

Diffuse Verhältnisse bei der Einstrahlung? Über die Eingangsdaten von Ertragsprognosen

Björn Müller¹, Christian Reise¹, Guadalupe Asensio Seco¹, Elke Lorenz²

¹Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

Tel: 0761/45 88 5707, Fax: 0761/45 88 9707

E-Mail: bjoern.mueller@ise.fraunhofer.de

² Institut für Physik, Universität Oldenburg,

Carl von Ossietzky Strasse 9–11,

26129 Oldenburg

1. Einleitung

Ertragsprognosen stellen einen unverzichtbaren Bestandteil der Realisierung größerer PV-Anlagen dar. Die bei der Prognose auftretenden Unsicherheiten sind für eine Risikobeurteilung bei der Finanzierung der geplanten Anlagen von großer Bedeutung. Neue Veröffentlichungen zum Thema zeigen, dass die systemtechnische Simulation der Anlagen-Komponenten und ihres Zusammenwirkens gut verstanden ist [1] [2]. Dagegen tragen die Eingangsdaten der solaren Einstrahlung den größten Teil zur Unsicherheit einer Ertragsprognose bei. Unser Beitrag zeigt, wie stark sich die Auswahl der Eingangsdaten auf den berechneten Anlagenertrag auswirken kann. Hierzu vergleichen wir, jeweils für Deutschland und für Spanien, zunächst verschiedene Datenquellen bezüglich der jährlichen Globalstrahlungssummen sowie des Anteils der Direkt- bzw. Diffusstrahlung. Auf dieser Basis untersuchen wir die Auswirkungen der Datensatzwahl auf die prognostizierten Strahlungsgewinne durch Aufständigung und Nachführung.

2. Untersuchte Standorte und Datenquellen

Die gewählten Standorte entsprechen für Deutschland den Repräsentanzstationen der Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes, für Spanien acht Messstationen des spanischen Wetterdienstes INM, für die langjährige Daten zur direkten und diffusen Strahlung vorliegen (Abbildung 1).

Tabelle 1 nennt die verwendeten Datenquellen sowie die diesen Quellen zugrunde liegenden Zeiträume. Die Werte der deutschen Testreferenzjahre und der Messungen des spanischen Wetterdienstes sind in den Abbildungen 2 bis 4 zum Vergleich dargestellt. Da diese Werte nicht für beliebige Standorte zur Verfügung stehen, wur-

den sie in die numerischen Auswertungen (z.B. bei den Standardabweichungen für die einzelnen Standorte) nicht mit einbezogen.

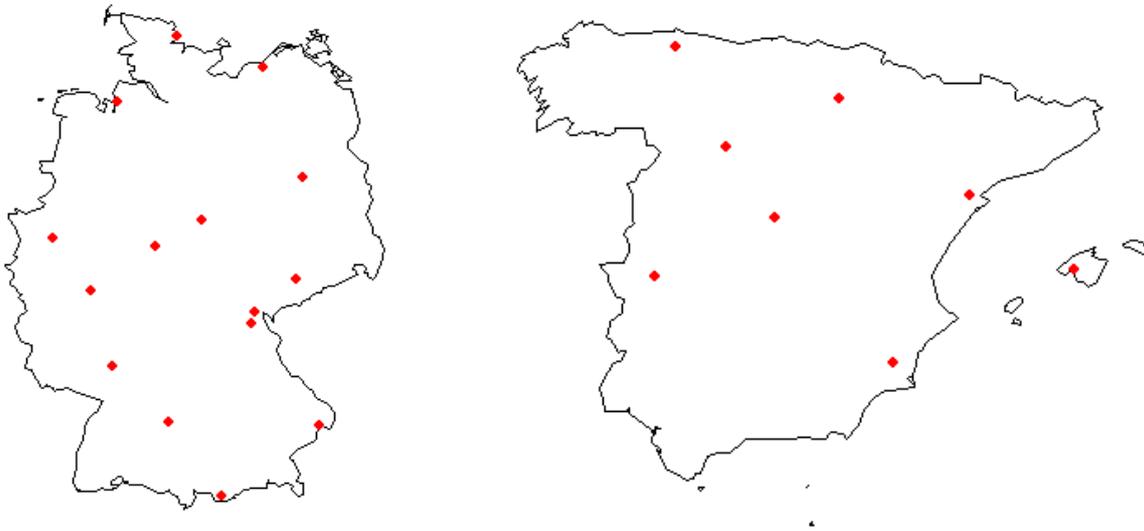


Abbildung 1: Lage der betrachteten Standorte in Deutschland und Spanien.

Datenquelle	Zeitraum	Quelle / Bezug
Testreferenzjahre Deutschland	1961–1990	www.dwd.de [3]
INM Jahrbücher	1971–2003	www.inm.es [4]
SatellLight	1996–2000	www.satellight.com
Meteonorm 6	1981–2000	www.meteonorm.com
PVGIS	1981–1990	http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis
Universität Oldenburg	1995–2005	www.energiemeteorologie.de
European Solar Radiation Atlas	1981–1990	www.ensmp.fr [5]

Tabelle 1: Untersuchte Datenquellen und zugrunde liegende Zeiträume. Die Mittelwerte des INM entstammen verschiedenen langen Zeitreihen von 12 bis 32 Jahren. Die Datenbasis von PVGIS ist mit der des Europäischen Solarstrahlungsatlas (ESRA) identisch.

3. Jährliche Globalstrahlung

Bereits aus den unterschiedlichen Zeiträumen ergeben sich Abweichungen vom langjährigen Mittel bei der Globalstrahlungssumme. Die maximale Abweichung selbst einer 20-Jahres-Globalstrahlungssumme vom „wirklich langjährigen“ Mittelwert bewegt sich im Bereich von $\pm 3\%$ [6]. Zukünftige Klimaänderungen ergeben eine weitere nach derzeitigem Kenntnisstand nicht abschätzbare Unsicherheit.

Abbildung 2 zeigt die jährlichen Globalstrahlungssummen für alle untersuchten Standorte und Datenquellen. Die auffällig hohen Werte der Universität Oldenburg für Deutschland sind dabei zum Teil auf den zugrunde liegenden Zeitraum zurückzuführen (siehe Tabelle 1), der neben weiteren Jahren mit überdurchschnittlicher Einstrahlung das Ausnahmejahr 2003 enthält.

Die Standardabweichung über die untersuchten Datenquellen pro Standort liegt für Deutschland zwischen 1,3% (Standort 1: Rostock) und 5,1% (Standort 10: Fichtelberg). Im Mittel über alle Standorte beträgt sie 2,8%. Die Spannweite der Abweichungen vom Mittelwert je Standort beträgt durchschnittlich 7,1%.

Für Spanien liegt die Standardabweichung zwischen 1,4% (Standort 2: Logrono) und 3,7% (Standort 8: Murcia). Der Mittelwert beträgt 2,9%. Die durchschnittliche Spannweite beträgt 7,3%.

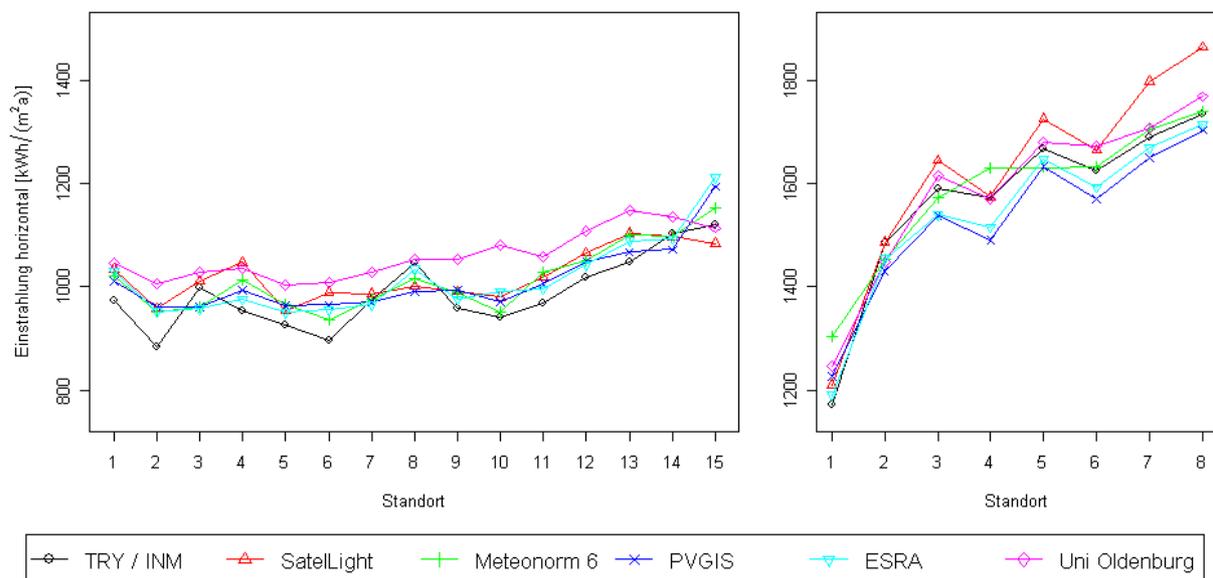


Abbildung 2: Langjährige Mittelwerte von jährlichen Globalstrahlungssummen verschiedener Datenquellen für Deutschland (links) und Spanien (rechts). Die Standorte sind nach Breitengrad absteigend geordnet.

4. Direkt oder diffus?

Neben der horizontalen Globalstrahlungssumme spielt das Verhältnis von direkter und diffuser Strahlung eine wichtige Rolle bei der Berechnung der Einstrahlung auf die Modulebene. Abbildung 3 zeigt die Diffusanteile der untersuchten Standorte und Datenquellen. Deutlich zu erkennen ist der höhere Anteil an diffuser Strahlung in Deutschland. Der mittlere Diffusanteil über alle Datenquellen und Standorte liegt hier bei 55% gegenüber 39% in Spanien. Der Diffusanteil sinkt jeweils mit abnehmender geografischer Breite.

Die durchschnittliche Standardabweichung liegt bei 2,8 Prozentpunkten für Deutschland und bei 3,3 Prozentpunkten in Spanien; die mittlere Spannweite liegt bei 6,7 Prozentpunkten (Deutschland) bzw. 7,5 Prozentpunkten (Spanien).

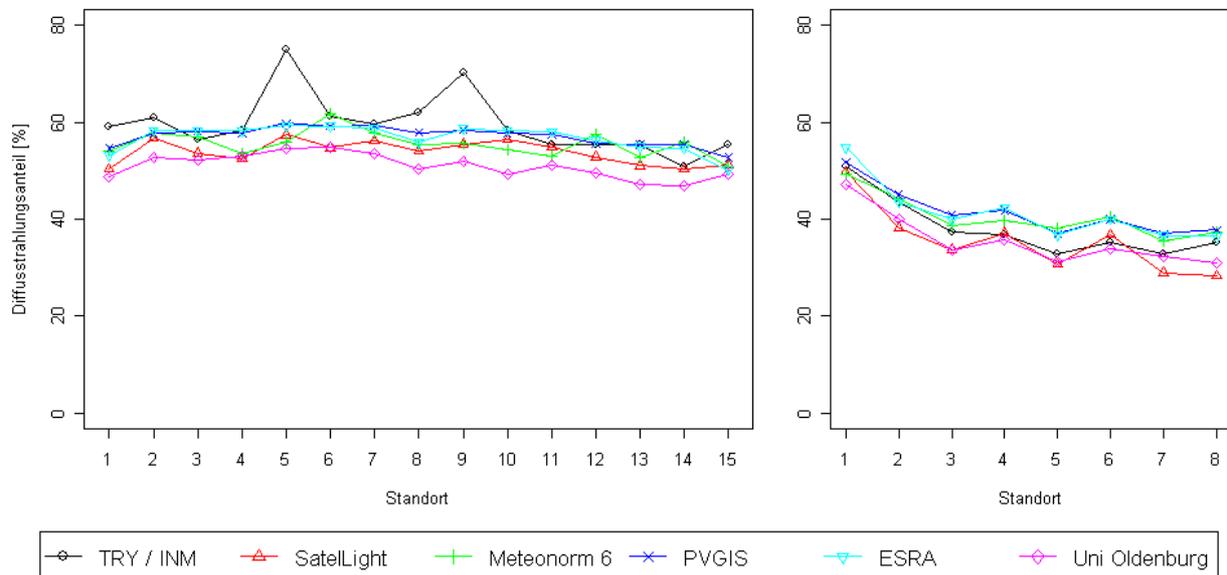


Abbildung 3: Diffusstrahlungsanteile der Datenquellen für Deutschland und Spanien. Für 2 Standorte (Bad Marienberg und Braunlage) nennen die Testreferenzjahre erstaunlich hohe Diffusanteile. Allerdings basieren die Diffuswerte für diese beiden TRJ-Regionen nicht auf Messwerten.

5. Zugewinn durch Aufständering und Nachführung

Um den Einfluss der Anteile an direkter und diffuser Strahlung auf die Einstrahlung auf die geneigte bzw. nachgeführte Fläche zu berechnen, wurde eine SatelLight-Zeitreihe für den jeweiligen Standort auf die direkte und diffuse Strahlung der untersuchten Datenquellen normiert. Die Berechnung selbst erfolgte mit Hilfe des Modells von Klucher [7].

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnung. Der durchschnittliche Zugewinn bei fester Aufständering mit 30° Neigung liegt in Deutschland bei 15,1%, in Spanien bei 15,4%. Bei zweiachsiger Nachführung liegt er bei 44,3% (Deutschland) bzw. 49,6% (Spanien). Die simulierten Zugewinne bewegen sich damit im Bereich der Ergebnisse aus anderen Untersuchungen [8].

Tendenziell ist, wie zu erwarten, ein Anstieg des Zugewinns mit höherem Direktstrahlungsanteil (bzw. geringeren Diffusstrahlungsanteil) zu verzeichnen. Pro Prozentpunkt Direktstrahlung steigt in Deutschland der Zugewinn bei fester 30°-Aufständering im Mittel um 0,4 Prozentpunkte, bei zweiachsiger Nachführung um

1,2 Prozentpunkte. In Spanien liegt dieser Anstieg bei 0,2 bzw. 0,8 Prozentpunkten. Bei einer Standardabweichung von ca. 3 Prozentpunkten beim Diffusstrahlungsanteil ergibt sich bei der Umrechnung auf die Modulebene daraus eine Unsicherheit von rund $\pm 1\%$ bei fest aufgeständerten Anlagen und von rund $\pm 3\%$ bei zweiachsiger Nachführung. Diese allein durch die Wahl eines Datensatzes bewirkten Unsicherheiten werden derzeit bei fast allen Ertragsprognosen nicht berücksichtigt. Ein Vergleich unseres SatelLight-Klucher-Verfahrens mit anderen Modellen und/oder anderen Zeitreihen – bei gleichen Summen der Direkt- und Diffusstrahlung – zeigte zum Teil sehr gute Übereinstimmung (so z.B. mit dem Perez-Modell in MeteoNorm 6), zum Teil aber auch Abweichungen bis -5% (so z.B. beim Skartveit-Olseth-Modell in MeteoNorm 6). Zu beachten ist, dass sich hier Abweichungen aus dem Modell mit denen der Zeitreihenwahl überlagern. Eine umfassendere Bewertung dieser Effekte steht noch aus. Es deutet sich jedoch an, dass auch die Unsicherheiten der Umrechnung selbst bisher als zu gering eingeschätzt wurden.

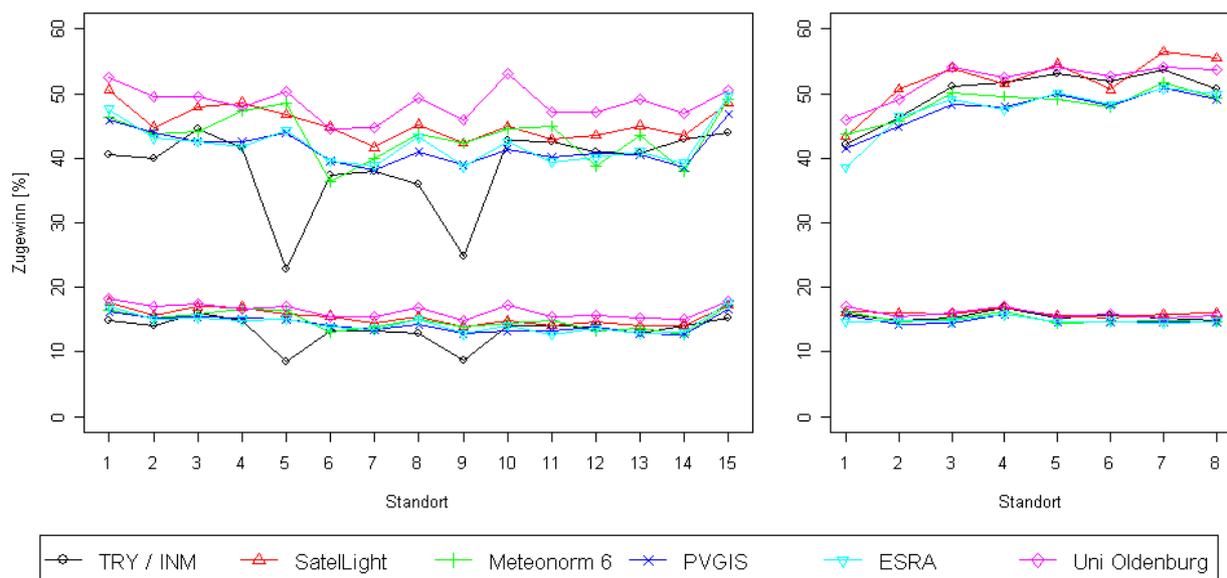


Abbildung 4: Zugewinn durch Aufständering (30°) und zweiachsige Nachführung für Deutschland und Spanien

6. Fazit und Ausblick

Neben den in diesem Beitrag aufgezeigten Unsicherheiten existieren weitere Unsicherheiten bei den Eingangsdaten von Ertragsprognosen. Zu nennen sind hier der Einfluss des Direkt-Diffus-Verhältnisses auf die Verluste durch Reihenverschattung und Reflexion und der Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Modul-Ganzjahreswirkungsgrad. Daneben kann die Auswirkung von Variationen des Sonnen-

spektrums auf den Ertrag von PV-Anlagen aufgrund von mangelnden Eingangsdaten noch nicht modelliert werden. All dies ist Gegenstand weiterer Arbeiten.

Die Unsicherheit in den meteorologischen Eingangsdaten Globalstrahlung (mit etwa linearer Auswirkung auf den Ertrag), im Direkt-Diffus-Verhältnis (0,2 bis 1,2 Prozentpunkte Ertragsminderung pro Prozentpunkt Diffusanteil) und Temperatur (etwa 0,5% Ertragsminderung pro Grad Jahresmitteltemperatur) dominieren die Gesamtunsicherheit eines Ertragsgutachtens. Unsicherheiten in der Systemmodellierung sind dagegen zweitrangig. Die bisher in vielen Gutachten zu findenden Angaben der Gesamtunsicherheit (im Bereich von 5% bis 7%) sind – zumindest bei nachgeführten Anlagen – wahrscheinlich zu optimistisch angesetzt.

Eine Möglichkeit zur Reduzierung der Unsicherheiten besteht in der Auswahl von gut geeigneten Datenbasen durch Vergleich mit Bodenmessungen von hoher Qualität. Dies wird zur Zeit im europäischen Projekt MESoR angestrebt [9]. Für südliche Standorte mit hohem Anteil an wolkenfreien Himmel lässt sich eine Reduktion der Fehler durch eine bessere Beschreibung des Atmosphärenparameter bei klarem Himmel erwarten, die zur Zeit Gegenstand der Forschung ist.

Literatur

- [1] S. J. Ransome: How well do PV modelling algorithms really predict performance? Tagungsbericht 22. European PV Solar Energy Conference, Mailand 2007.
- [2] B. Müller, Ch. Reise, W. Heydenreich, K. Kiefer: Are yield certificates reliable? A comparison to monitored real world results. Tagungsbericht 22. European PV Solar Energy Conference, Mailand 2007.
- [3] <http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/KlimaUmwelt/Leistungen/Statistiken/TRY/TRY.htm>
- [4] <http://www.inm.es/web/izq/noticias/publica/20070130.html>
- [5] <http://www.ensmp.fr/Fr/Services/PressesENSMP/Consultation/consultation.php?livreplus=54--col3#54>
- [6] V. Quaschnig: Unstete Plangröße. Sonnenenergie, Juni 2001, S. 24–27
- [7] T. M. Klucher: Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces. In: Solar Energy (1979), Nr. 23, S. 111–114
- [8] H. Gabler, F. H. Klotz, H.-D. Mohring: Ertragspotential nachgeführter Photovoltaik in Europa: Anspruch und Wirklichkeit. Tagungsbericht 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2005
- [9] C. Hoyer-Klick u.a.: Bereitstellung gütebewerteter Datenbasen und Modelle zur Einstrahlungsklimatologie im Rahmen des Europäischen Projekts MESoR. Tagungsbericht 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2008