

PLANUNG ELEKTRISCHER ÜBERTRAGUNGSNETZE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG NETZBETRIEBLICHER FLEXIBILITÄTEN

Marco FRANKEN^{1*}, Alexander B. SCHRIEF^{1*}, Albert MOSER¹

Motivation und Hintergrund

Der Entschluss zur Förderung des weltweiten Klimaschutzes erfordert eine Dekarbonisierung der Energiesysteme. Die Transformation von fossil geprägten hin zu nachhaltigen Energiesystemen bedingt hierbei eine zunehmende Substitution zentraler, konventioneller Kraftwerke durch regenerative, zumeist lastfern allokierte sowie dargebotsabhängige Erzeugungsanlagen. Infolgedessen nimmt der Transport elektrischer Energie über große Distanzen zu, wodurch die Beanspruchung des elektrischen Übertragungsnetzes signifikant gesteigert wird. Um diesem gestiegenen Bedarf an Übertragungskapazitäten nachzukommen, ist der Ausbau des elektrischen Übertragungsnetzes unabdingbar. Aufgrund zeitintensiver Genehmigungsverfahren und fehlender gesellschaftspolitischer Akzeptanz verzögert sich jedoch die Umsetzung der geplanten Netzausbaumaßnahmen. Folglich bedarf es Technologien, die sowohl eine verbesserte Nutzung bestehender Übertragungskapazitäten ermöglichen als auch eine erhöhte gesellschaftspolitische Akzeptanz aufweisen, um zeitnah umgesetzt werden zu können. Hierzu zählen zum einen leistungsflusssteuernde Komponenten wie Phasenschiebertransformatoren (PST), die eine Steuerung von Leistungsflüssen innerhalb vermaschter Drehstromnetze erlauben. Zum anderen kann durch den Einsatz von Hochtemperaturleiterseilen mit erhöhter Stromtragfähigkeit die Übertragungskapazität bestehender Trassen erhöht werden [1].

In Zeiten, in denen zukünftige innovative Ansätze wie moderne Systemführungskonzepte oder Netzbooster diskutiert und erarbeitet werden, gilt es innerhalb der Netzplanungsprozesse eine vollständige Engpassfreiheit zukünftiger Netzstrukturen nicht ausschließlich mit Netzausbau- und -verstärkungsmaßnahmen zu erreichen [2]. Vielmehr sind bedarfsgerechte Strukturen zu identifizieren, deren Systemsicherheit unter Einbezug betrieblicher Flexibilitäten gewahrt werden kann. Eine vollständig engpassfreie Auslegung mittels Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen würde kostenintensive Betriebsmittel erfordern, die lediglich die letzten verbleibenden, nur in einzelnen Belastungssituationen auftretenden Engpässe beheben. Somit gilt es den Grad zu bestimmen, bis zu welchem auftretende Engpässe mit Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen effizient behoben werden können bzw. den Grad ab welchem der Einsatz betrieblicher Flexibilitäten die kosteneffizientere Lösung darstellt.

Die effizientere Nutzung bestehender Trassen und vorhandener Übertragungskapazitäten sowie der Einbezug von Netzengpassmanagementmaßnahmen in die Netzplanung sind zwar in Teilen eine Reaktion auf die Verzögerungen und fehlende Akzeptanz gegenüber der Umsetzung neuer Trassen, dennoch bieten diese Alternativen Potentiale zur Reduktion der gesamtsystemischen Kosten. Um eine geeignete Bewertung der einzelnen Alternativen vornehmen zu können, bedarf es mathematischer Verfahren, die eine detaillierte Abbildung der einzelnen Technologien ermöglichen. Gleichzeitig gilt es die Interdependenzen zwischen Netzausbau- und Netzbetrieb sachgerecht abzubilden, um Synergien zu erfassen und jene Netzausbaumaßnahmen zu identifizieren, deren Investitionskosten geringer ausfallen als die Engpassmanagementkosten, die bei einer Nicht-Realisierung entstehen.

Methodisches Vorgehen

Für die Ermittlung effizienter Netzausbaumaßnahmen sowie bedarfsgerecht ausgelegter Netzstrukturen wird in diesem Beitrag ein Modell zur Netzplanung vorgestellt, das auf einer simultanen Optimierung von Netzausbau und Netzbetrieb basiert. Innerhalb des Technologieportfolios wird zwischen dem Bau neuer Stromkreise als Ausbau- oder Verstärkungsmaßnahme, der Umbeseilung bereits installierter Stromkreise, dem Bau neuer Transformatoren und der Installation neuer PST unterschieden. Die Modellierung der Kosten für neue Drehstromsysteme umfasst eine stromkreisspezifische

¹ RWTH Aachen, Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Digitalisierung und Energiewirtschaft (IAEW), Schinkelstraße 6, 52062 Aachen, Tel.: +49 (241) 80 97698, Fax: +49 241 80 92135, m.franken@iaew.rwth-aachen.de, www.iaew.rwth-aachen.de

Kostenerfassung, die die Kosten für neue Leiterseile, jene für neue Masten bzw. neues Gestänge und jene für neue Schaltfelder berücksichtigt. Die Optimierung des Netzbetriebs umfasst neben der Ermittlung geeigneter Arbeitspunkte für PST die Bestimmung effizienter Netzengpassmanagementmaßnahmen wie Redispatch konventioneller Kraftwerke oder Einspeisemanagement erneuerbarer Energien. Das dargelegte Verfahren ermöglicht somit eine Abwägung zwischen der Investition in neue Betriebsmittel, die sich über mehrere Jahrzehnte amortisieren, und dem betrieblichen Einsatz von Netzengpassmanagementmaßnahmen, die von der netznutzungsfallsspezifischen Versorgungsaufgabe und dem resultierenden Transportbedarf abhängen. Um eine sachgerechte Entscheidung zu ermöglichen, werden die Engpassmanagementkosten auf den Amortisierungszeitraum von Netzausbaumaßnahmen skaliert.

Das Problem der Netzplanung wird als gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem (GGLP) formuliert und zielt auf eine Minimierung der Summe aus Investitions- (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) ab. Binäre Entscheidungsvariablen werden eingesetzt, um die Ausbauentscheidungen zu modellieren, und kontinuierliche Entscheidungsvariablen werden genutzt, um die Größen des Netzbetriebs wie beispielsweise die Leistungsflüsse zu erfassen. Zur Modellierung der Leistungsflüsse wird auf DC-Leistungsflussgleichungen zurückgegriffen. Die Integration der Ausbauentscheidungen erfolgt über eine disjunktive Formulierung, sodass die Restriktionen für Ausbaukandidaten nur im Falle einer Investition limitierend wirken. Der betriebliche Freiheitsgrad von PST wird als einzuprägende Phasenverschiebung modelliert. Die Integration von Redispatch-Maßnahmen und Einspeisemanagement in das Optimierungsproblem erfolgt über eine lineare Formulierung. Insgesamt ermöglicht das vorgestellte Optimierungsproblem die simultane und modellendogene Auswahl der geeignetsten Technologie hinsichtlich Ausbau und Betrieb.

Die Komplexität von Netzausbauforderungen hängt maßgeblich von der Anzahl potentieller Netzausbaukandidaten ab. Diese ergeben sich im Allgemeinen unter Vernachlässigung externer Einflussfaktoren aus allen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zweier Knoten der gleichen Spannungsebene. Zur Reduktion der Komplexität wird die Menge potentieller Ausbaukandidaten im Rahmen dieses Beitrags limitiert. Hierzu wird das Optimierungsproblem zunächst unter Nutzung einer LP-Relaxation der binären Ausbauentscheidungen gelöst. Durch die Relaxation ist es möglich, dass einzelne Kandidaten lediglich anteilmäßig umgesetzt werden. All jene Kandidaten, die bei der Lösung der LP-Relaxation vollständig oder anteilmäßig umgesetzt werden, dienen als potentielle Kandidaten für die Lösung des GGLP.

Ergebnisse und Fazit

Mit dem skizzierten Verfahren soll der Bedarf an Netzausbaumaßnahmen anhand eines synthetischen Netzmodells quantifiziert werden, dessen Struktur und dessen Charakteristika sich am deutschen Übertragungsnetz orientieren [3]. Insbesondere wird der Beitrag untersucht, den PST auf der einen und Engpassmanagementmaßnahmen wie Redispatch und Einspeisemanagement auf der anderen Seite zur Reduktion der gesamtsystemischen Kosten liefern können. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Gesamtkosten im Vergleich zu klassischen Ausbaumaßnahmen, d.h. der Installation neuer Stromkreise oder der Erschließung neuer Trassen, insbesondere durch den Einsatz von PST, aber auch durch die Umbeseilung bestehender Stromkreise oder Engpassmanagementmaßnahmen signifikant reduziert werden können.

Referenzen

- [1] Agora Energiewende, „Optimierung der Stromnetze – Sofortmaßnahmen zur Senkung der Netzkosten und zur Rettung der deutschen Strompreiszone“, [Online]. Verfügbar: www.agora-energiewende.de
- [2] Deutsche Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), „Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2019, Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber“, [Online]. Verfügbar: www.netzentwicklungsplan.de
- [3] H. Barrios, A. Roehder, H. Natemeyer und A. Schnettler, „A benchmark case for network expansion methods“, IEEE PowerTech, Eindhoven, 2015.