

# PLANUNG DES NETZ- UND VERSORGENGSWIEDERAUFBAUS IM VERTEILNETZ BEI HOHEM ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN UND DEZENTRALER ERZEUGUNG

Yasir SHAMIM<sup>1</sup>, Hendrik VENNEGEERTS<sup>2</sup>

## Motivation

Der zunehmende Anteil an dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) und erneuerbaren Energiequellen (EE) stellt die Planung von Prozessen zum Netz- und Versorgungswiederaufbau nach Blackouts vor zahlreiche Herausforderungen. Der höhere Anteil an dargebotsabhängig regional konzentrierten EE führt zur Notwendigkeit, ausgedehntere Netze aufzubauen und einer gezielten Steuerbarkeit zur Vermeidung von Netzrestriktionen. Zudem bedingt die Dargebotsabhängigkeit volatiles Verhalten und fehlerbehaftete Prognosen. Außerdem sind diese Erzeugungsanlagen zumeist an die Verteilnetze angeschlossen, so dass die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) als die Koordinatoren für Wiederaufbauprozesse nach großflächigem Blackout, über keine direkte Steuerungsmöglichkeit verfügen. Schließlich stellt die automatische Wiederschaltung der DEA im Netz der Verteilernetzbetreiber (VNB) eine Gefahr für die Frequenzstabilität dar [1].

## Stand der Forschung

Im Falle eines Blackouts sind die Netzbetreiber dafür verantwortlich, das Netz mit Hilfe von schwarzstartfähigen Erzeugungseinheiten wieder aufzubauen und die Versorgung wieder aufzubauen. Die ÜNB haben dafür Prozesse geplant, die regelmäßig in Simulationen, Trainings und hinsichtlich Schwarzstart und Netzwiederaufbau auch in realen Tests geprüft werden. Diese Prozesse gehen davon im Worst-Case von der Erfordernis aus, das eigene Netz ohne externe Unterstützung aufzubauen (Bottom-Up), wobei davon der Aufbau unter Spannungsvorgabe aus einem benachbarten Netz als Top-Down-Strategie unterschieden wird [1, 2]. Die schrittweise Stilllegung der konventionellen Erzeugung und eine dezentrale Verlagerung der Erzeugung in die Verteilnetze führt zu einem Rückgang der verfügbaren Regelleistung im ÜNB-Netz [3]. Daher wird in Zukunft über die sukzessive Wiederversorgung von Verbrauchern hinaus eine intensivere Kooperation zwischen ÜNB und VNB erforderlich. Im Hinblick auf das Wirkleistungsmanagement ist dafür ein wechselseitiger Austausch zwischen ÜNB und VNB einzuplanen und in Prozesse zu definieren. Daher wird in der Forschung über die klassische Build-Down-Strategie als Beschreibung der Beziehung zwischen ÜNB und VNB mit Build-up und Build-together der erforderliche Beitrag der VNB in neuen Strategien beschrieben [2].

## Folgerungen für VNB bei Netz- und Versorgungswiederaufbau

Bereits in klassischen Strategien ist der VNB verpflichtet, sich am Netz- und Versorgungswiederaufbau in enger Abstimmung sowie auf Anweisung des vorgelagerten ÜNB zu beteiligen. Insbesondere ist er verantwortlich für die Sicherherstellung von für die Wiederschaltung geeigneter Netzbereiche, die Zuweisung sicherer Lasten gemäß der Anforderungen des ÜNB [3], sowie die Zuschaltung hinreichend prognostizierbarer Verbrauchsleistungen. Die Durchmischung mit DEA in seinem Verteilnetz erfordert aber erweiterte Prognose- und Steuerungsverfahren, um spezifizierte Leistungsbänder im Hinblick auf die Stabilität des noch schwachen Gesamtsystems einhalten zu können. Dabei sind Anfahrprozesse von DEA ebenso zu beachten wie die sogenannten Cold-Load-Pick-up-Dynamiken. Im Falle einer – regulatorisch derzeit nur als Ausnahme vorgesehenen – Build-Up-Strategie [3], d.h. der Bildung von Inselnetzen aus dem Verteilnetz selbst benötigt der VNB die gleichen Fähigkeiten und Werkzeuge wie ein ÜNB, Allerdings können damit Geschwindigkeitsvorteile im Netz- und Versorgungswiederaufbau nicht nur für den einzelnen VNB, sondern auch für das Gesamtsystem resultieren. Nicht zuletzt aufgrund einer zunehmenden Durchdringung mit Batteriespeichern im

---

<sup>1</sup> elektrische Energiesysteme, Universität Duisburg-Essen, 47057 Duisburg, +49 (0)203 379 1029, yasir.shamim@uni-due.de, <https://www.uni-due.de/ees/>

<sup>2</sup> elektrische Energiesysteme, Universität Duisburg-Essen, 47057 Duisburg, +49 (0)203 379 1032, hendrik.vennegeerts@uni-due.de, <https://www.uni-due.de/ees/>

Verteilnetz kann der VNB zunächst mehrere Netzeinseln entwickeln und damit aufgrund der erforderlichen Schalthandlungen einen Geschwindigkeitsvorteil bei der Wiederversorgung erzielen.

## **Methodisches Vorgehen**

Ausgehend von einer Build-Up-Strategie mit unabhängigem Netz- und Versorgungswiederaufbau durch VNB wird ein dazu passender Plan für den VNB entwickelt, indem dafür in [4] entwickelte Werkzeuge und Algorithmen auf mitteleuropäische Netze adaptiert und getestet werden. In der Langfassung wird die Anwendung auf Verteilnetze demonstriert und diskutiert. Der Algorithmus enthält die wesentlichen folgenden Schritte:

### **Netzwerkmodellierung mittels Graphentheorie**

Zunächst wird das betrachtete Netz mit Hilfe der Graphentheorie als Graph vereinfacht [4]. Diese vereinfachte Darstellung erlaubt die Erfassung in ein Optimierungsproblem mit der Zielfunktion minimaler Wiederversorgungsdauern. Außerdem wird der Algorithmus für den kürzesten Weg angewendet, um den kürzesten Wiederversorgungspfad für die kritischen Netzelemente, d.h. die gesicherten Lasten und die gesicherten Erzeugungsanlagen, zu ermitteln.

### **Heuristische Initialisierung**

Dieser Ansatz nutzt das Wissen und die Erfahrung des VNB, um sinnvolle, zunächst abzutrennende Netzbereiche zu identifizieren [4]. Dabei werden die Einschränkungen für die Wiederversorgung, betriebliche Randbedingungen und die minimale Wiederherstellungszeit für jede Insel berücksichtigt.

### **Discrete Evolutionary Programming (DEP)**

Hauptzweck ist die Entwicklung einer Netz- und Versorgungswiederaufbaustrategie mit minimalen Wiederversorgungszeiten. Dies wird mit einem DEP-Optimierungsansatz erreicht, der ausgehend von der heuristischen Initialisierung in einem iterativen Prozess das gewünschte optimale Ergebnis erzielt. Als Ergebnis liegen zum einen die Grenzen getrennt aufzubauender Netzeinseln vor. Da die zugehörigen Schalthandlungen im kurzen Zeitfenster nach dem Blackout erfolgen müssen, in dem Batteriespeicher in den Stationen noch fernbediente Schalthandlungen ermöglichen, ist hier ein vordefinierter Plan erforderlich. Zum anderen ergeben sich Sequenzen der vorzunehmenden Schalt- und Aktivierungsmaßnahmen für den Netzbetrieb.

### **Bestimmung der Wiederversorgungsdauer**

Für jede gefundene Strategie erfolgt eine Simulation der erforderlichen Maßnahmen zur Bestimmung der Wiederversorgungsdauer als Beitrag zur Zielfunktion der Optimierung. Dabei wird berücksichtigt, dass das Verteilnetz auf die Resynchronisierung mit überlagerten Netzen vorzubereiten ist.

## **Schlussfolgerung**

In diesem Beitrag wird ein Ansatz für die Entwicklung eines Plans für VNB zum Netz- und Versorgungswiederaufbau erläutert und anhand exemplarischer Netze demonstriert sowie diskutiert. Ausgangspunkt ist ein für minimale Wiederversorgungszeiten günstiger und durch die Existenz mehrerer potenziell schwarzstartfähiger Batteriespeicher ermöglichter paralleler Aufbau mehrerer Netzeinseln, deren Grenzen optimal bestimmt werden.

## **Referenzen**

- [1] E. Torabi et al., "Impact of renewable and distributed generation on grid restoration strategies," 2032-9644, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.cired-repository.org/items/578c9abe-20fa-4d1c-ba65-ebf79bfa4c8>
- [2] W. Gawlik, E. Torabi-Makhsos, Y. Guo, "Strategies and Operator Tools for Grid Restoration with Massive Renewable Energy Sources: RestoreGrid4RES, ". Zugriff am: 12. Januar 2023. [Online]. Verfügbar unter: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw\\_pdf/schriftenreihe/schriftenreihe-2021-45\\_restoregrid4res.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/schriftenreihe/schriftenreihe-2021-45_restoregrid4res.pdf)
- [3] 50hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW. "Weißbuch Netz- und Versorgungswiederaufbau 2030. ". [Online]. Verfügbar unter: [https://www.netztransparenz.de/xspproxy/api/staticfiles/ntp-relaunch/dokumente/zuordnung\\_unklar/wei%C3%9Fbuch-netz-und-versorgungswiederaufbau-2030/weissbuch\\_nwa\\_vwa\\_2030.pdf](https://www.netztransparenz.de/xspproxy/api/staticfiles/ntp-relaunch/dokumente/zuordnung_unklar/wei%C3%9Fbuch-netz-und-versorgungswiederaufbau-2030/weissbuch_nwa_vwa_2030.pdf) (Zugriff am: 1. Dezember 2023).

- [4] D. N. Abu Talib, H. Mokhlis, M. S. Abu Talib und K. Naidu, "Parallel power system restoration planning using heuristic initialization and discrete evolutionary programming," *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, Jg. 5, Nr. 6, S. 991–1003, 2017, doi: 10.1007/s40565-017-0320-1.