

Verbesserung der Leistungsvorhersagen von PV-Anlagen mit Model Output Statistics (MOS)

Michael Bühner⁽¹⁾, Karl G. Gutbrod⁽¹⁾, Mathias D. Müller⁽²⁾, Frank Schlichting⁽³⁾

1. Motivation

- Subventionsmaßnahmen (EEG) fallen stufenweise weg
- Direkte Vermarktungsmethoden gewinnen an Bedeutung
- Präzise Leistungsprognosen von Solaranlagen unerlässlich

2. Fehlerursachen gängiger Vorhersagemodelle

- Leistungsverhalten der einzelnen Anlage stark abhängig von Standort und Anlagentopographie -> wichtige Fehlerursache bei PV-Leistungsprognosen
- Performance Ratio (PR) einer Anlage abhängig von Modultemperatur, spektralen Sensitivität, Reflexion an Glasoberflächen, regelmäßige Abschattungen, Nebel oder Schnee
- Fehlerminimierung ergibt verbesserte Leistungsprognosen von PV Anlagen
- Statistische Methoden, wie z.B. Model Output Statistics (MOS), ermöglichen Optimierung der Prognosen mit Hilfe der lokalen Messdaten

3. Methodik

- Einflussgrößen auf PR: Klimaregion, Jahreszeit, genutzter Technologie, Abschattung, Bewölkung sowie Reflexionsverluste aufgrund von flachen Einfallswinkeln, mikroklimatische Eigenschaften des Standortes: Schneebedeckung, Früh- oder Küstennebel, Smog



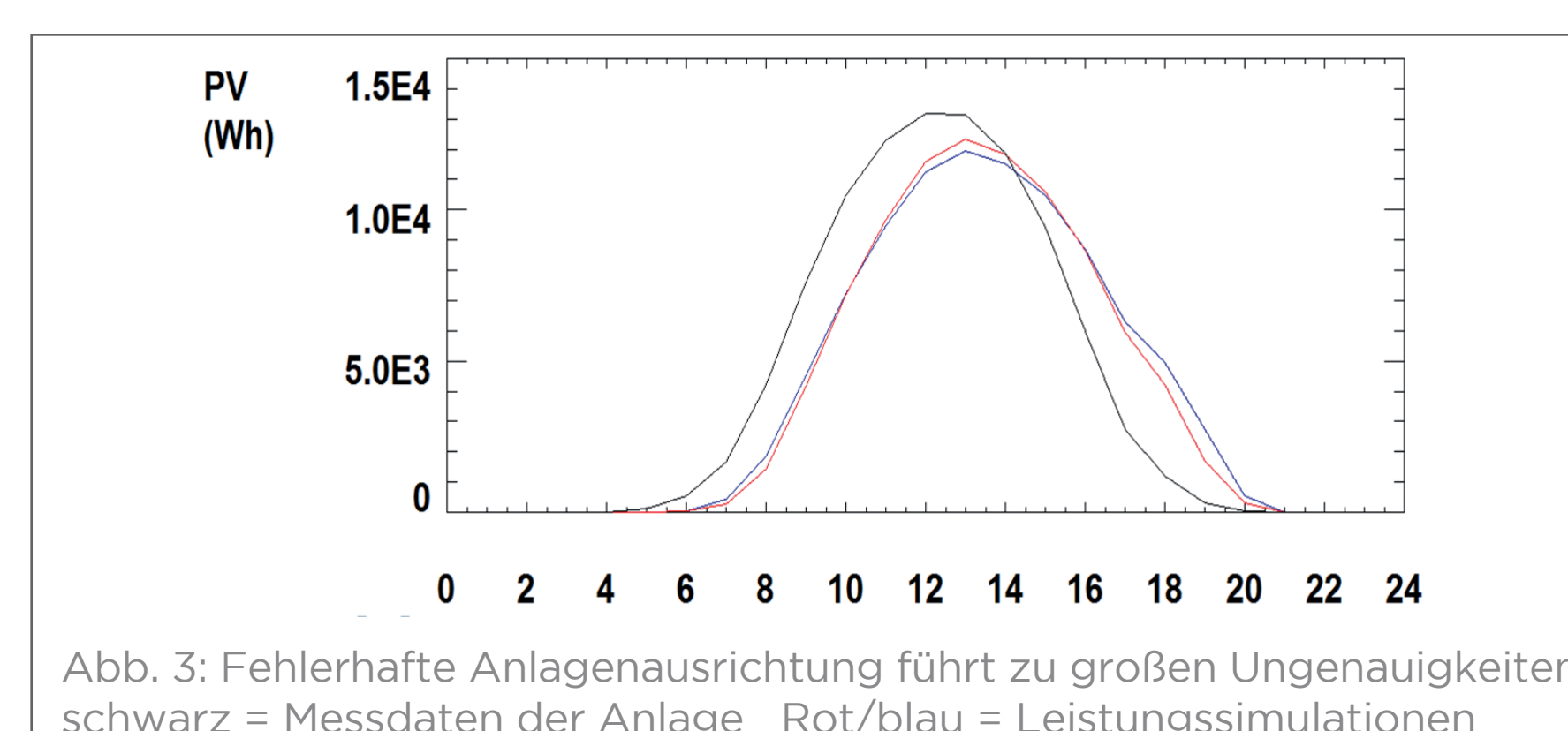
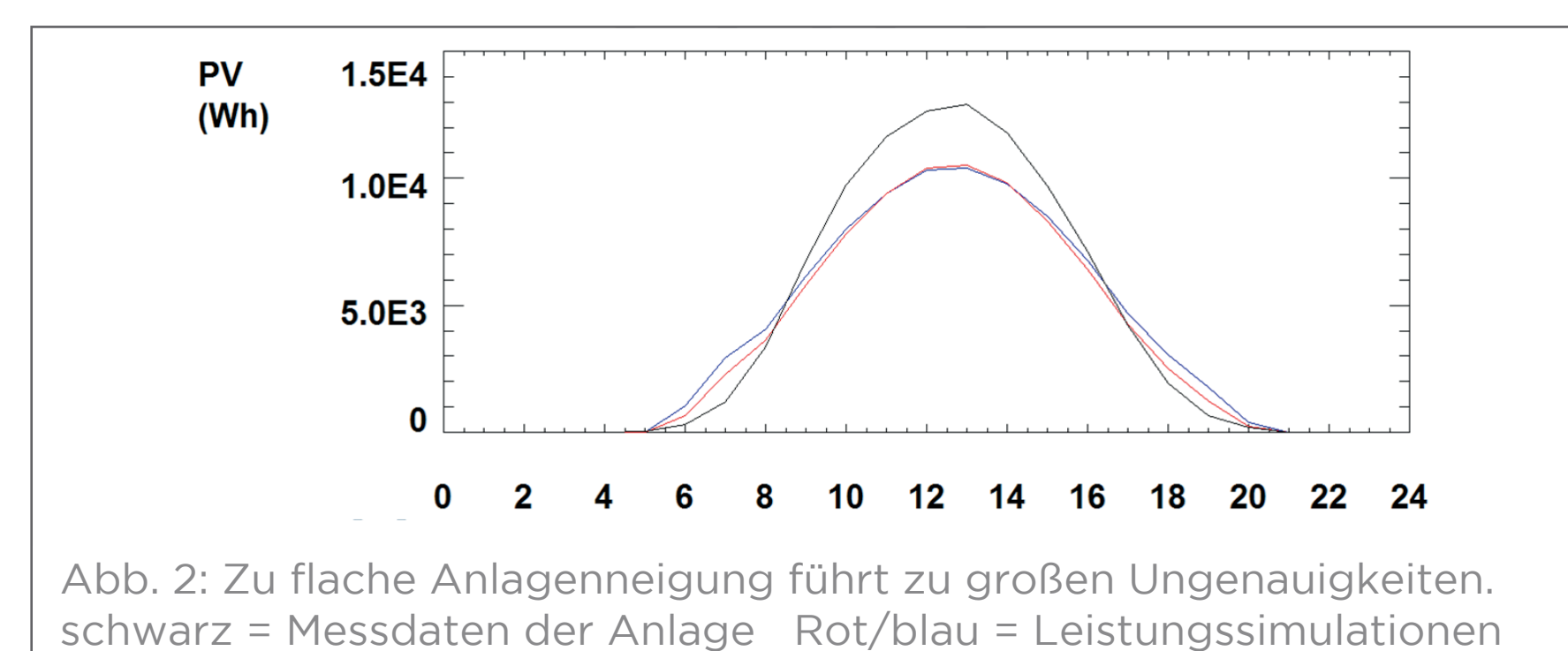
- **Ansatz:** PV-Prognosen auf Basis von stündlichen Messdaten mit Hilfe von Model Output Statistics (MOS) verbessern
- Dynamische Parameter berechnen: mikroklimatische Effekte wie Nebel durch meteorologische Parameter (z.B. Feuchte) lokal optimieren sowie elektrotechnischer Effekte für Einbindung in MOS Prozess berücksichtigen
- Auswahl der korrekten meteorologischen und elektrotechnischen Parameter für anlagenspezifisches Berechnungsmodell mit Hilfe lokaler Messdaten
- Untersuchung der Genauigkeit von PV-Anlagensimulationen basierend auf den Wettervorhersagen der meteoblue AG mittels MOS
- Validierung der Berechnungen auf Basis der Leistungsdaten des Solar-Log™ WEB-Portal der Solare Datensysteme GmbH

4. Datenquellen und -qualität

- Berechnung der PV-Anlagenleistung aus archivierten Wettervorhersagen aus dem numerischen Mesoskala-Modell der meteoblue AG
- Basis für Leistungsprognosen: Einstrahlungsdaten und Wetterparameter aus Vorhersagemodellen
- Stündliche Strahlungsdaten Basis für PV-Erträge
- Berechnung von PV-Leistung: Projektion der Einstrahlung auf die Modulebene, Leistungssimulation mit Hilfe des PR
- Vergleich der Simulationen mit Leistungsmessungen aus dem Solar-Log™ WEB-Portal der Solare Datensysteme GmbH
- Kriterien für Datenauswahl: Datenverfügbarkeit von mindestens einem Jahr, bevorzugt große Anlagen, da häufiger gewartet und seltener Abschattungsverluste
- Qualitätskontrolle der Leistungsdaten notwendig
- Auswahl von 97 PV Anlagen in ganz Europa (vgl. Abb. 1)
- Tagesverlauf der PV-Produktion expositionsabhängig: Verschiebung des Tagesmaximums in Richtung Morgen- oder Abendsonne
- PV-Anlage mit falsch angegebener Neigung (Abb. 2) oder ungenauer Konfiguration der Ausrichtung (Abb. 3)

5. Model Output Statistics (MOS)

- Korrektur der Prognose mittels MOS: Vergleich stündlicher Mess- und Modelldaten von mehreren Monaten



- Ableitung von Korrekturfunktionen für einen Standort aus den Strahlungswerten und anderen Vorhersageparametern

- Zur Vermeidung von jahreszeitabhängigen Wetterphänomenen: Datenbasis von mindestens 12 Monaten
- Weiterentwicklung des Modells: Berücksichtigung weiterer aus meteorologischen Größen abgeleiteter Parameter
- MOS gewichtet Parameter und generiert ein anlagenspezifisches Regressionsmodell

6. Fehlerbetrachtungen

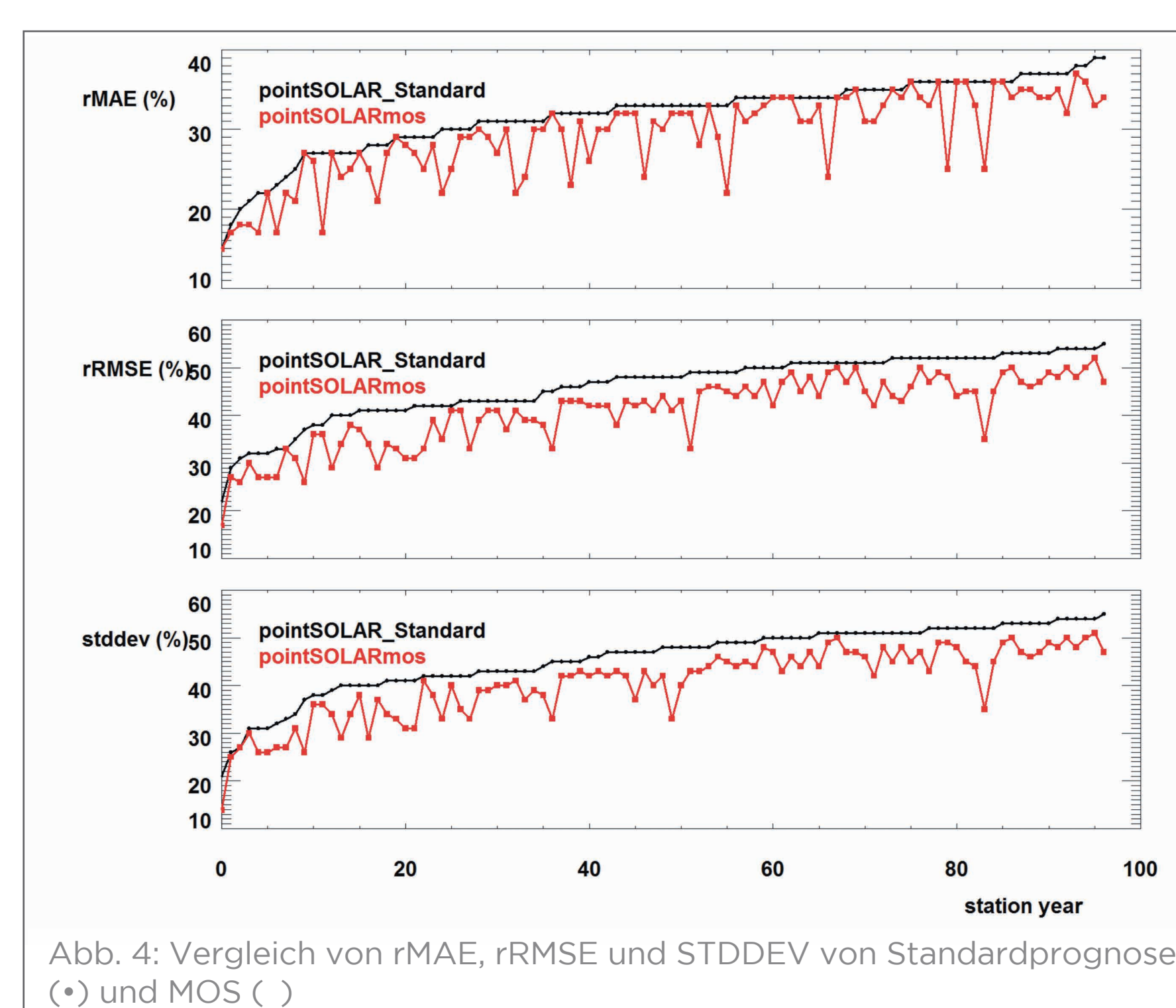
- Fehlergrößenberechnung jeweils für Stunden, Tages- und Monatswerte zur Bewertung der Daten aus NMM Wettermodellen
- Fehler nehmen mit dem Vorhersagezeitraum zu
- Wettermodell besteht aus Gitterzellen, d.h. mittlere Strahlung in einem Gebiet von der Größe der Gitterzelle: wichtig bei komplexem Gelände
- Horizonteneinschränkungen, Abschattungen, Verschmutzungen im Modell nicht abbildbar
- Verminderte Leistungsfähigkeit durch elektrotechnische Defekte an Verkabelung oder Anlagenkomponenten, fehlerhafte Messung der Strahlungssensoren durch Defekt oder Verschmutzung

7. Analyse der Fehler des Standardmodells

- Fehlergrößen des pointSOLAR-Standardmodells weisen konsistente Qualität auf
- Südlichere und sonnigere Standorte zeigen geringere Fehlergrößen
- Mittlere absolute Fehler stündlich aufgelöster Vorhersagen: 15% - 39%, im Mittel 32%, rRMSE, rSTDDEV 21% - 55%

8. Analyse der Verbesserungen durch MOS

- Fehlerverbesserung im Mittel um 3% von 32% auf 29%
- rRMSE und rSTDDEV im Mittel 5% bzw. 6% verbessert
- Reduktion des mittleren absoluten Fehlers durch MOS 0% bis 11%, im Mittel 3%
- rRMSE reduziert sich an 96 der 97 Standorte, im Mittel um 5%
- Verbesserungen von bis zu 17% möglich



- Standardabweichung verhält sich wie RMSE -> geringe systematische Fehler

9. Fazit

- Standardabweichung pointSOLAR Modell der meteoblue AG ohne MOS Optimierung zwischen 21% und 55% auf Stundenbasis
- Optimierungspotential von MOS kann an verschiedenen Standorten stark variieren
- Je größer die Fehler des Standard pointSOLAR Modells desto höher das Optimierungspotential
- Reduzierung der Standardabweichung um durchschnittlich 5%
- Standardabweichung für optimierte Prognosen zwischen 14% und 51% (vgl. Abb. 4)

⁽¹⁾ meteoblue AG

⁽²⁾ Universität Basel

⁽³⁾ Solare Datensysteme GmbH