

Projektion der PV-Leistung zwischen Anlagen unterschiedlicher Modulausrichtung

S. Killinger^{*1,2}, F. Braam^{*1}, B. Müller^{*1}, B. Wille-Hausmann^{*1}, R. McKenna^{*2}

^{*1} Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg, Telefon +49 761/4588-5523, sven.killinger@ise.fraunhofer.de

^{*2} Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

1 Motivation: Modulausrichtung berücksichtigen

- Durch den Zubau an dezentralen Erzeugungs- und Speichersystemen werden für die Netzbetreiber präzise und ortsaufgelöste Leistungsprognosen sowie Echtzeithochrechnungen immer wichtiger.
- Insbesondere die Modulorientierung spielt für das zeitliche Verhalten und die Höhe der Erzeugungsleistung eine große Rolle, bleibt aber bisher weitgehend unberücksichtigt.

Forschungsfrage:

- ➔ Wie kann die Leistung zwischen PV-Anlagen mit unterschiedlicher Ausrichtung durch ein neues Verfahren besser projiziert werden?

2 Methodik: Transformation von Leistung und Strahlung

- Verfahren, mit dem die PV-Leistung auf Basis einer Referenzanlage unter Berücksichtigung der Modulorientierung abgeschätzt wird:
1. Ausgehend von PV-Leistung P_{pv}^{el} einer Referenzanlage werden – entgegen der üblichen Modellierungsrichtung (Abb. 1) – wesentliche Modellteile invertiert. Da nicht-lineare und abschnittsweise definierte Modelle verwendet werden, muss auf iterative Näherungsverfahren zurückgegriffen oder Funktionen approximiert werden.
 2. Horizontale Globalstrahlung E_{hor}^{glob} ist Zwischenlösung und von Modulorientierung unabhängig.
 3. Mit E_{hor}^{glob} und unter Berücksichtigung der Modulausrichtung jeder Zielanlage wird deren PV-Leistung P_{pv}^{el} abgeschätzt.

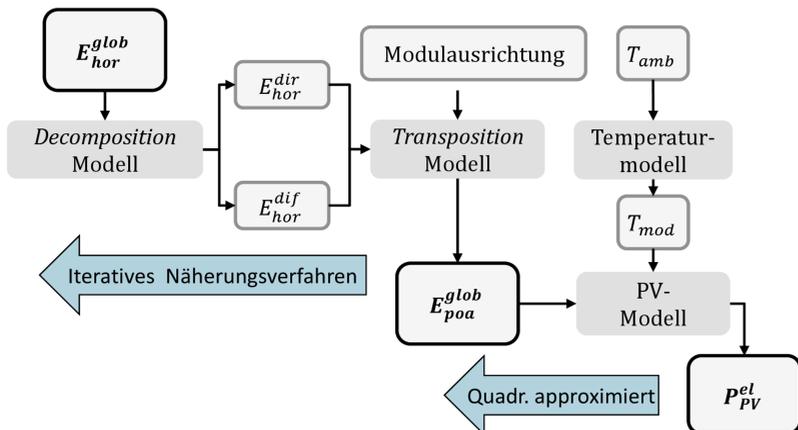


Abbildung 1: Ablaufschemata zur Simulation der PV-Leistung.

3 Simulationsgrundlage: Testregion Freiburg

- Kreuzvalidierung mit 5-minütigen Leistungszeitreihen zwischen 2010 und 2014 von 45 PV-Anlagen (Abb. 2) aus der Region Freiburg.

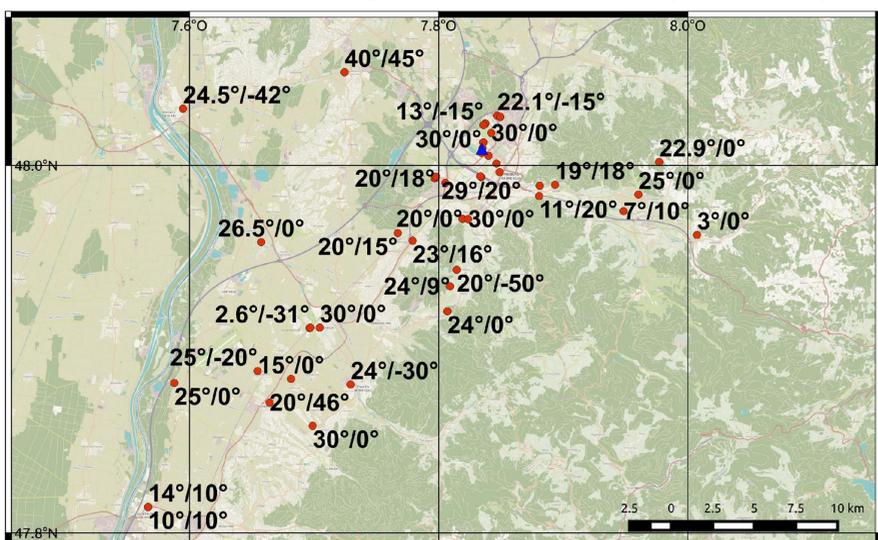


Abbildung 2: PV-Anlagen (rot) mit Neigungs- und Azimutwinkeln.

4 Ergebnisse & Diskussion: Projektion der PV-Leistung

- Simulierte Leistungszeitreihen jeder Zielanlage werden mit ihrer gemessenen Einspeisung verglichen (Abb. 3):
 - *Leistungsprojektion*: Ausrichtung durch Methodik berücksichtigt.
 - *Standardfall*: Leistung der Referenzanlage auf installierte Leistung der Zielanlage skaliert.
- Leistungsprojektion führt bei nahezu allen Variationen zu Verbesserungen, insbesondere bei großen Unterschieden im Azimutwinkel zwischen Referenz- und Zielanlage.
- Keine Verbesserung bei sehr ähnlicher Ausrichtung.
- Im Durchschnitt zeigt sich für den $RMSE_{rel}$ eine Verbesserung von 7,9%, für den Korrelationskoeffizienten ein Wert von 2,3 %.

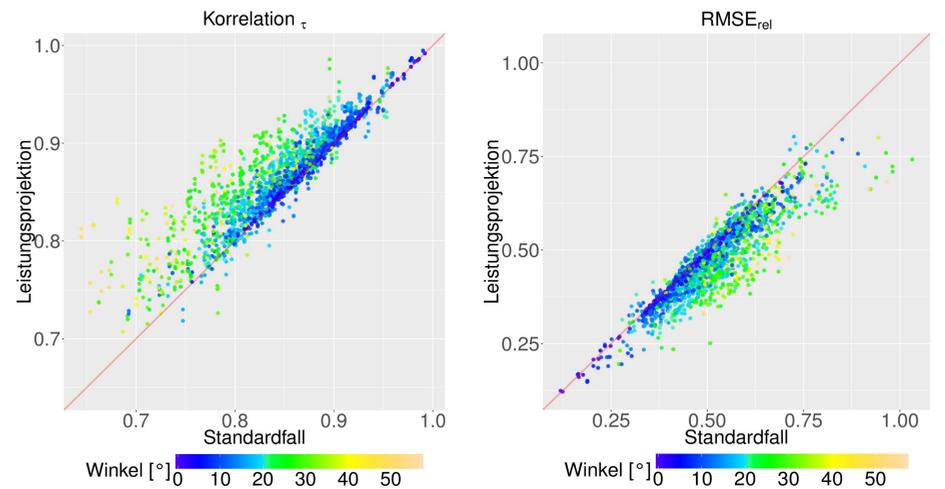


Abbildung 3: Korrelationskoeffizient (links) und $RMSE_{rel}$ (rechts). Die Winkeldifferenz zwischen der Referenz- und Zielanlage ist farblich dargestellt. Punkte oberhalb der roten Trennlinie stellen für den Korrelationskoeffizienten eine Verbesserung, beim $RMSE_{rel}$ eine Verschlechterung gegenüber dem Standardfall dar.

- Wird je eine Referenzanlage ausgewählt, um die Summenleistung aller übrigen Anlagen abzuschätzen, zeigt sich durch Leistungsprojektion eine durchschnittliche Verbesserung des $RMSE_{rel}$ von 19,7 % und beim Korrelationskoeffizienten von 1 %.
- Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Rückrechnung von P_{pv}^{el} auf E_{hor}^{glob} :
 - Große Einfallswinkel führen zu Reflektionen mit Rückgang der Direktstrahlung: E_{hor}^{glob} wird unterschätzt (16-20 Uhr; Abb. 4 links).
 - Kalibrierung von P_{pv}^{el} verbessert E_{hor}^{glob} signifikant.

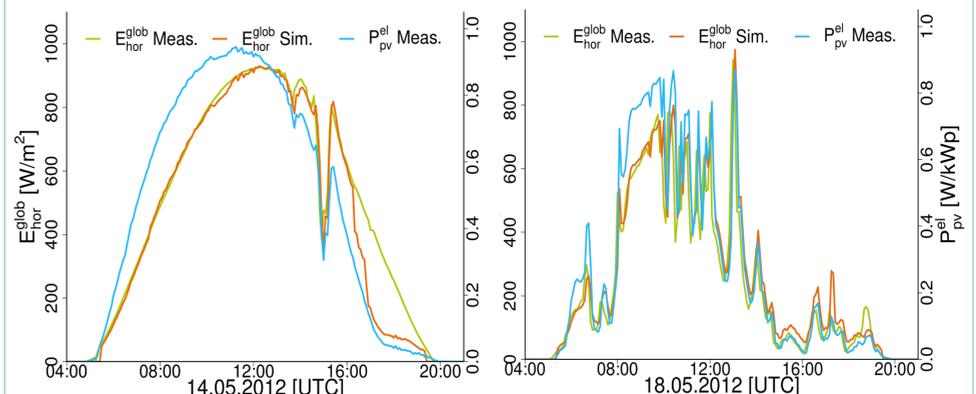


Abbildung 4: Gemessene P_{pv}^{el} und die daraus abgeleitete (simulierte) E_{hor}^{glob} im Vergleich mit der gemessenen E_{hor}^{glob} für einen nahezu wolkenlosen (links) und bewölkten Tag (rechts).

5 Zusammenfassung: Verbesserte Simulationsergebnisse

- Verfahren entwickelt, bei dem mit einer PV-Referenzanlage und der Modulorientierung die Leistung anderer PV-Anlagen simuliert wird.
- Signifikante Verbesserung bei unterschiedlichen Azimutwinkeln.
- Als Zwischenergebnis wird E_{hor}^{glob} aus der PV-Leistung P_{pv}^{el} abgeleitet.