

Hochpräzise Messung solarer Direktstrahlung infolge verbesserter Sensorkalibration

Norbert Geuder*, Stefan Wilbert, Nicole Janotte¹

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V.,
Institut für Technische Thermodynamik, Solarforschung,
Plataforma Solar de Almería, Apartado 39, 04200 Tabernas, Spanien

Zusammenfassung

Hochpräzise Messungen der solaren Direktstrahlung sind für Anwendungen der konzentrierenden Solartechnik eminent wichtig: Bei Wirkungsgradmessungen können Messungen in Standardpräzision bis zu 80% der Messunsicherheit ausmachen beziehungsweise für eine Standortevaluierung unter Verwendung einer nicht angemessenen Messausrüstung leicht zu Fehlentscheidungen führen, die Kosten in die Höhe treiben oder erfolgversprechende Projekte verhindern. Deshalb wurde am DLR eine entsprechend hochpräzise Messausrüstung angeschafft und adäquate Sensoren zur Standortevaluierung getestet und qualifiziert.

1 Einführung

Die Messung gerichteter Solarstrahlung erfolgt bei konzentrierender Solarenergie (CSP) hauptsächlich aus zwei Gründen: zur Bestimmung der erwartungsgemäßen Einstrahlung an ausgewählten Standorten für eine sorgfältige Planung und Auslegung eines Solarkraftwerkes – sowie zur Bestimmung der Kraftwerkseffizienz, um die korrekte Funktionsweise eines Kraftwerks überwachen und sicherstellen zu können. Die Anforderungen, die sich an die Messdaten und an generelle Bedingungen des Messbetriebs stellen, unterscheiden sich für die beiden Fälle: während zur Betriebsüberwachung eines Kraftwerks aktuelle Einstrahlungswerte mit höchstmöglicher Präzision erforderlich sind, sind zur Standortanalyse und Kraftwerksauslegung eher für diesen Standort typische meteorologische Daten notwendig.

Übliche Sensoren zur Kraftwerksüberwachung sind präzise thermische Sensoren wie Pyrheliometer und Pyranometer. Sie erreichen bei korrekter Aufstellung und mindestens täglicher Reinigung eine Genauigkeit von 1 bis 2%. Damit tragen sie jedoch gegebenenfalls noch bis zu 80% zur gesamten Messunsicherheit der Kraftwerkseffizienz bei. Ein Absolutradiometer mit höchstmöglicher Präzision ist für kontinuierlichen Dauerbetrieb bei außerdem sehr hohen Anschaffungskosten kaum geeignet.

Um die an einem – oft abgelegenen – Kraftwerksstandort pro Jahr zu erwartende Einstrahlung zu ermitteln, zieht man üblicherweise aus Satellitendaten abgeleitete Langzeitreihen in Kombination mit vor Ort gemessenen Einstrahlungsdaten zu Rate. Für die Bodenmessungen sind hier jedoch weder die hohen Anschaffungskosten präziser thermischer Sensoren noch der unvergleichbar hohe Aufwand zur Aufrechterhaltung des Messbetriebs mit der hohen Genauigkeit sowie für die exakte Aufstellung sinnvoll. Speziell für abgelegene, nicht ständig überwachte Standorte eignen sich deshalb aufgrund ihrer wesentlich geringeren Verschmutzungsanfälligkeit und wegen ihres geringen Stromverbrauchs so genannte Rotating Shadowband Pyranometer (RSP) oder Radiometer (RSR). Die RSP-Sensoren bedürfen jedoch einer sorgfältigen Kalibrierung; systematische Messfehler müssen (und können) zur Erhöhung der Genauigkeit der Messdaten korrigiert werden.

Die verschiedenen Ausrüstungen und Methoden, die am DLR zur Steigerung der Messgenauigkeit zum Einsatz kommen, werden im Folgenden vorgestellt.

2 Erweiterte Ausrüstung für hochpräzise Einstrahlungsmessungen

Das DLR betreibt mehrere Meteostationen für präzise Einstrahlungsmessungen. Sie sind mit Kipp&Zonen CMP21 bzw. CM11 Pyranometern zur Messung der Global- und Diffusstrahlung sowie mit CHP1 bzw. CH1 Pyrheliometern zur Messung der solaren Direktstrahlung (DNI) ausgestattet (siehe Bild links in Abbildung 1). Die Strahlungssensoren sind auf einem 2AP bzw. dem neuen SOLYS-2 Tracker (ebenfalls von Kipp&Zonen) montiert. Ein Sonnensensor stellt jeweils stets die exakte Nachführung Richtung Sonne sicher. Die Pyranometer sind auf zugehörigen CV2 Ventilationseinheiten montiert, um Temperatureinflüsse und Abweichungen durch IR-Abstrahlung zu minimieren. Die Pyranometer erlauben eine zusätzliche Korrektur über einen integrierten Temperatursensor.

Beim Vergleich verschiedener frisch kalibrierter Pyrheliometer wurden Signalabweichungen von einigen W/m^2 bei sonst gleichen Messbedingungen festgestellt. Selbst unter Ergreifen aller möglichen Maßnahmen zur Steigerung der Messgenauigkeit kann die Messunsicherheit kaum unter 1% reduziert werden. Hauptgrund ist die wachsende Unsicherheit beim Transfer der Kalibrierfaktoren von der World Radiation Reference (WRR) in Davos (mit einer

* Korrespondenzautor: Tel.: +34 950 274350, Fax: +34 950 274350; e-mail: norbert.geuder@dlr.de

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V., Institut für Technische Thermodynamik, Solarforschung, Linder Höhe, 51147 Köln

Messgenauigkeit von 0.17%) über die Kette einzelner Vergleichsstandards bis hin zu den letztlich käuflich erwerblichen Geräten. Zur Umgehung dieser Einschränkung wurde am DLR ein PMO6-cc Absolutradiometer (Absolute Cavity Radiometer) vom World Radiation Center (WRC) angeschafft mit einer Messgenauigkeit von 0.3% und einer Rückverfolgbarkeit der Kalibrierung auf die WRR mit einer Unsicherheit von 0.1%. Damit verbessert sich die Messgenauigkeit der Pyrheliometer am DLR mittels direkter Kalibrierung auf deutlich unter 1%.

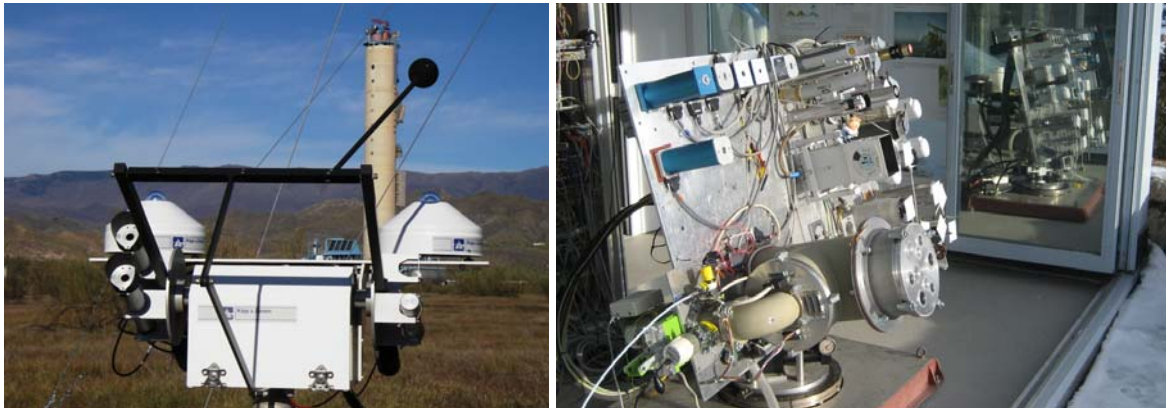


Abbildung 1: Erhöhte Genauigkeit bei Einstrahlungsmessungen am DLR (links) mit Hilfe der Kalibration der Strahlungssensoren gegen ein PMO6-cc Absolutradiometer, welches regelmäßig beim WRC durch Vergleich mit der World Standard Group qualifiziert und kalibriert wird.

3 Rotating Shadowband Pyranometer (RSP) zur Standortanalyse

Die für eine Standortanalyse besser geeigneten Rotating Shadowband Pyranometer werden auf der Plataforma Solar de Almería in Südspanien über mehrere Wochen oder Monate parallel zu den hochpräzisen thermischen Sensoren betrieben (siehe Foto in Abbildung 2). Über den direkten Vergleich der Messwerte von über 2 Jahren wurden systematische Abweichungen des RSP-Signals in Abhängigkeit von messbaren Parametern für ein breites Spektrum äußerer Bedingungen genauestens charakterisiert. Anschließend wurden Korrekturfunktionen entwickelt und die RSPs gegen die Präzisionsmessungen genau kalibriert. Unter Anwendung der Korrekturfunktionen erhöht sich die Messgenauigkeit der RSP von ursprünglich über 4% (bis teilweise auch über 20%, je nach Umgebungsbedingungen) auf unter 2%. Die Messunsicherheit der präzisen Sensoren lag dabei deutlich unter 1% (siehe Graph rechts in Abbildung 2). Die Korrekturfunktionen werden derzeit in an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Klimazonen und Umgebungsbedingungen getestet und bei Bedarf weiter angepasst.

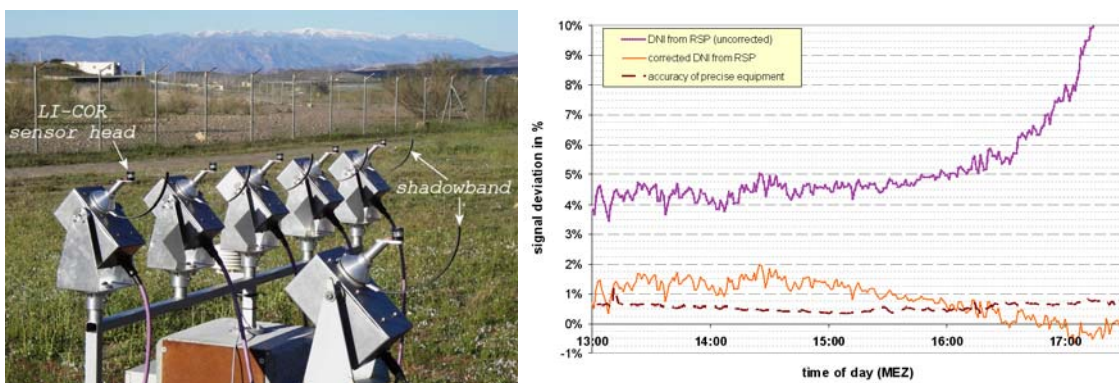


Abbildung 2: Kalibration der RSP Sensoren (links) und Genauigkeit der Direktstrahlungsmessungen (DNI) am DLR.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Nach Validierung der hochpräzisen Sensoren steht die Messausrüstung zu Einstrahlungsmessungen für den Einsatz in Messkampagnen für die Bestimmung der Kollektor- oder Kraftwerksperformance zur Verfügung. Weiterhin soll mit Hilfe der Ausrüstung der Einfluss der exakten solaren Leuchtdichteverteilung (sun shape) auf Einstrahlungsmessungen sowie hinsichtlich des Intercepts auf den Ertrag bei verschiedenen Technologien und Kollektoren untersucht werden.

Die RSP stehen inklusive der entwickelten Korrekturfunktionen mit hoher Messgenauigkeit für den Einsatz zur Standortanalyse an abgelegenen Standorten bereit. Die aktuell aufgezeichneten Messdaten dienen zum Abgleich

mit Satellitendaten, welche ihrerseits anschließend zur Ermittlung eines langjährigen Erwartungswertes herangezogen werden können.

Teile der messtechnischen Ausrüstung wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Projekts Quarz-CSP (Förderkennzeichen 16UM0095) finanziell gefördert.