

# STOCHASTISCHE ABHÄNGIGKEITEN VON PROGNOSEFEHLERN DER DARGEBOTSABHÄNGIGEN EINSPEISUNG

Jens D. SPREY<sup>1</sup>, Annika KLETTKE<sup>1</sup>, Albert MOSER<sup>1</sup>

## Motivation

Zur Aufrechterhaltung eines stabilen Betriebs des elektrischen Energieversorgungssystems ist die stetige Einhaltung des Gleichgewichts zwischen Erzeugung und Nachfrage sicherzustellen. Der strukturelle Wandel des Erzeugungssystems führt zu einer zunehmenden Abhängigkeit der Einspeisung vom Dargebot und damit zu einer signifikanten Veränderung der Einflussfaktoren auf die Leistungsbilanzabweichungen. Im Vergleich zu den bisher dominierenden Ursachen wie Kraftwerksausfällen und der Lastprognosefehler nimmt die Bedeutung der Prognosegüte von Einspeisungen aus erneuerbaren Energien weiter zu.

Im Hinblick auf die Vermarktung der Einspeisungen aus erneuerbaren Energien werden für die individuellen Anlagen meistens zeitlich sowie räumlich hoch aufgelöste Prognosen erstellt. Für methodische Betrachtungen und Simulationen des europäischen Systems stehen diese jedoch derart aufgelöst selten zur Verfügung, sodass realitätsnahe Modelle Anwendung finden. Analysen bezüglich der stochastischen Abhängigkeiten zeigen, dass die Prognosefehler der dargebotsabhängigen Einspeisung sowohl zeitliche als auch geographische Zusammenhänge aufweisen und diese daher bei detaillierten Betrachtungen abzubilden sind. Dies gilt insbesondere wenn die Auswirkung einer räumlichen Konzentration von Prognosefehlern, wie beispielsweise bei Netzbetriebssimulationen, eine Rolle spielt.

Das Ziel dieses Beitrags ist es daher, ein Modell zur Abbildung stochastischer Abhängigkeiten von Prognosefehlern der dargebotsabhängigen Einspeisung für zukünftige Szenarien mit einer hohen geographischen Auflösung zu entwickeln.

## Methodik

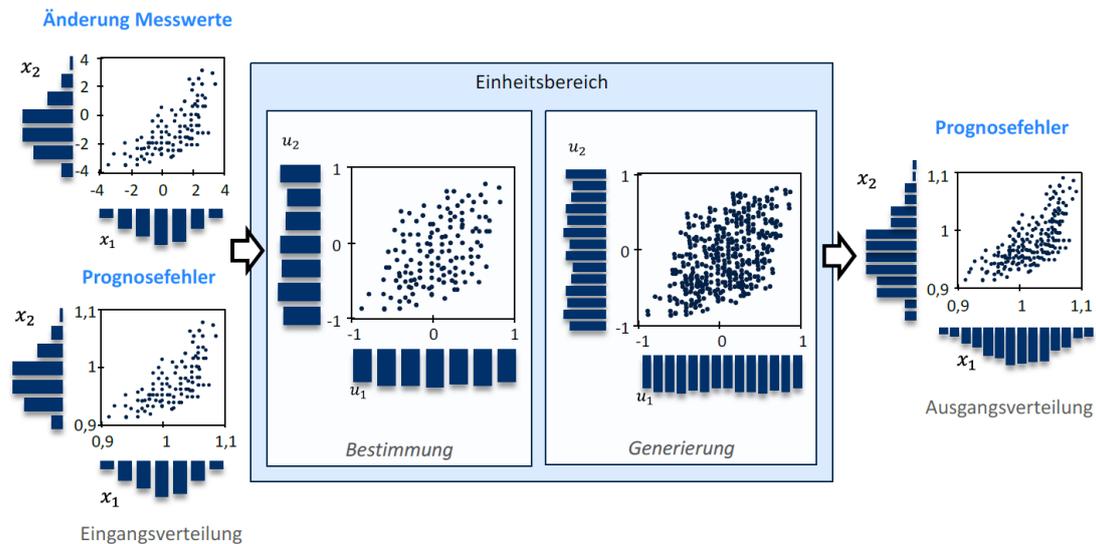
Aufgrund der geforderten Abbildung geographischer Abhängigkeiten bezüglich des Prognosefehlers sind für verschiedene Szenarien stochastisch abhängige Prognosefehler zu generieren, welche einer bestimmten Verteilung folgen. Für diesen flexiblen Fall der Modellierung eignet sich die Copula. Die Vorgehensweise zur Generierung stochastisch abhängiger Zufallszahlen unter Verwendung der Copula ist in Abbildung 1 dargestellt ist. [1]

Bei der copulabasierten Erzeugung von Zufallszahlen sind die Eingangsverteilungen  $x_1$  und  $x_2$ , die einer unterschiedlichen Verteilungsform wie z.B. der Normalverteilung oder der Gammaverteilung folgen können, zunächst in den Einheitsbereich zu transformieren. In dem Intervall  $[-1, 1]$  erfolgt eine von der Randverteilung unabhängige Bestimmung der stochastischen Zusammenhänge der transformierten Verteilungen  $u_1$  und  $u_2$ . Basierend auf der ermittelten Abhängigkeit werden Zufallszahlen generiert, die anschließend mithilfe der Ausgangsverteilung in den Bildbereich rückzutransformieren sind.

Für die Erstellung der Copula werden regional aufgelöste, kurzfristige Prognosefehlerverteilungen benötigt, die jedoch nicht im benötigten Umfang vorliegen. Dahingegen existieren hoch aufgelöste Messwerte von Wetterstationen zum Beispiel für die Windgeschwindigkeit sowie die Solarstrahlung. Im Gegensatz zu der herkömmlichen Vorgehensweise bei der Copula, die gleiche Eingangs- wie Ausgangsverteilungen verwendet, wird vorliegend die Annahme getroffen, dass die stochastische Abhängigkeit der Prognosefehlerverteilungen der Abhängigkeit der Windgeschwindigkeitsänderungsverteilung ähnelt. Basierend auf diesen Verteilungen kann nun die Abhängigkeitsstruktur unabhängig von der Randverteilung bestimmt werden, wodurch ein wesentlicher Vorteil der Copula ausgenutzt wird. Die Rücktransformation in den Bildbereich erfolgt über die Ausgangsverteilung, die in erster Näherung als Normalverteilung angenommen wird und somit nicht der Eingangsverteilung entspricht.

---

<sup>1</sup> IAEW RWTH Aachen, Schinkelstraße 6, 52056 Aachen, Tel.: +49 241 80-96713, Fax: +49 241 80-92197, [ak@iaew.rwth-aachen.de](mailto:ak@iaew.rwth-aachen.de), [www.iaew.rwth-aachen.de](http://www.iaew.rwth-aachen.de)



**Abbildung 1: Vorgehen zur Erzeugung stochastisch abhängiger Zufallszahlen.**

Die getroffenen Annahmen bei dem modifizierten Verfahren zur copulabasierten Erzeugung stochastisch abhängiger Zufallszahlen sind anhand historischer Daten zu verifizieren. Dabei wird zum einen untersucht, inwiefern die stochastischen Abhängigkeiten durch die Verteilung der Windgeschwindigkeitsänderung abbildbar sind und zum anderen der Randbereich der Summe der generierten Verteilungen unter Verwendung von Quantilswerten betrachtet.

## Ergebnisse

Die Untersuchungen basieren auf historischen Messwerten von Wetterstationen und den dazugehörigen 2-Stunden-Prognosewerten, die für ein räumlich begrenztes Gebiet vorliegen. Für die Ermittlung der stochastischen Abhängigkeiten wird an dieser Stelle die Transinformation verwendet, welche ein Zusammenhangsmaß für unbekannte Abhängigkeitsstrukturen darstellt. [2]

Dabei ergibt sich für die Transinformation zwischen zwei Windparks im Falle der Windgeschwindigkeitsänderung als Eingangsverteilung eine Abweichung von 4,6 % gegenüber der herkömmlichen Vorgehensweise bei Verwendung der Copula. Somit wird die Abhängigkeitsstruktur durch das modifizierte Verfahren hinreichend genau abgebildet.

Darüber hinaus ergibt sich für die Quantilswerte der Summe der generierten Verteilungen bei der Verwendung des modifizierten Verfahrens für das 1 %-Quantil eine Abweichung von 1,7 % und für das 99 %-Quantil eine Abweichung von 6,4 %. Anhand dieser Quantilswerte ist festzustellen, dass ebenso wie die Abhängigkeitsstruktur auch der Randbereich hinreichend genau abgebildet wird.

Die Messwertänderungen der Windgeschwindigkeiten eignen sich folglich als Eingangsverteilung für die Copula zur Generierung stochastisch abhängiger Prognosefehler. Mithin wurde ein Modell entwickelt, welches bei der Simulation geographisch hoch aufgelöster Elektrizitätsversorgungssysteme Anwendung finden kann.

## Literaturverzeichnis

- [1] G. Papaefthymiou und D. Kurowicka, „Using copulas for modeling stochastic dependence in power system uncertainty analysis“, IEEE Transactions on Power Systems, Bd. 24, Nr. 1, 2009.
- [2] Pluim, Josien P W, Maintz, J B Antoine und M. A. Viergever, „Mutual-information-based registration of medical images: A survey“, IEEE transactions on medical imaging, Bd. 22, Nr. 8, 2003.