

# OPTIMALE MITTELSPANNUNGSNETZPLANUNG MIT AKTIVEM EINSATZ VON FLEXIBILITÄT

Johannes Heise(\*)<sup>1</sup>, Christian Becker<sup>1</sup>

## Motivation

Die deutsche Bundesnetzagentur beziffert den Netzausbaubedarf bis 2032 auf 42,27 Mrd. Euro [1], wobei ein großer Teil auf die Mittelspannungsebene entfällt. Verantwortlich dafür sind vor allem die fortschreitende Dezentralisierung der Energieversorgung sowie die Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Mobilität. Beide Entwicklungen führen zu erheblichen zusätzlichen Lastspitzen und verstärkten Netzengpässen im Mittelspannungsnetzen [2].

Zahlreiche Studien zeigen, dass der gezielte Einsatz von verbraucherseitiger Flexibilität den erforderlichen Netzausbau deutlich reduzieren kann [3, 4]. Dennoch wird Flexibilität in heutigen Planungsprozessen kaum berücksichtigt. Bestehende Netzplanungsmethoden fokussieren primär auf bauliche Maßnahmen und sind nur begrenzt geeignet, komplexe Wechselwirkungen zwischen Investitionen und betrieblichem Flexibilitätseinsatz abzubilden. Gleichzeitig stehen Netzbetreiber unter erheblichem Zeitdruck, eine große Zahl von Mittelspannungsnetzen neu zu bewerten und auszubauen.

Um diese Lücke zu schließen, wird in dieser Arbeit eine Planungsmethode vorgestellt, die bauliche Maßnahmen wie Leistungsverstärkung oder Leitungsneubau und betriebliche Maßnahmen wie den gezielten Einsatz von verbraucherseitiger Flexibilität erstmals gemeinsam optimiert. Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Optimierung auf Basis eines gemischt-ganzzahligen linearen Programms (MILP).

Die Methode ist damit Teil des Forschungsprojekts iNeP [5], welches eine integrierte Verteilernetzplanung für Hamburg entwickelt. Sie erweitert die Ansätze aus [2] um den gezielten Einsatz verbraucherseitiger Flexibilität in einer ganzheitlichen Optimierung der Verteilernetzplanung.

## Methodik

Die entwickelte Planungsmethode berücksichtigt sowohl langfristige, bauliche Maßnahmen als auch kurzfristige, betriebliche Entscheidungen. Entsprechend setzt sich die Zielfunktion aus Investitionskosten und betrieblichen Kosten zusammen. Zentrale die Planung repräsentierende Entscheidungsvariablen sind die Leitungsbauentscheidungen, die als ganzzahlige Variablen modelliert werden: Eine Verbindung kann mit einem bestimmten Leitungstyp errichtet bzw. verstärkt werden oder nicht realisiert werden. Ergänzend werden betriebliche Entscheidungsvariablen eingeführt, die den Einsatz von Flexibilität pro Ortsnetzstation im Mittelspannungsnetz beschreiben. Die verfügbare Flexibilität wird vorab aus dem Verbraucherverhalten ermittelt und für alle Verbraucher einer Ortsnetzstation aggregiert.

Als Nebenbedingungen werden zunächst die topologischen Netzrestriktionen berücksichtigt. Jeder Knoten muss mit dem Netz verbunden sein, zusätzlich soll das Mittelspannungsnetz im Betrieb als „offener Ring“ geführt werden. Dazu wird das Netz als Graph beschrieben, der zu jedem Betriebszeitpunkt eine radiale Struktur aufweisen muss. Zusätzlich werden betriebliche Nebenbedingungen zur Abbildung der Netzphysik formuliert. Diese beinhalten die Netzgleichungen sowie Spannungsgrenzen und maximale thermische Leitungsbelastungen der Betriebsmittel. Die zuvor bestimmte verfügbare Flexibilität geht als obere Grenze in die Optimierung ein und stellt sicher, dass nur realistisch bereitstellbare Flexibilität genutzt wird. Zur Lösung des Optimierungsproblems wurde eine MILP-Formulierung in MATLAB verwendet. Hierfür werden die Netzphysik und alle weiteren Nebenbedingungen linearisiert. Die Linearisierung der Netzgleichungen basiert auf dem LinDistFlow-Modell [6].

---

<sup>1</sup> Technische Universität Hamburg, Institut für Elektrische Energietechnik, Harburger Schloßstraße 36, D-21079 Hamburg, Tel: 0049 40 42878-4099, johannes.heise@tuhh.de, <https://www.tuhh.de/ieet>  
Diese Forschung wurde im Rahmen des Forschungsprojekts *Integrierte Netzplanung* (iNeP) innerhalb des übergeordneten Projekts *Norddeutsches Realabor* durchgeführt und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 03EWR007O2 gefördert.

## Vorläufige Ergebnisse

Erste Ergebnisse für das CIGRÉ-Benchmarknetz [7] zeigen, dass der Einsatz von Flexibilität bereits in der Planung zu deutlichen Kosteneinsparungen führen kann. Das entwickelte, rechnergestützte Tool ermittelt sowohl den Referenzfall ohne Flexibilität als auch eine aktive Planung mit Flexibilität und ermöglicht so den Vergleich beider Strategien. Die Einsparungen entstehen vor allem dadurch, dass bauliche Maßnahmen zeitlich verschoben oder vollständig vermieden werden können. Dies reduziert nicht nur die Gesamtkosten, sondern auch den Zeit- und Investitionsdruck der Netzbetreiber. Das Tool stellt damit eine wertvolle Ergänzung für die strategische Mittelspannungsnetzplanung dar.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die resultierenden Netztopologien zum Ende des Planungshorizonts 2045. Im Referenzfall ohne Flexibilität entstehen längere und umfangreichere Leitungsneubauten, während der flexible Ansatz zu einer kompakteren und kosteneffizienteren Netzstruktur führt.

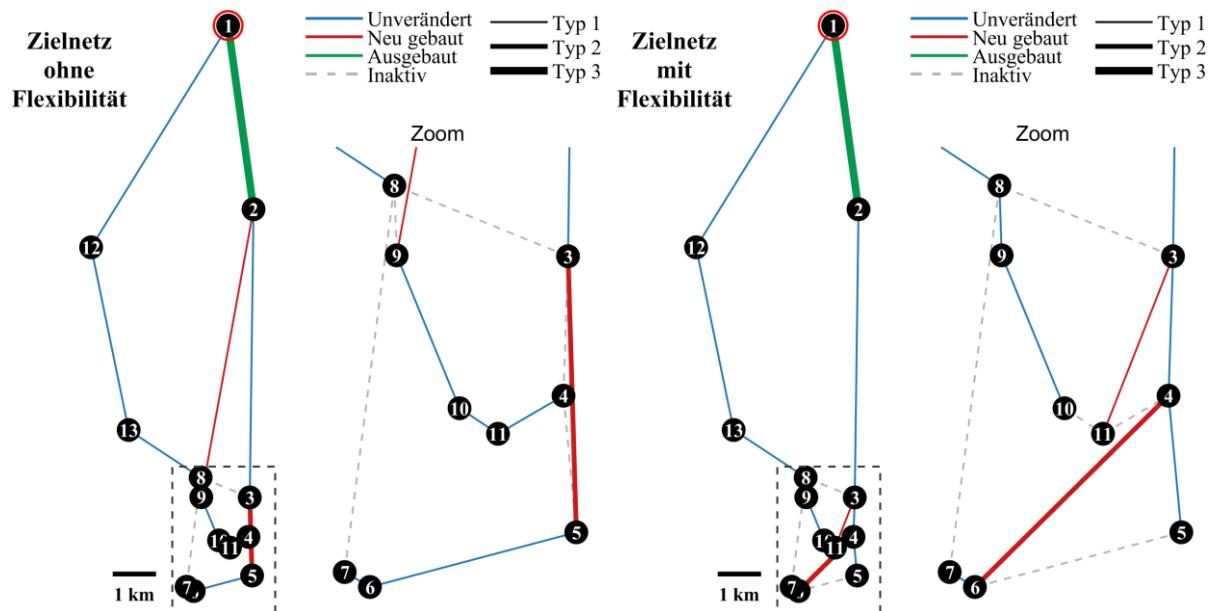


Abbildung 1: Entwicklung des CIGRÉ-Benchmarknetzes von 2025 bis 2045 im Vergleich von Planung mit und ohne Flexibilität.

## Referenzen

- [1] Bundesnetzagentur, "Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze 2022," Bundesnetzagentur, Bericht, 2022.
- [2] J. Heise, M. Mostafa, P. T. Baboli, und C. Becker, "Integration of Active Operation into the Planning Phase of a Medium-Voltage Distribution Grid," in Proceedings of 2024 International Conference on Renewable Energies and Smart Technologies (REST). Prishtina, Kosovo (UNMIK): IEEE, Jun. 2024, S. 1–5.
- [3] P. Sterchele, J. Brandes, J. Heilig, D. Wrede, C. Kost, T. Schlegl, A. Bett, und H.-M. Henning, "Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem: Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen," Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, Studie, 2020.
- [4] Deutsche Energie-Agentur GmbH, "dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität," Studie. 2021.
- [5] M. Mostafa, D. Vorwerk, J. Heise, A. Povel, N. Sanina, D. Babazadeh, C. Töbermann, A. Speerforck, C. Becker, und D. Schulz, "Integrated Planning of Multi-energy Grids: Concepts and Challenges," in Proceedings of Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems (NEIS 2022), Hamburg, Germany, Sep. 2022.
- [6] M. Baran und F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," IEEE Transactions on Power Delivery, Bd. 4, Nr. 2, S.1401–1407, Apr. 1989
- [7] K. Rudion, A. Orths, Z. Styczynski, und K. Strunz, "Design of benchmark of medium voltage distribution network for investigation of DG integration," in Proceedings of 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting. Montreal, Que., Canada: IEEE, 2006, S. 6 pp.