

Modellbasierte Ertragskontrolle von PV-Anlagen in vernetzten Gebäuden

Dr. Christof Wittwer, Rainer Becker
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg
Tel.: +49 (0)761 / 4588 5115, Fax: +49 (0)761 / 4588 9115
E-Mail: christof.wittwer@ise.fraunhofer.de

1 Einführung

Die Betriebskontrolle und Ertragserfassung von PV Systemen sind von hoher Bedeutung für Betreiber und Investoren. Es existieren daher schon zahlreiche technische Systeme, um PV-Anlagen zu überwachen [Lang02]. Neben den klassischen Modemeinwahlverfahren für den Datenabruf werden auch zunehmend webbasierte Lösungen angeboten, die einen Internetabruf des Anlagenbetriebs ermöglichen. Die Evaluierung des Ertrags erfolgt meist zentral mit den Meßgrößen der Anlage und ggf. mittels zentral erfasster Strahlungsdaten.

Die eingesetzten Mikrocontroller für Kommunikationslösungen werden bei steigender Leistungsfähigkeit immer preiswerter. Es kommen zunehmend 32-Bit-Systeme mit Betriebssystemen zum Einsatz, die einerseits für eine Netzwerkeinbindung (Internet TCP/IP) genutzt werden können, andererseits für komplexe Berechnungsverfahren und Algorithmik zur Verfügung stehen. Ansatz des Beitrages ist die Einbettung von Ertragskontrollverfahren in eine solche Hardwaretopologie, wobei Echtzeitsimulationen des PV Generators genutzt werden, die sowohl modulspezifische Parameter als auch die individuelle Verschattungssituation berücksichtigen.

2 Simulationsmodell zur Ertragserfassung

Die Einbindung des Simulators stellt den Kern des Ertragserfassungssystems dar. Es wurde ein standardisiertes 2-Dioden Modell innerhalb der Simulationsumgebung ColSim in ANSI-C Code implementiert, das für den Export auf nahezu beliebige Hardware zur Verfügung steht. Es zeichnet sich darüber hinaus durch eine hohe Performance bei hohem Detaillierungsgrad des Modells aus. ColSim ist für regelungstechnische Anwendungen konzipiert und erlaubt die Verwendung einer hohen Zeitauflösung (typisch $h=10$ Sekunden), um beispielsweise MPP Regelungen abzubilden oder fluktuierende Einstrahlung realitätsnah zu untersuchen. Die Untersuchungen von Burger[2004] haben gezeigt, dass eine hohe Zeitauflösung zur Auslegung des Wechselrichter von hohem Interesse sein kann. Im Bezug auf eine Echtzeitberechnung stellt der Detaillierungsgrad für die Rechnerleistungsfähigkeit kein Problem dar, weil letztlich der Momentanwert aus einem Iterationsschritt bestimmt wird.

Die Generatormodellierung erfolgt aufgrund der kompletten Abbildung der Einzelzellen: Die Zellen werden durch parallele und serielle Anordnung gemäß der Modul- und Stranganordnung verdrahtet. Die Berechnung erfolgt durch Überlagerung der U-I-Kennlinien, wobei die Betriebsbereiche diskretisiert werden. Es können dabei auch Strangdioden Verwendung finden.

Das Modell eignet sich insbesondere für die Erfassung von Teilverschattungen, wobei der Direktlichtanteil auf Einzelzellebene ausgeblendet werden kann. Dabei wird der Strahlungseintrag in Abhängigkeit von der Verschattungssituation durch eine Horizontbeschreibung im Polarkoordinatensystem wie in Abb. 1 dargestellt. Die verschatteten Einzelzellen ergeben mit den unverschatteten Zellen eine umgebungsspezifischen U-I-Charakteristik des Generators.

Abb. 2 zeigt die für die teilverschattete Anlage resultierende Kennlinie, die anhand des Simulationsmodells ermittelt wurde.

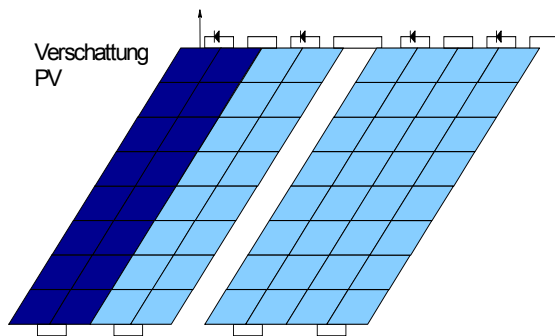


Abb. 1: Teilverschattete PV Anlage mit 2 seriell verschalteten PV Modulen [Reise01]

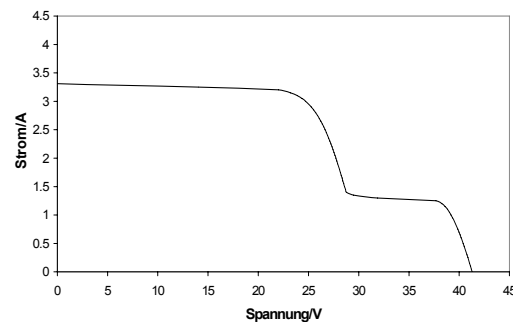


Abb. 2: Strom-Spannungs-Kennlinie eines teilverschatteten PV Generators

Die U-I-Kennlinie wird zur Ermittlung des Arbeitspunktes herangezogen, indem der MPP am Kurvenpunkt maximaler Leistung bestimmt wird. Mit einer herstellereigenen Kennlinie des Wechselrichters erfolgt die Berechnung der eingespeisten AC-Leistung durch die Multiplikation des leistungsspezifischen Wirkungsgrad.

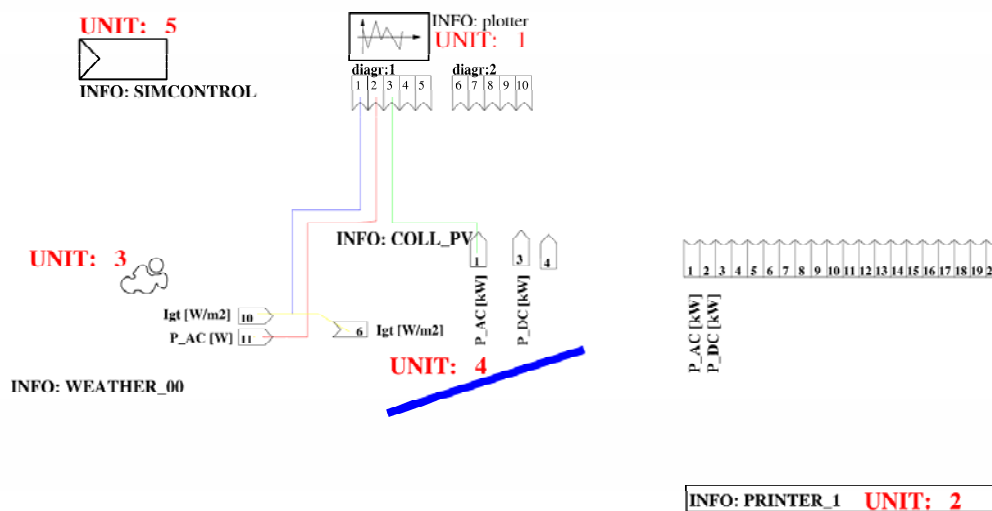


Abb. 3: ColSim Simulationsschema eines PV Generators mit Integration von Messdaten

Der ColSim Simulator steht als Public Domain Kern zur Verfügung und eignet sich somit für den Einsatz auf Regelungshardware. Die Simulationsumgebung gestattet eine einfache Verifikation des Modellverhaltens mittels Messdaten, wobei zahlreiche Standardblöcke zur Datenverarbeitung zur Verfügung stehen (siehe Abb.3).

3 Modellverifikation

Um das Modell zu validieren wurde der Vergleich mit zeitlich hochaufgelösten Daten des Fraunhofer ISE Referenzsystems durchgeführt. Für die Parametrisierung des PV-Generators wurden die folgenden Parameter gewählt:

Generator: 6000 Wpeak; 100 W/Modul; 3 Strings; 20 Module in Reihe;
72 Zellen/Modul;3 Bypassdioden/Modul;

Wechselrichter: Nennleistung AC 4600 W; Max.5000W; $\eta_{100}=95,7\%$; $\eta_{50}=96,46\%$; $\eta_{10}=94,81\%$;

Das Generatormodell in ColSim wurden nach obiger Tabelle parametrisiert und an einem sonnigen und einem wechselnd bewölkten Tag bezüglich der AC- und DC-Leistungen mit den Referenzdaten verglichen. Dabei sind identische Randbedingungen (Einstrahlung und Modultemperatur) verwendet worden.

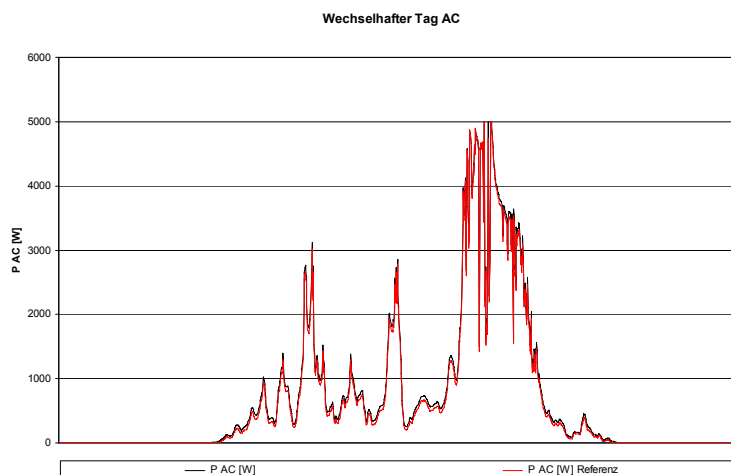


Abb. 4: ColSim Modellverhalten und Messdaten der Referenzanlage am Fraunhofer ISE

Das Antwortverhalten des Modells zeigt gute Übereinstimmung zur Messung. Auch die schnellen Intensitätswechsel der Solarstrahlung und die Überschreitung der Wechselrichter-nennleistung wird gut abgebildet.

4 Hardwareimplementierung

Abb.5 zeigt ein typisches Embedded System, das am Fraunhofer ISE auf Basis eines x86 Systems zur dezentralen Steuerung von Erzeugungseinheiten realisiert wurde. Es wurde innerhalb des EU Projekts Dispower am Fraunhofer ISE entwickelt und erlaubt neben der Vernetzung des Systems durch Ethernet, die Integration von standardisierten Schnittstellen (RS232, RS485) und Hardwareperipherie. Somit kann auf verfügbare Messtechnik zugegriffen werden und eine standardisierte Fernwartung des Systems (Webinterface) und erfolgen. Die Einbindung in das Internet kann konventionell über Modem, DSL-Modem oder zunehmend preiswert auch mit GPRS Verbindungen realisiert werden.



Abb. 5: Embedded System mit einem Linux Betriebssystem wird als Ertragserfassungssystem eingesetzt und ermöglicht die Einbindung in Netzwerke

Das Generatormodell der Simulationsumgebung ColSim wurde auf das Embedded System portiert und durch eine Zeitsynchronisation mit der Echtzeit für die Ertragserfassung einer PV Anlage eingesetzt. Die Verschattungssituation kann durch den Einsatz von polaren Horizontlinien erfasst werden und den diskretisierten Teilflächen aufgeprägt werden. Soll- und Istverhalten werden somit abgebildet und Anlagenfehler detektiert.

5 Ausblick

Das modellbasierte Ertragserfassungssystem soll künftig durch einen selbstadaptierenden Verschattungsalgorithmus modifiziert werden, der in Abhängigkeit der Sonnenposition die Teilverschattung des Generators erfasst. Die hierzu notwendigen Routinen der Himmelsmechanik stehen im Simulator bereits zur Verfügung.

Ziel der Experimente ist die Entwicklung von Ertragserfassungssystemen, die durch die verteilte Intelligenz möglichst alle lokalen Prozesse vor Ort analysieren. Eine feste Vernetzung mit einer zentralen Instanz ist bei dieser Lösung nicht erforderlich, wobei die webbasierte Kommunikationsfähigkeit (Störungsmeldung und Monitoring) erhalten bleibt.

Referenzen

- [Schum91] Schumacher, J.: Digitale Simulation regenerativer elektrischer Energieversorgungssysteme, Dissertation, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, 1991
- [Reise95] Reise, Ch.: PV Shading in Complex Building Geometries; 13th European PV Solar Energy Conference, 1995
- [Reise01] Reise, Ch.: PVSAT - Remote Performance Check for Grid Connected PV System Using Satellite Data, Final Report, Fraunhofer ISE, 2001
- [Pukrop97] Detlev Pukrop: Zur Modellierung großflächiger Photovoltaik-Generatoren, Berichte aus der Energietechnik, Shaker Verlag, Aachen, 1997
- [Lang02] Lang, O. : Ertragsüberprüfung von PV-Anlagen: Theorie und Praxis, 13. Internationales Sonnenforum Berlin, 2002, pp 386-393
- [Kovach95] Anne Kovach: Effect of Partial Shading on the Energy Performance of Photovoltaic Arrays Integrated onto Buildings, Fortschrittberichte VDI, VDI Verlag, Düsseldorf, 1995
- [Burger04] Burger, B.: Anlagenerträge und optimale Wechselrichterdimensionierung,

Staffelstein, 2004

- [Schmidt96] Schmidt, H., Sauer, D.U.: Wechselrichter-Wirkungsgrade Praxisgerechte Modellierung und Abschätzung, Fraunhofer-ISE, Freiburg ,1996
- [Beyer00] Beyer, H.G.: Genauigkeit der Berechnung des PV-Ertrages auf der Basis unvollständiger Komponentenkenntnis, 15. Symposium Photovoltaische Solar-energie, Staffelstein, 2000
- [Wittwer99] Dissertation ColSim Simulator; C.Wittwer; www.colsim.de