

# **ANALYSE EINES VERFAHRENS ZUM UNTERFREQUENZ-LASTABWURF BASIEREND AUF REINFORCEMENT LEARNING**

**Marbod KOLLNIG<sup>(\*)</sup><sup>1</sup>, Bernd KLÖCKL<sup>2</sup>**

## **Einleitung**

Der Unterfrequenz-Lastabwurf (UFLA) ist ein wichtiges Schutzkonzept im elektrischen Energiesystem und ein zentrales Element des Systemschutzplans, um als Letztmaßnahme einen Blackout-Zustand bei schwerwiegenden Störfällen mit hohem Erzeugungsdefizit zu verhindern. Anlagen auf Basis von erneuerbaren Energien, speziell Photovoltaik und Windkraft, werden in den nächsten Jahren einen verstärkten Zubau erfahren. Die zunehmende Integration dezentraler, umrichtergestützter Erzeugungsanlagen stellt die aktuellen Ansätze jedoch vor erhebliche Herausforderungen und reduziert die verfügbaren UFLA-Potentiale, da die Verteilnetzabzweige keine reinen Lastzweige mehr sind. Gleichzeitig sinkt durch den Rückbau fossiler Kraftwerke die Trägheit des Gesamtsystems, was zu schnelleren Frequenzdynamiken führt und schwerere Frequenzstörungen begünstigt.

## **Status quo & aktuelle Entwicklungen**

Bisher basiert der UFLA auf festen Frequenzschwellenwerten mit einer stufenweisen Reaktion auf Frequenzabfälle, wozu eine Dimensionierung entsprechend der Jahresmittelwerte der Lasten erfolgt [1]. Die Lastsituation variiert allerdings signifikant über den Tag, saisonal und zwischen verschiedenen Jahren, insbesondere durch die Entwicklungen der Erzeugungs- und Laststruktur. Infolgedessen kann im Störfall die verfügbare Abwurfleistung von den tatsächlich benötigten Werten deutlich abweichen. Der Factual Report zur Netzstörung auf der iberischen Halbinsel am 28. April 2025 offenbart etwa, dass das verfügbare UFLA-Potential nicht ausreichte und nur ungefähr drei Viertel der vorgesehenen Lastabwurfleistung je Stufe verfügbar waren [2]; auch das UFLA-Reporting der deutschen Übertragungsnetzbetreiber zeigt eine geringe Verfügbarkeit der abwerfbaren Lasten [3]. Daher sind adaptive UFLA-Konzepte zu entwickeln, um eine genauere Bestimmung der abzuwerfenden Last und eine optimale Auswahl der Abwurfpunkte zu ermöglichen, sodass möglichst wenige, aber wirksame Lastzweige abgeworfen werden.

## **Methodische Vorgehensweise**

Es wird eine datengetriebene Methode auf Basis von Reinforcement Learning entwickelt, um das komplexe Entscheidungsproblem des Lastabwurfs zu lösen. Damit können adaptive UFLA-Policies erlernt werden, um im Vergleich zum klassischen stufigen Konzept die Frequenzstabilität zu verbessern und Lastabschaltungen zu reduzieren. Als State-Variablen kommen dazu lokale Messgrößen wie Frequenzwerte, Frequenzgradienten, Erzeugungs- und Verbrauchsleistungen in einem Testnetz zum Einsatz. Der Actions-Raum umfasst Entscheidungen über Lastabwurfmenge sowie -stelle und die Reward-Funktion belohnt dabei eine erfolgreiche Systemstabilisierung, während Frequenzgrenzverletzungen und hohe Lastabwurfmengen bestraft werden. Untersucht werden dabei Störfälle wie Generatorausfälle, Lastsprünge und deren Auswirkungen, die in einer dynamischen Netzsimulation untersucht werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse und Bewertung, inwiefern die entwickelte Methode basierend auf Reinforcement Learning hinsichtlich des Umfangs der abgeworfenen Last, der Zeit zur Systemstabilisierung und der Robustheit bessere Ergebnisse zeigt als das konventionelle Lastabwurfverfahren.

---

<sup>1</sup> TU Wien, Energiesysteme und Netze, Gußhausstraße 25 – 29, 1040 Wien, +43 1 58801 370 134, [marbod.kollnig@tuwien.ac.at](mailto:marbod.kollnig@tuwien.ac.at), [tuwien.at/etit/nes](http://tuwien.at/etit/nes)

<sup>2</sup> TU Wien, Energiesysteme und Netze, Gußhausstraße 25 – 29, 1040 Wien, +43 1 58801 370 100, [bernd.kloeckl@tuwien.ac.at](mailto:bernd.kloeckl@tuwien.ac.at), [tuwien.at/etit/nes](http://tuwien.at/etit/nes)

## **Erwartete Ergebnisse**

Das Verfahren wird grundsätzlich entwickelt und seine Wirkweise wird beispielhaft demonstriert. Durch eine passgenauere Bestimmung der Lastabwurfstrategie auf Basis der Gegebenheiten des Energiesystems kann die Lastabwurfmenge im Vergleich zum konventionellen Lastabwurfverfahren verringert und zudem die Systemstabilität verbessert werden.

## **Ausblick**

Basierend auf den Ergebnissen besteht Potential, ebenso die Spannungsstabilität während des Lastabwurfs mitzuberücksichtigen. Auch können weitere technische Sicherheitsnebenbedingungen miteinbezogen werden, um ebenfalls Randfälle geeignet abzubilden und die Systemstabilität garantieren zu können, die sonst mit einfacheren Reinforcement-Learning-Methoden nicht ausreichend abgebildet werden. Zudem ist das Testnetz auf ein größeres Netzmodell zu erweitern, um realitätsnähere Netzsituationen darstellen zu können.

## **Förderhinweis**

Diese Arbeit ist Teil des gemeinsamen Programms Power System Security 2030+ ([pss2030plus.eu](http://pss2030plus.eu)) der Technischen Universität Wien mit Austrian Power Grid und dem Austrian Institute of Technology.

## **Referenzen**

- [1] Europäische Kommission, VERORDNUNG (EU) 2017/2196 DER KOMMISSION vom 24. November 2017 zur Festlegung eines Netzkodex über den Notzustand und den Netzwiederaufbau des Übertragungsnetzes. 2017.
- [2] European Network of Transmission System Operators for Electricity, „Grid Incident in Spain and Portugal on 28 April 2025. ICS Investigation Expert Panel. Factual Report“, Okt. 2025.
- [3] 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, Tennet TSO GmbH, und TransnetBW GmbH, „UFLA Monitoring 2020 gemäß VDE-AR-N 4142. Zusammenfassung auf nationaler Ebene“. 17. Dezember 2021. Zugegriffen: 18. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.netztransparenz.de/xspproxy/api/staticfiles/ntp-relaunch/dokumente/zuordnung\\_unklar/ufla-reporting-monitoring/abschlussbericht\\_ufla\\_monitoring\\_2020\\_4uenb.pdf](https://www.netztransparenz.de/xspproxy/api/staticfiles/ntp-relaunch/dokumente/zuordnung_unklar/ufla-reporting-monitoring/abschlussbericht_ufla_monitoring_2020_4uenb.pdf)