

Einfluss von Wüstenbedingungen auf Technologien der nächsten Generation

Stefan Wilbert, N. Hanrieder, F. Wolfertstetter, F. Sutter,
F. Wiesinger, P. Heller, M. Röger, R. Buck, R. Pitz-Paal

DLR Institut für Solarforschung

Sonnenkolloquium
5.6.2014

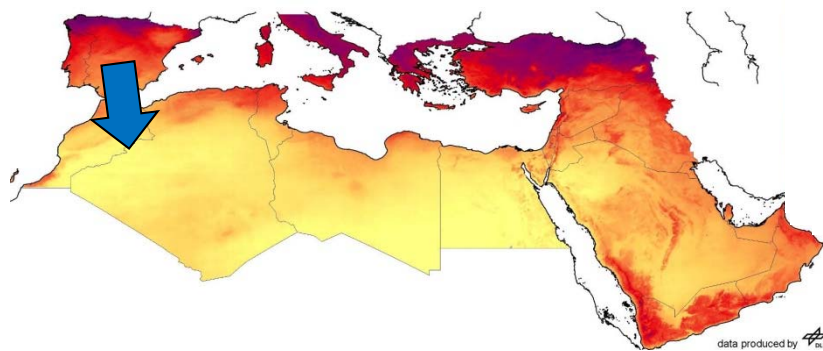


Wissen für Morgen

Inhalt

- Motivation
- Wüstenbedingungen und ihre Auswirkungen
 - Zirkumsolarstrahlung / Sunshape
 - Extinktion zwischen Heliostat und Receiver
 - Verschmutzung von Kraftwerkskomponenten
 - Lebensdauerreduktion
- Ausblick

Motivation



Die nächste Generation:

- MENA
- $P_{el} > 50 \text{ MW}$
- $T > 500^\circ\text{C}$ (hohe Konzentration)
- kostengünstigere Komponenten (nahe Belastungsgrenze, wartungsarm)



Zirkumsolarstrahlung – Sunshape



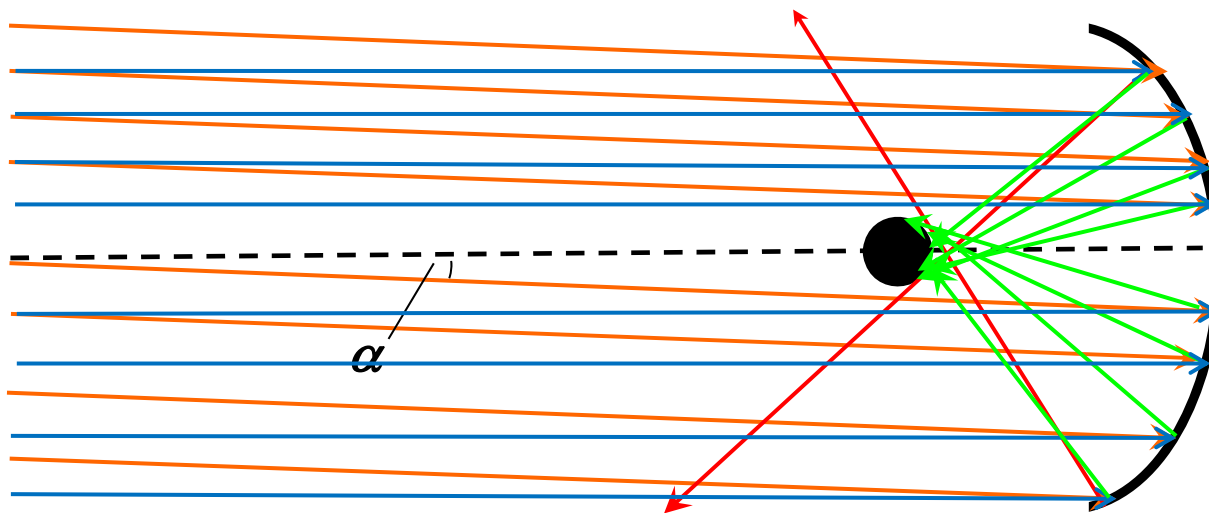
- Zirkumsolarstrahlung entsteht durch Vorwärtsstreuung
 - Wichtig bei hoher Aerosolkonzentration
- Sunshape beschreibt Winkelverteilung der Helligkeit

- **Konzentratoren nutzen:**

Quasi die gesamte Strahlung aus dem Bereich der
Sonnenscheibe

+

Anteil der Zirkumsolarstrahlung



Besonders relevant für
große Turmkraftwerke,
hohe Konzentration

Welche CSP
Technologie ist wo
geeignet?



Messung von Zirkumsolarstrahlung

- DLR's „SFERA System“
 - SAM (Sun & Aureole Measurement), Sonnenphotometer & Software
 - Automatische Messungen
- Master-system auf der PSA
 - Repliken: Frankreich, Vereinigte Arabische Emirate, weitere SAM Instrumente in Saudi Arabien und USA



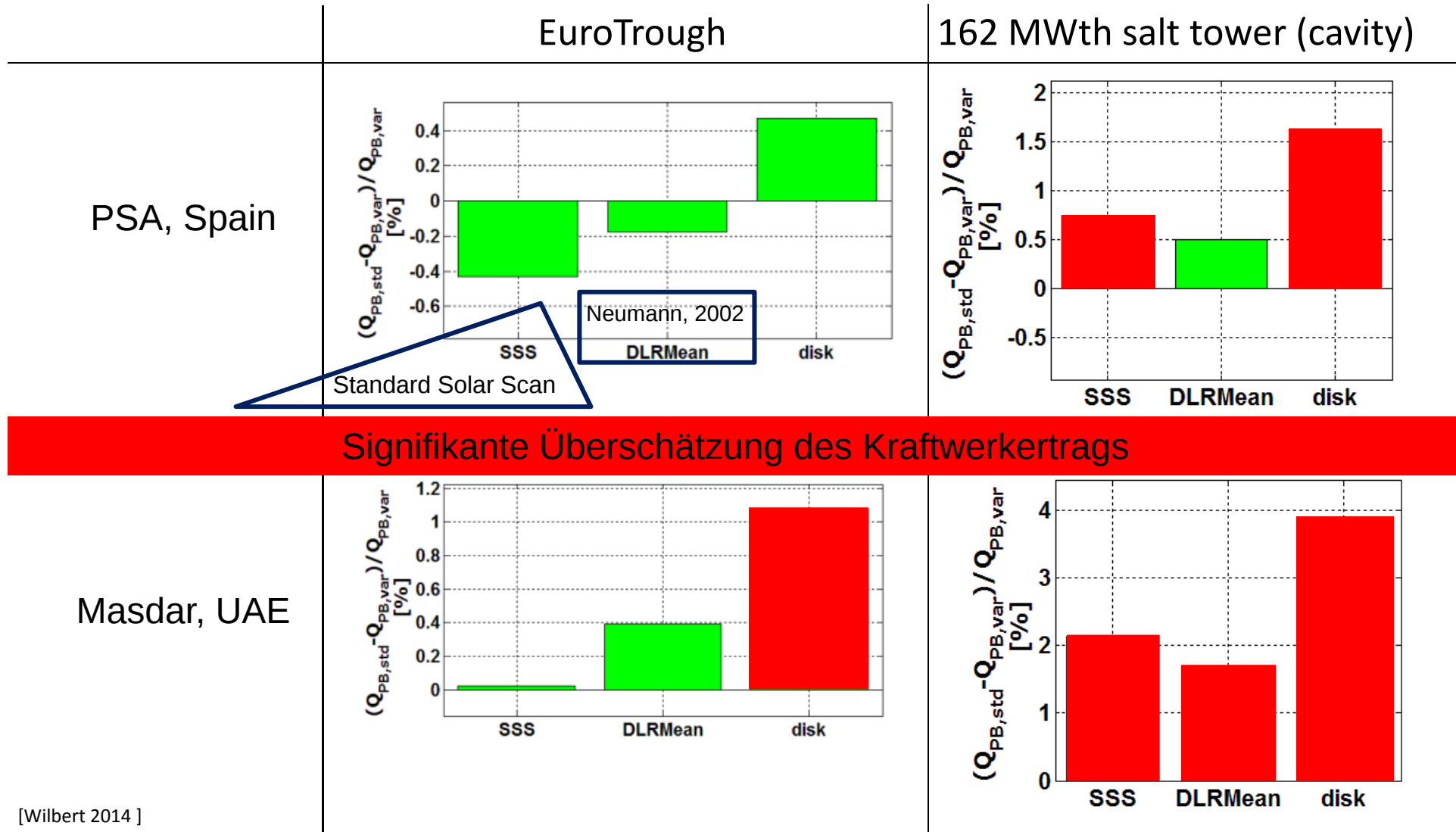
Alternative Sunshape Messmethoden



- weniger kostspielige und wartungsintensive Methoden nötig
- Weitere verfügbare Optionen:
 - 2 Pyrheliometer mit unterschiedlichem Öffnungswinkel
 - Rotating Shadowband Irradiometer

Sunshape Effekt auf CSP

- Raytracing Studie in SPRAY mit je 1 Jahr Messdaten
- Q_{PB} ist die Jahressumme der Wärme die dem Power Block zugeführt wird
- Relative Abweichung von $Q_{PB,std}$ (standard sunshapes) von $Q_{PB,var}$ (sunshape Messungen)



Atmosphärische Extinktion der Strahlung im Kraftwerk



Atmosphärische Extinktion

Atmosphärische Extinktion ist in fast allen Raytracing Tools implementiert

→ meist mit konstantem Extinktionskoeffizienten

→ Wie groß ist der Extinktionskoeffizient?

→ DELSOL Fall „klar“: 90 % Transmission bei 1 km Weg (Heliostat – Receiver)

→ DELSOL Fall „trüb“: 75 %



Wie groß wird die nächste Generation von Turmkraftwerken?

Welche CSP Technologie ist wo geeignet?



Atmosphärische Extinktion – Messmethoden



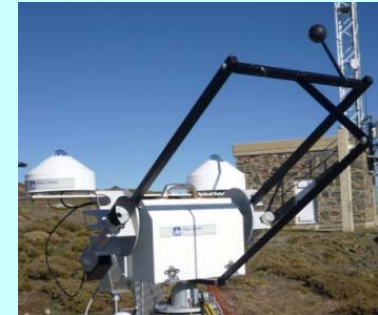
**Sichtweitesensoren
(Streusensoren, FS11)
+
Software**



**Transmissometer
(OPTEC)
+
Software**



libRadtran
**Aerosol
Partikelzähler
+
Strahlungs-Transfer
Modell**



**DNI Messung
am Boden
und
auf dem Turm**

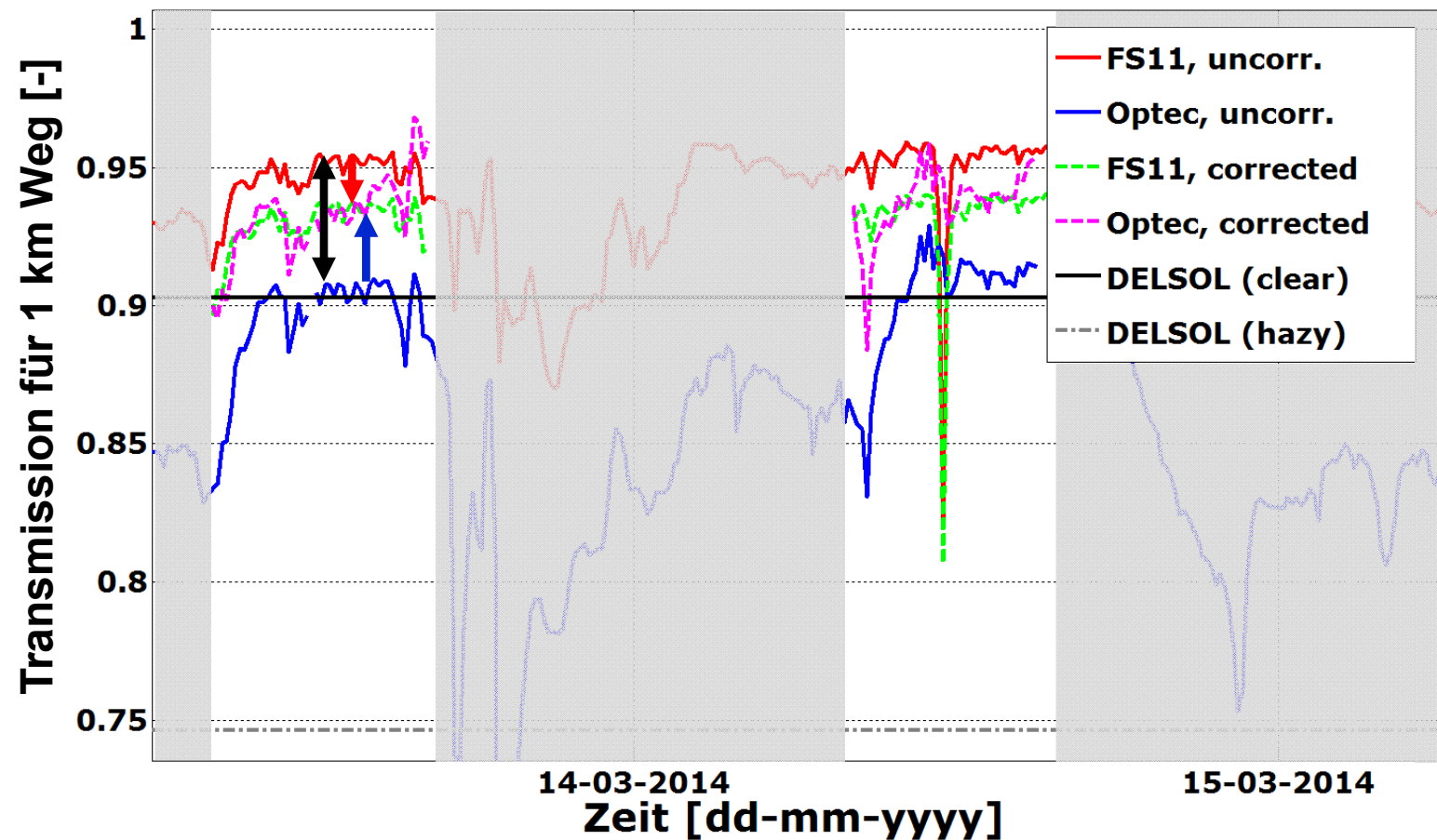
Messung des Extinktionskoeffizienten - LIDAR

- LIDAR: LIght Detection And Ranging
- Aerosol Höhenprofil
 - > 100 m
- Beitrag zur Validierung



Ergebnisse - Extinktion

- Kein existierendes Instrument misst die breitband-Transmission direkt
 - Systematische Fehler können korrigiert werden => DLR Methode bereit



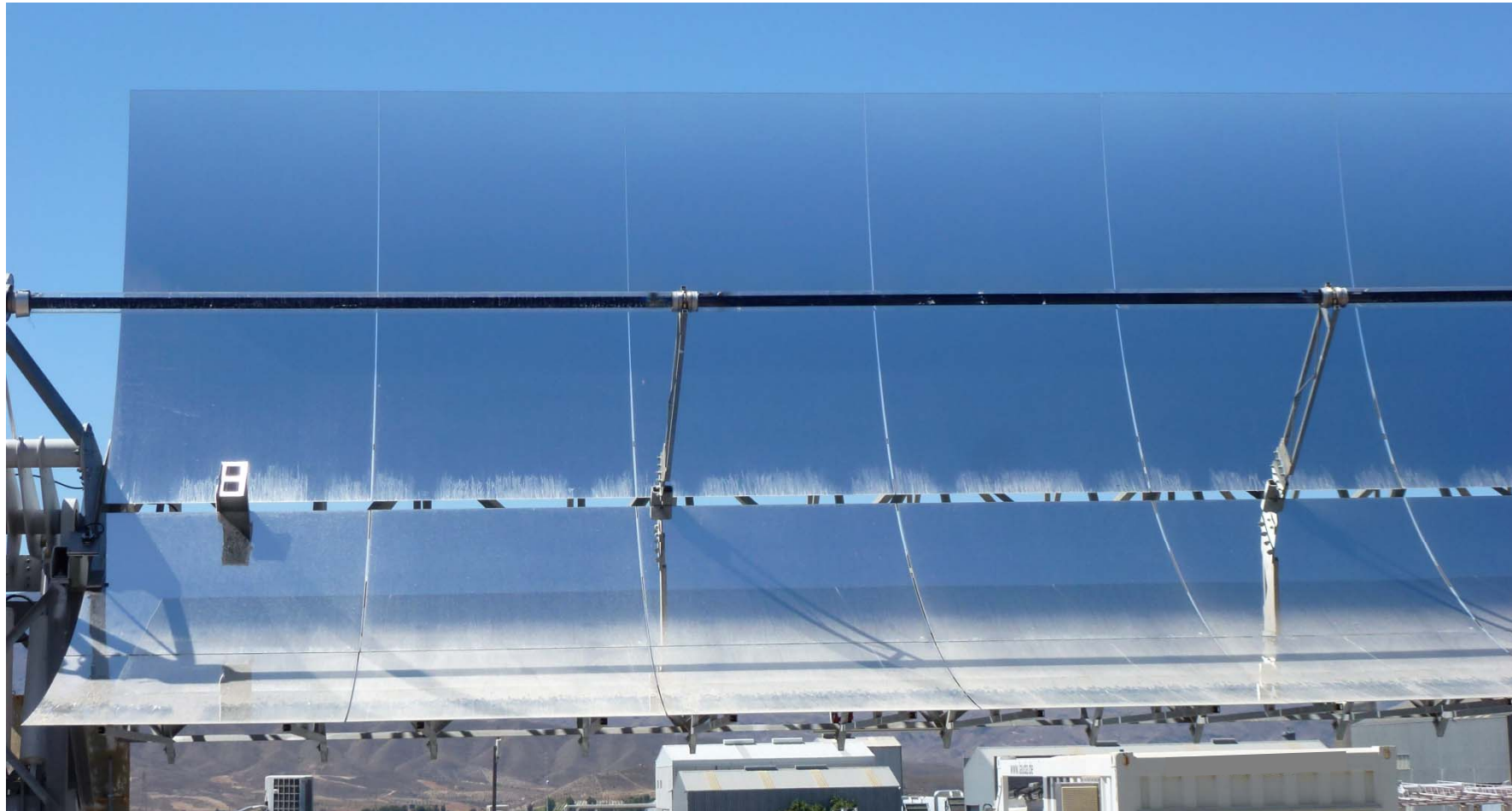
2 Jahre
Messungen
für die PSA



Verschmutzung von Komponenten

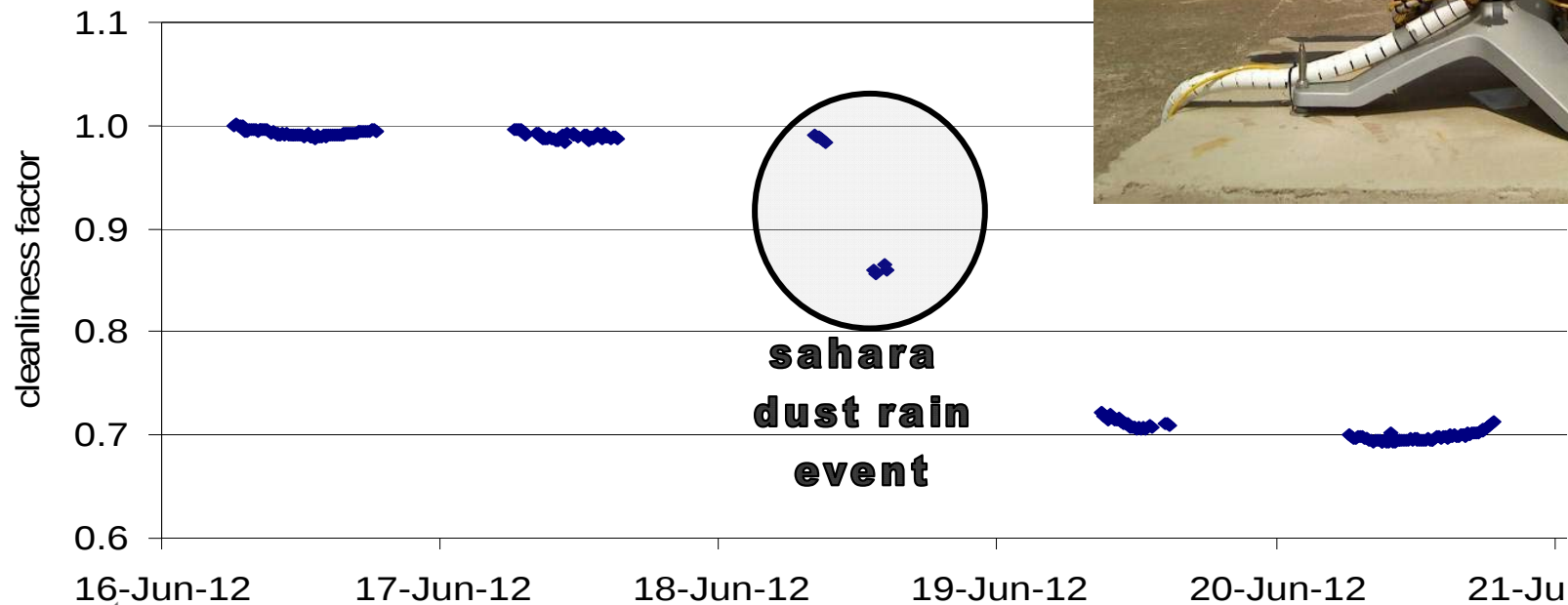
Kosten der Komponenten:
Anti Soiling Coatings?

Kosten der Wartung



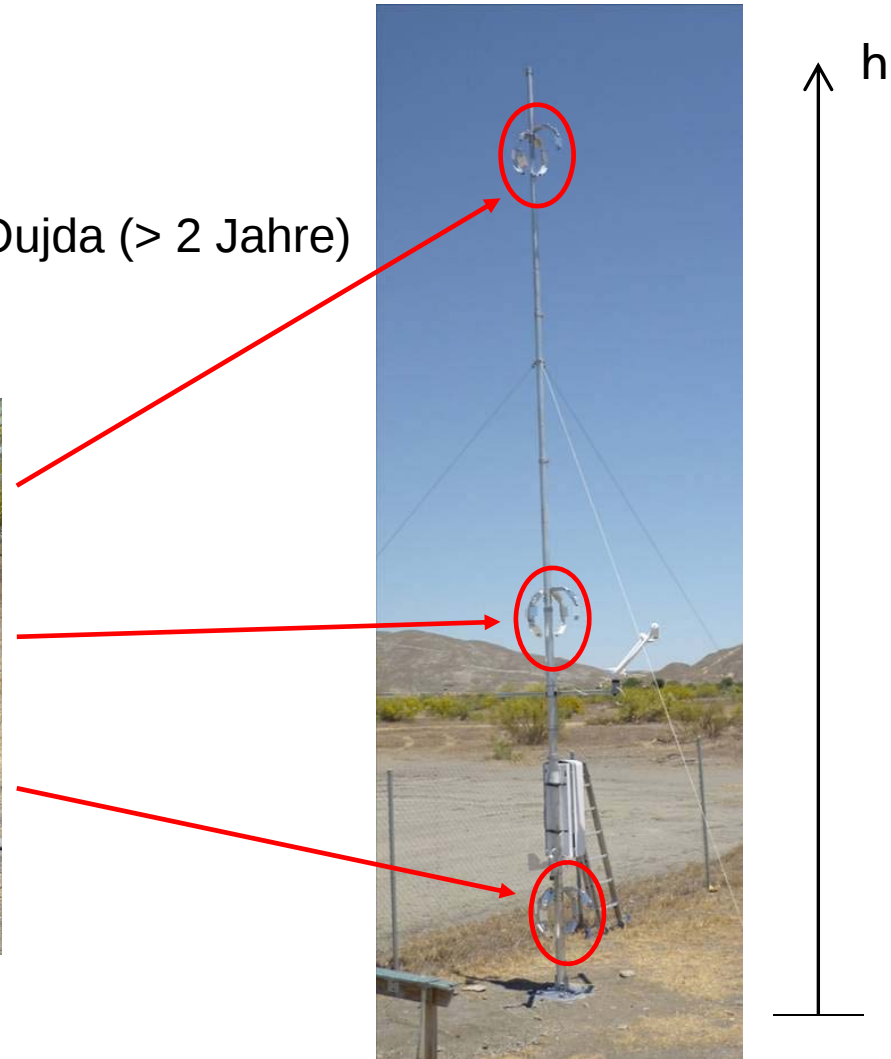
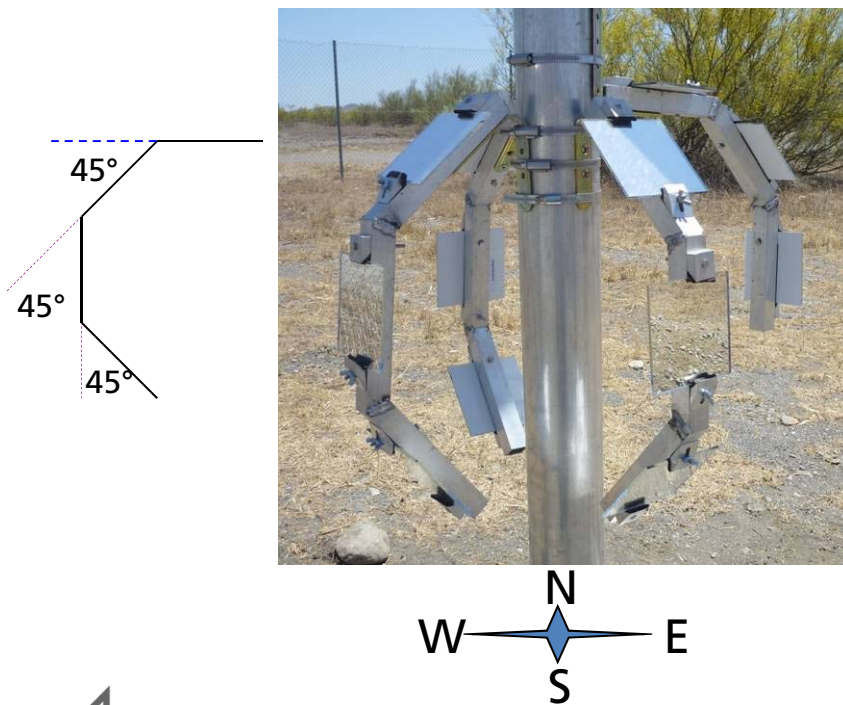
Einfluss von Verschmutzung

- Messsystem entwickelt (TraCS)
- Vergleich von DNI mit reflektierter DNI ergibt „cleanliness“
 - $\rho = \rho_{\text{clean}} * \text{cleanliness}$
- Bsp.: Oujda, Marokko



Einfluss von Verschmutzung

- Spiegel-Exponierung
- Höhen- und Richtungsabhängigkeit
- Langzeitmessungen von PSA und Oujda (> 2 Jahre)



Einfluss von Wüstenbedingungen auf die Kraftwerks - Lebensdauer

Strahlung

- besonders UV
- chemische Reaktionen

Wind

- mechanische Lasten
- Verschmutzung

Besonders relevant für:
-kostengünstigere
Komponenten
-hohe Temperaturen

Temperatur

- täglicher Wechsel
- Frost
- mechanische Belastung



Aerosole

- Salz, Staub, Industrielle Emissionen
- Verschmutzung / Chemische Reaktionen, insbesondere bei heißen Oberflächen

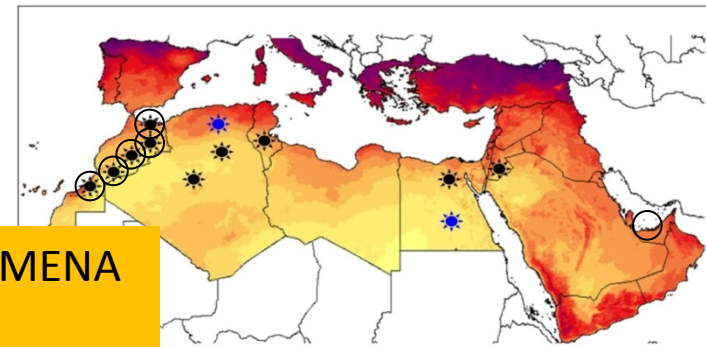
Sandstürme

- Abrasion

Feuchte

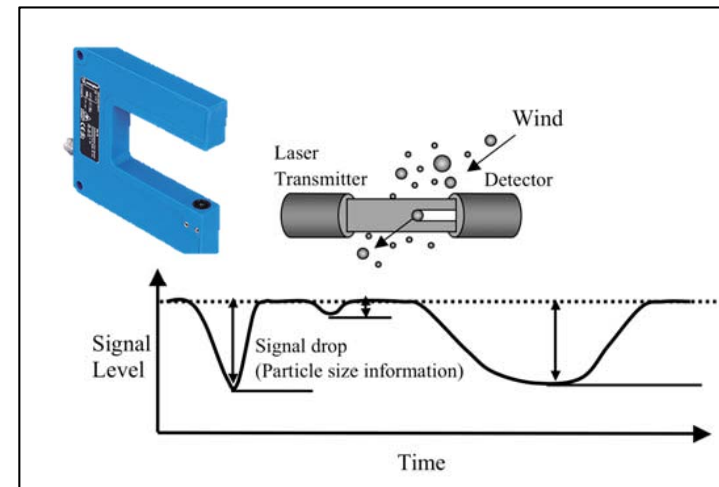
- Luftfeuchte, Tau, Regen
- Chemische Reaktionen
- Verschmutzung

Spiegel exponiert neben marokkanischen enerMENA
Meteo-Stationen und in Masdar



Abrasion durch Sandstürme

- Analyse von Windgeschwindigkeit und Flug-Sandkonzentration
 - enerMENA Meteonetzwerk
- Ausblick: Übertragung auf Laborversuche



Zusammenfassung & Ausblick

- Messsysteme für Sunshape, Extinktion und Verschmutzung sind nun verfügbar!
 - Ausblick: System zur quantitativen Bewertung von Sandstürmen wird erprobt
- Bewertung des Effekts von Wüstenbedingungen auf CSP Kraftwerke
 - Beispielfälle für Sunshape-Einfluss erlauben Projektplanern die Unsicherheit ihrer Ertragsprognosen abzuschätzen
 - Ausblick: Analoge Bewertungen für Verschmutzung, Extinktion, ...
- Meteorologische Parameter für Komponentenbeständigkeit werden gemessen, Labortest für Materialien werden durchgeführt
 - Ausblick: Bestimmung von Beschleunigungsfaktoren der Labortests
- Ausblick:
 - Standortangepasstes Design
 - Karten der relevanten Parameter (Sunshape, Extinktion, ...)



Literaturverzeichnis

- (Hanrieder , 2012) Hanrieder, N., F. Wehringer, S. Wilbert, F. Wolfertstetter, R. Pitz-Paal, A. Campos, and V. Quasching. "Determination of Beam Attenuation in Tower Plants." Paper presented at the SolarPACES Conference, Marrakesh, Morocco, 2012.
- (Wilbert, 2012) Wilbert, S., R. Pitz-Paal, and J. Jaus. "Circumsolar Radiation and Beam Irradiance Measurements for Focusing Collectors." Paper presented at the ES1002: COST WIRE Workshop May 22nd-23rd, Risö, Denmark, 2012.
- (Wilbert, 2013a) Wilbert, S., B. Reinhardt, J. DeVore, M. Röger, R. Pitz-Paal, C. Gueymard, and R. Buras. "Measurement of Solar Radiance Profiles with the Sun and Aureole Measurement System." *Journal of Solar Energy Engineering* 135, no. 4 (2013): 041002.
- (Wilbert, 2013b) Wilbert, Stefan, Robert Pitz-Paal, and Joachim Jaus. "Comparison of Measurement Techniques for the Determination of Circumsolar Irradiance." *AIP Conference Proceedings* 1556, no. 1 (2013): 162-67.
- (Wilbert, 2014) Wilbert, Stefan. "Determination of Circumsolar Radiation and Its Effect on Concentrating Solar Power." PhD thesis, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, DLR, 2014.
- (Wolfertstetter, 2012) Wolfertstetter, F., K. Pottler, A. Merrouni, A. Mezrhab, and R. Pitz-Paal. "A Novel Method for Automatic Real-Time Monitoring of Mirror Soiling Rates." Paper presented at the SolarPACES Conference, Marrakesh, Morocco, 2012.
- (Wolfertstetter, 2013) Wolfertstetter, F., K. Pottler, N. Geuder, R. Affolter, A. A. Merrouni, A. Mezrhab, and R. Pitz-Paal. "Monitoring of Mirror and Sensor Soiling with Tracs for Improved Quality of Ground Based Irradiance Measurements." Paper presented at the SolarPACES Conference, Las Vegas, USA, 2013.



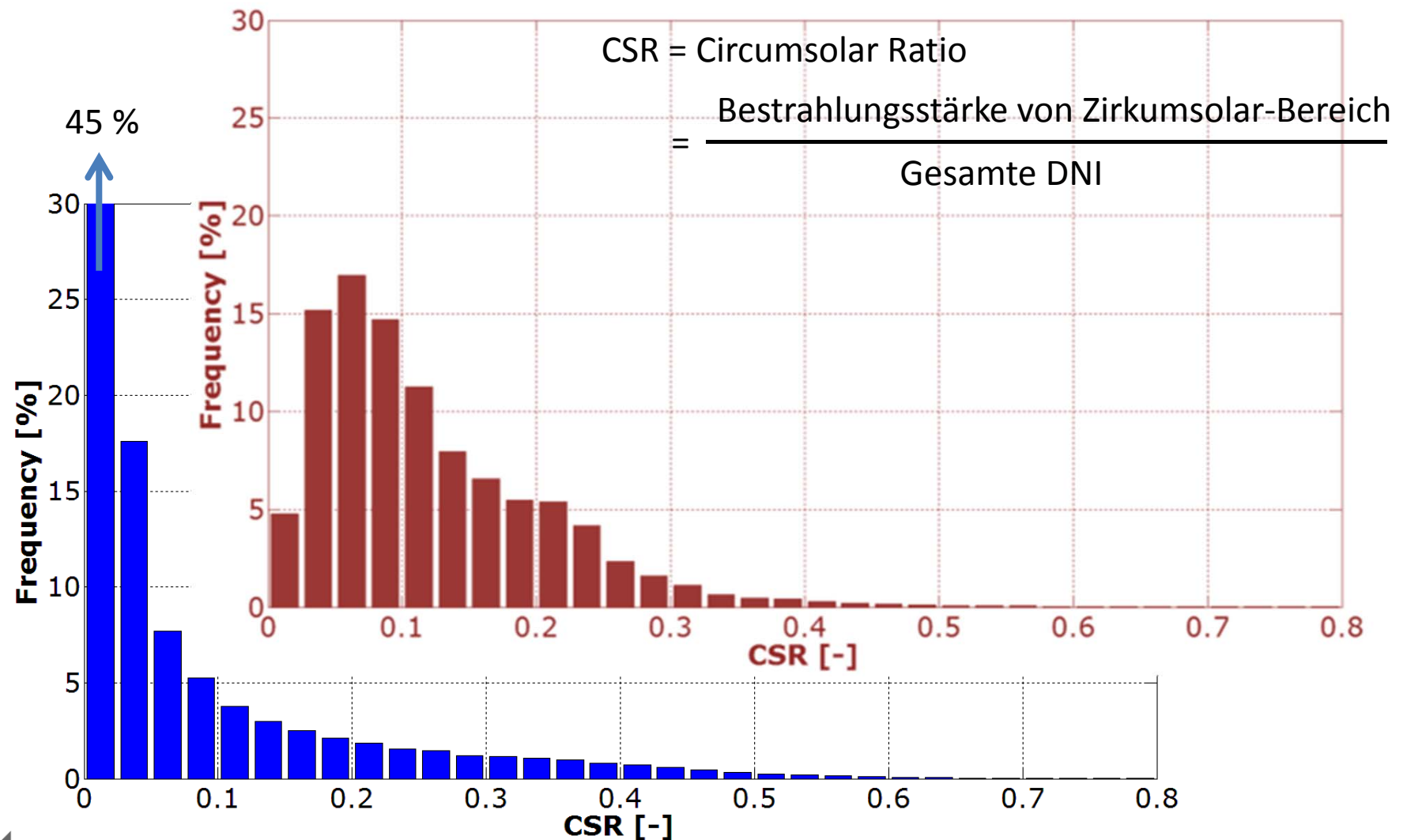
Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt: stefan.wilbert@dlr.de

Danksagung:

- Wir danken der Europäischen Union für die Unterstützung in den Projekten SFERA und STAGE-STE.
- Wir danken dem Auswärtigen Amt für die Finanzierung des enerMENA Projekts.
- Wir danken Masdar Institut für die Bereitstellung der Sunshape Messungen von Masdar.
- Wir danken den Kollegen des CIEMATs für die gute Zusammenarbeit in den Kollaborationen METAS und OPAC.

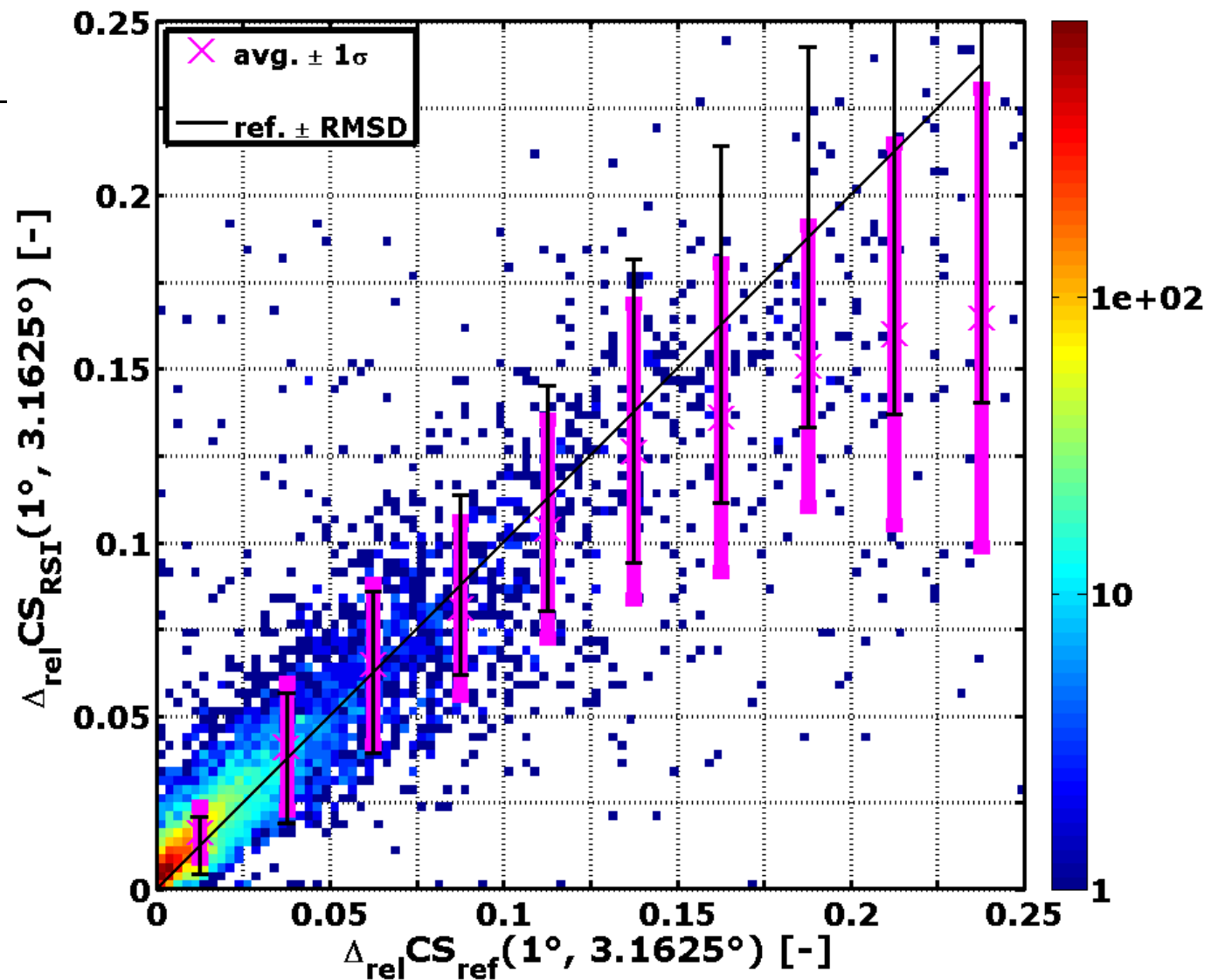
CSR Histogramme (PSA und Masdar)

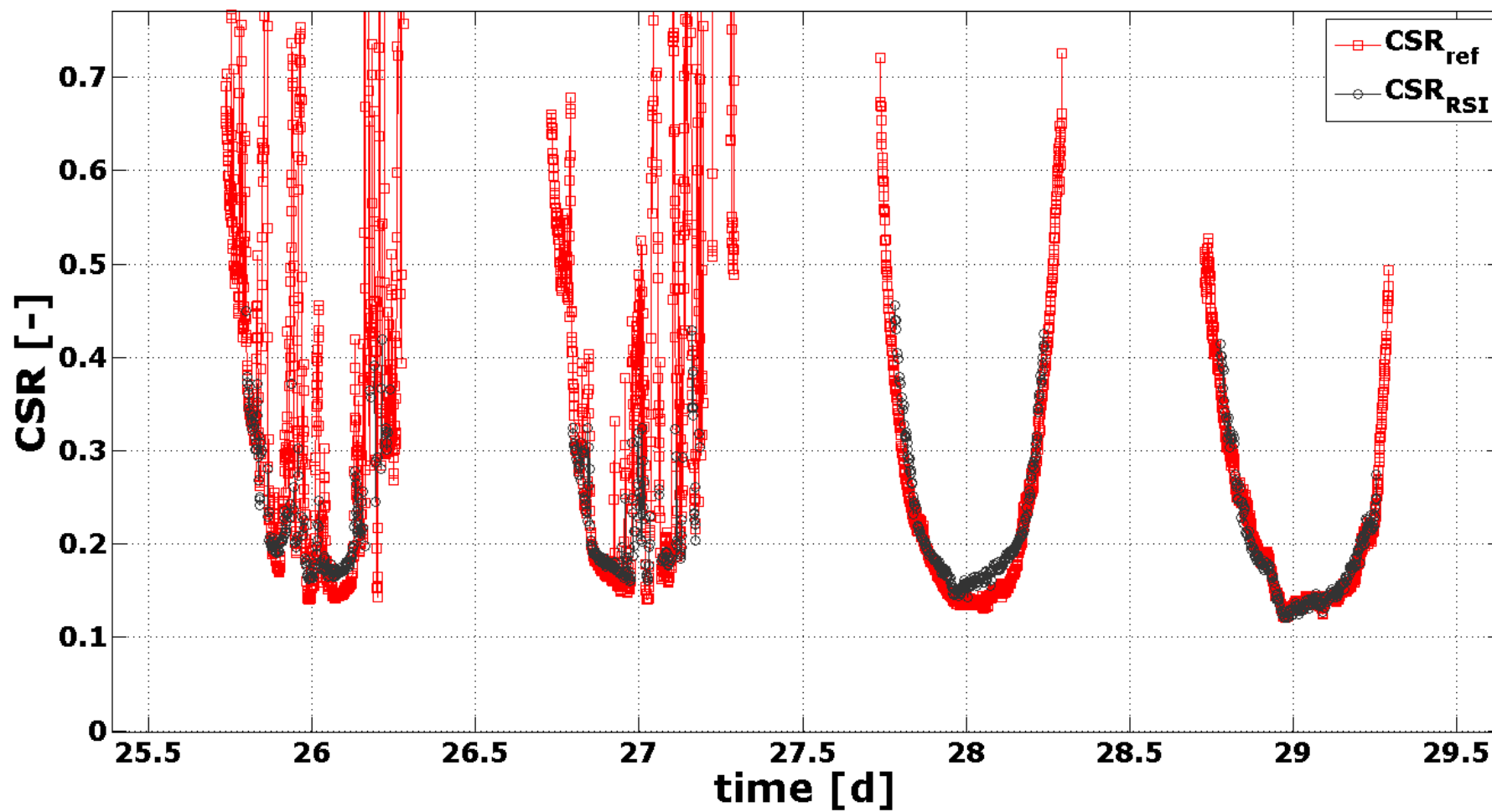


Validation with SFERA system

$$\frac{C(3.1625^\circ) - C(1^\circ)}{DNI(3.1625^\circ)}$$

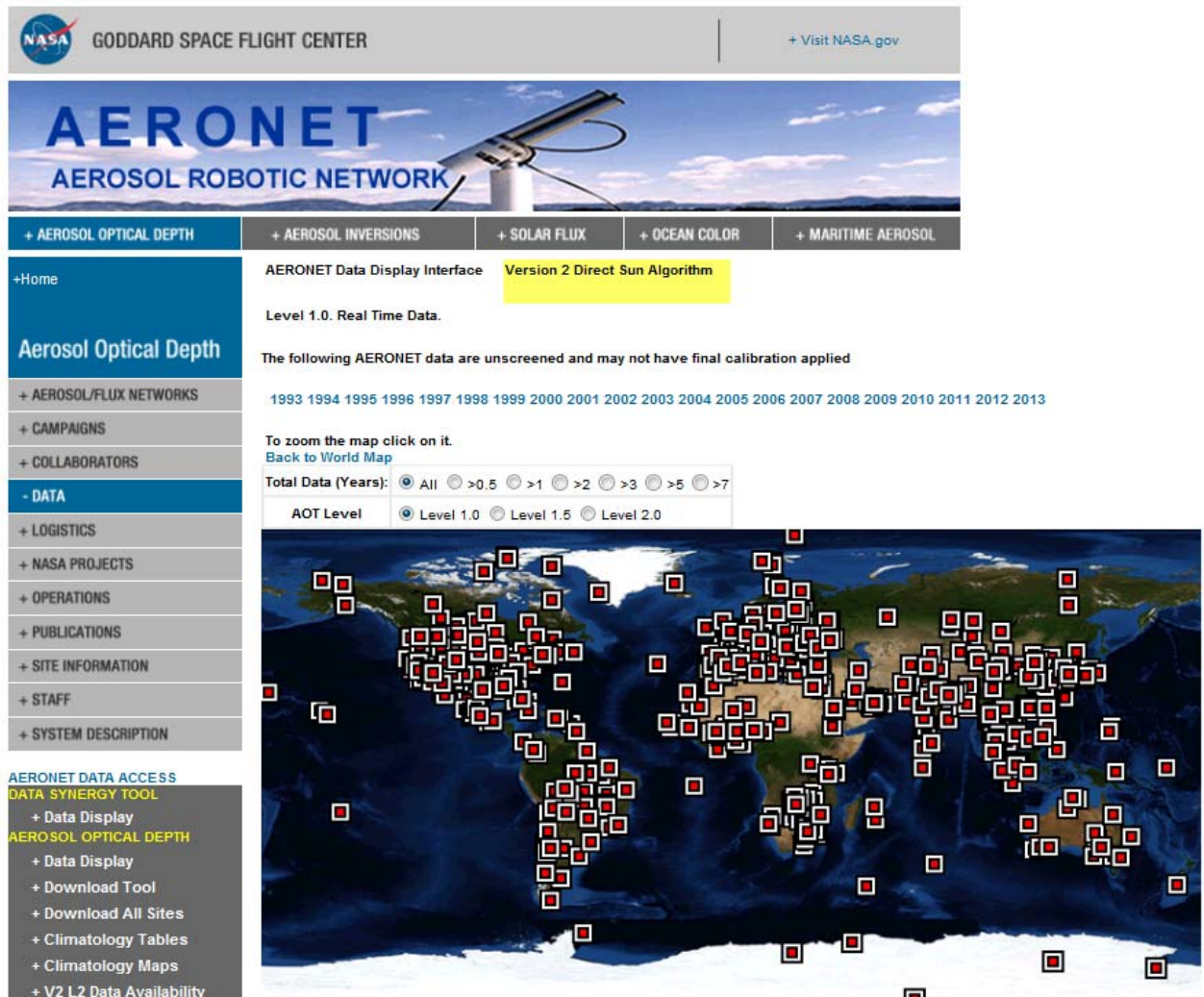
- Parameter optimized with 1 year of reference sunshape data
- Here: validation with 1 year



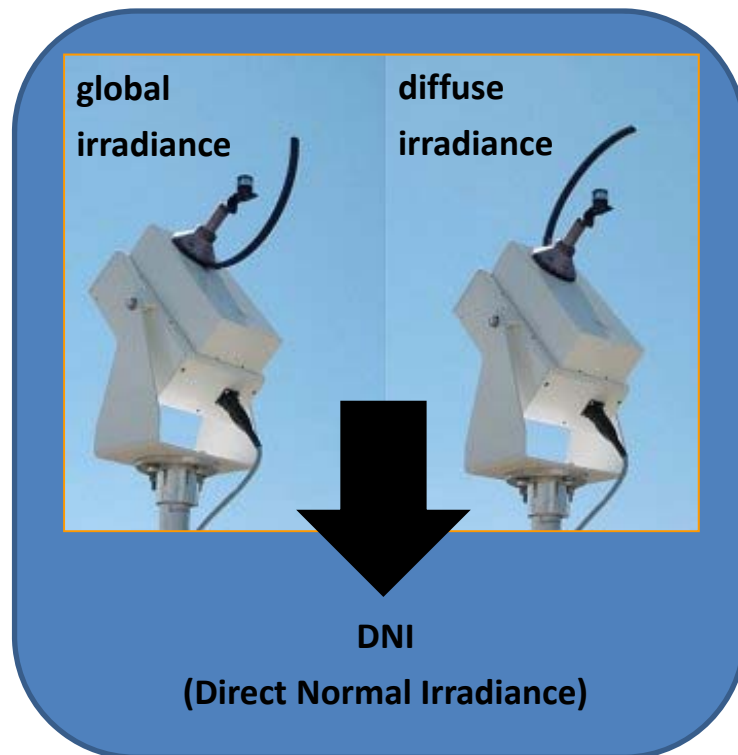


AERONET sun photometer

- - PSA station is part of NASA's AERONET since 2011
- - reference for satellite based aerosol measurements
- - input for DNI modeling



Rotating Shadowband Irradiometers (RSIs)



Principle of operation

1. Pyranometer measures global irradiance
 2. Shadowband rotates once per minute
 3. During rotation: measure the diffuse irradiance
- DNI is calculated



- Robust instrument used for solar resource assessment at remote sites
- Characterization, further improvements & calibration



Langzeitmessreihen der Verschmutzungsrate

Mean values over all mirror orientations and heights

