

# Analyse des Potentials der Optimierung topologischer Maßnahmen anhand von linearen Sensitivitätsfaktoren

Energieerzeugung/-infrastruktur und Netze

Andrea EWERSZUMRODE<sup>1(1)</sup>, Niklas ERLE<sup>(2)</sup>, Lukas KALISCH<sup>(1)</sup>, Simon KRAHL<sup>(1)</sup>, Albert MOSER<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> FGH e.V., <sup>(2)</sup> FGH GmbH, <sup>(3)</sup> IAEW RWTH Aachen University

## Motivation und zentrale Fragestellung

Im Rahmen der aktuellen energiepolitischen Entwicklungen kommt es zu veränderten Transportbedarfen in den Übertragungsnetzen. Infolgedessen entstehen Engpässe im Stromnetz, denen die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) durch geeignete Maßnahmen entgegenwirken, um die Netzsicherheit zu gewährleisten. Als mögliche Maßnahmen kommen beispielsweise der Einsatz von Redispatch und Netzreserven, die Stufenstellung von Transformatoren oder Anpassungen der Netztopologie in Frage. Letztere Maßnahmen stehen den ÜNB kostengünstig zur Verfügung und können zur Vermeidung von Netzengpässen eingesetzt werden. Bisher erfolgt die Auswahl topologischer Maßnahmen im Betrieb basierend auf der Erfahrung der zuständigen Schaltungingenieure. Um das Potential der topologischen Maßnahmen zur Vermeidung von Netzengpässen im Netzbetrieb besser auszunutzen ist eine optimierte Auswahl topologischer Maßnahmen in den Betriebsplanungsprozessen sinnvoll. Aufgrund der zeitlichen Restriktionen der Prozesse des operativen Engpassmanagements, werden häufig Sensitivitätsberechnungen verwendet, um Effekte von Ausfällen und Engpassmanagementmaßnahmen (EMM) wie Redispatch oder Trafostufungen zu approximieren und zeitaufwendige Lastflussberechnungen zu vermeiden. In diesem Beitrag erfolgt daher eine Optimierung der Netztopologie basierend auf linearen Sensitivitätsfaktoren. Das Potential dieser Optimierung wird an einem IEEE-39-Knoten Netz untersucht. Dazu erfolgt ein Vergleich der (n-1)-Engpassleistung vor und nach Anpassung der Netztopologie entsprechend den Optimierungsergebnissen. Anschließend wird die Approximationsgüte bei der Ermittlung der (n-1)-Engpassleistung untersucht. [1-4]

## Methodische Vorgangsweise

Zur Optimierung topologischer Maßnahmen, sind die Effekte der Maßnahmen auf die Lastflusssituation zu ermitteln. Dazu eignet sich die Berechnung von linearen Sensitivitätsfaktoren. Im Anschluss an eine initiale Lastflussberechnung werden die Ströme nach Ausfällen und topologischen Maßnahmen mittels Sensitivitätsberechnung ermittelt. Die Auswirkungen der Maßnahmen werden zur Optimierung durch Line Outage Distribution Factors (LODF) und Line Closure Distribution Factors (LCDF) modelliert. Diese Faktoren geben an, wie sich der Leistungsfluss über einen Zweig ändert, wenn eine Leitung ab- oder zugeschaltet wird. Anhand der Faktoren lässt sich das Öffnen und Schließen von Sammelschienenkuppungen modellieren.

Ziel der Optimierung ist die Auswahl jener Schaltzustände, welche die Überlastungen im (n-1)-Fall, am stärksten reduzieren. Der zu minimierende (n-1)-Engpassstrom wird als Summe der Ströme definiert, die im (n-1)-Fall oberhalb der Auslastungsgrenzen der Zweige auftreten. Beträgt der Engpassstrom Null, liegen keine Überlastungen im (n-1)-Fall vor und es sind keine Maßnahmen notwendig. Äquivalent hierzu lässt sich die Engpassleistung definieren.

## Untersuchungsrahmen

Die verwendete Modellierung der topologischen Maßnahmen mittels linearer Sensitivitäten wird anhand eines modifizierten IEEE-39-Knoten Netzes untersucht. Das Netz wird um Doppelsammelschienen und Querkuppungen, sowie zusätzliche Leitungen zur Erhöhung des Vermaschungsgrads erweitert. Die Untersuchungen umfassen 2000 synthetische Netznutzungsfällen (NNF).

---

<sup>1</sup> Jungautorin, Roermonder Str. 199, 52072 Aachen, +49 241 997857-153, [andrea.ewerszumrode@fgh-ma.de](mailto:andrea.ewerszumrode@fgh-ma.de), <https://www.fgh-ma.de/>

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse zeigen initiale Überlastungen in allen 2000 NNF. In 1911 der NNF ermittelt die Optimierung eine Maßnahme, welche zur Reduktion der (n-1)-Engpassleistung führen soll. In 91,1% der NNF wurde nach der Optimierung und Anpassung der Netztopologie eine Reduktion der (n-1)-Engpassleistung festgestellt. In 4,5% kam es zu Erhöhungen. In Abbildung 1 ist (n-1)-Engpassleistung nach Optimierung der Netztopologie bezogen auf die initiale (n-1)-Engpassleistung für jeden Netznutzungsfall dargestellt.

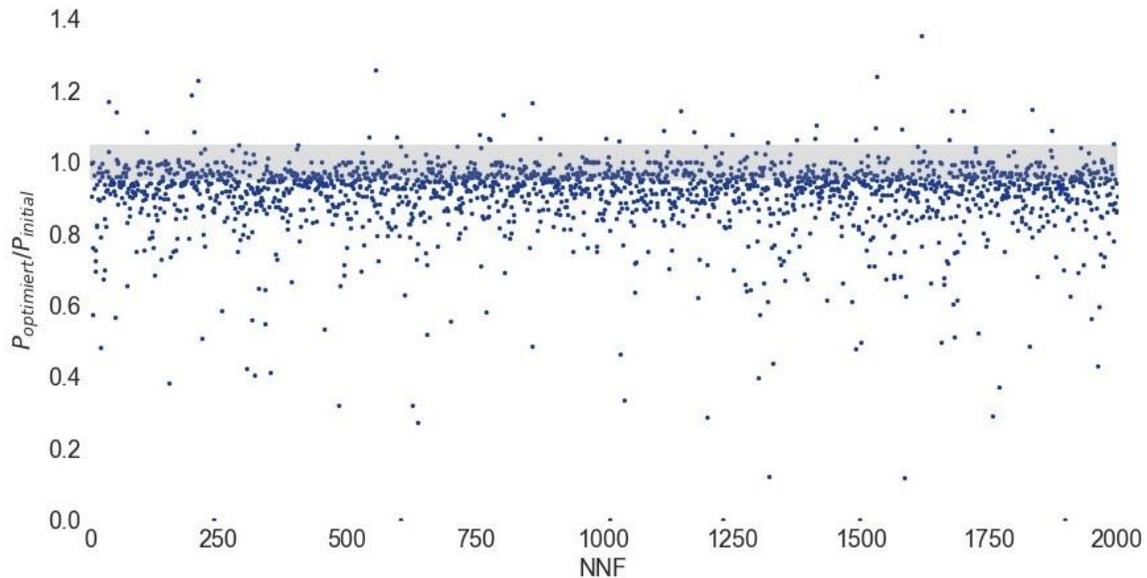


Abbildung 2: (n-1)-Engpassleistung nach Topologieoptimierung bezogen auf die initiale (n-1)-Engpassleistung

Insgesamt zeigen die Untersuchungen das große Potential der sensitivitätsbasierten Ermittlung von Topologiemassnahmen zur Reduktion von Überlastungen. In einem überwiegenden Anteil der NNF wird die Engpassleistung durch eine topologische Maßnahme reduziert. Dennoch kommt es in einigen Fällen durch die linearisierte Betrachtung zu Ungenauigkeiten, welche zu suboptimalen Entscheidungen der Topologieoptimierung führen. Diese Fälle gilt es bei der Anwendung der Optimierung in Verfahren zur Optimierung von Engpassmanagementverfahren zu berücksichtigen.

## Förderhinweis

Dieser Beitrag wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) innerhalb des Forschungsprojektes "Innovative Ansätze zur Optimierung von Topologiemassnahmen im Engpassmanagement des Netzbetriebs (InnOpTEM)" gefördert (FKZ: 03E14056A). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Der Inhalt spiegelt nicht notwendigerweise die konsolidierte Meinung des Konsortiums „InnOpTEM“ wider.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Literatur

- [1] M. F. de Medeiros; A. V. Da Costa Oliveira: "Power system security by Corrective Switching", 2010
- [2] L. Hirth; I. Schlecht; C. Maurer; B. Tersteegen: "Kosten- oder Marktbasiert? Zukünftige Redispatch-Beschaffung in Deutschland", Consentec, Neon, 2019
- [3] A. Ewerszumrode; N. Erle; L. Kalisch; S. Krahl; A. Moser: "Verfahren zur Berücksichtigung topologischer Maßnahmen in Redispatchsimulationen", EnInnov2022, Graz, 2022
- [4] J. Eickmann: "Simulation der Engpassbehebung im deutschen Übertragungsnetzbetrieb", Aachen, 2015