



Performance von PV-Anlagen unter der Lupe

Repräsentative Studie | Breit angelegte und langjährige Untersuchungen zur Betriebstüchtigkeit («Performance») von Schweizer PV-Anlagen gibt es bislang kaum. Diese sind jedoch zentral als Grundlage für energiepolitische Weichenstellungen und die Branche insgesamt.

THOMAS VONTOBEL

Eine landesweite Untersuchung der TNC Consulting AG im Auftrag von Energie Schweiz hat die Gesamtsituation zur Performance von Schweizer PV-Anlagen anhand einer eigens dafür entwickelten Methodik und einem Sample von knapp 1700 KEV-Anlagen (rund 12% der Schweizer PV-Nennleistung) im Zeitraum von 2009 bis 2016 analysiert. Das Ergebnis: Der Schweizer PV-Anlagenpark weist insgesamt eine gute Performance auf und wird in der Tendenz sogar unterschätzt.

In verschiedenen Untersuchungen sind in den vergangenen Jahren Betriebstüchtigkeit und Erträge von ein-

zelnen Schweizer Photovoltaikanlagen analysiert worden. Die erhobenen und qualitativ sehr hochwertigen Resultate sind aufschlussreich in Bezug auf spezifische Standorte und Technologien, erlauben aber nur eingeschränkt, allgemeingültige Erkenntnisse für den gesamten Standort Schweiz abzuleiten. Die im vergangenen Frühjahr publizierte Studie verwendet nun eine neue, eigens entwickelte Analysemethodik, um Ertrags- und Solarstrahlungsdaten aus unterschiedlichen Quellen halbautomatisch zusammenzuführen und auszuwerten. Effektive Stromerzeugungsdaten von 1658 PV-Anlagen aus

dem Bundesförderprogramm KEV (Kostendeckende Einspeisevergütung) aus allen Schweizer Kantonen können so auf effiziente Art und Weise mit der durch die Firma Meteotest AG jeweils standortspezifisch ermittelten Solarstrahlung kombiniert werden. Die verwendete Solarstrahlung basiert auf dem Messstellennetz von Meteo Schweiz. Daraus lassen sich erstmals breitflächig abgestützte und repräsentative Resultate für die gesamte Population von PV-Anlagen der ganzen Schweiz gewinnen. Diese Ergebnisse sind auch in Kombination mit den vertieften Einzelanalysen von ausgewähl-

ten Anlagen interessant, da sich diese vertieften Untersuchungen besser in den gesamtschweizerischen Kontext einordnen lassen.

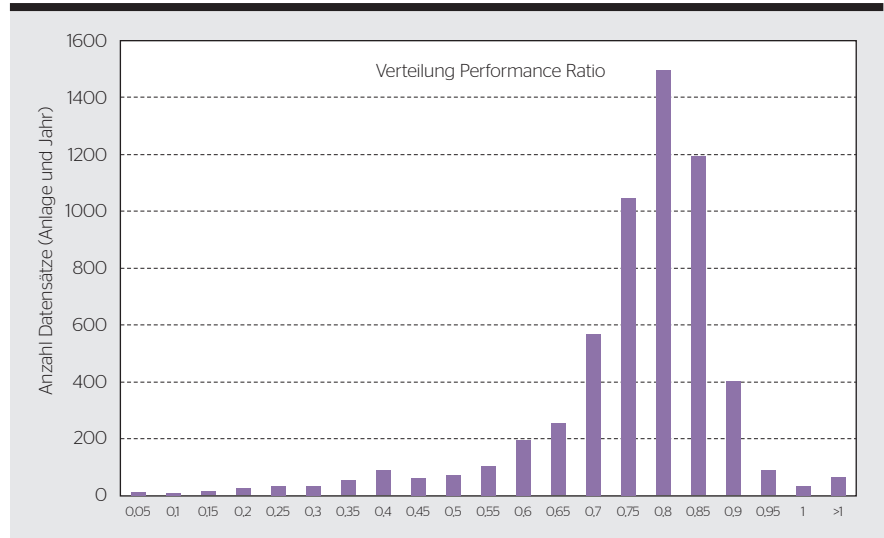
Performance Ratio benennt die Qualität von PV-Anlagen

Die Performance Ratio zeigt den Nutzungs- und Effizienzgrad einer Photovoltaikanlage auf. Anhand einer Zahl zwischen 0 und 1 wird das Verhältnis zwischen dem effektiven Ertrag (YF, Final Yield) und dem potenziellen Referenzertrag (YR, Reference Yield) angegeben ($PR = YF/YR$). Dieser Wert gilt als wichtiger Qualitätsindikator für eine PV-Anlage. Für seine Berechnung sind nicht nur die tatsächlichen Stromproduktionsdaten, sondern auch die Angaben zur standortspezifischen Solareinstrahlung in Modulebene notwendig. Nur mit beiden Angaben lässt sich die Performance oder der Nutzungsgrad einer PV-Anlage berechnen. Die Performance Ratio bewertet also unter Berücksichtigung der effektiven Sonneneinstrahlung, wie effizient die PV-Anlage als Gesamtsystem Strom erzeugt. Als eine gute Performance Ratio gilt beispielsweise ein Wert zwischen 0,65 und 0,8.

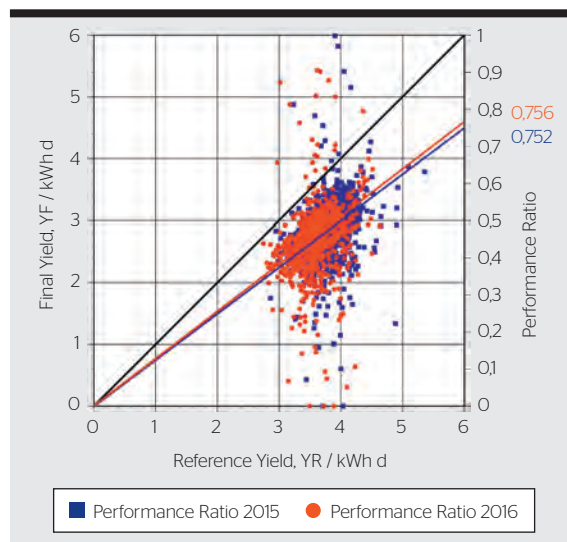
Studienresultate und verschiedene Einflussfaktoren

Die Auswertungen der knapp 1700 Photovoltaikanlagen ergeben für den Zeitraum 2009–2016 eine gute Performance Ratio von leicht mehr als 0,75 über alle Anlagen gesehen. Dabei wurden in der Häufigkeitsverteilung keine grösseren Auffälligkeiten – also besonders niedrige oder hohe Performance Ratio – erkannt. Das zeigt, dass keine systematischen Probleme bei Schweizer PV-Anlagen anzunehmen sind. Auch ist erkennbar, dass eine gute Datenqualität vorliegt, da nur eine geringe Anzahl an PV-Anlagen unrealistisch hohe Performance-Ratio-Werte aufweist.

Diverse Faktoren beeinflussen die Betriebstüchtigkeit von Solaranlagen. Zum Beispiel können Alter und Technologiestand der Anlagenkomponenten, auftretende Ausfälle und deren Dauer bis zur Behebung sowie Regelmässigkeit und Qualität der Wartung die Performance einer PV-Anlage stark beeinflussen. Um die statistische Verteilung der Performance Ratio und den Einfluss der verschiedenen Faktoren darauf besser verstehen zu können,



Verteilung der Jahres-Performance-Ratio der analysierten PV-Anlagen, summiert dargestellt über den untersuchten Zeitraum 2009–2016. Der Mittelwert liegt bei einem guten Wert von knapp über 0,75.



Vergleich der Jahres-Performance-Ratio für die Jahre 2015 und 2016. Die Punkte stellen einzelne PV-Anlagen dar: Rote Punkte sind Werte 2016, blaue Werte 2015.

müssen die einzelnen Einflussfaktoren detailliert und anlagenspezifisch auf statistisch relevanter Basis untersucht und mit den Erkenntnissen aus der Studie in Korrelation gebracht werden.

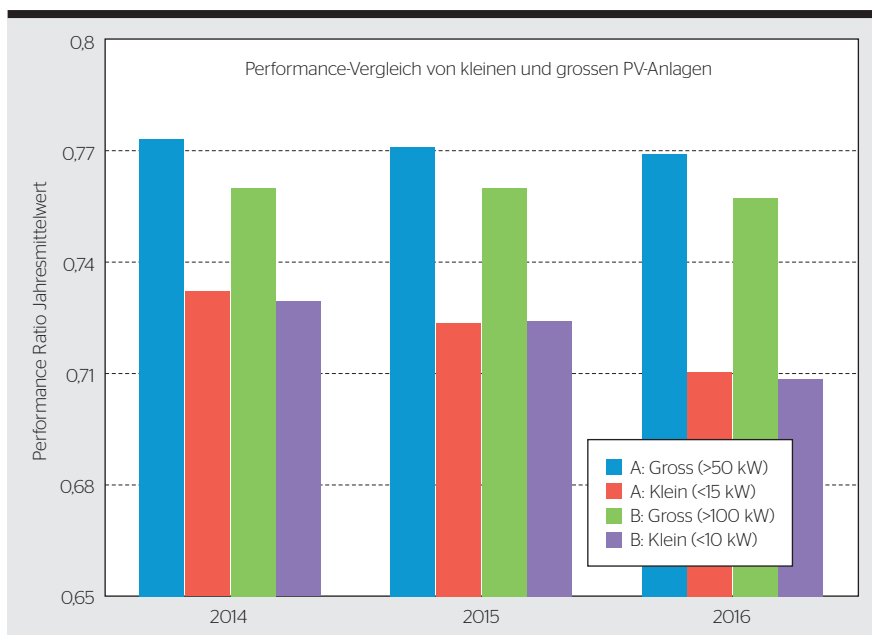
Effektiver Jahresertrag ist höher als angenommen

Zum Vergleich des Jahresertrags wird der auf die Anlagennennleistung normierte elektrische Ertrag verwendet. Die gemachten Auswertungen zeigen, dass in der untersuchten Periode von 2009 bis 2016 der Endertrag mit 1015 kWh für Anlagen mit nur einer Modulorientierung deutlich über den für Modelberechnungen angenommen Durchschnittswert von 950 kWh liegt. Werden alle Anlagentypen berücksich-

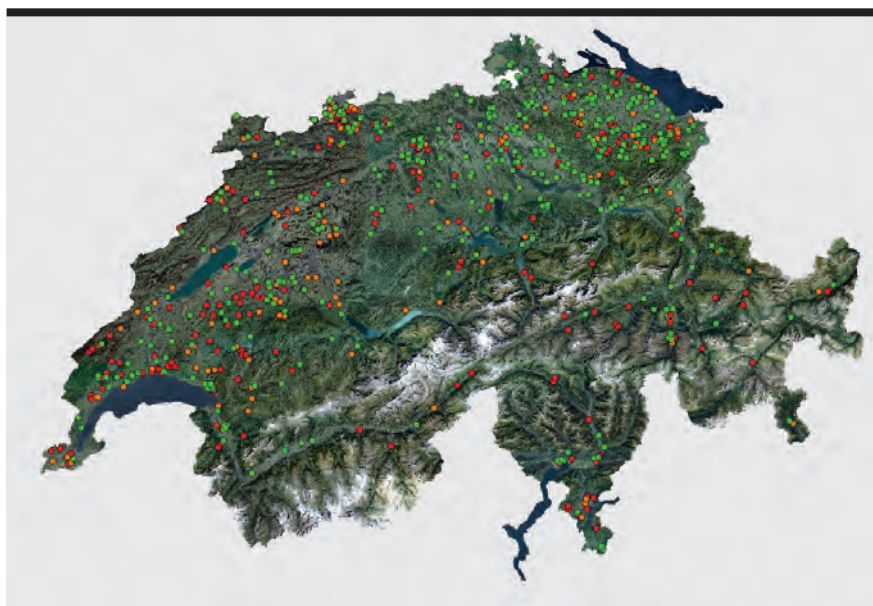
tigt, reduziert sich der normierte Jahresertrag auf 972 kWh. Er liegt aber immer noch über dem angenommenen Mittelwert. Nicht berücksichtigt ist in dieser Auswertung die Abweichung des effektiven Solarstrahlungsangebots vom meteorologischen Standardjahr.

Tiefere Performance Ratio bei kleineren PV-Anlagen

Die Untersuchung der Performance Ratio über alle Anlagen nach Anlagennennleistung gruppiert hat deutlich und konsistent für verschiedene untersuchte Jahre aufgezeigt, dass kleinere PV-Anlagen (<10–15 kW Nennleistung) eine um 4 bis 8% tiefere Performance Ratio aufweisen als grosse PV-Anlagen (>100 kW). Dies ist insbesondere vor



Unterschiede in der Performance Ratio zwischen kleinen und grossen PV-Anlagen von 4-8 % konnten über unterschiedliche Samples und Zeiträume nachgewiesen werden.



Geografische Verteilung der untersuchten PV-Anlagen mit Einfärbung der Abweichung vom Mittelwert über alle Anlagen: grün: +2% oder mehr; orange: -2 bis +2%; rot -2% oder mehr).

dem Hintergrund von zunehmenden Installationen von kleinen PV-Anlagen von Interesse. Mögliche Ursachen könnten beispielsweise bessere Planung für grössere Anlagen, besser aufeinander abgestimmte Komponenten (Teillastbetrieb) oder geringerer Einfluss lokaler Verschattungen sein.

Unterschiede in verschiedenen Landesregionen

Unterschiede in der Performance von Photovoltaikanlagen in den verschie-

denen Landesregionen der Schweiz sind in der Tendenz erkennbar. Während die untersuchten PV-Anlagen in der französisch- und italienischsprachigen Schweiz einen leicht höheren spezifischen Produktionsertrag aufweisen, liegen ihre Performance-Ratio-Werte leicht unter jenen der deutschsprachigen Schweiz. Die Unterschiede sind nicht sehr ausgeprägt, dennoch stellt sich die Frage nach möglichen Ursachen. Allfällige Gründe könnten in Qualitätsunterschieden im

Bereich der Planung, Installation oder Betriebsführung liegen, da davon ausgegangen werden kann, dass dieselben technischen Komponenten von internationalen Anbietern eingesetzt werden. Um jedoch belastbar die tatsächlichen Gründe für die erkennbaren regionalen Unterschiede zu identifizieren, wären weitere technische ebenso wie soziokulturelle Faktoren zu untersuchen.

Degradationseffekte über die Zeit sind klein

Neben der breitflächigen Beurteilung der Performance Ratio zielt die neu entwickelte Methodik darauf ab, neue und vertiefte Erkenntnisse bezüglich Degradationseffekte über die Laufzeit von PV-Anlagen zu gewinnen. Solide Auswertungen von Degradationseffekten sind wichtig, um die Modellierungen des Ertrags und die Wirtschaftlichkeitsberechnungen von PV-Anlagen präzise vornehmen zu können. Zudem geben die Entwicklungen und der Verlauf der Performance über die Betriebsdauer Hinweise auf notwendige Massnahmen in der Qualitätssicherung und im Betrieb und Unterhalt von PV-Anlagen.

Die Frage, ob PV-Anlagen im Verlauf ihrer Lebensdauer eine graduelle, lineare Performance-Degradation durchlaufen, oder die Degradation vielmehr gegen Ende der Lebensdauer stark zunimmt, kann noch nicht abschliessend beantwortet werden. Für Aussagen dazu ist eine Weiterführung der Studie – insbesondere die Verlängerung der Zeitreihe für langfristige Auswertungen über die gesamte Lebensdauer von PV-Anlagen – notwendig.

Die bisherigen Auswertungen über einen Zeitraum von sieben Jahren zeigen, dass die Degradationen der Performance des Gesamtsystems mit 0,2 bis 0,3% pro Jahr deutlich geringer sind als anhand von Garantien von Schlüsselkomponenten, beispielsweise Modulgarantien mit rund -1% pro Jahr, angenommen werden könnte. Die vorhandenen Zahlen deuten auf eine lineare Degradation in den ersten Jahren hin.

Fortschritte in der Technologie

Aus der Studie geht ebenfalls hervor, dass sich die durchschnittliche aggregierte Performance Ratio mit den Fortschritten in der PV-Technologie fort-

laufend verbessert. Die Entwicklung der Performance Ratio von neuen PV-Anlagen kann anhand der verwendeten Methodik quantifiziert werden und damit auch für Modelle sowie Zukunftsprognosen verwendet werden. Für den untersuchten Zeitraum wurde eine Performance-Ratio-Steigerung von jährlich 0,36% nachgewiesen. Damit scheinen sich über den gesamten Anlagenpark der Schweiz und die untersuchte Zeitperiode die Degradation und die technologischen Fortschritte von neuen PV-Anlagen etwa aufzuheben. Ob sich die festgestellte Entwicklung auch für künftige Anlagen im gleichen Mass fortsetzen wird, muss mit periodischen Ergänzungen der Untersuchungen und neuen PV-Anlagen ermittelt werden.

Mehr Winterstrom in der Alpenregion

Der Winteranteil des produzierten Solarstroms (Erträge von Oktober bis März) beträgt schweizweit in der ausgewerteten Zeitperiode je nach Jahr 25–31% des spezifischen Jahresertrags. Die zusätzliche Analyse der geografischen Verteilung für Mittellandkantonen einerseits und für die Alpenregion andererseits zeigen nur leichte Abweichungen vom gesamtschweizerischen Mittelwert. So liegt der Anteil Winter-

strom bei Mittellandkantonen bei 24–30% und bei Kantonen des Alpenraums bei 27–31%. Der höhere Winterstromanteil in den Alpen ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf die intensivere Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Bei den in diesem Bericht untersuchten PV-Anlagen handelt es sich aber nicht um alpine oder hochalpine PV-Anlagen, für welche Winterstromanteile von 40–50% nachgewiesen werden konnten.

Die Studie zeigt aber auch, wie sich besonders schneereiche und kalte Wintermonate negativ auf die Gesamtleistung und den Gesamtertrag des Schweizer Anlageparks auswirken können. Denn wenn grosse Schneemengen bei niedrigen Temperaturen über längere Zeit auf tendenziell flach angewinkelten Solarmodulen liegenbleiben, produzieren die Anlagen trotz hoher Sonneneinstrahlung sehr wenig Strom. Diese Reduktionen wären beispielsweise durch einen steileren Neigungswinkel der Module oder durch intensive Wartung während der schneereichen Periode vermeidbar.

Perspektiven und offene Fragen

Die Studie zeigt erfreuliche Resultate für die Qualität von Schweizer PV-Anlagen und die Solarstromproduktion und liefert statistisch relevante Auswertun-

gen in diesen Themenbereichen. Eine Weiterführung der Untersuchungen steigert den Wert der bisher gefundenen Resultate. Dazu müssten vor allem die Zeitreihen verlängert werden, um Aussagen zur Entwicklung der Performance über die Gesamtlebensdauer von PV-Anlagen machen zu können. Ausserdem müsste das Anlage-Sample um neue PV-Anlagen ergänzt werden, um die Entwicklungen der Performance aufgrund von Fortschritten in der Technologie zu bestimmen. Die Resultate helfen, Ertragsmodellierungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu verbessern. Die ermittelten Resultate, wie beispielsweise der durchschnittliche spezifische Ertrag und dessen Vergleich mit Annahmen in Modellen, sollten weiter beobachtet werden. Schliesslich gibt es mehrere Hinweise dafür, dass neben zuverlässigen Komponenten auch gut geschulte Anlagebetreiber, ein zeitnahes Monitoring sowie zuverlässige Anlagewartung entscheidende Erfolgsfaktoren für eine gute Performance Ratio und somit hohe und stabile Solarstromerträge von PV-Anlagen sind.



Autor

Thomas Vontobel ist Projektleiter bei TNC Consulting AG.
→ TNC Consulting AG, 8706 Feldmeilen
→ vontobel@tnc.ch

RÉSUMÉ

La performance des installations photovoltaïques sous la loupe

Étude représentative

Peu d'études de grande ampleur et sur plusieurs années ont été réalisées jusqu'à présent sur la performance des installations photovoltaïques suisses. Celles-ci sont pourtant essentielles en tant que base pour poser de nouveaux jalons politico-énergétiques, et pour la branche en général. Une étude nationale réalisée par TNC Consulting AG sur mandat de Suisse Energie a analysé la situation globale de la performance des installations photovoltaïques suisses au moyen d'une méthodologie développée spécialement à cet effet et d'un échantillon de près de 1700 installations RPC (environ 12% de la puissance nominale photovoltaïque suisse) pendant la période 2009–2016.

L'étude présente des résultats réjouissants pour la qualité des installations photovoltaïques suisses et la production d'électricité solaire et livre des évaluations statistiquement pertinentes dans ces domaines. Une poursuite de l'étude augmente la valeur des résultats obtenus jusqu'à présent.

Pour cela, les séries de valeur devraient surtout être prolongées afin de pouvoir émettre des affirmations sur l'évolution de la performance tout au long de la durée de vie des installations photovoltaïques. De plus, l'échantillon d'installations devrait être complété par de nouvelles installations photovoltaïques afin de déterminer les évolutions de la performance en fonction des progrès de la technologie. Les résultats aident à améliorer les modélisations de rendement et les calculs de rentabilité. Il faudrait continuer d'observer les résultats établis, tels que le rendement spécifique moyen et sa comparaison avec les hypothèses dans les modèles. Enfin, plusieurs éléments indiquent que, outre des composants fiables, des exploitants d'installation bien formés, une surveillance en temps utile ainsi qu'une maintenance fiable constituent des facteurs de succès décisifs pour obtenir un bon ratio de performance et, ainsi, des rendements élevés et stables en courant solaire.

MR