

# PROBABILISTISCHE ANALYSE DER BETRIEBLICHEN SPANNUNGSHALTUNG IM ÜBERTRAGUNGSNETZ

Markus KNITTEL<sup>1\*</sup>, Stefanie SAMAAAN<sup>1\*</sup>, Sascha BAUER<sup>1</sup>, Albert MOSER<sup>1</sup>

## Einleitung

Durch den zunehmenden Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromversorgung steigt die Volatilität der Lastflusssituationen in elektrischen Übertragungsnetzen. Als Folge ergeben sich Unsicherheiten für Blindleistungsbedarfe und Spannungsamplituden, die für eine robuste Spannungshaltung und die Wahrung der Spannungsstabilität berücksichtigt werden müssen. In der Praxis verwenden Netzbetreiber zur Spannungshaltung insbesondere lokale Anlagenregler in Kombination mit zentral angewiesenen Sollwertvorgaben und Schaltmaßnahmen für Blindleistungskompensationsanlagen. Im Hinblick auf die deutlich steigende Anzahl der Kompensationsanlagen wird zudem die direkte Steuerung der Anlagen durch höhere Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen (HEO) diskutiert [1], [2]. Die Spannungshaltung und die Wahrung der Spannungsstabilität in zukünftigen Übertragungsnetzen muss folglich mithilfe einer geeigneten Methode simuliert werden, um den Netzbetrieb mit einem geplanten Kompensationsportfolio zu analysieren. Diese Methode muss die Analyse von Systemzuständen nahe der Stabilitätsgrenze unter Berücksichtigung volatiler Erzeugung ermöglichen. Dazu können im Allgemeinen quasistationäre Berechnungsverfahren und Zeitbereichssimulationen in Betracht gezogen werden [3]. Vor diesem Hintergrund wurde eine Methode entwickelt, die Monte-Carlo-Simulationen für eine prognostizierte Einspeisung durchführt. Dazu werden die volatilen Einspeisungen szenarienbasiert und in Abhängigkeit eines bekannten Systemzustandes durch einen Continuation Power Flow (CPF) eingestellt.

## Methode

Die Eingangsdaten der Methode stellen  $N_{mc}$  Erzeugungsszenarien dar, die eine volatile Einspeisung repräsentieren. Zur Sicherstellung der Lastdeckung werden die Fahrpläne der konventionellen Kraftwerke für jedes Szenario durch eine Optimierung der Kraftwerkseinsatzplanung (KEP) bestimmt. Diese berücksichtigt unterschiedlichen Nebenbedingungen wie die maximalen Leistungsgradienten, Mindestbetriebs- und Stillstandszeiten sowie Warm- und Kaltstartkosten. Insgesamt ergeben sich somit Einspeisezeitreihen für alle Erzeugungsanlagen für die unterschiedlichen Szenarien. Die Unsicherheit der Last wird hierbei vernachlässigt. Für jedes Szenario wird der bekannte Systemzustand zum Zeitpunkt  $t_l$  durch den CPF in Richtung des zukünftigen Zeitpunktes  $t_{l+1}$  verschoben (Abb. 1). Somit werden probabilistische Spannungsprofile in Abhängigkeit des Transitionsparameters  $\lambda$  ermittelt.

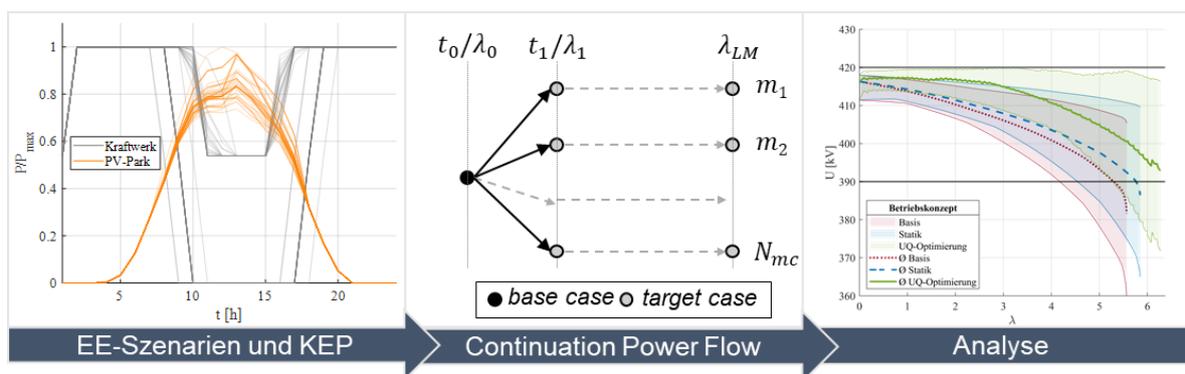


Abb. 1: Modellübersicht

Der Einsatz der Blindleistungskompensationsanlagen erfolgt hierbei durch lokale Regler und kann durch eine HEO in closed-loop ergänzt werden. Letztere bildet die kontinuierliche Sollwertanpassung lokaler Regler ab, die ohne manuelle Überprüfung durch einen Netzingenieur durchgeführt wird. Die verwendete HEO ist eine Spannungs-Blindleistungsoptimierung die durch eine sukzessive lineare

<sup>1</sup> IAEW an der RWTH Aachen University, Schinkelstraße 6, 52062 Aachen, Deutschland, Tel. +49 241 80 97891, Fax +49 241 80 92135, m.knittel@iaew.rwth-aachen.de, <http://www.iaew.rwth-aachen.de/>

Programmierung realisiert wird [4]. Lokale Regler werden durch PV-Knoten sowie  $Q(U)$ -Statiken abgebildet.

## Ergebnisse

Die entwickelte Methode wird für ein synthetisches Übertragungsnetzmodell validiert, das unterschiedliche Einspeise- und Lastsituationen abbildet (Abb. 2a). Dabei werden unterschiedliche Betriebskonzepte für eine Monte-Carlo Simulation mit  $N_{mc} = 50$  untersucht. Im Basiskonzept wird dabei nur die lokale Spannungshaltung durch konventionelle Kraftwerke in Form von PV-Knoten berücksichtigt. Des Weiteren wird die Nutzung weiterer Reserven durch  $Q(U)$ -Statiken für dezentrale Erzeugungsanlagen sowie geregelte Blindleistungskompensationsanlagen (z.B. STATCOMs) untersucht. Abschließend werden die Statiken durch den closed-loop Betrieb der Spannungs-Blindleistungsoptimierung ergänzt. Für die untersuchten Konzepte ergeben sich dabei unterschiedliche Spannungsprofile (Abb. 2b).

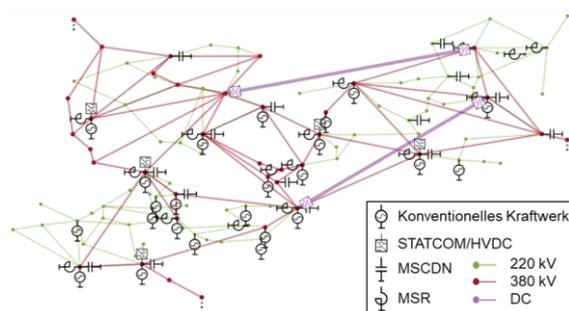


Abb. 2a: Topologie des Netzmodells

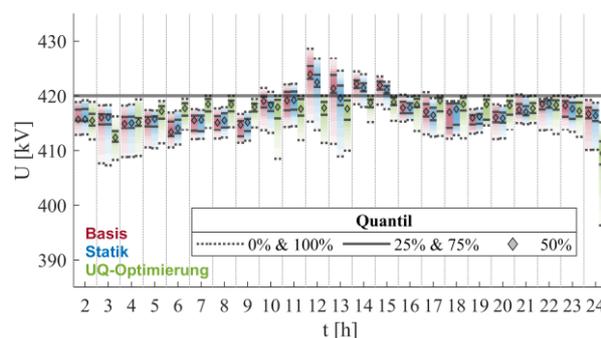


Abb. 2b: Probabilistische Spannungsverteilungen für  $\lambda = 1$

Es zeigt sich, dass die Spannungsprofile und insbesondere der Abstand zur Stabilitätsgrenze durch den Einsatz von  $Q(U)$ -Statiken substantiell verbessert werden können. Durch die Optimierung in closed-Loop kann eine weitere Verbesserung der Spannungsprofile erzielt werden. Dabei ist festzustellen, dass der closed-loop Betrieb einer geringen Zahl von Kompensationsanlagen bereits entscheidend zur Einhaltung der stationären Spannungsgrenzen beitragen kann.

## Referenzen

- [1] A. M. Prostejovsky, C. Brosinsky, K. Heussen, D. Westermann, J. Kreusel und M. Marinelli, „The future role of human operators in highly automated electric power systems,“ Electric Power Systems Research, Oktober 2019.
- [2] A. Hauswirth, A. Zanardi, S. Bolognani, F. Dörfler und G. Hug, „Online Optimization in Closed Loop on the Power Flow Manifold,“ in IEEE PowerTech, Manchester, 2017.
- [3] M. Maercks, S. Porada und A. Moser, „Diskussion dynamischer und stationärer Spannungsstabilitätsuntersuchungen bei volatilen Übertragungsaufgaben,“ in 15. Symposium Energieinnovation, Graz, 2018.
- [4] M. Knittel, J. Massmann, A. Schnettler und D. Kamenschikow, „Future Operational Concepts for Reactive Power Compensators in Transmission Grids,“ in Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion, Cavtat, Kroatien, 2018.