

Energiemeteorologie – Ein Überblick am Beispiel der Photovoltaik

Detlev Heinemann

Anja Drews, Annette Hammer, Elke Lorenz

Universität Oldenburg, Institut für Physik, Arbeitsgruppe Energiemeteorologie

Carl von Ossietzky Strasse 9-11, D-26129 Oldenburg

Telefon/Fax: +49 441 798 3543/3326

Email: detlev.heinemann@uni-oldenburg.de

Internet: www.energiemeteorologie.de

Enleitung

Wetter und Klima bestimmen mehr und mehr unser Energieangebot. Die rasante Entwicklung der erneuerbaren Energien verstärkt diesen Einfluss zunehmend. Dies erfordert jedoch ein Umdenken im Umgang mit der Ressource „Energie“. Fossile Quellen sind in ihrer Menge bekanntlich deutlich begrenzt, aber ihre Leistung ist im Rahmen der installierten Kraftwerkskapazitäten nahezu beliebig verfügbar. Solar- und Windenergie dagegen zeigen keine praktische Begrenzung, ihre Leistung ist jedoch prinzipiell durch die natürlichen Schwankungen bestimmt.

Das räumlich und zeitlich schwankende Angebot der neuen "Brennstoffe" Sonne und Wind haben meteorologische Informationen zu einer Schlüsselrolle für einen wirtschaftlichen Einsatz dieser neuen Technologien werden lassen. Diesem Bedarf an Know-how und Information stellt sich das neue interdisziplinäre Forschungsgebiet Energiemeteorologie (Heinemann, 2007). Abschätzungen des verfügbaren Potentials, Bereitstellung zeitnaher Information zum aktuellen Angebot und Vorhersagen der erwarteten Leistung in unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen sind Gegenstand verstärkter Forschung und Entwicklung in der Energiemeteorologie.

An der Schnittstelle zwischen Atmosphärenphysik und Energiesystemforschung werden die vielfältigen Einflüsse von Wetter und Klima auf Umwandlung, Übertragung und Nutzung von Energie behandelt. Dabei verknüpft die Energiemeteorologie meteorologische mit physikalisch-technischen Fragestellungen.

Grundsätzlich lassen sich energiemeteorologische Methoden entsprechend der Anwendung in Verfahren der Ressourcenabschätzung („Wieviel Energie kann langfristig an einem Standort geliefert werden?“) und der Bestimmung der aktuellen oder kurzfristig zu erwartenden Energie („Wieviel Leistung steht wann und wo zur Verfü-

gung?“) einordnen. Abschätzungen von langfristigen klimabedingten Änderungen der Potentiale von erneuerbaren Energien sowie mögliche Veränderungen des lokalen Klimas durch die Energieerzeugung selbst sind weitere Themen der energiemeteorologischen Forschung.

Im Bereich der Photovoltaik wird in ihren unterschiedlichen Anwendungszusammenhängen – Technologie-Entwicklung, Anlagenplanung und -betrieb, Netzeinkopplung – eine Vielfalt unterschiedlicher meteorologischer Information benötigt. Deren intelligente Nutzung in Verbindung mit den erwarteten technologischen Weiterentwicklungen hilft der Photovoltaik einen Platz als unverzichtbare und verlässliche Komponente der elektrischen Energieversorgung zu sichern.

Einige Beispiele sollen diesen Einfluss der Meteorologie auf die Energieerzeugung aus PV beschreiben und entsprechende Methoden zur Quantifizierung vorstellen.

Fernerkundung der Solarstrahlung für Anwendungen in der Photovoltaik

Jede Analyse des Systemverhaltens von PV-Generatoren basiert auf der Verfügbarkeit von hochwertigen Solarstrahlungsdaten, in der Regel zeitlich hoch aufgelöst, spezifisch für den jeweiligen Standort. Ein entscheidender Schritt wurde hierbei mit der Bereitstellung von Daten gemacht, die von den Radiometermessungen an Bord geostationärer Satelliten stammen. In ausreichender Qualität stehen diese seit nunmehr einem Jahrzehnt zur Verfügung und bieten heute im europäischen Raum in 15-Minuten-Intervallen bis zu 1km aufgelöste Globalstrahlungsinformation.

Das Prinzip ist einfach: Die von der Erde und der Atmosphäre zurück gestreute kurzwellige Solarstrahlung verhält sich nahezu proportional zur atmosphärischen Reflexion, die wiederum weit überwiegend von der Bewölkung verursacht wird. So wird das Radiometer im wesentlichen als Sensor für die in seinem Blickwinkel vorhandene Bewölkung genutzt. Daraus wird auf die atmosphärische Transmission und die sich daraus ergebende Globalstrahlung am Boden geschlossen.

Ein operationelles Verfahren, das dieses Prinzip umsetzt, ist zum Beispiel die Heliosat-Methode (Hammer u. Lorenz, 2007), die insbesondere die erweiterten Fähigkeiten der neuen METEOSAT-Generation ausnutzt.

In Verbindung mit Korrekturen für durchbrochene Bewölkung, Wolkengeometrien und Schneebedeckungen können mittlere Genauigkeiten für Stundenwerte der Globalstrahlung von 16% (r.m.s.e.) für Deutschland erreicht werden. Tages- und Monatsmittelwerte weisen entsprechend geringere Abweichungen von besser als 10% bzw. 6%

auf. Damit sind Satellitendaten für die Standortbegutachtung mittlerweile die bevorzugte Datenquelle.

Grundsätzlich bieten neuere satelliten-basierte Verfahren das Potential, über die Globalstrahlung hinaus gehende Information wie spektral- oder auch richtungsaufgelöste Daten bereit zu stellen.

Monitoring und Fehlererkennung bei PV-Anlagen

Insbesondere kleinere PV-Systeme verzeichnen häufig Einbußen im Energieertrag wegen nicht rechtzeitig erkannter Fehlfunktionen. Das schwankende Solarstrahlungsangebot erschwert dabei die Fehlererkennung beträchtlich.

Im Rahmen des europäischen Projektes PVSAT-2 wurde ein Verfahren zur Fernüberwachung von PV-Systemen entwickelt, das gleichzeitig eine Identifizierung der häufigsten Fehlerursachen ermöglicht und so optimale Anlagenerträge ermöglicht (Drews et al., 2007). Wiederum auf Satellitendaten basierend, wird die zu erwartende Energieausbeute einer Anlage berechnet, für deren Kenngrößen lediglich Datenblattinformationen benötigt werden. Das Muster der Abweichung zwischen berechneter und gemessener Leistung ermöglicht bei einer Vielzahl von Fehlern, die mögliche Ursache bereits nach wenigen Tagen zu bestimmen.

Die Genauigkeit der Strahlungsbetimmung bestimmt dabei die Qualität des gesamten Verfahrens. Sind gleichzeitig Bodendaten verfügbar, kann die Kombination beider Quellen über geostatistische Verfahren, z.B. Kriging-of-the-differences, zu einer weiteren Verbesserung der Datenqualität führen. Ebenfalls ist eine präzise Beschreibung der Anlagenkonfiguration einschliesslich der geometrischen Ausrichtung und möglicher Horizontabschattungen wichtig für den Erfolg der Methode.

Entsprechende Monitoring-Verfahren haben ihr Potential gezeigt, hohen Energieverlusten vorzubeugen und somit den Wirkungsgrad zu erhöhen und die ökonomische Situation zu verbessern. Mittlerweile sind auf dem PVSAT-2-Verfahren basierende kommerzielle Angebote verfügbar.

Vorhersagen der Solarstrahlung zur Netzintegration von PV-Leistung

Die wirtschaftliche Einbindung größerer Mengen photovoltaisch erzeugter Elektrizität in die Stromversorgung erfordert eine präzise Abschätzung der zu erwartenden Leistung in den relevanten Zeitskalen von bis zu zwei Tagen und in räumlichen Größenordnungen von Versorgungsgebieten bis hinunter zu einzelnen Netzknoten.

Grundlage hierfür sind die Ergebnisse der numerischen Vorhersagemodelle der Wetterdienste, entweder durch Verwendung von vorhergesagten Größen (wie Bewölkung), aus denen die Solarstrahlung berechnet werden kann, oder - falls verfügbar - der direkt ausgegebene Solarstrahlung, wie im Fall der Vorhersage des europäischen Zentrums ECMWF. Eine Leistungsvorhersage für einzelne Solaranlagen erfordert jedoch wegen der hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Bewölkung eine höhere als die verfügbare Auflösung, die z.B. beim ECMWF gegenwärtig drei Stunden und ca. 25km x 25km beträgt. Somit müssen die Modellergebnisse weiteren Korrekturen unterzogen werden, die die kleinerskaligen Prozesse berücksichtigen. Auf der Basis dieser Globalstrahlungsvorhersagen kann dann der erwartete Ertrag von Photovoltaikanlagen bestimmt werden. Hierfür wird die Einstrahlung auf die Modulebene umgerechnet und anschließend mit einem Simulationsmodell der erwartete Anlagenenertrag ermittelt (Abb. 1).

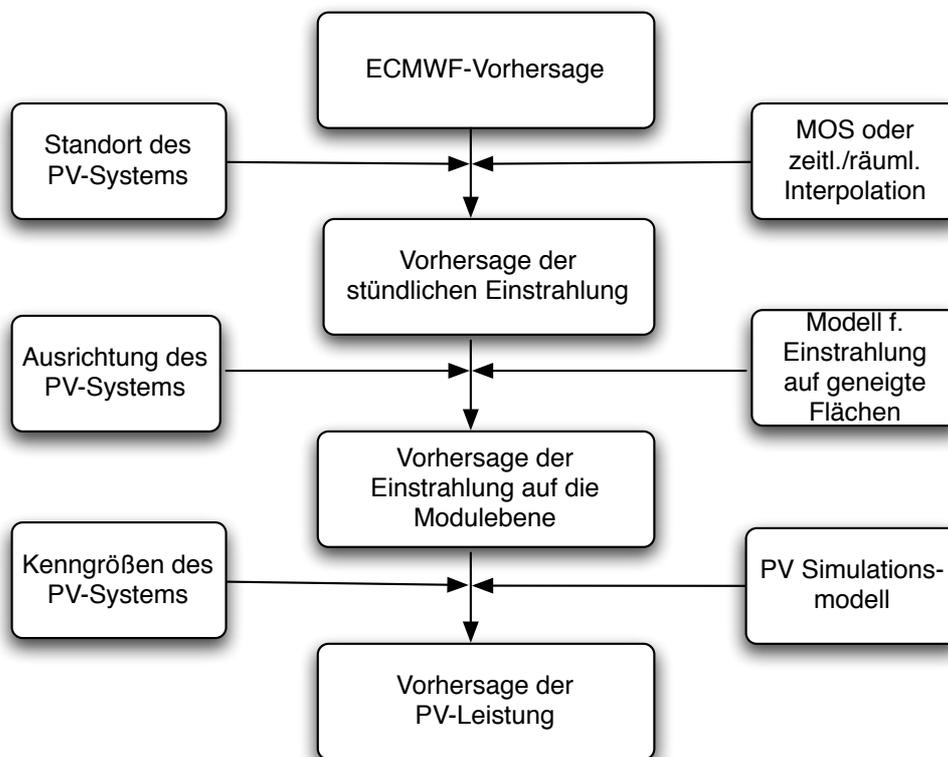


Abb. 1: Schema eines Vorhersagesystems ausgehend von der numerischen Wettervorhersage des ECMWF mit Vorhersagen (Mitte), systemspezifischen Eingangsdaten (links) und zusätzlichen Modellen (rechts).

Zusätzliche Informationen zur Vorhersagegenauigkeit, wie z.B. durch die Angabe von Konfidenzintervallen, erhöhen den Wert einer Vorhersage. Werden diese für spezifi-

sche Wettersituationen separat ermittelt, lassen sich verlässliche Angaben zu den zu erwartenden maximalen Abweichungen von der Vorhersage angeben. Die Leistung von Anlagenverbänden - bis hin zur regionalen Erzeugung - lässt sich wegen des räumlichen Ausgleichs lokaler Vorhersagefehler deutlich präziser vorhersagen als für Einzelanlagen. So verringert sich der Fehler für ein Gebiet von der Größe Deutschlands auf etwa die Hälfte (Lorenz et al., 2007).

Vorhersagen der Solarstrahlung für kurze Zeiträume von wenigen Stunden können wiederum aus Satellitendaten gewonnen werden, indem die zeitliche Entwicklung der die Strahlung wesentlich bestimmenden Wolkenstrukturen extrapoliert wird. Aus dem vorhergesagten Satellitenbild kann dann die Solarstrahlung berechnet werden.

Bewertung des Wertes von Solarstrom

Zwei Beispiele aus dem US-amerikanischen Elektrizitätssektor sollen eine weitere Facette des Einsatzes energiemeteorologischer Information beleuchten.

Zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Solarstrahlungsdaten in Verbindung mit entsprechenden Daten der Verbrauchslast im Stromnetz ermöglichen eine detaillierte Bestimmung des spezifischen Werts von PV-Strom in Abhängigkeit von der Verbrauchssituation ('load carrying capability'). Dies kann zu erheblichen Verschiebungen der Maxima in den entsprechenden Potentialkarten führen (Abb. 2).

Ein zweites Beispiel betrifft den Blackout vom 14. August 2003 in Nordamerika (Schaden: 8 Mrd. US\$). Wesentliche Ursache des Vorfalles war die ungewöhnliche Höhe regionaler Ausgleichstransporte, die zur Deckung der lokalen Stromnachfrage notwendig wurden. Perez (2006) konnte durch die Kombination von hoch aufgelösten Solarstrahlungsdaten mit Daten zur Netzlast in einer Simulation zeigen, dass die Leistung aus wenigen hundert MW Photovoltaik, verteilt auf die entscheidenden Metropolregionen, ausreichend gewesen wäre, um den Vorfall zu verhindern.

Beide Beispiele zeigen, dass die Verfügbarkeit von spezifischen Solarstrahlungsinformationen in Kombination mit entsprechenden Daten der Energiesysteme zu Erkenntnissen über das Systemverhalten führen, die weder intuitiv sind, noch mit traditionellen Verfahren gewinnbar sind.

Ausblick

Meteorologische Randbedingungen werden künftig die Energieversorgung weitaus stärker beeinflussen als bislang. Der Wert der aus fluktuierenden Quellen wie Sonne und Wind bereit gestellten Energie wird wesentlich davon beeinflusst werden, wie

umfassend die relevanten Informationen hierüber vorliegen. Dies weiter voran zu treiben, ist das Ziel von Forschung und Entwicklung in der Energiemeteorologie.

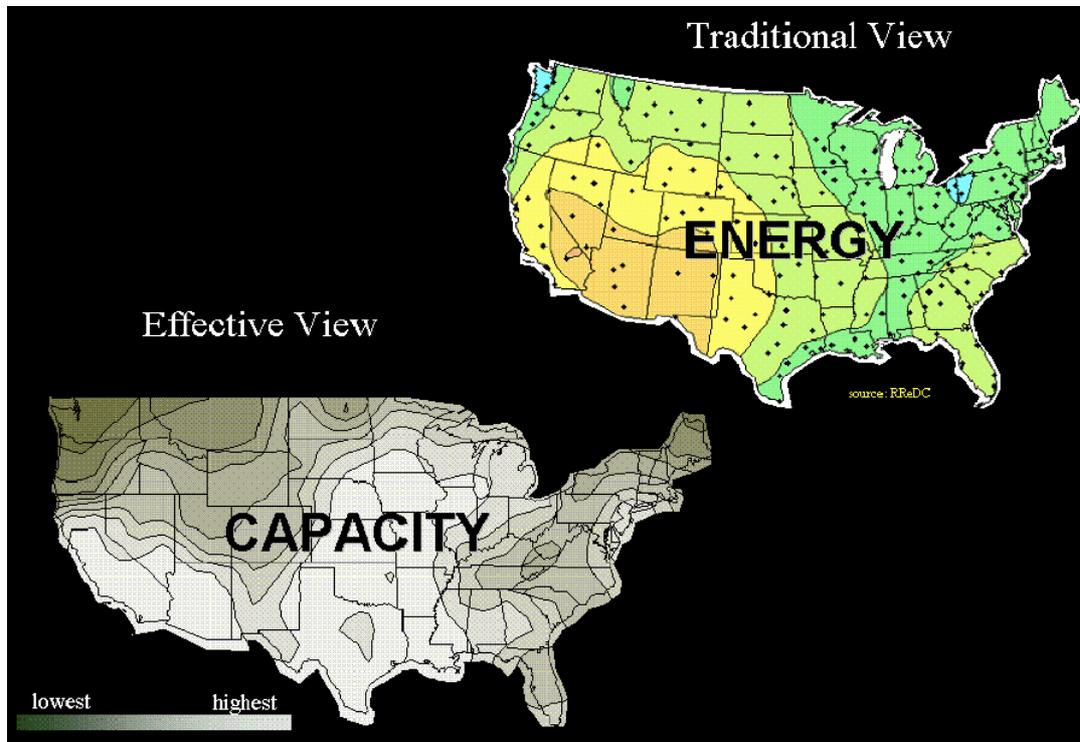


Abb. 2: Vergleich einer Ressourcen-Karte der Solarstrahlung (oben rechts) und einer darauf basierenden Karte der effektiven Kapazität (unten links) für die Vereinigten Staaten (aus Perez, 2005).

Literatur

- Drews, A. et al.: Monitoring and Remote Failure Detection of Grid-connected PV Systems Based on Satellite Observations. **81**, *Solar Energy*, 548–564 (2007).
- Hammer, A. und Lorenz, E.: Fernerkundung der Solarstrahlung für Anwendungen in der Energietechnik. DACH 2007, 10.-14. September 2007, Hamburg, (2007).
- Heinemann, D.: Energiemeteorologie - Ein Überblick. Tagungsband Workshop Energiemeteorologie, 2. November 2006, 16–21, Berlin (2007).
- Lorenz, E. et al.: Forecast of Ensemble Power Production by Grid-connected PV Systems. Proc. EUPVSEC, Mailand (2007).
- Perez, R.: Emerging Opportunities For Improved Solar Resource Information. In: Dunlop, E.D., Wald, L. and Šúri, M. (Eds.): Solar Energy Resource Management for Electricity Generation from Local Level to Global Scale. Nova Science Publishers, New York, pp. 3–10 (2006).