

# **Satellitengestützte Ertragsüberwachung mit automatischer Fehlererkennung für kleine und mittlere Photovoltaikanlagen**

G. Heilscher, M. Schneider, Meteocontrol GmbH, D- 86152 Augsburg  
J. Betcke, A. Drews, D. Heinemann, E. Lorenz, Universität Oldenburg, D- 26111 Oldenburg  
P. Toggweiler, Enecolo AG, Lindhofstrasse 52, CH- 8617 Mönchaltorf  
W. van Sark, Utrecht University, NL- 3584 CS Utrecht  
E. Wiemken, Fraunhofer-ISE, D- 79110 Freiburg  
H.G. Beyer, Hochschule Magdeburg-Stendal, D- 39114 Magdeburg

## **1 Einleitung**

---

Zielsetzung des EU Projekts PVSAT-2 ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Überwachung von Solaranlagen. Effektivität und Zuverlässigkeit von PV-Anlagen sollen damit gesteigert und somit ihre Wirtschaftlichkeit erhöht werden. Bereits im Vorläuferprojekt PVSAT [1][2] wurde ein Verfahren zur Berechnung des erwarteten Anlagenertrags auf Basis von Strahlungsdaten aus Satellitenbildern entwickelt. Es wird bereits kommerziell eingesetzt. Künftig wird das Verfahren durch Tools zur automatischen Fehlererkennung, verbesserte Algorithmen zur Strahlungsbestimmung, sowie die Integration einer direkten Kommunikationsmöglichkeit des PV-Systems mit dem PVSAT-Server ergänzt. Anlagenfehler werden so wesentlich schneller erkannt und ihre Ursache kann automatisch festgestellt werden. Die daraus entstehenden Möglichkeiten werden als professionelle Anwendung Betreibern von PV-Systemen zur Verfügung gestellt.

## **2 Das Projekt PVSAT-2**

---

Für die Entwicklung eines kostengünstigen Gesamtsystems zur Überwachung von Solarstromanlagen ist eine Anzahl unterschiedlicher Bausteine notwendig.

Die automatische Erfassung des Energieertrags auf Stundenbasis erfolgt durch eine neu entwickelte, kostengünstige Hardwarekomponente. Die real erzeugten Messwerte werden täglich via Internet an das PVSAT-2 System gesandt.

Die eingehende Solarstrahlung wird auf stündlicher Basis aus den Bilder des Satelliten METEOSAT-7 bestimmt und daraus die relevante Strahlung für ein PV-

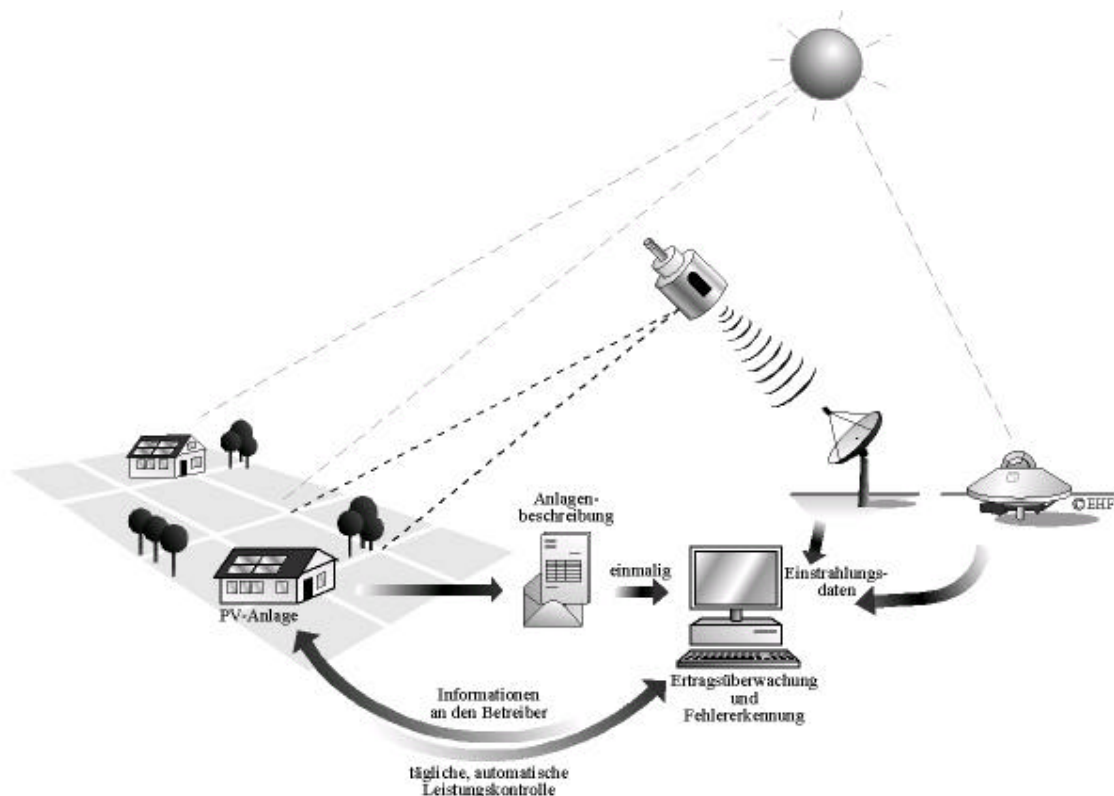
System mit der entsprechenden Ausrichtung und Neigung berechnet. Um die Genauigkeit der Einstrahlungsdaten zu erhöhen, werden diese mit Messwerten von Bodenstationen durch das geostatistische Interpolationsverfahren Verfahren „Kriging-der-Differenzen“ kombiniert.

Die Information aus den Strahlungsdaten wird zur Berechnung des individuellen Energieertrags der PV Anlage verwendet. Die dafür verwendete Simulation greift auf Angaben des PV-Anlagenbetreibers zurück: Ausrichtung, Neigung, Verschaltung der Module, Typ des Wechselrichters und mögliche Verschattungen.

Zur Erkennung von Fehlfunktionen wird ein `Footprint`-Verfahren entwickelt, in dem neben gemessenem und simuliertem Anlagenenertrag auch historische Daten, typische Fehlermuster und Qualitätsinformationen zum berechneten Ertrag eingehen.

Dieser „Performance check“ wird täglich durchgeführt. Im Fall eines Minderertrags wird die Fehlerursache möglichst genau definiert. Die Information wird dann dem Betreiber oder Installateur der Anlage zugestellt (vgl. **Abbildung 1**).

Die verschiedenen Komponenten des Verfahrens werden in einem datenbankgestützten Informationssystem (Safer'Sun)[3] zusammengeführt.



**Abbildung 1:** Übersichtgraphik zur allgemeinen Struktur von PVSAT-2

### **3 Die erzielten Ergebnisse**

---

#### **3.1 Entwicklung eines Überwachungssystems**

Das Monitoringsystem muss für die Anwendung in PVSAT-2 verschiedenen Anforderungen genügen. Um jedoch die Erwartungen der Kunden genauer zu treffen, wurde vor der Spezifikation der Hardware eine umfangreiche Marktbefragung durchgeführt. Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Befragung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 94% der Befragten halten ein Monitoringsystem für notwendig!
- 52% wünschen sich eine vollautomatisch funktionierende Fehlererkennung.

Zusätzliche Beweggründe für ein Monitoringsystem sind:

- Informationen über den aktuellen und historischen Anlagenenertrag: 79%
- Daten zur eigenen Auswertung: 55%
- Informationen zur solaren Einstrahlung des eigenen Standorts: 51%
- Kontrolle über die Refinanzierung der Anlage: 53%

Die Anschaffungskosten für die Hardware muss zwischen 100 € und 500 € liegen, dafür werden Servicekosten von 5 € pro Monat akzeptiert.

Aufbauend auf dieser Spezifikation wurde eine umfangreiche Marktuntersuchung durchgeführt mit der Zielsetzung, ein bereits verfügbares Produkt auf die Anforderungen von PVSAT-2 und möglichen Kunden anzupassen. Die Analyse konzentrierte sich auf zwei Marktsegmente: Produkte aus der Zählerfernauslesung der Energieversorger und Produkte aus der IT-Branche auf Basis von „mini-web-servern“. Es wurde ein Produkt für den Einsatz in PVSAT-2 ausgewählt, welches durch zusätzliche Entwicklungen auf die genauen Anforderungen des Projektes angepasst wird.

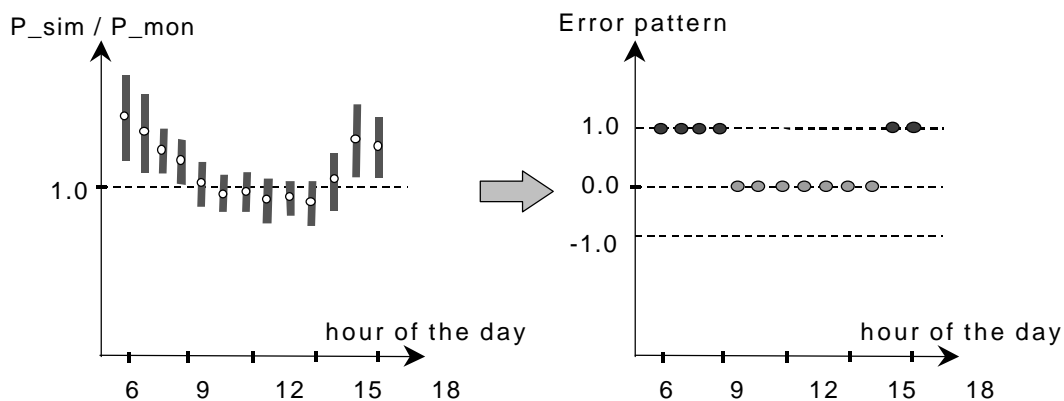
Der erste Prototyp wird bereits Anfang 2004 zur Verfügung stehen, es folgt dann ein umfangreicher Feldtest des Systems.

#### **3.2 Entwicklung des Fehlererkennungs-Systems**

Die Zielsetzung des ‚Footprint‘-Verfahrens ist die frühzeitige Erkennung zu geringer Anlagenenerträge infolge von Anlagenstörungen, vom Datenblatt stark abweichendem

Komponentenverhalten oder auch infolge äußerer Einwirkungen, z.B. starker Abschattungen. Wenn möglich, soll das Verfahren Angaben zur Ursache des Minderertrags liefern. Als Eingangssignale werden Stundenwerte der Einstrahlung aus Satellitendaten sowie der gemessenen und erwarteten (berechneten) Anlagenerträge verwendet.

Durch die Verwendung der Satelliten - Strahlungsdaten in der Berechnung der erwarteten Anlagenerträge können die Stundenwerte hohe Standardabweichungen aufweisen. Eine spezielle Sortierung der Daten ist daher zur Fehlererkennung notwendig: Es findet eine Mittelwertbildung der normierten berechneten Anlagenerträge in Intervallklassen der normierten gemessenen Leistung und über den Tagesverlauf der Stundenintervalle statt. Für beide Intervallbereiche wird die Analyse täglich für den vergangenen Tag, für die vergangenen 7 Tage und für einen größeren Zeitraum, z.B. für die vergangenen 30 Tage durchgeführt. In diesen Darstellungen kristallisieren sich Anlagenmindererträge heraus, die mit vordefinierten Mustern bestimmter Anlagenbeeinträchtigungen verglichen werden und Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Fehler liefern. Entscheidungen über eine Fehlfunktion werden daher auf Basis von stabilen Intervallmittelwerten vorgenommen. Das Verfahren ist derzeit in Entwicklung.



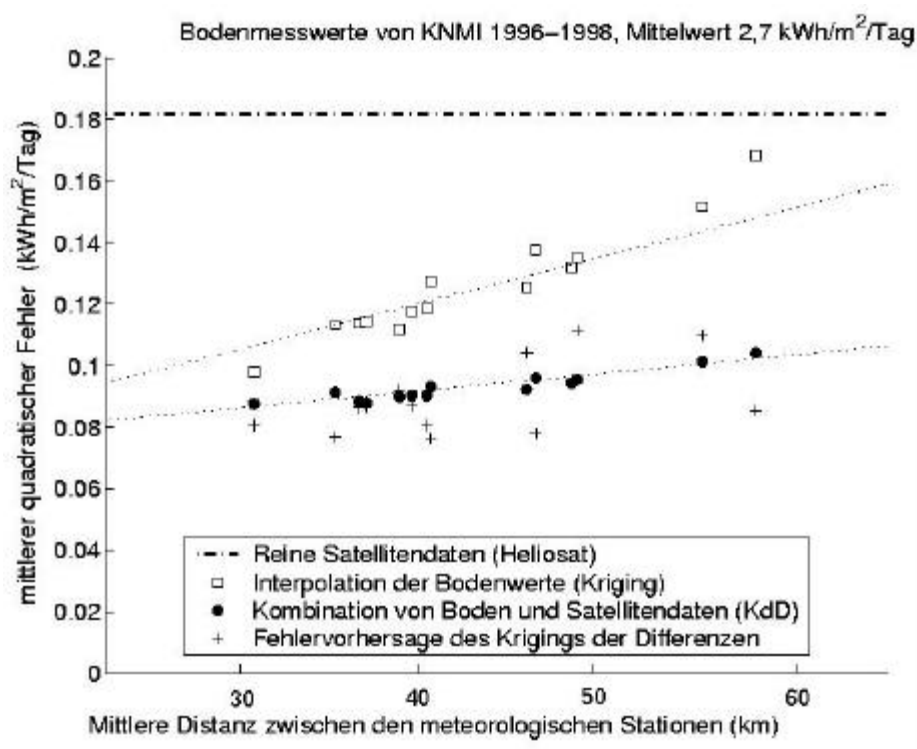
**Abbildung 2:** Aus Intervallmittelwerten über mehrtägige Mittelungszeiträume wird aus den normierten erwarteten Anlagenleistungen ( $P_{sim} / P_{mon}$  = berechnete Leistung bezogen auf die gemessene Leistung, hier dargestellt mit Fehlerbalken) ein Fehlermuster extrahiert, dass mit vordefinierten Mustern verglichen wird. Daraus lassen sich Wahrscheinlichkeiten für die Ursachen der Anlagenbeeinträchtigung ermitteln. Diese Analyse wird über den Tagesverlauf (Zeitintervalle) und über Leistungsintervalle durchgeführt.

### **3.3 Qualitätsverbesserung der Einstrahlungswerte durch Kombination von Boden- und Satellitendaten mit Kriging**

Für die optimale Funktion der Footprint-Methode bei der Fehlererkennung ist es notwendig, dass der auf Einstrahlungswerten aus Satellitendaten basierende simulierte Ertrag einer PV-Anlage, möglichst genau ist bzw. die Genauigkeit dieser Daten bekannt ist.

Bezüglich der Einstrahlung werden die Qualitätsinformationen nach verschiedenen meteorologischen Situationen unterschieden, da diese mit der Genauigkeit der hier angewendeten Heliosat-Methode [4][5] zur Berechnung der solaren Einstrahlung zusammenhängen. Die Genauigkeit der Heliosat-Methode hängt von der räumlichen Variabilität in den Satellitenbildern und vom Stand der Sonne ab. Bei hoher solarer Einstrahlung (clear sky) und einem Sonnenstand größer  $20^\circ$  ist der Fehler bei Stundenwerten kleiner als 10%. Bei geringeren Sonnenständen und hoher räumlicher Variabilität kann der Fehler bis zu 40% betragen.

Zur Verbesserung der Genauigkeit wird die aus Meteosat-7 Bildern berechnete Einstrahlung mit Bodenmessungen der Wetterdienste kombiniert. Angewandt wird das statistische Verfahren „Kriging-der-Differenzen“ (KdD). Diese Methode hat den Vorteil, dass sie eine Vorhersage ihrer eigenen Genauigkeit macht. Abbildung 4 zeigt erste Ergebnisse eines Test der KdD-Methode durch Kreuzvalidierung monatlicher Einstrahlungswerte für verschiedene Bodenmessnetzichten. Auf der x-Achse ist die mittlere Distanz zwischen den Bodenstationen aufgetragen. Die y-Achse zeigt die monatliche mittlere quadratische Abweichung (rmse). Die durch die Interpolation erreichte Genauigkeit ist in einem dichten Messnetz höher als die Genauigkeit der Heliosat-Methode. Sie nimmt jedoch schnell ab je weiter die Bodenstationen voneinander entfernt liegen. Bei einer mittleren Distanz von etwa 75km entspricht die Genauigkeit der Heliosat-Methode der Genauigkeit der interpolierten Bodenmessungen. Die KdD-Methode zeigt für alle Messnetzichten die möglichen Verbesserungen verglichen mit zwei weiteren Methoden. Die gezeigte Abbildung verdeutlicht das der erwartete Fehler mit dem realen Fehler dieser Methode übereinstimmt.



**Abbildung 3:** Vergleich des rmse drei verschiedener Methoden zu Bestimmung von Einstrahlungswerten bei zunehmender Distanz zwischen den Messstationen. Bodenmesswerte aus dem Netzwerk des KNMI Niederlande.

## 4 Zusammenfassung

Das PVSAT-2 Projekt [6] bietet die Möglichkeit, bereits erarbeitete Verfahren und Erfahrungen zu einem professionellen System weiterzuentwickeln, welches langfristig zu einem zuverlässigen und wirtschaftlichen Anlagenbetrieb beiträgt.

*Dieses Projekt wird bis Oktober 2005 von der EU unter der Projektnummer ENK5-CT-2002-00631 gefördert.*

### Literatur:

- [1] C. Reise, E. Wiemken, P. Toggweiler, V. van Dijk, D. Heinemann und H.G. Beyer (2000): Remote Performance Check for Grid Connected PV Systems Using Satellite Data. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 1.-5. Mai 2000, Glasgow, S. 2618-2621
- [2] J. Betcke, V. van Dijk, C. Reise, E. Wiemken, P. Toggweiler, C. Hoyer, D. Heinemann, H. Dufer, F. Wiezer, H.G. Beyer (2001): PVSAT: Remote Performance Check for Grid Connected PV Systems Using Satellite Data. Evaluation of one Year Field-Testing. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference*, München, 22.-26. Oktober 2001
- [3] <http://www.meteocontrol.de> (vgl. Safer'Sun)
- [4] A. Hammer, D. Heinemann und A. Westerhellweg (1998): Derivation of Daylight and Solar Irradiance Data from Satellite Observations. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, Paris, 25.-29. Mai 1998, S. 747-750
- [5] A. Hammer (2000): Anwendungsspezifische Solarstrahlungsinformationen aus Meteosat-Daten. Dissertation, Fachbereich Physik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- [6] <http://www.pvsat.de>

# **Satellitengestützte Ertragsüberwachung mit automatischer Fehlererkennung für kleine und mittlere Photovoltaikanlagen**

G. Heilscher, M. Schneider, Meteocontrol GmbH, D - 86152 Augsburg  
J. Betcke, A. Drews, D. Heinemann, E. Lorenz, Universität Oldenburg, D -26111 Oldenburg  
P. Toggweiler, Enecolo AG; Lindhofstrasse 52; CH - 8617 Mönchaltorf  
W. van Sark, Utrecht University, NL - 3584 CS Utrecht  
E. Wiemken, Fraunhofer-ISE; D-79110 Freiburg

## **Abstract**

Early detection of faults in grid connected PV systems increases efficiency, reliability and cost-effectiveness. However, due to the variability of solar irradiation and therefore of the energy yield system faults are difficult to detect.

In the PVSAT-2 project the performance check procedure will be further improved:

- A central knowledge-bases decision making system will analyse the performance
- A low cost hardware device will be integrated into the PV system for automated measurements and two-way communication
- The accuracy of the irradiance bases on satellite data will be further improved.
- The calculation scheme for the behaviour of modules and MPP-tracking will be further improved.

These actions will improve the accuracy, speed of error detection and the userfriendliness of the procedure. Furthermore the two-way communication structure provides a basis for a variety of future management and control activities, for e.g. utilities. The procedure will be validated in one year field test on PV systems in Germany, the Netherlands and Switzerland.

Additional information can be found on <http://www.pvsat.com>