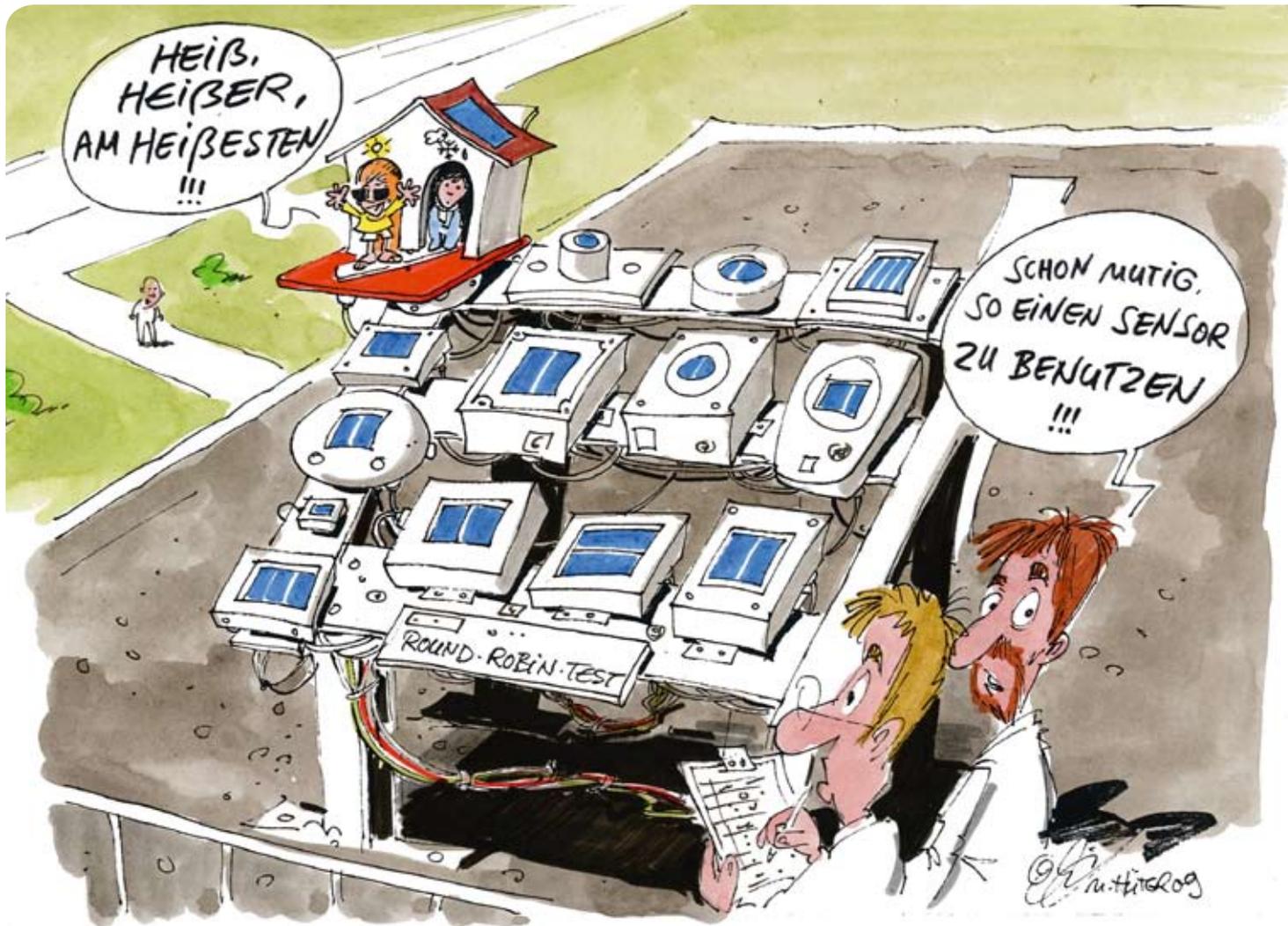


Die Vermessung des Lichts



Verschiedene marktübliche Einstrahlungssensoren liefern mitunter abweichende Momentan-, Tages- oder Monatssummenwerte. Werden diese Daten unreflektiert genutzt, führt das zu teilweise fragwürdigen Systembeurteilungsparametern. Bewertet man hingegen das Betriebsverhalten und die Einsatzbedingungen der einzelnen Sensoren professionell, dann lassen sich die Aussagen zur Einstrahlung recht genau einschätzen.

Was genau sollte man über die Datenquellen wissen, wenn Strahlungssensoren angemessen beurteilt werden sollen? Als Basis aussagekräftiger Sensoranalysen dient ein Round Robin Test (Rundlauf), der mit zwei identischen Testaufbauten an zwei Standorten in Deutschland (Fraunhofer IWES und Hochschule München) durchgeführt wurde.

Wenn es um die Leistungsmessung von Sonnenlicht geht, steht meist der Begriff der Globalstrahlung im Mittelpunkt. Dazu gibt es einige weitere wichtige Begriffe, Definitionen und Zusammenhänge. Die Globalstrahlung an einem bestimmten Ort ist das Maß oder die Größenangabe für die Bestrahlungsstärke

oder die sogenannte solare Einstrahlungsdichte. Mit der Einstrahlungsdichte ist eine Einstrahlungsleistung des Lichts bezogen auf eine bestimmte Fläche gemeint. Diese Empfangsebene ist üblicherweise horizontal, kann aber auch als geneigt angegeben sein, sodass Azimut und Elevation zu berücksichtigen sind. In Fachkreisen hat sich für die Globalstrahlung auch der verkürzende und nicht ganz exakte Begriff der Einstrahlungsleistung etabliert.

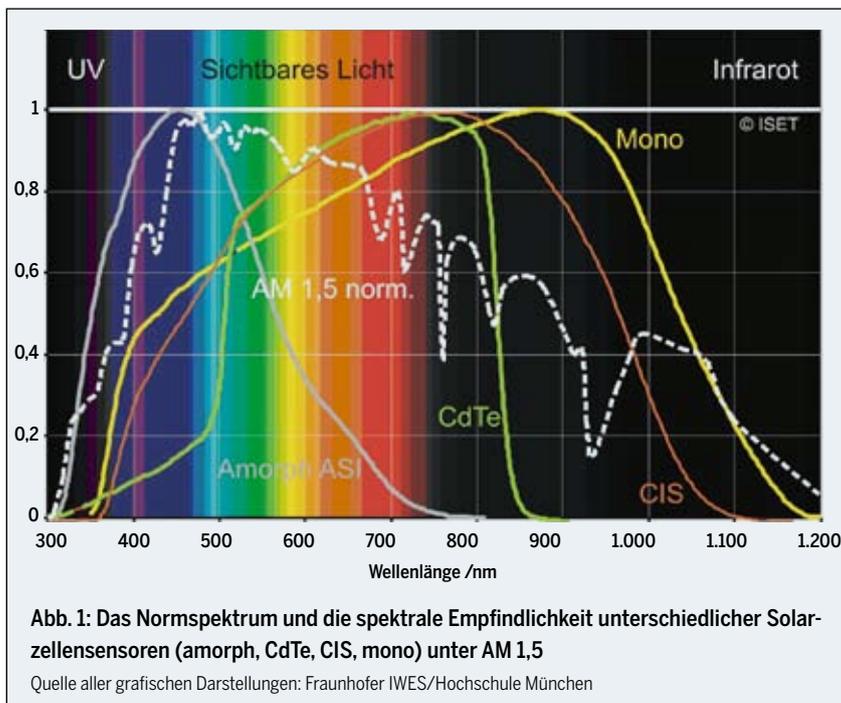
Momentaufnahme

Die Maßzahl oder der Messwert der Globalstrahlung ist ein Momentanwert. Dieser Wert entspricht dem

Integral der einzelnen Strahlungsdichten über die verschiedenen Wellenlängenbereiche des einfallenden Lichts. Das Spektrum des Sonnenlichts zeigt bei verschiedenen Wellenlängen unterschiedliche Amplituden der Strahlungsleistungsdichte und ist abhängig von der Länge des Lichtweges sowie von der Streuung, Absorption und Reflexion des Lichts in der Atmosphäre. Die Strahlungsleistungsdichten mit den größten Amplituden befinden sich im Bereich des sichtbaren Lichts. Bei den kleineren und größeren Wellenlängen nimmt die Amplitude unterschiedlich schnell ab. Bestimmte Frequenzen werden durch die Atmosphäre stark gedämpft, teilweise fast bis Null. Abb. 1 zeigt beispielhaft das Normspektrum AM 1,5. Das Integral der Strahlungsleistungsdichte über die Wellenlängen ergibt die Bestrahlungsstärke. Im Fall des Normspektrums ergibt das Integral exakt 1.000 W/m^2 .

Die marktüblichen Sensoren zur Messung der Strahlungsdichte an einem bestimmten Ort und in einer bestimmten Ausrichtung basieren auf verschiedenen Messverfahren. Zur Messung können beispielsweise sogenannte Pyranometer dienen. Ein Pyranometer wirkt wie ein Integrator der Strahlungsleistungsdichte. Durch Absorption der Strahlungsleistungsdichten in einem weiten Spektrum und eine Umsetzung in Wärme (Thermosäule) kann über diesen Sensor mit Hilfe eines Kalibrierfaktors auf die Stärke der Einstrahlung geschlossen werden. Durch eine interne Temperaturkompensation erfolgt diese Prozedur nahezu unabhängig von der Umgebungstemperatur. Ein Pyranometer deckt den gesamten spektralen Bereich von ca. 300 nm bis 2.800 nm mit nahezu konstanter spektraler Empfindlichkeit ab. Es absorbiert also in diesem Bereich alle Strahlungsleistungsdichten und integriert diese auf.

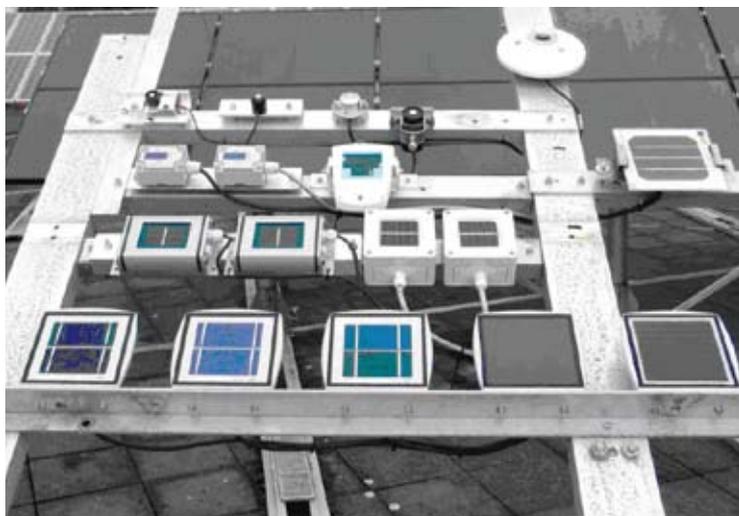
Die Alternative ist ein Solarzellensensor. Dabei verhält sich der Kurzschlussstrom der Zelle direkt proportional zur integralen Bestrahlungsstärke. Aufgrund des im jeweiligen Solarzellenmaterial vorherrschenden Bandabstandes können diese Sensoren das Sonnenspektrum allerdings nur selektiv erfassen. Die spektrale Empfindlichkeit des amorphen Siliziums



liegt zum Beispiel mehr im Blaubereich des Sonnenspektrums, die des monokristallinen Siliziums mehr im Rotbereich (vgl. Abb. 1). Solarzellensensoren, zum Beispiel die ISET-Sensoren, werden mit einem Mastersensor kalibriert, indem man die Ausgangsströme unter bestimmten Bedingungen der beiden Sensoren vergleicht. Der Mastersensor selbst wird in einem akkreditierten Prüflabor wie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) kalibriert.

Werte im Vergleich

Stellt man in Versuchen Pyranometer und Solarzellensensoren gegenüber, dann würden sich folgende Situationen ergeben: Bei einem Spektrum AM 1,5, einer Temperatur von 25° C und einer Bestrahlungsstärke von 1.000 W/m^2 (Standard Test Conditions, STC) zeigen alle Sensoren den gleichen Wert an, nämlich 1.000 W/m^2 . Stellt sich ein anderes Spektrum ein, so würden die Sensoren nur dann weiterhin den



Die Sensoren sind am Fraunhofer IWES in Kassel und an der Hochschule München in gleichem Testaufbau installiert. Das linke Bild zeigt den Kasseler, das rechte Bild den Münchner Sensorteststand.

Fotos: Fraunhofer IWES/Hochschule München

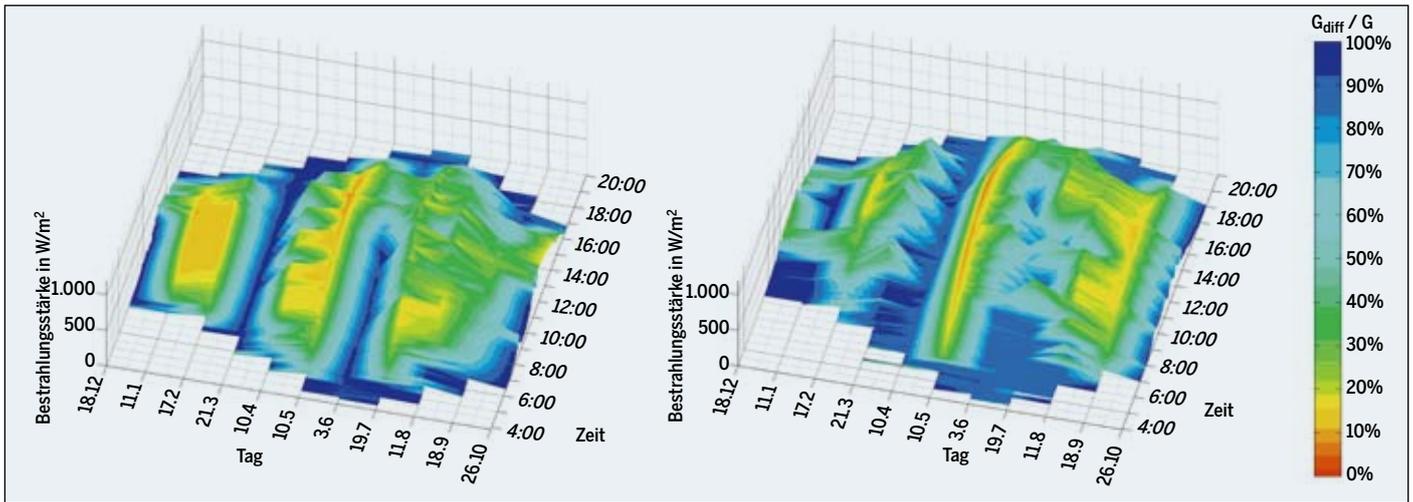


Abb. 2: Tagesgänge der Wettersituationen an den ausgewählten Referenztagen (2008) an den Standorten München (links) und Kassel in einer vierdimensionalen Grafik. Über die Farbe als vierte Dimension wird der Diffusstrahlungsanteil an der Einstrahlungsleistung dargestellt.

gleichen Wert anzeigen, wenn alle die gleiche spektrale Empfindlichkeit hätten.

Dies ist aber in der Praxis nicht der Fall und es ergeben sich Abweichungen durch verschiedene atmosphärische Abschwächungen. Je nachdem, in welchem Bereich das Spektrum mehr gedämpft wird, variieren die Ergebnisse. Bei klarem Wetter und kleiner AM kann der amorphe Sensor in der Regel sein Potenzial besser nutzen als ein Sensor mit kristallinem Silizium, da sich seine spektrale Empfindlichkeit im blauen Bereich bewegt und hier das Sonnenspektrum sehr stark ausgeprägt ist. Ist der Himmel bewölkt (großer Diffusanteil) oder herrscht Hochnebel, wird der Rotanteil des Spektrums mehr gedämpft (Absorption von infraroter Strahlung durch Wasserdampf). Das heißt, der relative Blauanteil nimmt zu. In diesem Zustand wird auch hier der amorphe Sensor mehr umsetzen. Der umgekehrte Fall liegt vor, wenn der Himmel klar ist, aber die Sonnenstrahlen einen langen Weg durch die Atmosphäre zurücklegen müssen (große AM). Dann nämlich wird der Blauanteil mehr geschwächt und der relative Rotanteil nimmt zu. In diesem Fall werden die Sensoren mit kristallinem Silizium besser abschneiden.

Die Diskussion um den zu favorisierenden Sensortyp hat noch weitere Aspekte: Weil die unterschiedlichen PV-Technologien jeweils eine bestimmte spekt-

rale Charakteristik aufweisen, wird in Fachkreisen intensiv diskutiert, ob Pyranometer oder Solarzellen als Sensoren eingesetzt werden sollten, um den Energieertrag einer PV-Anlage an einem bestimmten Ort exakt zu bestimmen. Technologiegleiche Solarzellen als Bestrahlungsstärkesensoren berücksichtigen bei physikalisch korrektem Aufbau neben der anlagenanaloge spektrale Empfindlichkeit auch das Temperatur- und Reflexionsverhalten einer technologiegleichen PV-Anlage. Voraussetzung hierfür ist, dass die Solarzellensensoren korrekt kalibriert sind. Der Master- bzw. Referenzsensor muss den gleichen Aufbau haben wie die Serienprodukte. Werden diese Sensoren in einer technologiegleichen PV-Anlage betrieben, ist ein präzises Anlagenmonitoring möglich. Des Weiteren kann mit einer exakten Messtechnik eine verlässliche Energieertragsprognose realisiert werden.

Der Round Robin Test – Projektidee und Umsetzung

Im Oktober 2007 starteten das Fraunhofer IWES in Kassel und die Hochschule München in Kooperation mit der Firma BEC Engineering einen Round-Robin-Test mit Einstrahlungssensoren. Ziel der Untersu-

Abb. 3: Tagesgänge der beiden Testaufbauten und Betriebsverhalten jedes einzelnen Sensors an einem exemplarisch ausgewählten Tag (18. September 2008).

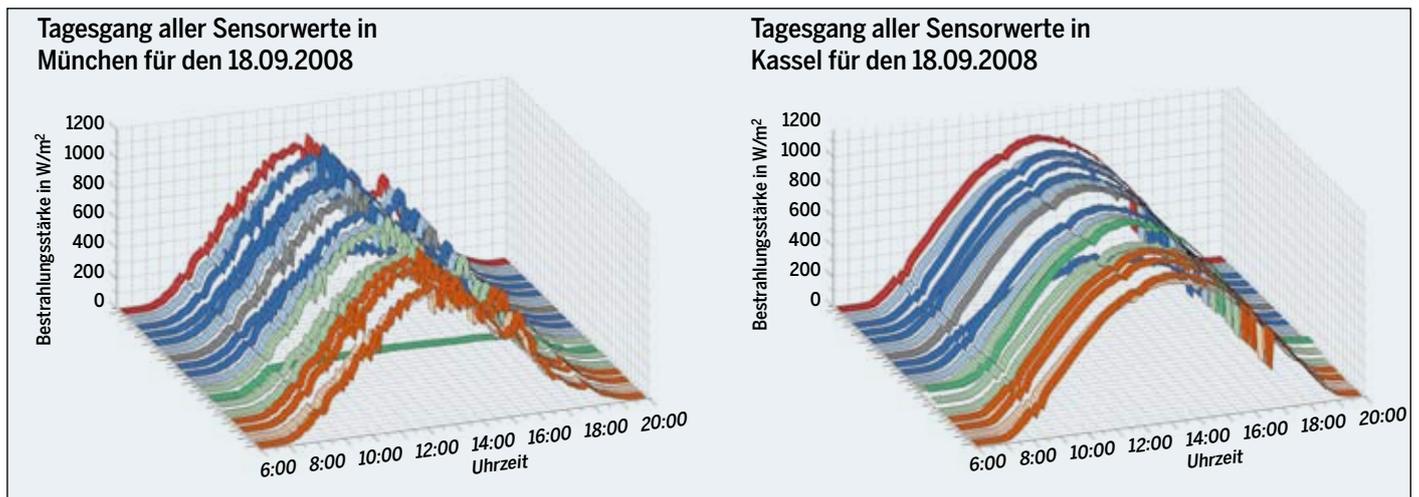


Tabelle 1: Zuordnung der Farben zu Sensorgruppen für die Auswertung

Farbcodierung		Technologie		
		Pyranometer	Zellen	aktiver Sensor mit Messzelle
Preis	0 bis 200,- €			
	200 bis 400,- €			
	über 400,- €			

chung ist es, die verschiedenen am Markt verfügbaren Bestrahlungsstärke-sensoren unterschiedlicher Bauart in den Punkten Momentanwerte, Summenwerte, Temperatur- und Langzeitverhalten vergleichend zu untersuchen. Damit soll zunächst das qualitative Betriebsverhalten der einzelnen Sensoren analysiert werden. Weitere interessante Fragestellungen ergeben sich allerdings schnell: Wie wirkt sich beispielsweise die Weiterverwendung der Messdaten dieser Sensoren aus? Die einzelnen Sensormesswerte zur Einstrahlung werden ja genutzt, um Aussagen zur Beurteilung des PV-Anlagenverhaltens zu machen. Welche Korrelation besteht zwischen den Sensorwerten und dem Betriebsverhalten eines PV-Systems vor dem Hintergrund, dass unterschiedliche Sensortechnologien und PV-Modultechnologien auf bestimmte Wetter-situationen verschieden reagieren? Wann bekommt man mit welchem Sensor bei welchem Modultyp und welcher Wettersituation die genauesten Ergebnisse? Ein Teil der Fragen konnte in dieser Untersuchung abgearbeitet werden.

Im Round-Robin-Test werden insgesamt 18 verschiedene Bestrahlungsstärke-sensoren untersucht. Aufgezeichnet werden die Messdaten von 13 Solarzellensensoren und fünf Pyranometern. Um die dynamischen Abläufe – vor allem die des Wetters – relativ genau messen zu können, werden alle Werte im 15-Sekunden-Takt aufgenommen. Vier der Solarzellensensoren sind aktive Sensoren. Das bedeutet, dass sie einen Verstärker integriert haben. Als einziges der Pyranometer basiert das CM11 von Kipp & Zonen auf dem üblichen Thermosäulenprinzip. Die anderen vier Pyranometer messen die Einstrahlung mittels einer Siliziumdiode. Dadurch haben sie einen vom Thermosäulenpyranometer abweichenden Verlauf der spektralen Empfindlichkeit, der aber dem einer Solarzelle ähnlich ist. Zusätzlich werden die Umgebungstemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit am Aufbau überwacht

und aufgezeichnet. Das Pyranometer CM11 wird in der folgenden Auswertung als Referenzsensor benutzt, weil es hierfür detaillierte Informationen über Winkelabhängigkeit, Temperaturstabilität und spektrale Empfindlichkeit gibt. Außerdem liegen ausreichende Erfahrungswerte über die Stabilität in Langzeitversuchen vor.

Die Sensorteststände wurden an zwei Standorten in Deutschland, beim Fraunhofer IWES in Kassel und an der Hochschule München, installiert. Sie befinden sich auf flachen Dächern, die Anordnung ist identisch. Die Sensoren sind an Aluminiumgestellen befestigt, die südlich und jeweils nach dem ortsspezifisch optimalen Neigungswinkel ausgerichtet sind. Die gemessenen Werte werden mittels Datenlogger aufgenommen und alle 10 Minuten in einer Datenbank gespeichert. Das ermöglicht eine Auswertung annähernd in Echtzeit. In der Datenbank werden ausschließlich Rohdaten abgelegt. Sie werden ausgelesen und dienen zur Berechnung der Einstrahlungs- und Temperaturwerte mit der Software Matlab (The Mathworks Inc.). Die Software gibt mittels der Kalibrierungswerte und der möglichen Temperaturkompensation die Werte oder direkte Graphiken aus. Um die Betriebssituation der Sensoren zu überwachen, stehen Webcams zur Verfügung.

Die Bilanz eines Jahres

Inzwischen liegt eine längerfristige Betriebserfahrung mit den Sensoren vor. In dieser Untersuchung wird der Zeitabschnitt von Januar bis Dezember 2008 betrachtet. Untersucht werden die Momentanwerte der Sensoren in ihrem Tagesgang an verschiedenen Standorten und unter verschiedenen spezifischen Wetterbedingungen. Im Fokus sind auch die Energiesummen der Tages-, Monats- und Jahreswerte. Auch die allgemeine Sensorfunktionalität wird in ihrer Temperaturabhängigkeit und ihrem langfristigen Betriebsverhalten mit betrachtet. Das Ziel des Round-Robin-Tests ist nicht



M+W Zander Build the Future. Today.

- General Contractor
- Photovoltaic Factories
- Photovoltaic Power Plants
- Solar Thermal Power Plants
- Trigeneration Power Plants
- Space Industry Facilities
- Facilities for the Battery Manufacturing



M+W Zander FE GmbH
Business Division Photovoltaics
 Lotterbergstr. 30
 70499 Stuttgart, Germany
 Phone +49 711 8804-2575
 pvinfo@mw-zander.com
 www.mw-zander.com

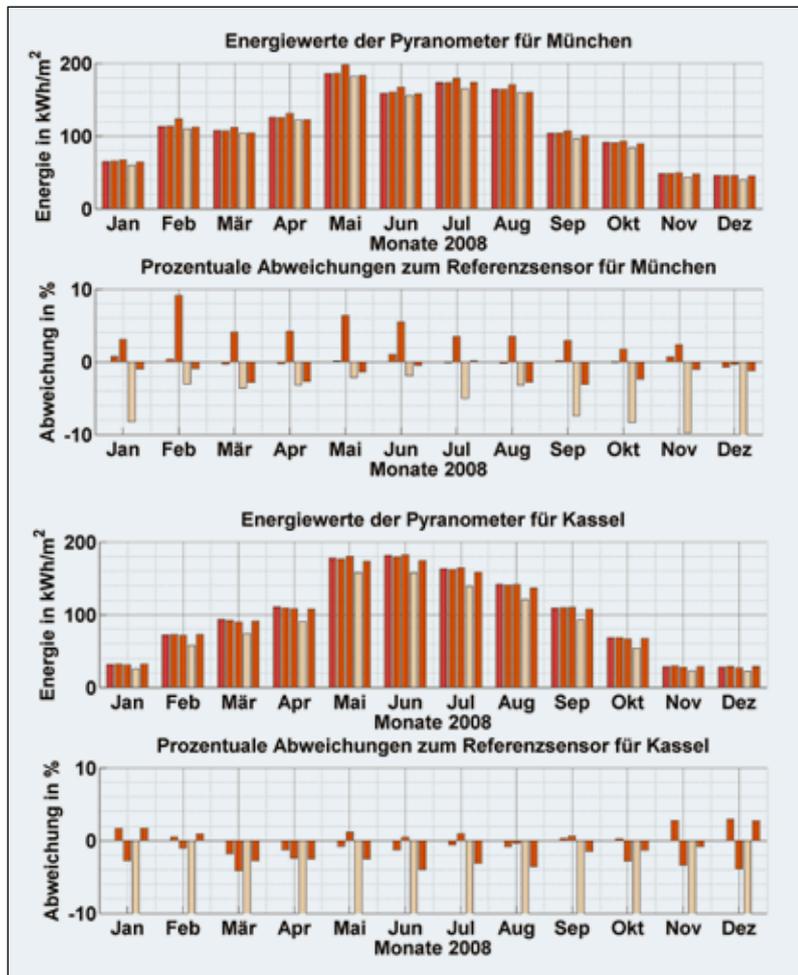
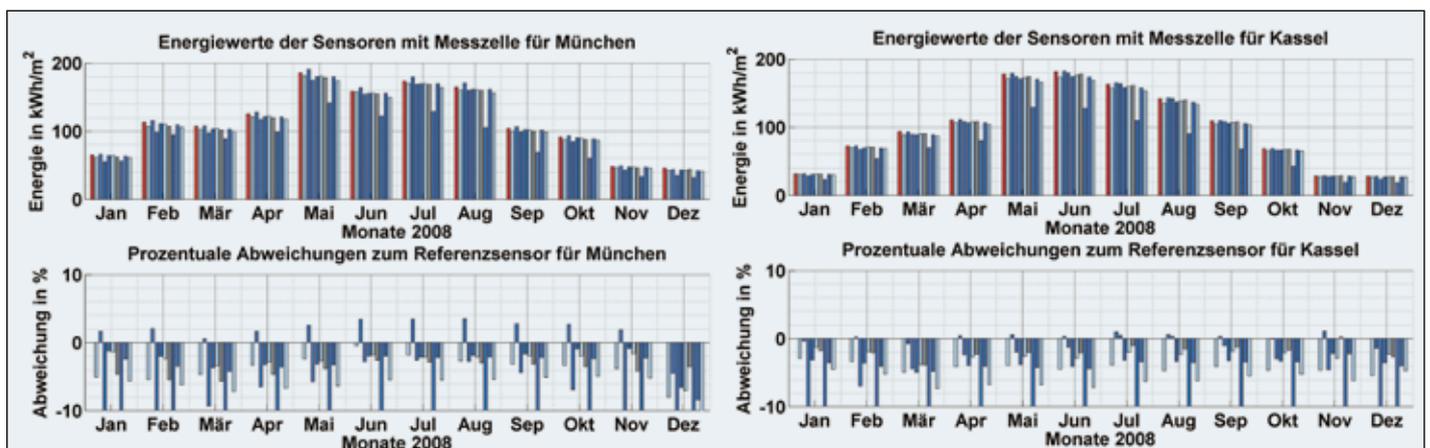


Abb. 4: Vergleich der vier Siliziumpyranometer untereinander und gegenüber dem Referenzsensor über den Jahresverlauf 2008 hinweg für die beiden Standorte München und Kassel.

das Erstellen einer Rangfolge individueller Sensoren oder Hersteller. Vielmehr sollen das typische Betriebsverhalten und Charakteristiken der Sensorgruppen entsprechend der Sensorparameter klassifiziert werden. Eine Zuordnung der Sensoren zu den Ergebnissen ist nicht möglich. Sie wurden absichtlich und wahllos vertauscht. Tab. 1 (Seite 171) zeigt die Bedeutung der Farben der Sensorgruppen für die Auswertung.

Eine typische Situation für die Verwendung eines Einstrahlungssensors in Photovoltaikanlagen ist die

Abb. 5: Jahresverlauf 2008 mit der größten Gruppe an Einstrahlungssensoren - den Sensoren mit Messzelle, die keine Stromversorgung benötigen. Wieder sind fast analoge Ergebnisse für München und Kassel zu sehen.



Bewertung des aktuellen Betriebsverhaltens. Im einfachsten Fall wird der Zustand der Anlage lokal auf einem Display oder online dargestellt. Komplexer sind dagegen die Anlagenüberwachung oder die Beurteilung der Systemperformance und die Bewertung des betriebswirtschaftlichen Verhaltens. Hier sollten neben den Momentanwerten auch die tageszeitabhängigen Schwankungen der Einstrahlung mit in Betracht gezogen werden.

Im Rahmen der Untersuchungen des Round-Robin-Tests wurde als Bezugszeitraum das Jahr 2008 gewählt und darin zwölf Referenztage zur näheren Untersuchung bestimmt. Aus jedem Quartal wurde für beide Standorte je ein Tag mit geringer direkter, ein Tag mit schwankender und ein Tag mit hoher direkter Einstrahlung gewählt und ausgewertet. Abb. 2 (Seite 170) zeigt die tägliche Änderung der Wetterverhältnisse an den ausgewählten Referenztagen in München und Kassel. Über die Farbe kann der Diffuslichtanteil der solaren Einstrahlung dargestellt werden. Diese Grafik gibt also Informationen über die Gegebenheiten, unter denen alle Einstrahlungssensoren ihre Momentanwerte und ihr tägliches Verhalten aufzeigen. Abb. 3 (Seite 170) zeigt die entsprechenden Tagesgänge der einzelnen Sensoren der beiden Referenz-Installationen an einem exemplarischen Tag, dem 18. September 2008.

Energiewerte und Abweichungen

Ähnlich wie bei der Betrachtung der Momentanwerte und Tagesgänge werden die Sensoren nicht einzeln beurteilt, sondern entsprechend der Klassifizierungen dargestellt. Die nächsten Grafiken bestehen aus jeweils vier Einzelbildern. Je zwei Bilder stammen aus der Testreferenzanlage in München, je zwei Bilder sind aus dem Kasseler Messdatensatz. Die beiden oberen Balkengrafiken erlauben einen Vergleich der von den Sensoren gemeldeten Energiemengen sowohl untereinander als auch mit dem Referenzsensor. Die zwei unteren Balkengrafiken unterstützen den Vergleich mit dem Referenzsensor durch Angabe der prozentualen Abweichung zu den Referenzsensorwerten. Verglichen werden die Energiewerte in den einzelnen Monaten und in den vier Quartalen des Jahres 2008, sowie die Jahreswerte. Eine Abschlussgrafik zeigt die prozentuale Abweichung der Sensoren für die einzelnen Bestrahlungsstärkeklassen.

In Abb. 4 werden vier Siliziumpyranometer mit dem Referenzsensor verglichen. Die Grafik zeigt für beide Standorte München und Kassel gleiche und damit bestätigende Ergebnisse. Die korrekte Arbeitsweise der einzelnen Pyranometer ist sehr schön zu sehen. In Orientierung am Referenzsensor unterschätzen zwei der Pyranometer die Einstrahlung kontinuierlich über das Jahr hinweg. Die Ergebnisse der Sensoren im mittleren Preisbereich liegen nahe beim Referenzsensor.

Abb. 5 zeigt die Gruppe der Sensoren mit Messzelle, die keine Stromversorgung benötigen. Wieder sind fast analoge Ergebnisse für München und Kassel zu sehen. Es ist die größte Gruppe an Sensoren. Die korrekte Funktion aller Sensoren war an beiden Standorten über das Jahr hinweg gegeben. Bei diesen Sensoren bestehen die Messzellen teilweise aus unterschiedlichen Materialien, was die unterschiedlichen Abweichungen innerhalb der Gruppe erklärt. Sensoren mit einheitlichem Messzellentyp zeigten sehr ähnliches Betriebsverhalten. Der Großteil der Sensoren lag in Orientierung am Referenzsensor sehr dicht bei dessen Referenzwerten. Alle Einstrahlungssensoren dieser Gruppe unterschätzten die Referenzwerte. Zwei der Sensoren zeigen im Jahreszeitverlauf unterschiedliche Abweichungen vom Referenzsensor.

Abb. 6 illustriert die Ergebnisse der aktiven Sensoren mit Messzelle. Das sind die Sensoren mit einem Signalverstärker, die demnach für den Betrieb eine externe Spannungsquelle benötigen. Der Verstärker dient nicht nur zur besseren Übertragung der Signale sondern auch zum Auswerten und Korrigieren der gemessenen Werte. Hier sind Unterschiede in den Ergebnissen der Messungen an beiden Standorten sichtbar. Zur verbesserten Darstellung wurden Monatswerte als Betrachtungszeitraum gewählt. Ein Sensor bekam im Testzeitraum an beiden Standorten Probleme und zeigte zunehmend große Abweichungen (auf Wasserschäden zurückzuführen – Probleme mit der Gehäusekonstruktion). Im Jahresverlauf sind unterschiedliche variierende Sensorverläufe an den beiden Standorten zu beobachten, die noch genauer analysiert werden.

Abb. 7 zeigt nochmals alle Sensoren für die Standorte München und Kassel. Zur besseren Analyse der Ergebnisse wird wieder auf eine Darstellungsform in

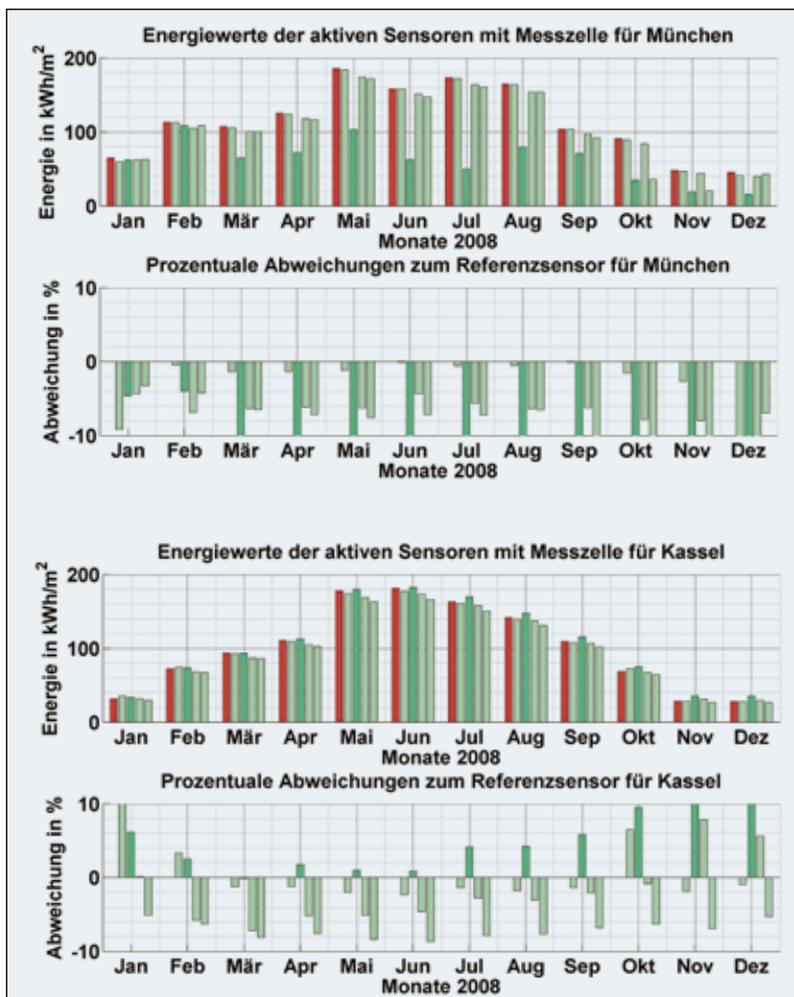


Abb. 6: Illustriert werden die Ergebnisse der aktiven Sensoren mit Messzelle. Hier sind Unterschiede in den Ergebnissen der Messungen an beiden Standorten sichtbar. Im Jahresverlauf sind unterschiedliche variierende Verläufe der von den Sensoren gemessenen Werte an den beiden Standorten zu beobachten, die noch genauer analysiert werden.

Quartalen zurückgegriffen. Die Klassifikation nach Technologie liefert kein generelles Qualitätskriterium. Die Kenntnis des Betriebsverhaltens des einzelnen Sensors ist wichtig.

Abb. 8 mit den Jahreswerten liefert nochmals eine Übersicht oder Zusammenfassung der detaillierteren Darstellungen. Die Übereinstimmung oder Abweichung von Messergebnissen von München und Kassel, sowie



KlickTop - Das bewährte Klemm-System jetzt auch für Welldächer

- passend für alle Standard Montageschienen von Schletter
- verbesserte Statikwerte
- schnelle und einfache Montage
- 10 Jahre Garantie

KlickTop - Das Welldachbefestigungs-System

Weitere Informationen unter www.schletter.de

Schletter GmbH • Gewerbegebiet an der B15 • Alustr. 1 • 83527 Kirchdorf / Haag i. OB
Tel.: +49 8072 9191-200 • Fax: +49 8072 9191-9200 • www.schletter.de • solar@schletter.de



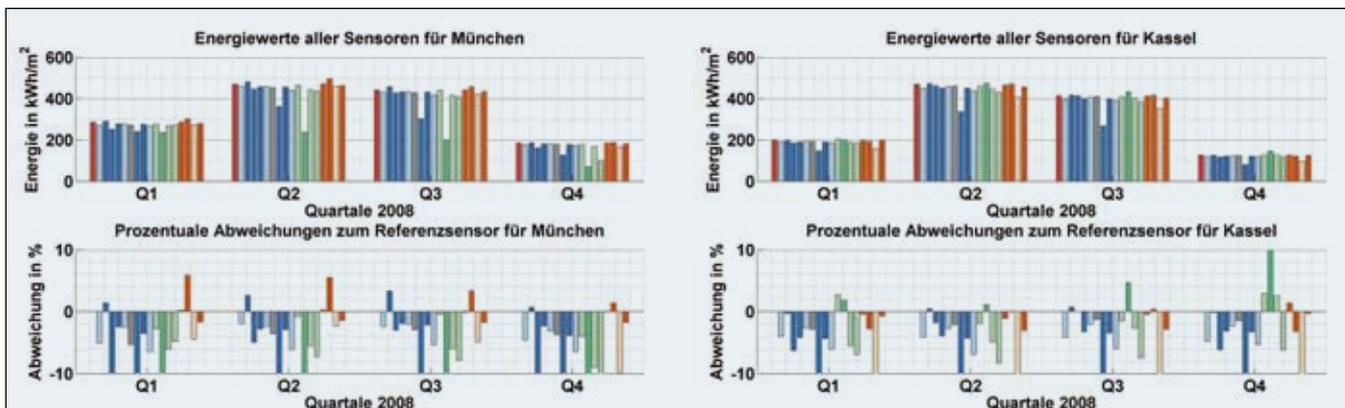


Abb. 7: Nochmals alle Sensoren zusammengefasst für die Standorte München und Kassel. Zur besseren Analyse der Ergebnisse wird wieder auf die Darstellungsform in Quartalen zurückgegriffen.

die Ergebnisse der einzelnen Sensoren sind schön zu sehen und runden die anderen Ergebnisse ab.

Abb. 9 schließlich zeigt für die einzelnen Quartale und Standorte die prozentualen Abweichungen für die einzelnen Einstrahlungsklassen. Die schnell sichtbaren höheren Abweichungen gegenüber dem Referenzsensor in den unteren Einstrahlungsklassen sind auf das Winkelverhalten der Sensoren zurückzuführen.

Auch in dieser Darstellungsform zeigt sich, dass Kenntnis des Betriebsverhaltens des einzelnen Sensors wichtig ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Für das erste komplette Jahr, das Jahr 2008, liegen nun die Messwerte vor, die in vielen Diagrammen aufbereitet und analysiert wurden. Die vorliegende Auswertung setzt zwei Prioritäten: Untersucht wurden die Momentanwerte und die Abweichungen der einzelnen Einstrahlungssensoren im Tagesverlauf. Weiterhin wurden die Energieerträge über verschiedene Zeiträume beobachtet und ausgewertet. Die Sensoren wurden in Relation zueinander und gegenüber dem Referenzsensor untersucht. Als Referenzsensor fungiert das Thermosäulenpyranometer (CM11).

Schon der Vergleich der Momentanwerte der einzelnen Sensoren und deren Verlauf in den Tagesgängen zeigen ganz klar, wie wichtig die Kenntnis des Betriebsverhaltens des einzelnen Sensors ist. Es wurden auf Basis verschiedener Kriterien Sensorgruppen definiert. Die Festlegung eines typischen Sensorverhaltens für einzelne Sensorgruppen war aber nicht mög-

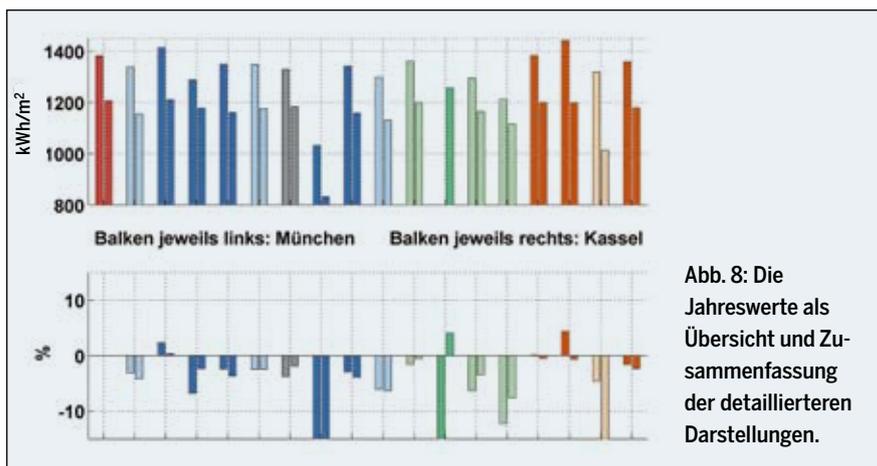
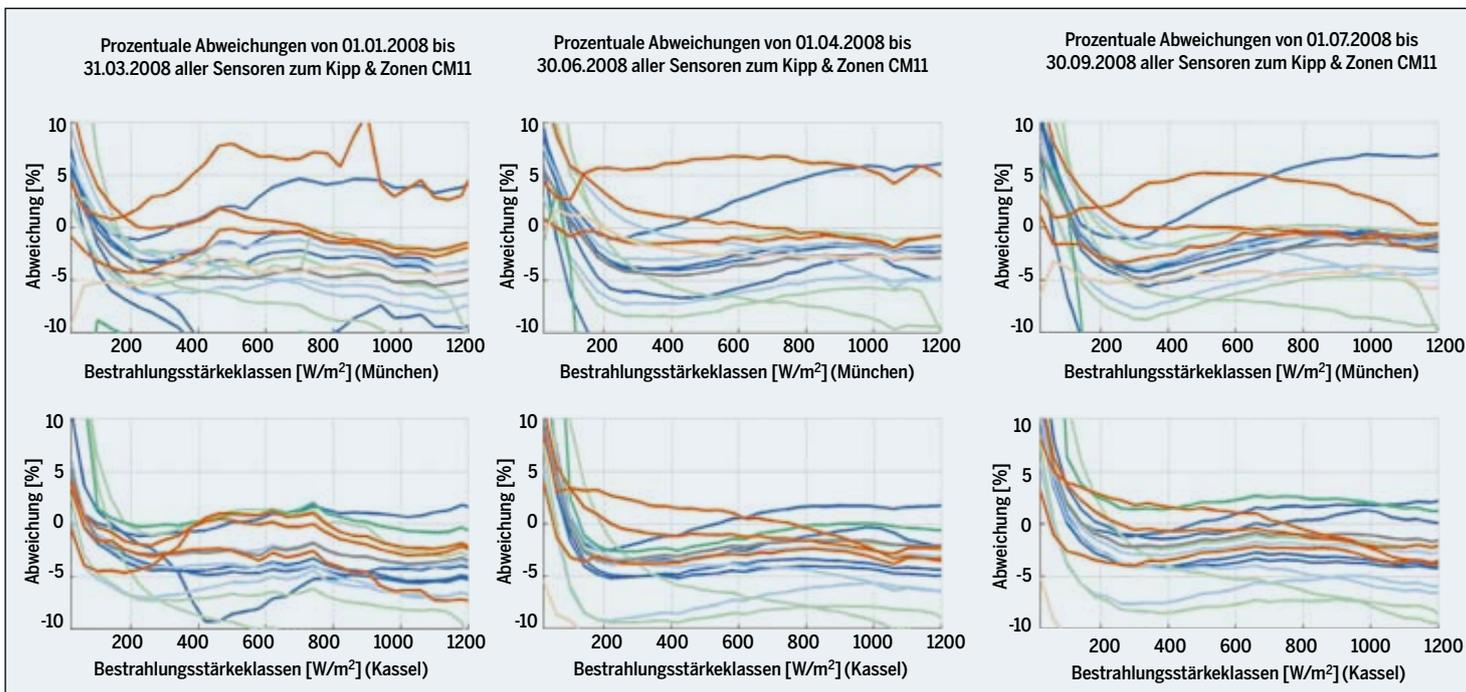


Abb. 8: Die Jahreswerte als Übersicht und Zusammenfassung der detaillierteren Darstellungen.



lich. Der größte Anteil der Sensoren zeigte ein konsistentes Betriebsverhalten an beiden Standorten. Aber auch hier waren Ausnahmen sichtbar. Ein Sensortyp fiel wegen zunehmender Probleme mit der Gehäusedichtigkeit komplett aus – nach wenigen Monaten und an beiden Testaufbauten.

Der Round Robin Test wird im Jahr 2009 fortgesetzt. Es gibt viele Ideen zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Testaufbaus. Weitere neue Sensoren sind unterdessen auf dem Markt verfügbar. Auch weitere Testaufbauten an neuen Standorten würden den Ergebnissen eine andere Gültigkeit und Bedeutung geben. Anhand der letzten Ergebnisse zeigt sich jedenfalls die Notwendigkeit der Untersuchungen von Einstrahlungssensoren. Denn diese Sensoren liefern Daten, die für PV-Systeme von grundlegender Bedeutung sind.

Mike Zehner, Peter Fritze, Christian Vodermayr

Die Autoren:

Mike Zehner leitet die Arbeitsgruppe des Labors für Solartechnik im Studiengang Regenerative Energien der Hochschule München und ist Geschäftsführer der Solarschmiede GmbH.

Peter Fritze ist Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe des Labors für Solartechnik im Studiengang Regenerative Energien der Hochschule München.

Christian Vodermayr leitet den Bereich Qualitätssicherung von PV-Anlagen der BEC-Engineering GmbH (unabhängiges Engineering und Qualitätssicherung von PV-Anlagen). In diesem Rahmen ist er für die Durchführung von Studien, (Mängel)gutachten und Produkttests verantwortlich.

Referenzen und Quellen

Ein Teil der Daten und der grafischen Darstellungen stammt vom Fraunhofer IWES in Kassel.

1. M. Zehner et al., „One Year Round Robin Testing of Irradiation Sensors - Measurement Results and Analyses“, 25th PVSEC, Hamburg (Germany), 2009
2. T. Glotzbach et al., „Round-Robin-Test of Irradiance Sensors“, 24th PVSEC, Valencia (Spain), 2008
3. T. Glotzbach et al., „Untersuchungen von Bestrahlungsstärke Sensoren“, 22. PV-Symposium, Staffelfstein (Germany), 2007
4. T. Glotzbach et al., „Round-Robin-Test mit Bestrahlungsstärke Sensoren“, 23. PV-Symposium, Staffelfstein (Germany), 2008
5. Fraunhofer IWES test-field in Kassel, www.pvtestlab.de
6. University of Applied Sciences Munich, Degree Program Renewable Energies - Work Group of the Solar Technology Lab, www-pv.ee.hm.edu/pvvis/index.php

Mit uns in eine nachhaltige, solare Zukunft.

Energie, die Spaß macht.

Qualität, die bleibt!



Die **SES 21 AG** steht im Markt für

- bewährte Produktqualität
- sorgfältig geplante PV-Systeme
- langfristige Sicherheit und Stabilität
- überdurchschnittliche Erträge
- konsequente Liefertermintreue

Deshalb erhalten Sie bei uns ausgewählte Produkte führender Hersteller wie **Schott Solar, renewis, Sharp** und **Photowatt**.

Auch bei allen anderen Komponenten legen wir höchsten Wert auf Qualität und Sicherheit.

Suchen Sie einen starken Systempartner?

Dann setzen Sie sich mit uns in Verbindung.

SES 21 AG

Ziegeleiweg 4 | 82398 Oderding

0881 90109-185 | info@ses-21.com

www.ses-21.com

Prozentuale Abweichungen von 01.10.2008 bis 31.12.2008 aller Sensoren zum Kipp & Zonen CM11

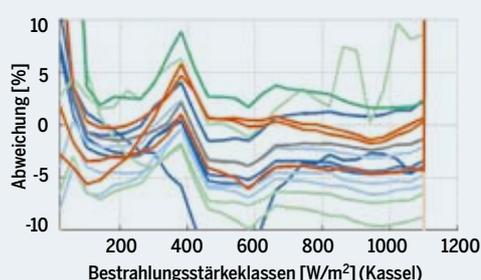
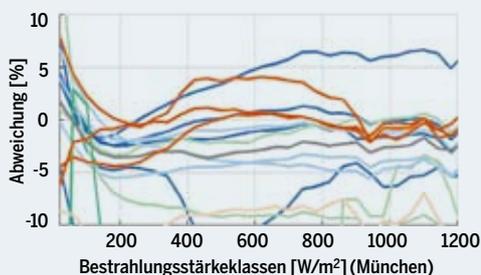


Abb. 9: Diese Diagramme für beide Messstationen zeigen die Abweichung der Sensoren zum Referenzsensor bei bestimmten Einstrahlungsstärken (Bestrahlungsstärkeklassen). Es wurden jeweils die Quartale des Jahres 2008 als Betrachtungszeitraum gewählt.