

Alfons Armbruster, Anselm Kröger-Vodde
Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg
Tel. +49 761 4588-5671, Fax -9217
E-Mail: pvmonitoring@ise.fraunhofer.de
Internet: www.ise.fraunhofer.de

Alles so schön bunt hier Der Weg zum PV (Performance Vergleich)

Die dynamische Marktentwicklung mit vorübergehendem Siliziummangel und Innovationsschub im Schlepptau sowie die steile Preissenkungskurve haben eine Vielfalt von Optionen für PV-Anlagen auf die Menükarte von Kleinanwendern wie Kraftwerksprojektierern gebracht. Während die Kellner durchreichen was gut riecht und die Köche in vielstimmigem Kanon ihre jeweiligen Kreationen besingen, sehnt sich der vermeintliche Genießer nach guten Empfehlungen von fachkundigen Gourmets.

Auf der Suche nach dem besten Geschmack

Gut, dass uns heute mehrjährige Erfahrungen mit unterschiedlich gebauten PV-Anlagen vorliegen. So sind zum Beispiel in den letzten Jahren vermehrt große PV-Kraftwerke mit dezentralen Wechselrichtern installiert worden, während andere Projekte alternativ mit Zentralwechselrichtern ausgestattet worden sind. Das zeigt, dass die Frage nach der langfristig ökonomisch attraktivsten Lösung zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen der Entscheidungsträger führen kann. Dies wird verständlich, wenn die große Bandbreite an Auswahlkriterien ins Blickfeld gerät (8 Kriterien im Beispiel, siehe [3]), welche mit einer langen Liste von Vor- und Nachteilen der Alternativen einhergehen kann. Für das Kriterium „Maximale Energieerträge“ wird nach Monitoring-Daten von realen PV-Anlagen gegriffen, in der Absicht, die Theorie mit Performance Ratio Werten zu unterfüttern.

Eine professionelle Verkostung

Zahlenkolonnen allein helfen qualitativ nicht weiter. Die erste Sichtung der Monitoring-Daten untersucht daher die zeitliche Datenverfügbarkeit, welche 99% überschreiten sowie mindestens ein volles Betriebsjahr umspannen soll. Die Validität der Daten muss anhand einer Analyse der Qualität des Monitoring-Systems

überprüft werden. Dazu gehören eine Messunsicherheit von max. 1% für Energie und 3% für die Einstrahlung bei empfohlenen maximalen Daten-Intervalllängen von 5 Minuten. Weitere wichtige Messgrößen sind Modul-Rückseitentemperatur, Umgebungstemperatur sowie DC-Ströme und –Spannungen, welche an ausgesuchten Wechselrichtern mit einer Genauigkeit gemessen werden, wie sie die Wechselrichterregelung nicht erreicht.

Evtl. Abbildung 1: Schema des hersteller-unabhängigen Monitoring Systems

Monitoring-Daten, welche diese Kriterien erfüllen, sind im Rahmen der vom Fraunhofer ISE angebotenen Dienstleistungen zur Qualitätssicherung von PV-Anlagen und PV-Komponenten in internationalen, wissenschaftlichen Langzeitmessungen an Anlagen mit unterschiedlichen Anlagenkonzepten, Wechselrichtertypen und Modultypen gesammelt worden. Die sehr wertvolle Datenbasis reicht bis ins Jahr 1990 zurück, als Klaus Kiefer mit Kollegen begann, anlagen-spezifische, auf die Wünsche des Kunden ausgelegte Monitoring-Systeme erfolgreich im Feld zu betreiben (das „Feld“ waren seinerzeit allerdings Dächer wie aus 1001 Sonnentag).

86% oder 90%? Top oder Hopp?

Der kleine Unterschied entscheidet über Millioneninvestitionen. Deshalb schenkt das ISE der Einstrahlungsmessung besondere Aufmerksamkeit. Es wird mit speziellen Si-Sensoren gemessen, welche im institutseigenen CallLab auf eine Genauigkeit von 2% kalibriert werden können, da sie mit Präzisionsshunt und einer 4-Leiter-Temperaturmessung ausgestattet sind [2]. Die Si-Sensoren werden üblicherweise nach Ablauf von 24 Monaten ausgetauscht und rekaliert, wobei auch der Verschmutzungsgrad und die Sensorstabilität ermittelt wird. Vor diesem Validierungsschritt müssen die Einstrahlungsdaten noch unter Vorbehalt stehen. Üblicherweise driften die Si-Sensoren aber um weniger als 0,5% pro Jahr. Zu beachten ist allerdings, dass der Unterschied in der spektralen Empfindlichkeit sowie der Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Strahlung bei Si-Sensoren gegenüber jenen bei Pyranometern zu bis zu 5% höheren Werten für die Performance Ratio führt [1] als dies bei Pyranometer-Messung der Fall wäre. Zum Glück können viele Vergleiche auf Basis von Si-Sensor-Messungen durchgeführt werden, da sich letztere technologisch bedingt besser zur Ertragsüberwachung von PV-Anlagen eignen und am häufigsten vorzufinden sind. Dabei sollte ggfs. die vereinfachende Annahme getroffen werden, dass die Verschmutzung der Sensoren vergleichbar mit jener der Anlagen ist. Die verbleibenden Messungenauigkeiten wirken sich über

Messzeitraum und eine Vielzahl von Anlagen kaum aus. Das wertvolle Besteck und Geschirr ist gedeckt, die Datensätze plausibel, vollständig und valide.

Abbildung 2: Foto der kalibrierten Einstrahlungssensoren

Vor dem Probieren Portionierung

Evtl:Foto: Tranchiermesser

Die Performance Ratio (PR) soll ermöglichen, Anlagen unabhängig von ihren Modulwirkungsgraden gemäß Datenblatt miteinander zu vergleichen. Es fließen erzeugte Energie und Einstrahlung in Modulebene in die Berechnung ein. Ein anderes Modul? kWp ist kWp. Ein anderer Modulwinkel? Die Einstrahlung wurde genau dort gemessen. Soll ein Transformator heraus gerechnet werden, kann von Standardverlusten von jährlich 1% ausgegangen werden. Zur Ermittlung der PR wird die erzeugte Jahresenergie mit folgender Formel auf die Nennleistung des PV-Generators normiert:

Spezifischer Ertrag = Ertrag / NennleistungGenerator

Das Ergebnis ist die spezifische Energie. Der Bezug auf die Leistung laut Moduldatenblatt ist sinnvoll, da Projektentwickler, finanzierende Institutionen und Anlagenbetreiber fast ausschließlich mit der Nennleistung gemäß Datenblatt arbeiten. Die durch Marktbedingungen und Marktpolitik über die Jahre variierenden, realen mittleren Modulleistungen sind also in Vergleichen unvermeidbar enthalten, daher empfiehlt es sich, auf die jeweiligen Baujahre zu achten. Im entscheidenden Schritt wird dann die Performance Ratio jedes Betriebsjahres als Quotient der spezifischen Energie zur Einstrahlung in Modulebene berechnet.

$PR = \text{Spezifischer Ertrag [kWh/kWp]} / \text{Normierte Einstrahlung in Modulebene [kWh/(m}^2 \cdot \text{kWp/m}^2\text{)]}$

Leichte Änderungen in der Empfindlichkeit der Si-Sensoren können berücksichtigt werden, wenn die zu Messbeginn und nach Sensortausch gemessene Differenz über den Messzeitraum linear interpoliert wird und für jedes Messintervall eine Korrektur durchgeführt wird.

...und Temperierung

Evtl:Foto: 2 Gläser mit Thermometern

Für Vergleiche kann außerdem der Einfluss von Unterschieden in der Modul-Betriebstemperatur verringert werden, falls dies erwünscht und sinnvoll ist. Dazu werden die PR-Werte auf eine Modultemperatur von 30°C normiert. Bei der Normierung müssen Unterschiede in dem Temperaturkoeffizienten selbstverständlich berücksichtigt werden. Eingangsgröße der Normierung ist der Jahreswert der gewichteten Modultemperatur, welche gemäß folgender, auf jeden 5-Minuten-Wert angewendete Formel ermittelt wird:

$$T_{\text{mod,gewichtet}} = \frac{\sum T_{\text{mod},i} \cdot G_i}{\sum_{\text{Jahr}} G_i} \quad \begin{array}{l} T_{\text{mod},i} = \text{Modultemperatur im 5 min Intervall } i \\ G_i = \text{Einstrahlung im 5 min Intervall } i \end{array}$$

Realer Betrieb ist nicht optimaler Betrieb

Zwar werden die Funktionen der Monitoring-Systeme und PV-Anlagen kontinuierlich vom ISE überwacht, die wichtigsten Kenndaten einschließlich der Performance Ratio täglich im Internet bereit gestellt und die Anlagenbetreiber bei Ertragseinbrüchen umgehend mit einer qualifizierten Fehlermeldung vom ISE versorgt, jedoch können Fehler aus unterschiedlichen Gründen nicht immer umgehend behoben werden. Eventuell länger andauernde Fehler sind ebenso in der PR enthalten, wie Wartungsabschaltungen oder Netzprobleme. In Vergleichen sind außerdem Unterschiede in Anlagenauslegung, Verschattungssituationen und Schneebedeckung enthalten, so dass diese umsichtig interpretiert werden müssen.

Welche Performance Ratios sind zu erwarten?

Evtl:Foto: Jemand schaut nach oben (z.B. Berg oder PV-Anlage an)

Den Freunden der traditionellen Küche sei gesagt, dass Performance Ratios von über 90% heute durchaus realistisch sind [4]. Performance Ratios welche auf Basis von Si-Sensor-Messungen und der Nennleistung von PV-Generatoren ermittelt werden, können in State-of-the-Art-Anlagen Werte von 94% überschreiten. Ein Trend zu höheren Werten bei neueren Anlagen war bereits die letzten Jahre festzustellen. Die Werte für die Performance Ratio streuen aufgrund viele Einfluss-

faktoren jedoch stark und variieren auch in einer Anlage deutlich von Betriebsjahr zu Betriebsjahr. Das folgende Diagramm für den beispielhaften Vergleich von Anlagen mit dezentralen Wechselrichtern mit solchen mit Zentralwechselrichtern veranschaulicht dies.

Abbildung 3: Performance Ratio (Si) der PV-Systeme mit dezentralen und zentralen Wechselrichtern

Wie wäre im Beispiel also die Bewertung? Obwohl in Ertragsgutachten häufig eine höhere Performance Ratio für Anlagen mit dezentralen Wechselrichtern ermittelt wird, kann dies anhand der realen Betriebsergebnisse nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Eindeutiges JEIN mit Hinweis auf Esskultur

Evtl:Foto: Serviette, Gläser, Kerze

In dem Beispiel des Vergleiches von Anlagen mit dezentralen und Anlagen mit zentralen Wechselrichtern konnte der theoretisch beste Koch nicht triumphieren. Denn den Ausschlag gibt die Esskultur, welche im Praxis-Beispiel die Anlagenauslegung sowie die Umsetzung eines angemessenen Wartungs- und Reparaturkonzeptes ist.

Fazit: JEIN

Es lohnt sich also und macht weiterhin Freude, Daten zu sammeln, Performance Vergleiche mit Umsicht durch zu führen und... über Geschmacksfragen zu streiten.

- [1] G. Blaesser, D. Muro, „Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants, Document B, Analysis and Presentation of Monitoring Data“, Report EUR 16339 EN, CL-NA-16339-EN-C, Joint Research Centre of the European Commission, 1995.
- [2] K. Kiefer, B. Müller, W. Heydenreich, D. Dirnberger & A. Kröger-Vodde, „A Degradation Analysis of PV Power Plants“, Proceedings 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, 2010.
- [3] A. Kröger-Vodde, A. Armbruster & E. Rössler, „Vergleich der Performance von

PV-Anlagen mit dezentralen und zentralen Wechselrichtern“, 26.Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, 2011.

- [4] N. Reich, A. Armbruster, B. Müller, K. Kiefer, „Performance Ratio Revisited: Are PR >90% Realistic?“, Proceedings 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, 2011.

Autorenlegende

Alfons Armbruster ist im Team PV-Monitoring am ISE Experte für Datenanalysen, Kommunikation und Anlagenbewertung.

Anselm Kröger-Vodde ist Solarexperte und Leiter des Teams PV-Monitoring in der Abteilung Qualitätssicherung für PV-Module und –Kraftwerke des ISE.

Nähere Angaben zu Autoren

Alfons Armbruster studierte zwischen 1990 und 1996 an der Uni Freiburg Physik. Seit 1994 ist er für das Fraunhofer ISE tätig und befasst sich dort mit Datenanalysen und Kommunikation und der Bewertung von Photovoltaikanlagen. In seiner Freizeit beschäftigt er sich mit Evolutionstheorien, Modelbau und Strategiespielen.

Anselm Kröger-Vodde studierte Elektrotechnik an der Uni Dortmund. Bevor er Teamleiter des PV Monitorings in der Abteilung QPV am Fraunhofer ISE wurde, sammelte er 10 Jahre Monitoring-Erfahrungen an Solarthermischen Kraftwerken auf der Plataforma Solar de Almería, an energiesanierten Gebäuden und Solarwärme-Anlagen während der Anstellung im Zentrum für Angewandte Energieforschung Bayern sowie in Projekten vom Fraunhofer ISE zur Netzintegration von dezentralen Kraftwerken der erneuerbaren Energien. Während seiner Anstellung bei dem britischen PV-Pionier IT Power arbeitete er weltweit an Projekten u.a. in Entwicklungsländern.