

# **Solarstrahlungskarten und Erträge von PV-Anlagen: Ergebnisvergleich in Sachsen**

A. Drews<sup>1</sup>, U. Rindelhardt<sup>2</sup>, D. Heinemann<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Energie- und Halbleiterforschung

<sup>2</sup>Forschungszentrum Rossendorf, PF 510119, 01314 Dresden

Tel.: +49-441-798-3543 Fax: +49-441-798-3326

detlev.heinemann@uni-oldenburg.de

## **Einleitung**

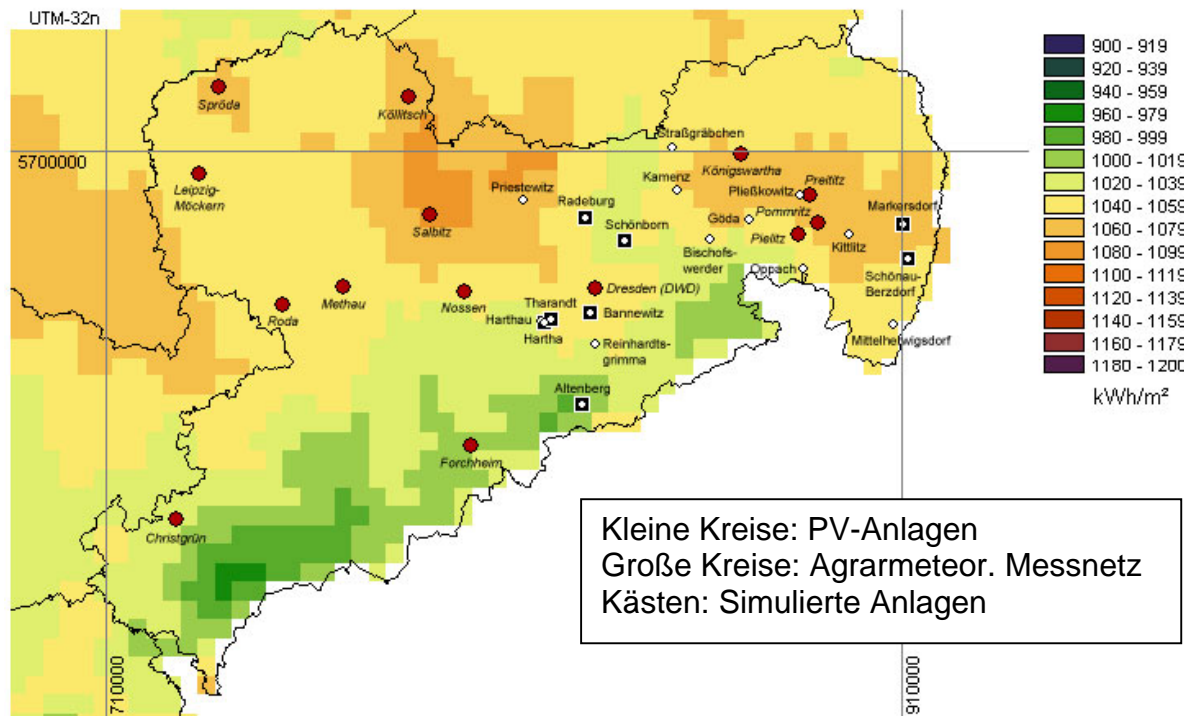
Die Betreiber von kleineren PV-Anlagen sind zur Überwachung der korrekten Funktion ihrer Anlage auf den Vergleich mit externen Strahlungsdaten angewiesen. Dazu werden von verschiedenen Anbietern z.B. monatliche Überprüfungen der Erträge unter Berücksichtigung der meist aus Satellitendaten bestimmten lokalen Globalstrahlung und der konkreten Anlagenkonfiguration vorgeschlagen. Andererseits werden auch monatliche bzw. jährliche Einstrahlungskarten veröffentlicht, die es jedem Anlagenbetreiber grundsätzlich ermöglichen eigene Einschätzungen der erzielten Erträge vorzunehmen. Beide Verfahren wurden anhand ausgewählter Anlagen für das Jahr 2004 in Sachsen überprüft.

## **Einstrahlungsdaten**

Der DWD-Solarstrahlungsatlas basiert auf den Globalstrahlungsmessungen von fast 40 über Deutschland verteilten Stationen, sowie von ca. 200 Messstationen an denen die Sonnenscheindauer aufgezeichnet wird. Da diese Messungen nicht flächendeckend sind, werden sie mit aus Satellitendaten abgeleiteten Globalstrahlungsinformation kombiniert [1]. Diese Karte hat eine räumliche Auflösung von 1x1 km.

Eine zweite Einstrahlungskarte (Bild 1) wurde an der Universität Oldenburg ausschließlich aus Bildern des meteorologischen Satelliten Meteosat-7 mit einer für Deutschland angepassten Version der Heliosat-1 Methode [2] abgeleitet. Die räumliche Auflösung der Karte beträgt ca. 5 x 5 km. Zusätzlich standen in Sachsen für die Validierung der Satellitendaten die Strahlungsmesswerte von 13 Stationen des agrarmeteorologischen Messnetzes [3] zur Verfügung.

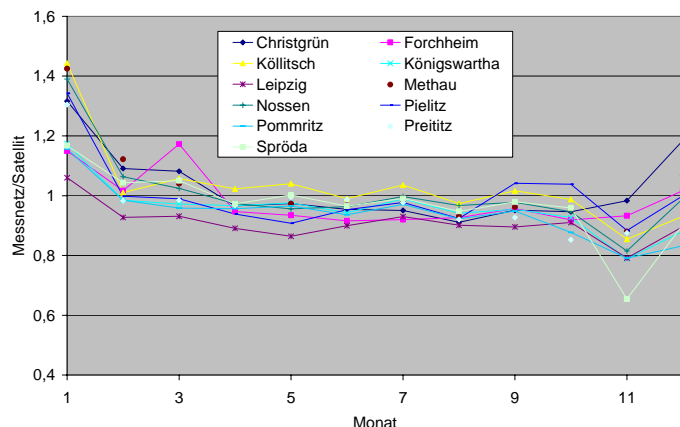
Der visuelle Vergleich der Strahlungskarten der Universität Oldenburg (Bild 1) und der des DWD für Ostsachsen zeigt, dass die ausschließlich aus Satellitendaten bestimmten Einstrahlungswerte eine Klasse, stellenweise sogar zwei Klassen, niedriger liegen als bei der DWD-Karte.



**Bild 1:** Jahressumme der Einstrahlung aus Meteosat-7 Daten (Jahr 2004).

Der Grund für diese Unterschätzung liegt darin, dass in der Heliosat-1 Methode die Trübung der Atmosphäre durch atmosphärische Spurenstoffe und Aerosole und Effekte der Bewölkung nicht perfekt berücksichtigt werden. Bodendaten können diese Effekte ausgleichen.

Die regionalen Einstrahlungsmuster auf beiden Karten weichen stellenweise wenig von einander ab, andernorts ist das Einstrahlungsmuster grundverschieden. So ergibt sich z.B. für den Bereich nahe der polnischen Grenze auf der Karte des DWD nur eine Einstrahlungsklasse. Auf der Oldenburger Karte werden für diesen Bereich zwei Klassen angegeben. Die Einstrahlungswerte liegen aber sehr nah bei einander. Die Abstufung von Einstrahlungsregionen im Vorland des Erzgebirges sowie im Erzgebirge stimmt grundsätzlich gut überein. Die Gebiete treten auf der DWD-Karte jedoch zusammenhängender auf, während die Oldenburger Karte hier große Inseln zeigt. Die Unterschiede sind bedingt durch die Einführung von Bodenmessungen, sowie die Unterschiede in der verwendeten Methode zur Ableitung der Strahlung der Satellitendaten und der unterschiedlichen räumliche Auflösung der Karten.



**Bild 2:** Vergleich von Einstrahlungsdaten

Um die Qualität der aus Satellitendaten abgeleiteten Einstrahlung zu prüfen wurden die Monatssummen für das Jahr 2004 mit einer Messstation des DWD sowie mit 13 Stationen des in Sachsen bestehenden agrarmeteorologischen Messnetzes verglichen. Bild 2 zeigt das Ver-

hältnis zwischen der am Boden gemessenen und der aus Satellitendaten bestimmten Globalstrahlung. Die Übereinstimmung in den Monaten von Februar bis Oktober ist sehr gut. In den Wintermonaten November bis Januar bedingen veränderte Bewölkungsverhältnisse (Zunahme) und Schnee eine Unterschätzung der Strahlung.

### Ertragskontrolle mit Hilfe des Kartenmaterials

Für die Untersuchung wurden aus über 200 PV-Anlagen in Ost-Sachsen die 20 Anlagen (vgl. Bild 1) mit den höchsten Jahreserträgen in 2004 ausgewählt. Dieses Auswahlprinzip garantierte, dass nur verschattungsfreie Anlagen mit optimaler Ausrichtung sowie in technisch einwandfreien Zustand einbezogen wurden. Die Erträge der Anlagen lagen zwischen 870 und 970 kWh/kW. Für die nach DWD-Karte der Region mit einer Einstrahlung von 1070 kWh/m<sup>2</sup> zuzuordnenden Anlagen ergab sich ein mittlerer Ertrag von 920 kWh/kW, für die Anlagen in der nächst höheren Einstrahlungsklasse (1090 kWh/m<sup>2</sup>) lag der Ertrag bei 936 kWh/kW. In beiden Regionen zeigten allerdings einzelne Anlagen auch Erträge, die der jeweils anderen Region zuzuordnen waren. Nach der Oldenburger Karte ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Anlagen in den hier niedrigeren Einstrahlungsklassen (jeweils 940 kWh/kW). Nach beiden Karten konnte die hohen Erträge einer Anlage im oberen Erzgebirge (Altenberg) nicht erklärt werden.

### Simulation ausgewählter Anlagen

Für die Simulation ausgewählter Anlagen wurde das in dem EU Projekt PVSAT-2 entwickelte Simulationsmodell genutzt. Für die Bestimmung der DC-Leistung eines PV-Generators wurde ein einfaches parametrisches Modell für den Wirkungsgrad im MPP entwickelt, welches für kristallines und amorphes Silizium geeignet ist [4].

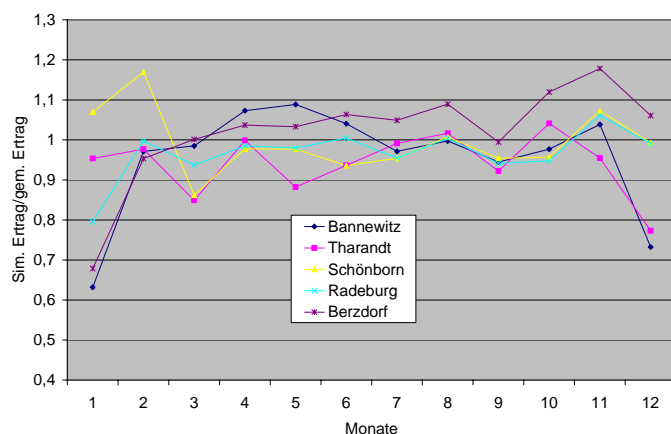
Pauschal wurden Leistungsverluste von 7% für Verkabelung, Verschmutzung und mismatch angenommen.

Die Simulation wurde für 8 Anlagen, für die auch die monatlichen Erträge vorlagen, durchgeführt. In allen Anlagen kamen Wechselrichter des Typs Sonny Boy zum Einsatz, während die Module von verschiedenen Herstellern stammten (Tabelle 1).

**Tabelle 1: PV-Anlagen und Mess- und Simulationsergebnisse**

Ort	Modultyp	Leistung [kW]	Ertrag 2004 [kWh/kW]	Einstrahlung [kWh/m <sup>2</sup> ]	Sim. Ertrag [kWh/kW]
Altenberg	SW 155	2,5	902	1081	778
Radeburg	EP 100-72	6,6	947	1131	920
Markersdorf	ASE-GT-100	5	918	1140	927
Bannewitz	BP 5170 U	1	901	1126	888
Hartha	SW 155	14,9	895	1124	786
Tharandt	IBC 220	3,1	915	1121	869
Schönborn	SW 175	2,1	864	1075	835
Berzdorf	BP 5170	20,4	882	1123	916

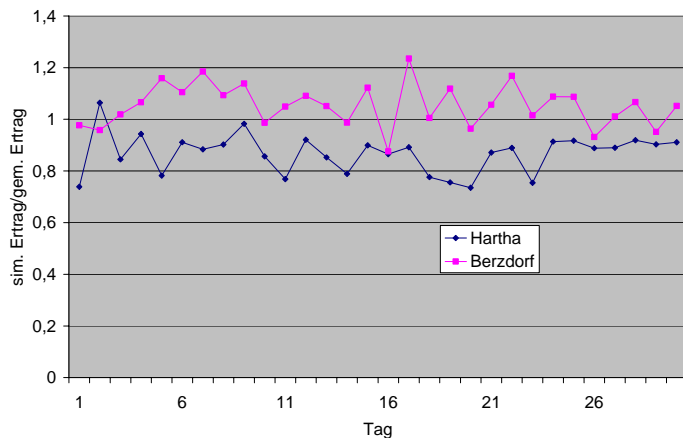
Bis auf die Anlagen in Altenberg und Hartha ergaben die Simulationen eine akzeptable Übereinstimmung (d.h. < 5 %) der Jahreserträge mit den gemessenen Werten (Tab. 1). Die Ursachen für die größeren Abweichungen der beiden genannten Anlagen sind noch aufzuklären.



**Bild 3:** Vergleich der monatlichen Ertragsdaten

In Bild 3 sind die Abweichungen der simulierten monatlichen Erträge von den Messwerten dargestellt. Es wird sichtbar, dass in den Monaten Januar und Dezember eine systematische Unterschätzung der Erträge erfolgt. Dies ist offensichtlich auf die schwierige Unterscheidung von schneebedeckten Flächen mit

Wolken zurückzuführen. Für die Monate Februar bis November sind keine systematischen Abweichungen feststellbar. Die im Jahresverlauf zunehmende Überschätzung des simulierten Ertrages der Anlage Berzdorf deutet auf eine systematische Ertragsminderung der Anlage hin.



**Bild 4:** Vergleich der täglichen Ertragsdaten im Juni

In Bild 4 sind für die Anlagen Hartha und Berzdorf die simulierten Tageserträge im Monat Juni mit den gemessenen Tageserträgen verglichen. Abgesehen von der auch in dieser Darstellung sichtbar werdenden mittleren Unterschätzung (Hartha) bzw. Überschätzung (Berzdorf) der Erträge liegen

die Abweichungen an den einzelnen Tagen meist deutlich unter 5 %. Die maximal auftretenden Abweichungen liegen bei 15 %.

Mit den berechneten Einstrahlungen in Modulebene (siehe Tab. 1) können auch die "performance ratio"-Werte der Anlagen ermittelt werden. Mit den gemessenen Erträgen ergeben sich Werte zwischen 78 % (Berzdorf) und 83 % (Radeburg), mit den simulierten Erträgen liegen die Werte zwischen 77,5 % und 81,3 %.

### Schlussfolgerungen

Die Verwendung von jährlichen Einstrahlungskarten zur Ertragskontrolle von einzelnen PV-Anlagen scheint nicht ohne weiteres möglich. Verbesserungen sind denkbar, wenn die Vergleiche über mehrere Jahre durchgeführt werden. Zuverlässigere Resultate sind mittels der Simulation der Anlagen unter Nutzung satellitenbasierter Einstrahlungsdaten erreichbar.

### Literatur

- [1] DWD (2005), Globalstrahlungskarten des Deutschen Wetterdienstes, URL:<http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/KlimaUmwelt/Leistungen/Klimakarten/Globalstrahlung/Globalstrahlung1.htm> (Stand: 03.01.2006).
- [2] Hammer, A., Heinemann, D., Hoyer, C., Kuhlemann, R., Lorenz, E., Mueller, R.W., Beyer, H.G. (2003), Remote Sensing of the Environment 86, S. 423-432.
- [3] <http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/IfI/Wetter3/index.html>
- [4] Beyer, H.G., Heilscher, G., Bofinger, S. (2004), EUROSUN2004, Freiburg, Germany, 20.6.-23.6.2004.

## Summary

Most operators of small PV plants (PVP) need a comparison with external irradiance data to monitor the correct function of their plant. The most used procedures are comparisons with annual irradiance maps (provided in Germany by the Deutscher Wetterdienst - DWD) or the monthly simulation of the PVP based on local irradiance data calculated from satellite data. Both methods were tested using selected PVP in Saxony (well designed, with optimal orientation) for the year 2004.

Two annual irradiance maps were used. The DWD map is based on data of more than 200 terrestrial stations and their combination with satellite data. The Oldenburg map (Fig. 1) is based on satellite data only. Ground data of 13 stations of the "agriculture" meteorological network (AMS) in Saxony were additionally available.

Both maps show in general a similar irradiance distribution. Nevertheless, the absolute irradiance values differ systematically in many regions up to 20 to 30 kWh/m<sup>2</sup>. This underestimation of the Oldenburg map can be caused by not sufficient consideration of aerosol and clouding effects. But the comparison of the Oldenburg map with the AMS data indicates a small underestimation (Fig. 2).

A connection between the local irradiation data from the maps and the energy produced by the PVP could not properly be verified for the investigated PVP. Beside examples with good agreement between irradiation data and PV energy also the opposite behaviour was found.

Simulations of 8 selected PVP were performed using the PVSAT-2 model and the Oldenburg irradiation map. In table 1 the relevant data and results are shown. The simulation results agreed well (i.e. < 5%) with the measured results. Only in two cases greater differences were found (PVP Hartha and Altenberg). The monthly ratio of simulated and measured energy is shown in Fig. 3. No systematic deviation is visible in the months February to November. Only in the winter months January and December a tendency for underestimation is visible. This well known effect is caused by the difficulty in the irradiance estimation to treat clouds and to distinguish snowy areas at sunny days from clouds.

For two PVP also daily measuring results were available. In Fig. 4 a comparison between daily simulated and measured results in June 2004 is depicted. The deviations are mostly smaller than 5 %, a maximal deviation of 15 % was found.