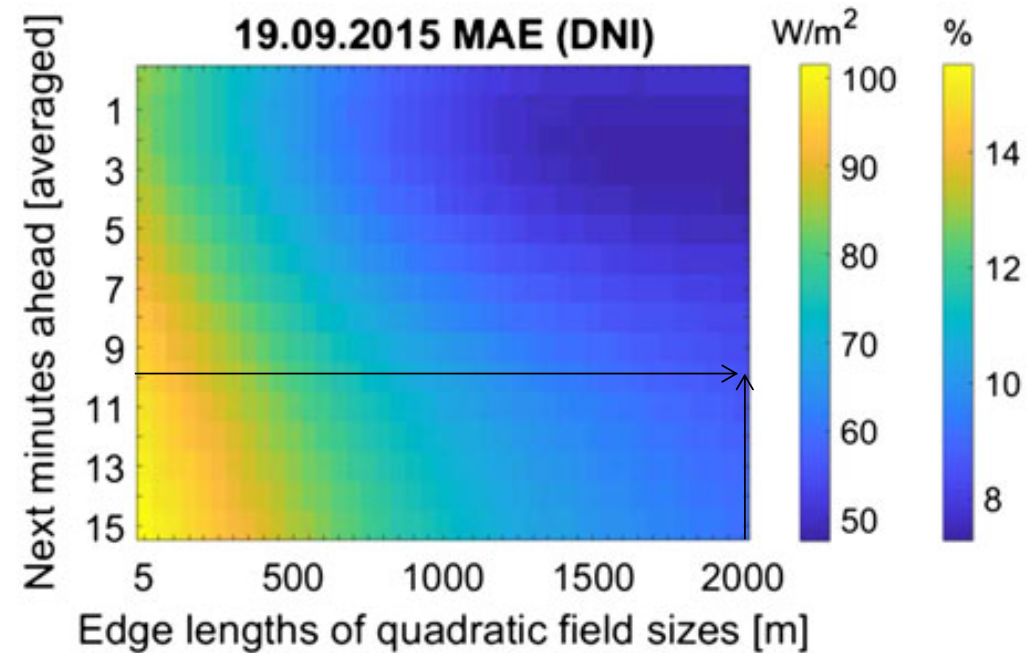
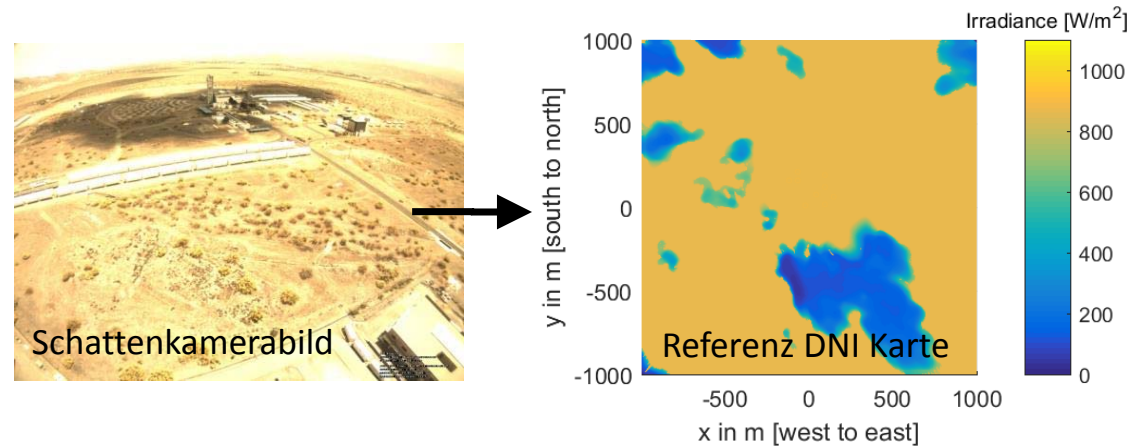
CSP Services Benutzeroberfläche des Wolkenkameranasytems (WOBAS)



Wolkenkamera - Validierung

- Validierung des Wolkenkameranasytems
 - mit Radiometern an einem Punkt
 - mit Schattenkamas für ganze Flächen
 - zeitliche Mittelwerte beachten!

- Für ein 2x2 km² großes Solarfeld wird die DNI für die nächsten 10 min am teilbewölkten Beispieltag mit <10% MAE vorhergesagt (Mean absolute error).



Zirkumsolarstrahlung

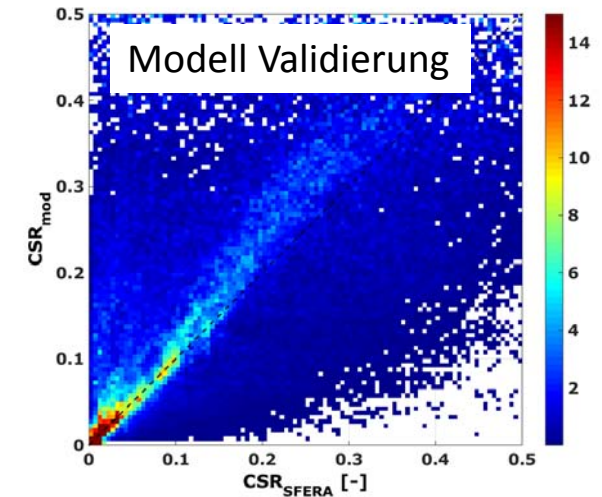
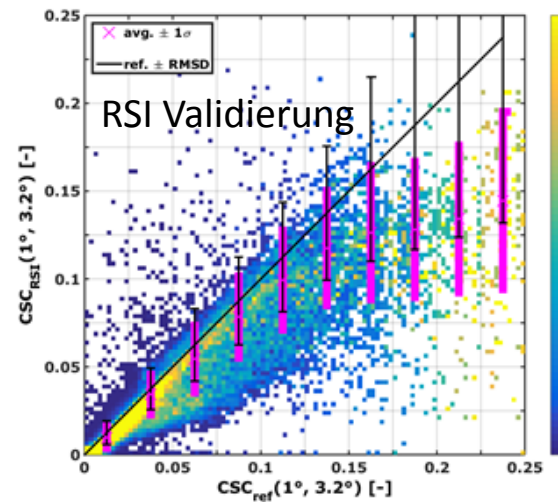


- Zirkumsolarstrahlung ist vorwärtsgestreute Strahlung
- CSP nutzt
Einen großen Teil der Strahlung aus dem Bereich der Sonnenscheibe
+
einen kleineren Anteil der Zirkumsolarstrahlung
- Von CSP genutzte DNI bei hohem Zirkumsolarstrahlungsbeitrag niedriger als gemessene DNI
 - Bei Verwendung von Standardbedingungen (Standard solar scan) wird der Jahresertrag eines 162MWth Turmkraftwerks mit Cavity Receiver in Masdar (UAE) um 2% überschätzt.
 - Zeitweise treten Verluste von über 10% auf.



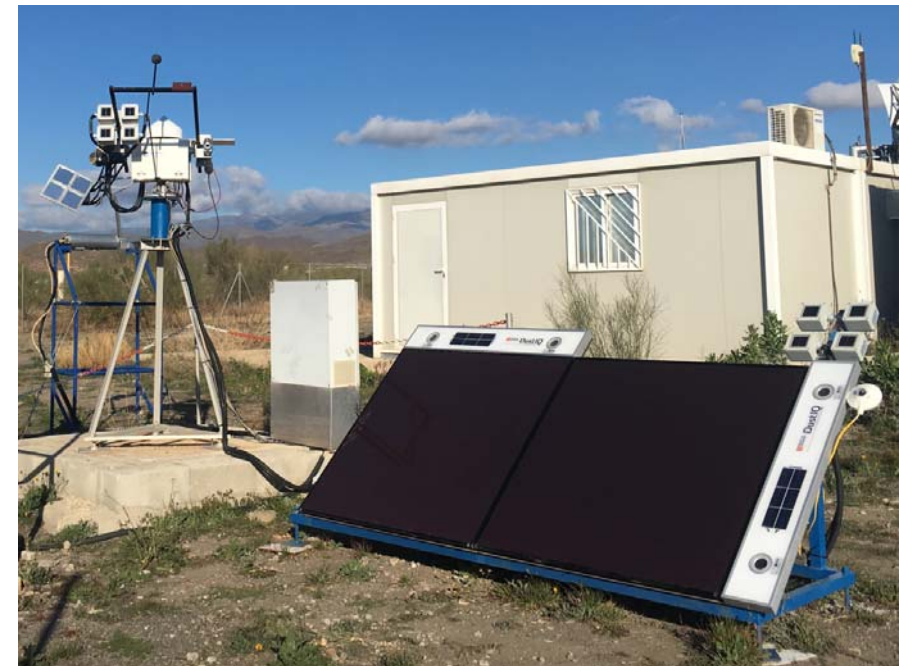
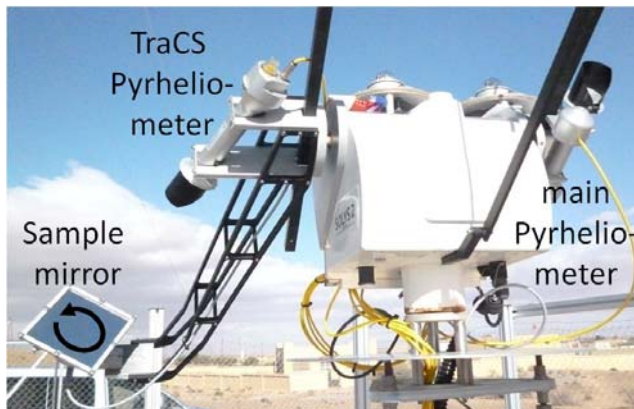
Zirkumsolarstrahlungsmessung

- **Kamerabasierte Messung**
 - Z.B. SFERA System: SAM (Sun & Aureole Measurement), Software
 - Akkurat, aber komplex und teuer/wartungsaufwändig
- **Alternative Messsysteme kommerziell relevanter**, z.B. RSI basierte Messung
 - Normales RSI mit spezieller Auswertesoftware
 - Gewöhnliche RSI Messung unbeeinflusst, Messung im Kraftwerk und auch bei Planungsphase möglich
- **Verschiedene Modelle verfügbar**
 - DNI, rel. Feuchte, Temp., Druck und Statistik von PSA, Zagora, Erfoud, Greater Noida oder Masdar



Verschmutzung

- Starke Reflektivitätsabnahme durch Verschmutzung (teils 10%/Tag)
- Reinigungskosten und Wasserverbrauch basierend auf Verschmutzungszustand optimieren
 - Z.B. nicht Reinigen, falls bei moderater Verschmutzung hohe Einstrahlung & Overload-Dumping erwartet wird
- Messungen mit Handmessgeräten aufwändig
- Tracked Cleanliness Sensor zur automatischen Messung
- Korrelationen von CSP zu PV Verschmutzung
 - insbesondere für Absorber-Hüllrohre relevant
 - Ca. 8-10 mal höherer Effekt auf CSP als auf PV!*



Verschmutzungsmessung

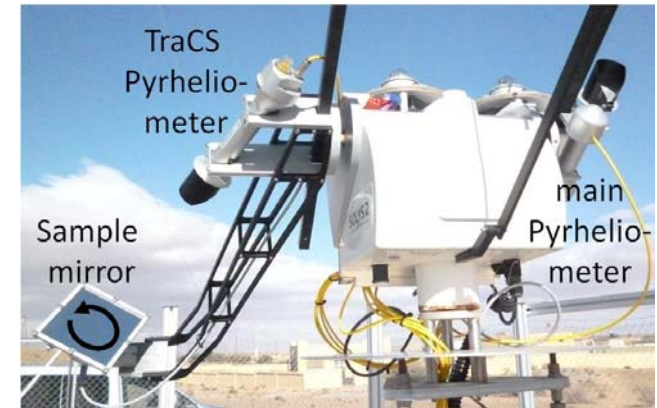
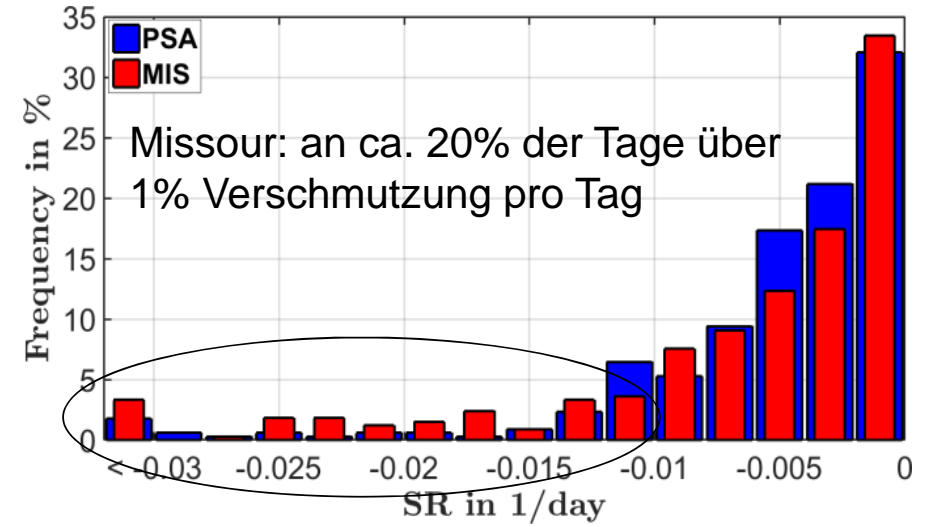
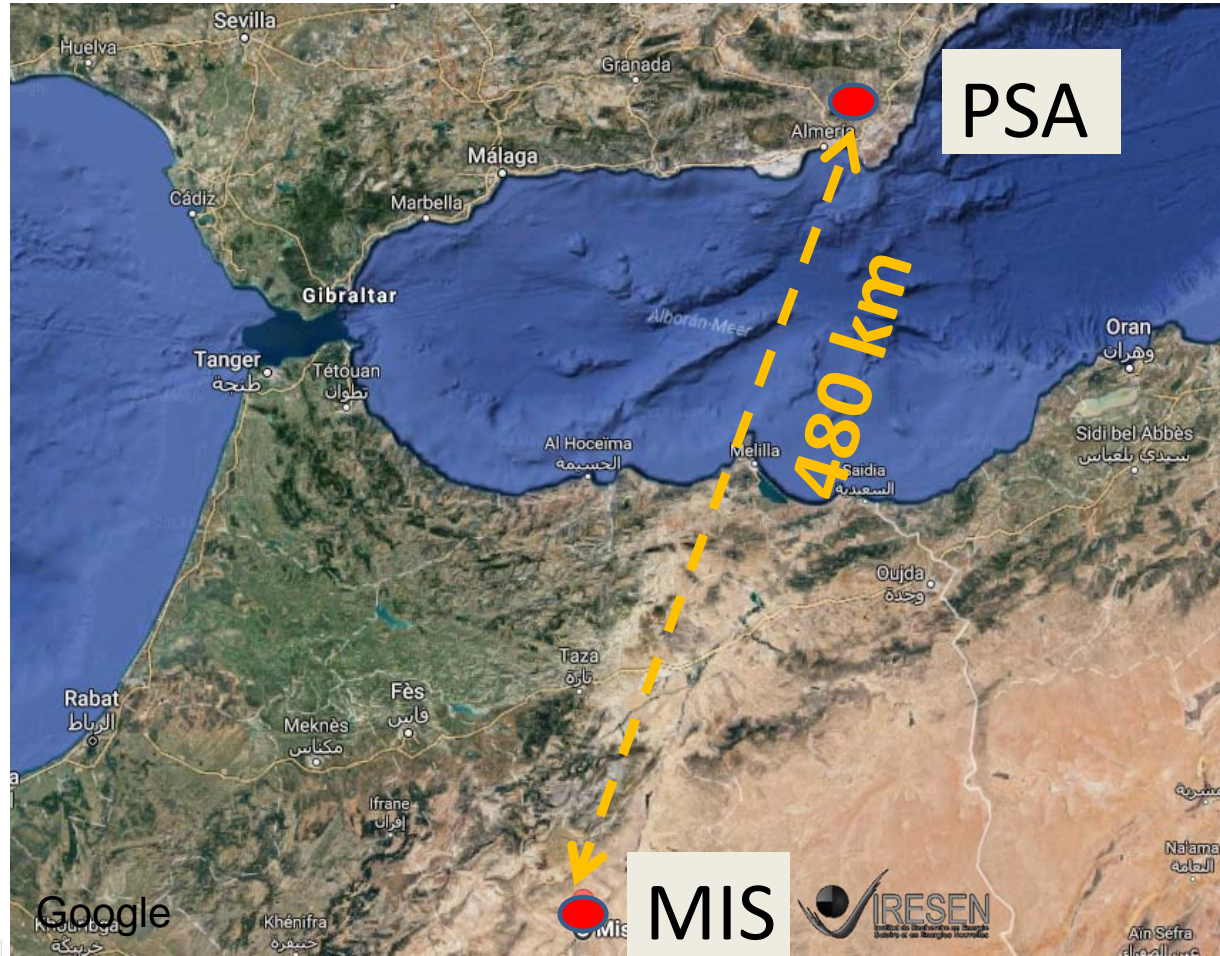
Messung der Verschmutzung aller Spiegel im Feld mit

- Flugdrohne
- Kamera auf dem Turm

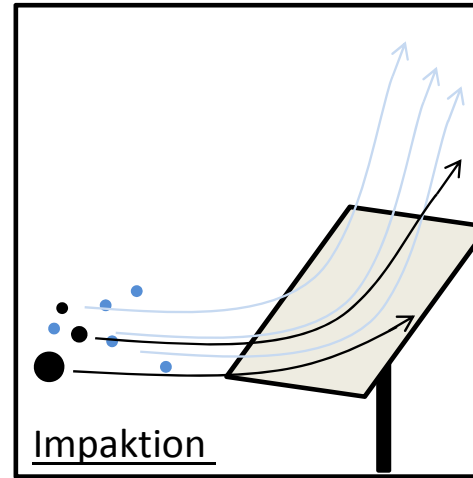
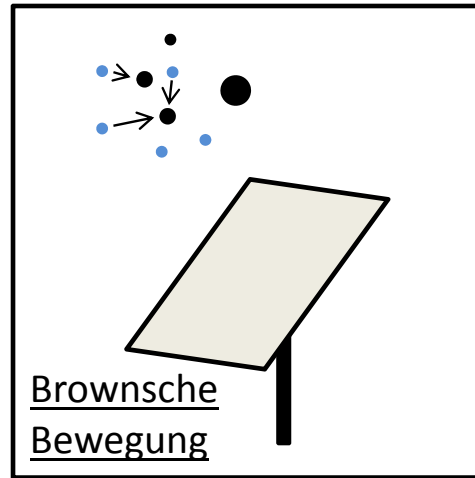
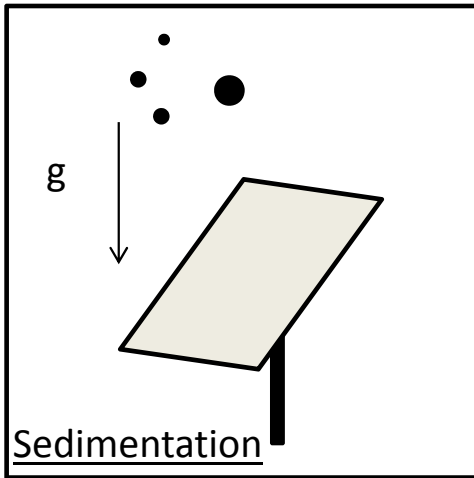
Bsp. Parabolrinne/Drohne:
Gute Korrelation zwischen
Reflektivitätsmessung und
Grauwerten bei
Absorberreflektion



Verschmutzungsmessungen



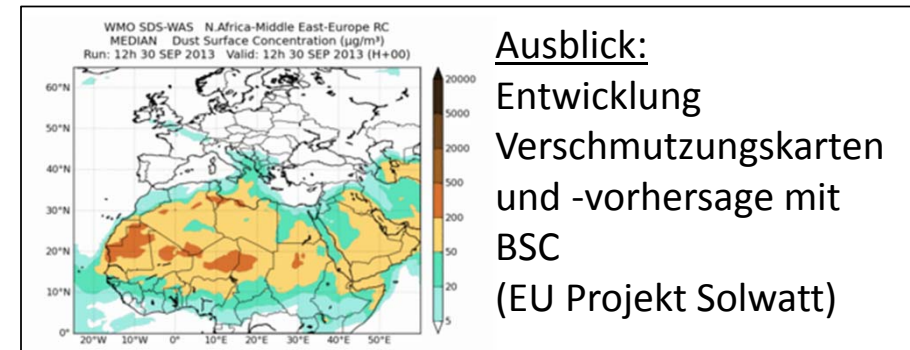
Physikalisches Modell der Verschmutzung



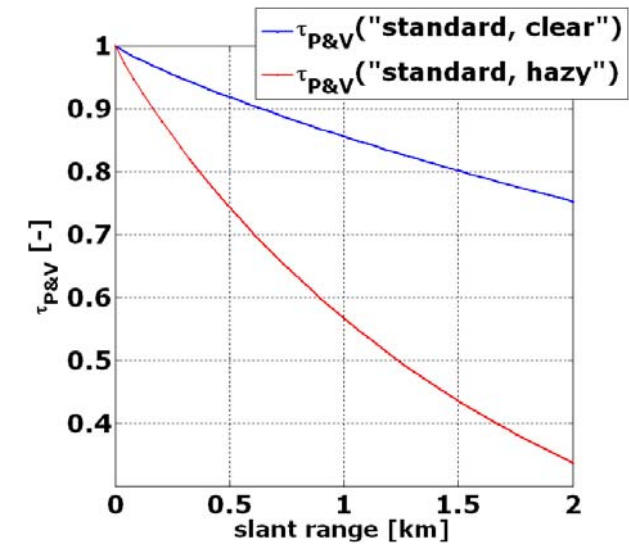
Eingangsdaten:
Partikelzähler
+ Orientierung
des Spiegels,
Wind, Feuchte,
Temp.,
Niederschlag

Validiert an bisher 2 Standorten

- Komplexes Verhalten
- Bias $\sim 0.1\%/Tag$ bis $0.2\%/Tag$ ($<$ Messgenauigkeit = $0.2\%/Tag$)
- Die Frage ob die Verschmutzungsrate an einem bestimmten Tag unter oder über $1\%/Tag$ ist, wird in 85% der Fälle richtig beantwortet!



Extinktion in Turmkraftwerken



- Hohe Verluste können auftreten, z.B. bei 1km Lichtweg über 40% bei Option "trüb"
- Extinktion variiert stark zeitlich und von Ort zu Ort



Extinktionsmessung

- Extinktionsmessung mit kommerziell erhältlichen Sensoren und Auswertemethoden möglich

libRadtran

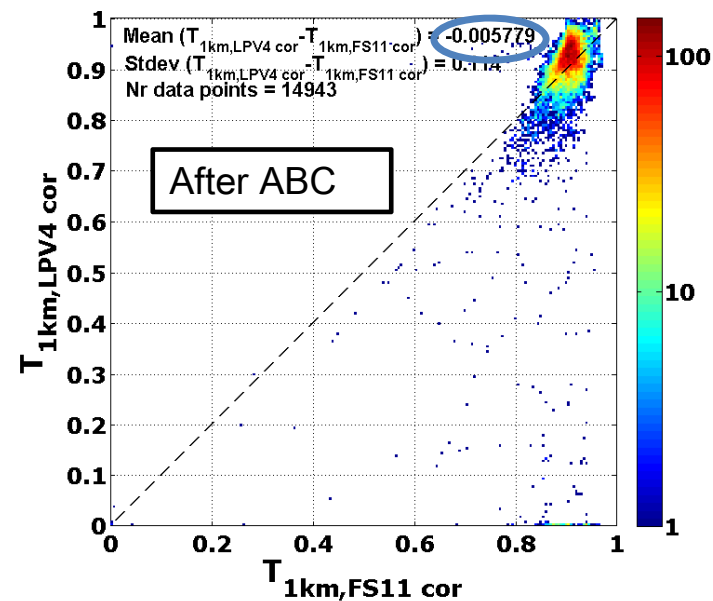


Optec LPV-4 Transmissometer:
 Transmissionsmessung bei
 532 nm über 0.5 bis 20km Lichtweg



Vaisala FS11 Sichtweitesensor:
 Bestimmt Sichtweite über Messung
 der gestreuten NIR Strahlung
 Annahmen zu Absorption

ABC- Absorption and Broadband Correction



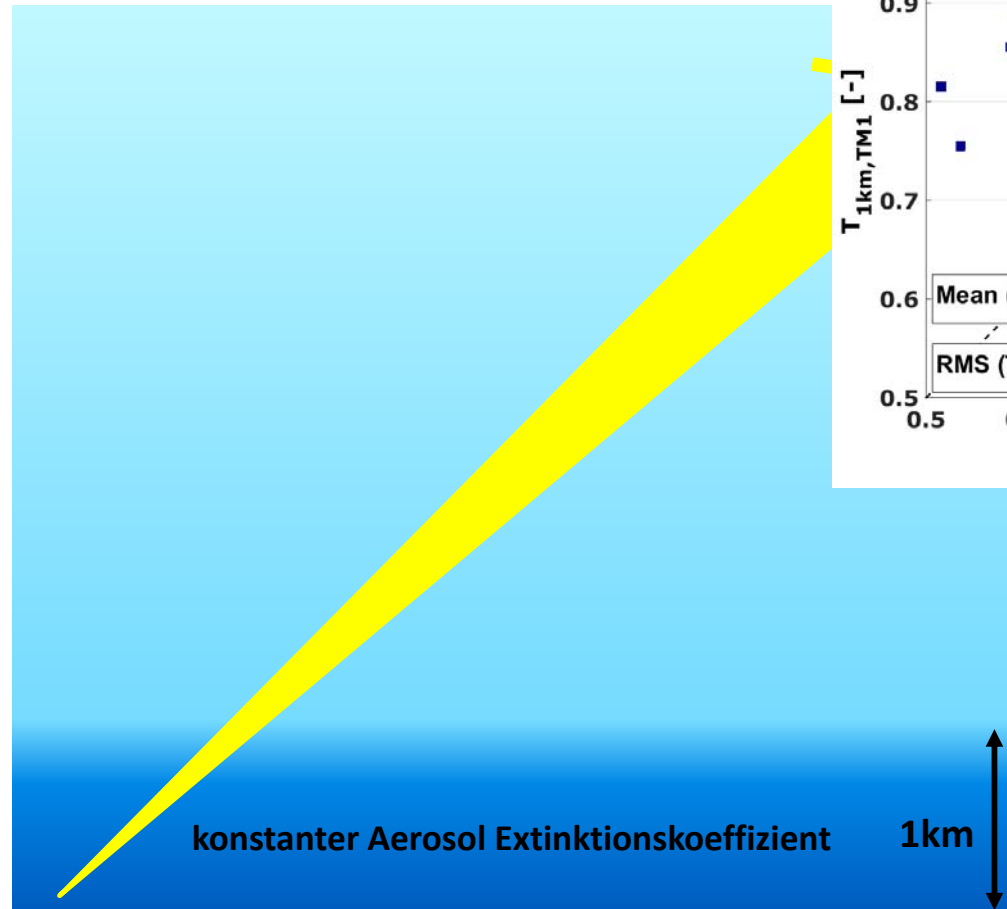
Extinktionsmodell

Vergleiche
gemessene **DNI ohne
Wolkeneinfluss**
mit
modellierter **DNI ohne Wolken
und Aerosole**

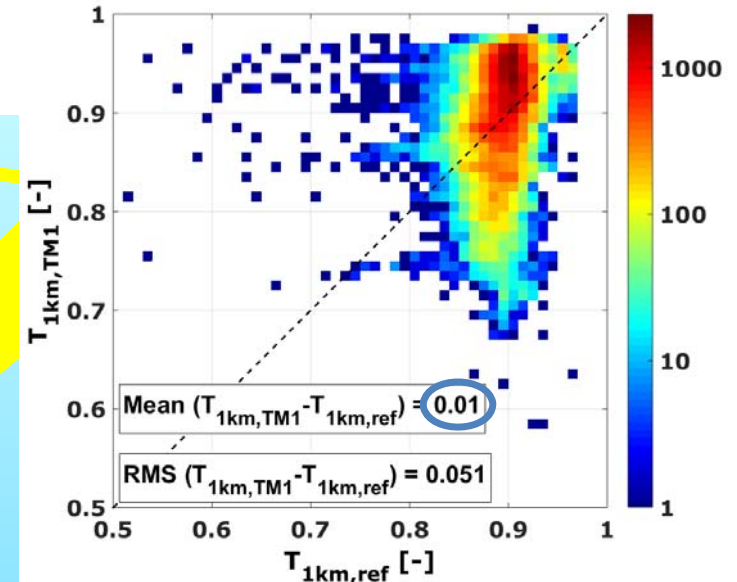
⇒ Bestimmung der gesamten
Aerosolextinktion in der
atmosphärischen Säule

**Annahme einer bestimmten
vertikalen Aerosolverteilung**

⇒ Extinktionskoeffizient in
Bodennähe



Validiert an 3 Standorten mit bias <2 % für T_{1km}



- Sehr gute Genauigkeit bei klaren Standorten
- Merklich höhere Unsicherheit als Messungen bei trüben Standorten
- Modell frühzeitig anwenden und dann wenn nötig Messstation um FS11 erweitern**



Zusammenfassung und Fazit

- Überblick:
 - Direktstrahlung
 - Inkl. räumlicher Verteilung im Solarfeld, Vorhersage & Zirkumsolarstrahlung
 - Verschmutzung der Konzentratoren
 - Extinktion der reflektierten Strahlung auf dem Weg zum Receiver
- Messmethoden und Modelle zur Bestimmung und Vorhersage der Umweltbedingungen verfügbar
- Optimierung des Kraftwerksbetriebs somit möglich
- Forschungsaufgaben:
 - Erhöhung der Genauigkeit, insbesondere bei Modellen
 - Kostenreduktion z.B. durch Anpassung der Methoden
 - Effiziente Anwendung der Methoden für CSP



Danke für ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

GEFÖRDERT VOM



Wir danken dem BMWi für die Förderung des WobaS Projektes, dem BMBWF für die Förderung des Gemoext Projektes, der EC für die Förderung der Projekte WASCOP & SFERA, sowie der Helmholtzgemeinschaft für die Förderung des DESERGY & des HNSEI Projektes.

