

KODIERUNG DER AUSBAUPLANUNG VON ELEKTRISCHEN NIEDERSPANNUNGSNETZEN

Carsten GRAEVE¹, Hendrik VENNEGEERTS²

Motivation

Aufgrund von langen Betriebsmittellebenszyklen stellen Unsicherheiten bei Zukunftsprognosen Betreiber von elektrischen Versorgungsnetzen vor Herausforderungen bei der Ausbauplanung. Die historisch lastgeprägten Ausbauplanungen nach regelbasierten Konzepten sind in diesem Kontext bei hoher lokaler Dynamik der Netznutzung ebenso wenig geeignet, wie die Orientierung an wenigen Zielnetzen. Um einem bedarfsorientierten und ressourcenschonenden Ausbau gerecht zu werden, existieren rechnergestützte Optimierungsmodelle. Diese Verfahren existieren für den Einsatz auf Netzebenen oberhalb der Niederspannung und nutzen einen zweistufigen Optimierungsprozess [1], [2]. Angesichts der besonderen lokalen Unsicherheit der zukünftigen Netznutzung in Niederspannungsnetzen (NSN) stellt sich die Frage nach einer Adaptionmöglichkeit. Letztendlich ist ein solches Optimierungsmodell erforderlich, um die Frage zu beantworten, in welchem Umfang eine vorausschauende, robuste Auslegung und Gestaltung der NSN wirtschaftlich ist.

Stand der Technik & Analyse der Optimierungsaufgabe

Die Optimierungsaufgabe der langfristigen Ausbauplanung unter Unsicherheit muss die Fragestellungen beantworten, welche konkrete Ausbau- oder gegebenenfalls Flexibilitätsoption aus einer Menge möglicher Freiheitsgrade auszuwählen ist. Zusätzlich ist zu spezifizieren, zu welchem Zeitpunkt die Option im Netzgebiet umzusetzen ist. Zusammenfassend ist die Optimierungsaufgabe als diskret, ganzzahlig und kombinatorisch zu klassifizieren.

Die Unsicherheiten im Betrachtungszeitraum sind wie üblich mit der Szenarienbaumtechnik [3] zu erfassen und spannen den Suchraum der Optimierungsaufgabe auf. Zielkonflikte bestehen in der Netzausbauplanung, insbesondere zwischen kurzfristigem Reagieren auf veränderte Netznutzung und ggf. daraus resultierenden vorübergehende Nutzung kundenseitiger Flexibilitäten einerseits und gegenüber einem robusten Netzausbau andererseits. Gleichzeitig birgt robuster Netzausbau die Gefahr von „stranded investments“. Die Zielfunktion der Optimierungsaufgabe muss zur Erfassung dieser Zielkonflikte den Gesamtbarwert der gewählten Ausbauplanoptionen im Ausbaubaum sowie deren Auftretswahrscheinlichkeiten berücksichtigen. Technische Randbedingungen, insbesondere maximal erlaubte Betriebsmittelauslastungen und das zulässige Spannungsband nach DIN EN50160 [4], gehen als Randbedingungen in die Optimierungsaufgabe ein.

Vergleichbare Arbeiten auf der Übertragungsebene nutzen einen zweistufigen Optimierungsprozess. Der einzelne Optimierungsprozess adressiert eine Frage der Optimierungsaufgabe [1], [2], nämlich die getrennte Planung von Referenznetzen für jeden Knoten des Szenarienbaums, die über eine übergreifende Optimierung des Ausbauplans koordiniert wird. Dies führt entweder zu komplexen, nur schwer beherrschbaren Optimierungsproblemen oder bedingt eine begrenzte Vorauswahl möglicher Ausbaumaßnahmen, was bei einem großen Szenarienbaum nicht zielführend ist.

Im Folgenden wird die Optimierungsaufgabe auf das NSN als Betrachtungsbereich übertragen. Die Betrachtung des NSN bedingt einen reduzierten Suchraum der Optimierungsaufgabe, so dass bei geeigneter Formulierung der Optimierungsaufgabe ein einstufiger Prozess ausreichend sein kann.

Verfahren

Aufgrund der geringeren Größe der netztopologischen Komplexität von NSN sollte die einstufige Gesamtoptimierung realisierbar sein. Das erfordert aber eine Beschreibung der Optimierungsaufgabe,

¹ Universität Duisburg-Essen, Forsthausweg 24, +49 (0) 203 379 2589, +49 (0) 203 379 2749, Carsten.Graeve@uni-due.de, <https://www.uni-due.de/ees/>

² Universität Duisburg-Essen, Forsthausweg 24, +49 (0) 203 379 1032, +49 (0) 203 379 2749, Hendrik.Vennegeerts@uni-due.de, <https://www.uni-due.de/ees/>

welche die zeitliche Kopplung ausgewählter Netzausbaumaßnahmen durch den Szenarienbaum direkt erfasst, so dass auf eine getrennte Koordination in einem 2. Schritt verzichtet werden kann.

Ausgehend vom Verfahren des Genetischen Algorithmus (GA) [5], welcher für eine schnelle Lösungsfindung kombinatorischer Probleme gut geeignet ist, wird die Optimierungsaufgabe in einer Sequenzstruktur kodiert. Der GA arbeitet mit Operatoren, welche sich aus der natürlichen Mikroevolution ableiten. Über Generationen werden vorteilhafte Eigenschaften vererbt und unvorteilhafte variiert. Jede Eigenschaft wird in einem Gen kodiert und in einer Gensequenz (GS) verknüpft.

Üblich ist eine Kodierung aller Eigenschaften der Optimierungsaufgabe in einem einzelnen GS. Durch die zeitliche Kopplung ist eine vollständige Abbildung der Netzstrukturen in den GS zur Beschreibung der Optimierungsaufgabe nicht effektiv umzusetzen. In der GS werden daher nur die gewählten Ausbaumaßnahmen kodiert, welche zur Prüfung der Nebenbedingungen in eine Netzstruktur überführt werden. Die Netzstruktur lässt sich aus der GS in Kombination mit dem zu Beginn des Betrachtungszeitraumes vorhandenen Ist-Netz ableiten.

Um eine Ausbauoption des NSN-Ausbauproblems zu beschreiben, ist die zeitliche Zuordnung durch einen Knoten des Ausbaubaums, sowie Position im Netz und die Maßnahme selbst zu spezifizieren. Die Abbildung all dieser Informationen in einer einzelnen GS schränkt jedoch Optimierungsprozesse in ihrer Flexibilität ein. Daher werden dem GS multiple Sequenzen hinzugefügt, um die Optimierungsvariablen zu differenzieren. Die einzelnen Genstrangsequenzen bilden somit die Ausbaumaßnahmen ab. Aufgrund der getrennten Codierung der zeitlichen Einordnung, sowie der Positionen in der GS, können Optimierungsoperatoren und Reparaturfunktionen die Integrität der Gesamtlösung sichern und befördern.

1	2	2	11	11	12	21	22	22	Zeitliche Zuordnung
1	4	6	2	9	3	8	7	5	Position im Netz
l	t	t	l	t	L	L	l	l	Ausbaumaßnahmentyp
1	4	6	2	2	3	1	4	5	Ausbaumaßnahme konkret

Abbildung 2: beispielhafte multiple GS zur Optimierungsausgabencodierung, als Abfolge von neun Genen

Zusammenfassung

Die vorgestellte Kodierung für die Optimierungsaufgabe einer Ausbauplanung von elektrischen Niederspannungsnetzen unter Unsicherheit kann alle Fragestellungen zur Optimierung für ein einstufiges Optimierungsverfahren abbilden und beinhaltet durch die Informationsintegrität alle notwendigen Informationen, um Ausbaumaßnahmen eindeutig zu beschreiben. Gleichzeitig kann die Integrität aber auch für Operatoren der Optimierungsverfahren aufgelöst werden, um den gesamten Suchraum abzudecken. Die flexible Anwendung der Operatoren wird am Beispiel des GA in der Langfassung detailliert dargestellt. Eine exemplarische Umsetzung auf realistische NSN ist angestrebt.

Referenzen

- [1] J. Ziegeldorf-Wächter, A. Moormann, S. Krahl und A. Moser, „Multi-temporal robust expansion planning of distribution grids considering uncertainties and curtailment of RES,“ *CIGRE - Open Access Proceedings Journal*, pp. 2435-2439, Octobre 2017.
- [2] T. Paulun, *Strategische Ausbauplanung für elektrische Netze unter Unsicherheit*, Aachen: Klinkenberg, 2007.
- [3] H. Heitsch, „Szenariobaumapproximation für stochastische Optimierungsprobleme in der Energiewirtschaft,“ *VDI-Berichte*, pp. 45-60, 2009.
- [4] DIN EN 50160, *Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*, 2020
- [5] W. Kinnebrock, *Optimierung mit genetischen und selektiven Algorithmen*, München Wien: R. Oldenbourg Verlag, 1994.