

Generierung von Benchmark-Modellnetzen in der Hochspannungsebene auf Basis öffentlich verfügbarer Daten

Annika Klettke¹, Tobias van Leeuwen, Simon Flörkemeier, Albert Moser

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, RWTH Aachen, Schinkelstraße 6,
52062 Aachen, Deutschland, Tel: +49 241 80 97887, ak@iaew.rwth-aachen.de,
<http://www.iaew.rwth-aachen.de>

Diese Veröffentlichung basiert auf Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt SimBench, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird. (Förderkennzeichen: 0325917B)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Kurzfassung:

Ein nicht öffentlich zugängliches, repräsentatives Netzmodell in der Hochspannungsebene sowie der Bedarf innovativer Berechnungsmethoden aufgrund einer veränderten Netznutzung für das Hochspannungsnetz bedingen vergleichbare Modellnetze, die frei zugänglich sind. Aufgrund dessen ist in diesem Beitrag dargestellt, inwiefern sogenannte Benchmark-Modellnetze generiert und dabei die Anforderungen, welche sich aus der veränderten Netznutzung ergeben, berücksichtigt werden können. Im Anschluss an die Netzgenerierung erfolgen Berechnungen für diese Netze zur Validierung dieser.

Keywords: Modellnetze, Benchmark, Hochspannungsebene, öffentlich verfügbare Daten

1 Einleitung

Der steigende Anteil an dezentraler Erzeugung führt zu einer stark veränderten Netznutzung in den Verteilnetzen. Insbesondere in der Hochspannungsebene, als Bindeglied zwischen der Höchstspannung- sowie der Mittel- und Niederspannungsebene, entsteht dadurch die Notwendigkeit neuer Verfahren und Methoden zur Simulation des Netzbetriebs sowie zur Bestimmung von Netzausbau- und -optimierungsmaßnahmen. Zur Entwicklung und Validierung dieser Verfahren werden heute meist streng vertrauliche Netzdaten, welche eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Verfahren schwierig macht, und zum anderen öffentlich verfügbare Daten, welche jedoch Modellierungsungenauigkeiten aufweisen, verwendet. Verfügbare Modellnetze, wie beispielsweise vom IEEE [1] veröffentlicht, spiegeln darüber hinaus nicht die aktuellen Entwicklungen in deutschen Hochspannungsnetzen wider. Aus diesem Grund besteht das Erfordernis, Modellnetze zu entwickeln, welche die Anforderungen sowie die Struktur zukünftiger Hochspannungsnetze mit einer hohen Durchdringung Erneuerbarer Energien abbilden. Daher wird in diesem Beitrag ein Verfahren vorgestellt, dass auf Basis

¹ Jungautor

öffentlicher verfügbarer Daten sowie definierten Anforderungen Benchmark-Modellnetze für die Hochspannungsebene generiert.

2 Methodische Vorgehensweise

Das hier vorgestellte Verfahren dient dem Zweck öffentlich verfügbare und somit vergleichbare Netzmodelle zu generieren, um innovative Netzberechnungsmethoden für die Hochspannungsebene validieren zu können. In diesem Abschnitt wird die methodische Vorgehensweise zur Generierung der Benchmark-Modellnetze anhand des Überblicks in der Abbildung 1 vorgestellt.



Abbildung 1: Überblick über die methodische Vorgehensweise

Für die Generierung der Modellnetze auf Basis öffentlicher Daten ist zunächst die Datenbasis zu analysieren und hinsichtlich ihrer Eignung zu bewerten. Darüber hinaus werden Anwendungsfälle definiert, die relevant für die Hochspannungsebene sind. Aus diesen Anwendungsfällen können Anforderungen an die Modellnetze abgeleitet werden. Basierend auf den aufbereiteten Daten und den Anforderungen aus den Anwendungsfällen können mithilfe von Clusteralgorithmen Modellnetze erstellt werden, die hinsichtlich ihrer Versorgungsaufgabe und Topologie untereinander inhomogen sind. Im Anschluss an die Auswahl der Netzausschnitte erfolgt eine Dimensionierung dieser hinsichtlich der Berücksichtigung von technischen Randbedingungen, die in Abschnitt 2.3 genauer beschrieben sind.

2.1 Datenbasis und Datenqualität

In einem ersten Schritt erfolgt eine detaillierte Analyse der verfügbaren Daten. Datenquellen sind dabei georeferenzierte Daten aus dem OpenStreetMap Projekt, Veröffentlichungen von Hochspannungsnetzbetreibern, wie z.B. die Jahreshöchstlast oder die Freileitungs- bzw. Kabellänge, sowie das von der Bundesnetzagentur veröffentlichte Anlagenregister [2].

OpenStreetMap

Bei OpenStreetMap handelt es sich um eine frei zugängliche und erweiterbare Karte für georeferenzierte Daten. Die Rohdaten werden einerseits von Freiwilligen gesammelt oder aus anderen Quellen zur Verfügung gestellt und im Anschluss mithilfe eines Editors eingezeichnet, sodass die Verläufe erkennbar sind. Ein wesentlicher Vorteil, neben der freien Verfügbarkeit, ist das sogenannte Tagging, durch welches den eingezeichneten Rohdaten Eigenschaften zugewiesen werden können. In Bezug auf das Elektrizitätsversorgungssystem können Spannungsebenen oder Leitungen gekennzeichnet und später wieder ausgelesen werden. Aufgrund der großen Datenmenge in der Hochspannungsebene, ist die Vollständigkeit der Elemente des Stromnetzes nicht gegeben. Insbesondere Daten wie Stromkreisanzahl, elektrische Parameter oder Verkabelungen unterliegen Unsicherheiten. Im Gegensatz zur Mittel- und Niederspannungsebene ist die Datenbasis jedoch hinreichend für die Ableitung eines einfachen Knoten-Zweig-Modells. Eine detaillierte Beschreibung der Verwendung der OpenStreetMap-Daten ist im Abschnitt 2.3 dargestellt.

Netzstrukturdaten der Netzbetreiber

Die Verteilnetzbetreiber sind dazu verpflichtet ihre Netzstrukturdaten im Internet zu veröffentlichen. Dies umfasst gemäß § 17 StromNZV die vertikale Last, die Jahreshöchstlast, den Lastverlauf und die Summe aller Einspeisungen pro Spannungsebene sowie gemäß § 27 Abs. 2 Nr. 1 bis 7 StromNEV die Stromkreislängen, die installierten Leistungen der Umspannebenen, die entnommene Jahresarbeit des Vorjahres, die Anzahl der Entnahmestellen, die Einwohnerzahl, die versorgte und die geographische Fläche.

Anlagenregister

Das Anlagenregister dient der Erfassung der Anlagen auf Basis Erneuerbarer Energien, um den Ausbau transparent zu gestalten. Aufgrund des Schutzes persönlicher Daten werden von der Bundesnetzagentur die sogenannten Anlagenstammdaten veröffentlicht, sodass für die Standorte kleiner Anlagen nur die Gemeindegemeinschaften, der Ort und die Postleitzahl angegeben werden. Unter Verwendung der Information über die Postleitzahlgebiete der jeweiligen Anlage, kann eine geographische Verteilung dieser erfolgen.

Die Daten aus den zuvor eingeführten Quellen können genutzt werden, um einfache Knoten-Zweig-Modelle zu erzeugen. Jedoch ist einerseits die Modellgenauigkeit dieser Netzmodelle nicht ausreichend und andererseits müssen repräsentative Netze betrachtet werden, um allgemeingültige Aussagen treffen zu können. So erfolgt eine Aufbereitung dieser Daten zur Einordnung der Netze in unterschiedliche Kategorien hinsichtlich ihrer Versorgungsaufgabe oder ihrer Topologie mithilfe von Clusteralgorithmen. Zunächst wird jedoch auf die Anforderungen eingegangen, die sich aus denen für die Hochspannungsebene relevanten Anwendungsfällen ableiten lassen.

2.2 Anforderungen aus den Anwendungsfällen an das Modellnetz

Das hier vorgestellte Verfahren dient dem Zweck, öffentlich verfügbare und somit vergleichbare Netzmodelle zu generieren, um innovative Netzberechnungsmethoden für die Hochspannungsebene validieren und vergleichen zu können. Aus diesem Grund werden zunächst Anwendungsfälle definiert, die für die Spannungsebene relevant sind und für die das Netz-

modell auszulegen ist. Anhand dieser Anwendungsfälle können Anforderungen an die Modellnetze abgeleitet werden. Dazu gehört beispielsweise der notwendige Detaillierungsgrad von Modellen für Umspannstationen oder die erforderlichen Lastflussparameter von Erzeugungseinheiten. Im Folgenden sind beispielhaft vier Anwendungsfälle aus der Hochspannungsebene vorgestellt, aus denen anschließend Anforderungen an das Modellnetz abgeleitet werden.

Einspeisemanagement

Aufgrund des Zubaus von Anlagen auf Basis erneuerbarer Energien ergibt sich eine dargebotsabhängige und volatile Einspeisung. In Kombination mit der Verzögerung von geplanten Netzausbaumaßnahmen nimmt die Auslastung des Netzes zu. Verschiedene Studien haben belegt, dass eine Dimensionierung des Hochspannungsnetzes hin auf Belastungsspitzen jedoch volkswirtschaftlich nicht optimal ist. Die Abregelung von EE-Anlagen in Höhe von 3 % der Jahresenergie kann in hoch belasteten Netzsituationen zu einer signifikanten Reduzierung Netzausbaubedarfs führen. Daher müssen zunehmend auch Netzausbauplanungsverfahren die Simulation eines Einspeisemanagements berücksichtigen.

Ausfallsimulation

Im Rahmen der Ausfallsimulation kann überprüft werden, ob im gestörten Betrieb alle technischen Betriebsgrenzen eingehalten werden. Ausfallsimulationen werden in Netzplanungsprozessen und im Netzbetrieb eingesetzt, um kritische Betriebszustände zu identifizieren und gegebenenfalls Gegenmaßnahmen einzuleiten. Diese können z.B. in Form von Netzausbau- oder netzbetrieblichen Maßnahmen umgesetzt werden. Die zu berücksichtigenden Ausfälle sind abhängig vom Anwendungsfall und können dabei sowohl manuell als auch automatisch über die Berücksichtigung der jeweiligen Betriebsmittelauslastungen bestimmt werden.

Spannungs-Blindleistungsmanagement

Das Ziel der Spannungs-Blindleistungsoptimierung ist die Minimierung der Übertragungsverluste im Netz. Durch die Integration von Erneuerbaren Energien verringert sich zunehmend die Anzahl von spannungsstützenden thermischen Kraftwerken als konventionelle Blindleistungsquellen. Die Spannung in der Hochspannungsebene wird bisher maßgeblich durch Stufungen von Netzkuppeltransformatoren geregelt. Die Zunehmende Integration von EE-Anlagen als Blindleistungsquellen in Verteilnetzen kann somit zukünftig auch eine Spannungs-Blindleistungsoptimierung in der Hochspannungsebene erfordern.

Topologieoptimierung

Die Durchführung von elementaren Schalthandlungen wie z.B. das An- und Abschalten von Leitungen oder die Kupplung von Sammelschienen ermöglicht eine gezielte Steuerung von Leistungsflüssen im Hochspannungsnetz. Damit können im Rahmen einer Topologieoptimierung Engpässe behoben oder die Spannungshaltung unterstützt werden.

Abgeleitete Anforderungen

Für eine strukturierte Ableitung der Anforderungen aus den Anwendungsfällen werden zunächst die möglichen Anforderungen dargestellt. Dabei handelt es sich zum einen um die Komponentenmodelle, die wiederum in Art, Detailgrad und Eigenschaft der Statik bzw. der

Dynamik des Modells eingeteilt werden. So sind in allen vier Anwendungsfällen Komponentenmodelle der Erzeuger und Lasten notwendig, in zwei der drei Anwendungsfälle ist die Modellierung von Sammelschienen und Transformatoren erforderlich. Dahingegen werden Kompensationsanlagen in diesem Beispiel nur für den Anwendungsfall der Spannungs-Blindleistungs-Optimierung sowie eine Schaltanlage nur für die Topologieoptimierung benötigt. Der Detailgrad beschreibt dabei beispielsweise die Blind- und Wirkleistungsgrenzen von Erzeugern und Lasten, das Spannungsband und die Konfiguration von Sammelschienen, die Betriebsmittelgrenzen sowie Schaltzustände von Schaltfeldern oder inwiefern das jeweilige Komponentenmodell ausgestaltet ist.

Neben den Komponentenmodellen wird die örtliche und zeitliche Auflösung der Erzeuger- sowie der Last-/Speicherzeitreihen abgeleitet. Dabei kann zwischen der stündlichen, der minütlichen Auflösung sowie der örtlichen Auflösung auf Regelzonen, Knoten und Kraftwerken unterschieden werden. Unter Berücksichtigung aller Anwendungsfälle wird deutlich, dass eine minütliche, knotenscharfe Auflösung sowohl für die Erzeuger- als auch für die Last- und Speicherzeitreihen ausreichend ist. Im Folgenden wird auf die Generierung der Modellnetze eingegangen.

2.3 Generierung des Modellnetzes

Basierend auf den beschriebenen Daten und den sich aus den Anwendungsfällen abgeleiteten Anforderungen wird nun die Generierung des Modellnetzes beschrieben. Dazu wird zunächst das gesamte deutsche Hochspannungsmodell erstellt, aus dem Netzausschnitte als Modellnetze in Abhängigkeit der Versorgungsaufgabe und der Topologie generiert werden. In diesem Abschnitt wird auf die Vorgehensweise und die Algorithmen genauer eingegangen.

Knoten-Zweig-Modell

Die Rohdaten für das Netz können von dem durch OpenStreetMap bereitgestellten Server heruntergeladen werden und dabei gefiltert werden, um den Speicherbedarf zu reduzieren. Diese Daten werden in einer PostgreSQL Datenbank [3] gespeichert, die frei verfügbar ist und sich insbesondere für die Speicherung georeferenzierter Daten eignet. Mithilfe der Anwendung QGIS [4] ist es möglich georeferenzierte Daten zu visualisieren, die in Abbildung 2 für die Hochspannungsebene in Deutschland dargestellt sind.

Da es sich bei den Rohdaten um Daten handelt, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit sowie Korrektheit besitzen, ist eine detaillierte Validierung dieser notwendig. Das Ziel dabei ist, ein vollständiges zusammenhängendes Knoten-Zweig-Modell zu generieren. Bei dem Filtern der Daten wird vorliegend ein optimistischer Ansatz gewählt, das bedeutet, dass Stationen ohne Information über die Spannungsebene zunächst in den Datensatz aufgenommen werden, entgegen dem pessimistischeren Ansatz, diese herauszufiltern. Aus diesem Grund werden zwei Algorithmen angewendet, die anhand einer beispielhaften Station in Abbildung 3 beschrieben werden.

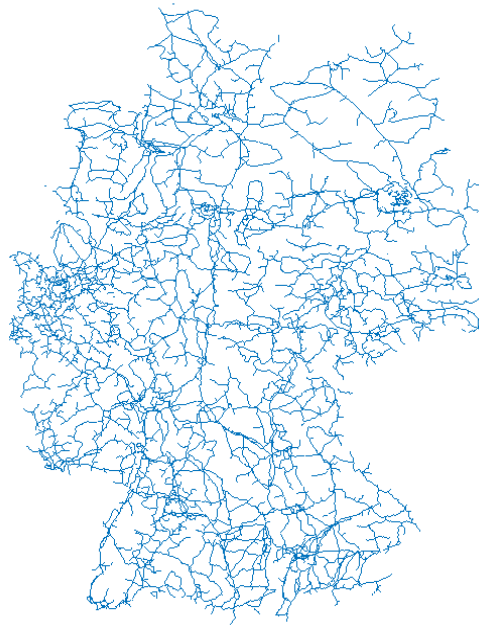


Abbildung 2: Georeferenzierte Daten für das Hochspannungsnetz

Im linken Teil der Abbildung 3 ist eine Station dargestellt, die in den Rohdaten keiner Spannungsebene zugeordnet ist. In einem ersten Schritt werden alle Stationen ohne Zuordnung zu einer Spannungsebene dahingehend geprüft, ob sie mindestens einen Schnittpunkt mit einem Element der Hochspannungsebene haben. Dies ist möglich, da für jede Station ein Polygon angegeben ist, welches in der Mitte der Abbildung 3 dargestellt ist. Mithilfe eines zweiten Algorithmus werden alle Leitungen, die innerhalb des Polygons einer Station enden, zu einem Knoten für diese Station zusammengeführt, sodass an den Stationen keine offenen Leitungsenden mehr existieren und ein zusammenhängendes Netz geschaffen wird.

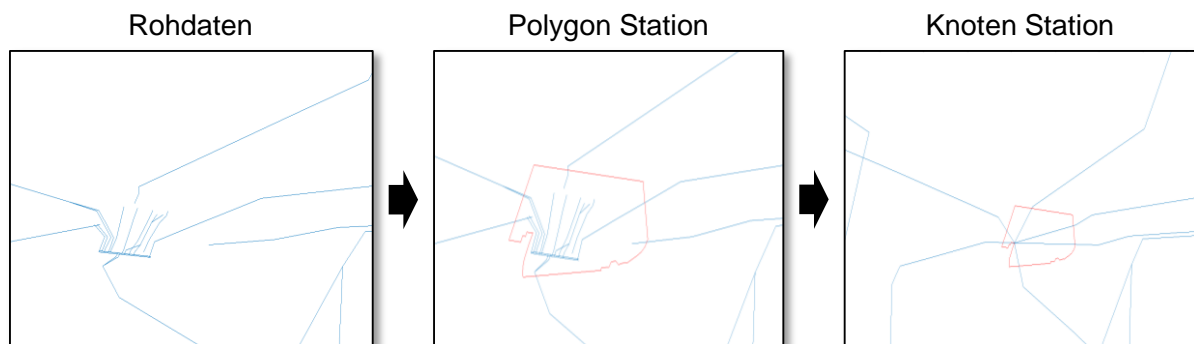


Abbildung 3: Algorithmen zur Erzeugung eines zusammenhängenden Netzes

Darüber hinaus werden benachbarte Stationen mit einer geringen Entfernung zu einer Station und somit zu einem Knoten zusammenfasst, da diese in den Rohdaten in einzelne geographische Einheiten unterteilt sind. Abschließend werden offene Leitungen an nächstgelegene Stationen angebinden. Sollte in der näheren Entfernung keine Station vorhanden sein, wird eine neue Station erstellt.

Neben der Forderung der Vollständigkeit des Netzes, ist auch eine realitätsnahe Dimensionierung technischer Parameter des Netzes notwendig. Aufgrund fehlender Informationen über die elektrischen Parameter des Hochspannungsnetzes in den Rohdaten von OpenStreetMap sowie in den Netzschemaplänen sind Annahmen hinsichtlich den Betriebsmitteltypen und der Netzdimensionierung zu treffen. Dazu werden Standardbetriebsmittel für Kabel, Freileitung und Sammelschienen verwendet. Darüber hinaus erfolgt eine leistungsflussbasierte Dimensionierung des Netzes für die Bestimmung der Stromkreisanzahl unter Berücksichtigung des $(n-1)$ -Kriteriums.

Versorgungsaufgabe

Um ein rechenfähiges Netz zu erhalten, muss im Anschluss an die Generierung des Knoten-Zweig-Modells die Versorgungsaufgabe bestimmt werden. Über die Daten aus dem Anlagenregister können die installierten Kapazitäten der Anlagen auf Basis Erneuerbarer Energien den jeweiligen Knoten zugeordnet werden, um somit den Anforderungen der knotenscharfen Abbildung der Erzeuger zu entsprechen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass in dem Anlagenregister zur Einhaltung des Datenschutzes lediglich das Postleitzahlgebiet angegeben ist, sodass die Knoten diesen zuzuordnen sind. Die Zuordnung erfolgt anhand von sogenannten Voronoi-Gebieten, sodass jeder Hochspannungsknoten von einem dieser Gebiete umspannt wird und die geringste Entfernung zu dem Mittelpunkt gegenüber den anderen Gebieten aufweist. Abbildung 4 zeigt die Voronoi-Gebiete für die Hochspannungsknoten des zuvor beschriebenen Knoten-Zweig-Modells.



Abbildung 4: Voronoi-Gebiete für jeden Knoten des Hochspannungsnetzmodells

Auf die genaue Vorgehensweise des Verfahrens soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, sodass auf [4] verwiesen wird. Nach der Anwendung dieser Methode können Schnittflächen zwischen den Voronoi-Gebieten eines jeden Hochspannungsknotens und den Postleitzahlgebieten ermittelt werden, sodass eine prozentuale Zuteilung der installierten Leistungen aus einem Postleitzahlgebiet auf die Knoten möglich ist.

Neben der Zuordnung der Einspeisung von Anlagen auf Basis erneuerbarer Energien beinhaltet die Versorgungsaufgabe die Last sowie die Verteilung dieser auf die einzelnen Netzknoten. Dabei wird die Jahreshöchstlast von 79 GW aus dem Jahr 2015 angenommen [5] und auf die Knoten der Hochspannungsebene verteilt. Dazu wird vereinfachend die Annahme getroffen, dass die Einwohnerzahl zunächst hinreichend für eine Abschätzung der Lastverteilung ist. Die Einwohnerzahl für jedes Postleitzahlgebiet wird durch das Statistische Bundesamt [6] veröffentlicht, sodass über die Zuordnung der Postleitzahlgebiete zu den Hochspannungsnetzknoten eine Verteilung der Last auf diese möglich ist.

Clustering zur Erstellung der Netzausschnitte

Wie eingangs beschrieben, besteht das Ziel der Generierung von Benchmark-Modellnetzen darin, öffentlich zugängliche und somit vergleichbare Netzmodelle zu erstellen. Damit innovative Berechnungsmethoden validiert werden können, müssen diese Modellnetze den Anforderungen der veränderten Netznutzung gerecht werden und darüber hinaus repräsentative Ergebnisse hinsichtlich der Berechnung realer Netze liefern.

Die Auswahl der Netzausschnitte erfolgt dabei mithilfe des Ward-Algorithmus [8], bei dem es sich um ein hierarchisches Clusterverfahren handelt. In diesem Fall ergibt sich dadurch der Vorteil, dass eine Vorgabe der Clusteranzahl nicht notwendig ist sowie die Wahl der Cluster nicht über ein festgelegtes Maß erfolgt. Vielmehr wird hier die Varianz als Heterogenitätsmaß verwendet. Das Clustering erfolgt für die in Abschnitt 2.1 beschrieben, durch die Netzbetreiber veröffentlichten, Netzstrukturdaten. Hierbei werden die Kabellänge, die Freileitungslänge, die Umspannleistung und die Jahreshöchstlast auf die versorgte Fläche des jeweiligen Netzbetreibers bezogen, um eine Annahme hinsichtlich der Einordnung in die Kategorien ländlich und städtisch sowie Zwischenkategorien treffen zu können. Das Ergebnis des Clustering zeigt, dass sich in der dritten Iteration Kategorien ergeben, die stark mit der Einwohnerdichte der jeweiligen Netzgebiete korrelieren, sodass auch hier auf die Einordnung in eher städtische oder ländliche Kategorien geschlossen werden kann. Unter Hinzunahme des Clustering der Netzstrukturdaten werden zur Darstellung im Rahmen dieses Berichts ein städtisches und ein ländliches Modellnetz ausgewählt, die nachfolgend in den Ergebnissen dargestellt und validiert werden.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Beitrages dienen der Darstellung der generierten Modellnetze und deren Validierung. Im Rahmen der Ergebnisdarstellung werden zwei Modellnetze generiert, die den Kategorien vorwiegend ländlich und vorwiegend städtisch zuzuordnen sind. Abbildung 5 stellt dabei exemplarisch eine Masche des vorwiegend städtisch eingeordneten Modellnetzes dar.

Anhand dieses Abschnittes wird die Dimensionierung mithilfe der Lastflussberechnung für den Normalbetrieb sowie für eine Ausfallsimulation beschrieben. Die Dimensionierung über die Lastflussberechnung in Ausfallsituationen gewährleistet dabei die Einhaltung der (n-1)-Kriteriums.

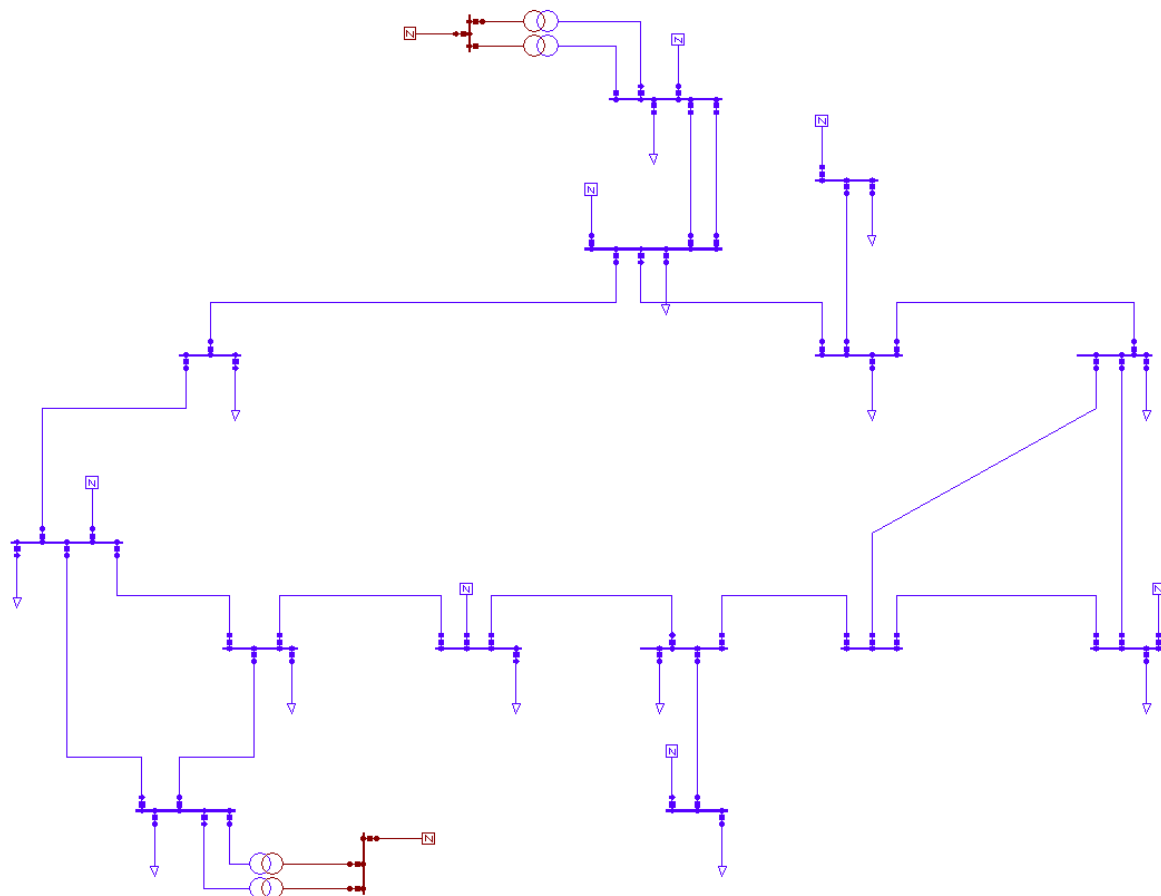


Abbildung 5: Modellnetz eines vorwiegend städtischen Gebiets in der Hochspannungsebene

Das vorwiegend städtische Modellnetz besteht aus 41 Knoten, welche sowohl Umspannstationen als auch Verzweigungen enthalten, und 44 Leitungen. Bei der Berechnung des Lastflusses im Normalbetrieb sind sechs Leitungen überlastet, wobei die Auslastung bis zu 300 % der maximalen Strombelastbarkeit beträgt. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Angabe über die Stromkreisanzahl in den Rohdaten von OpenStreetMap nicht für jede Leitung enthalten ist. Im Rahmen der Untersuchungen werden sukzessive parallele Leitungen hinzugefügt, falls eine Leitung überlastet ist. Im Anschluss daran wird eine neue Lastflussberechnung durchgeführt. Für vier der sechs Leitungen können die Überlastungen durch den Anschluss einer parallelen Leitung behoben werden. Bei den letzten beiden Leitungen sind eine, beziehungsweise zwei weitere Leitungen parallel anzuschließen, um die Überlastung zu beheben.

Im Anschluss an die Dimensionierung für den Normalbetrieb erfolgt ebenso eine Dimensionierung für die Ausfallrechnung, um wie zuvor beschrieben, das $(n-1)$ -Kriterium zu erfüllen. Der Anschluss paralleler Leitungen erfolgt hier analog zu der Dimensionierung im Normalbetrieb und wird an dieser Stelle nicht weiter beschrieben.

Die Berechnung des Lastflusses sowohl im Normalbetrieb als auch in den Ausfallsituationen weist Überlastungen auf, welche durch den Anschluss paralleler Leitungen behoben werden. Neben der unvollständigen Angabe der Stromkreisanzahl resultiert auch die Annahme der Standardbetriebsmittel in einer Abweichung des Modellnetzes zur Realität, sodass der Netz-

ausschnitt aufgrund der Wahl neuartiger Betriebsmittel im Vergleich zur Altersstruktur des realen Netzes überschätzt wird. Das Ziel dieses Beitrags besteht jedoch darin, ein rechenfähiges, vergleichbares und für die Anwendungsfälle geeignetes Modellnetz zu generieren. Dieses muss in einem gewissen Maße realitätsnah sein, jedoch nicht der Realität entsprechen. Die Vorgehensweise eignet sich somit für eine Generierung von Benchmark-Modellnetzen auf Basis öffentlich verfügbarer Daten. Eine Validierung mithilfe unterschiedlicher Anwendungsfälle und bestenfalls unter Verwendung verschiedener Algorithmen ist im Weiteren noch durchzuführen.

4 Zusammenfassung

Der Bedarf an innovativen Berechnungsmethoden in der Hochspannungsebene aufgrund der veränderten Netznutzung und der hohen Bedeutung dieser Spannungsebene als Bindeglied zwischen der Höchst- sowie der Mittel- und Niederspannungsebene, begründet das Ziel dieses Beitrags. Dieses ist die Generierung eines Benchmark-Modellnetzes auf Basis öffentlicher Daten, welches die Validierung innovativer Berechnungsmethoden ermöglicht. Dabei ist insbesondere wichtig, eine transparente und somit nachvollziehbare methodische Vorgehensweise einzuhalten.

Aufgrund dessen erfolgen in dem Beitrag eine Beschreibung der öffentlich zugänglichen Datenquellen sowie eine Beschreibung von Anwendungsfällen, aus denen die Anforderungen an das Netzmodell abgeleitet werden. Aus den aufbereiteten Daten wird, unter Berücksichtigung der abgeleiteten Anforderungen, ein Knoten-Zweig-Modell für das deutsche Hochspannungsnetz erstellt und eine Versorgungsaufgabe dafür generiert. Im Anschluss daran werden nicht plausible Netzelemente, wie beispielsweise offene Leitungsenden an einer Station, über verschiedene Algorithmen repariert, sodass ein zusammenhängendes Netzmodell entsteht.

Unter Hinzunahme der Netzbetreiberdaten werden die Versorgungsaufgabe sowie die Eigenschaften der Leitungen für jeden Netzbetreiber geclustert. Mithilfe dieser Information werden sinnvolle Netzausschnitte gewählt und für den Lastfluss im Normalbetrieb sowie in (n-1)-Situationen ausgelegt. Die Dimensionierung des Modellnetzes zeigt, dass sich mit wenigen Anpassungen des zuvor generierten Modellnetzes ein rechenfähiges Netz ergibt und sich das Verfahren grundsätzlich für eine Generierung von Benchmark-Modellnetzen auf Basis öffentlich verfügbarer Daten eignet. Es sei abschließend darauf verwiesen, dass eine Validierung mit weiteren Anwendungsfällen durchzuführen ist.

5 Literatur

- [1] IEEE PES: Distribution Test Feeders, <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html>, Stand: 25.01.2017.
- [2] Bundesnetzagentur: Anlagenregister, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Anlagenregister/Anlagenregister_node.html, Stand: 20.01.2017.
- [3] PostgreSQL: Open Source Database, <https://www.postgresql.org>, Stand: 10.01.2017.
- [4] QGIS: Ein freies Open-Source-Geographisches-Informationssystem, <https://www.qgis.org/de/site>, Stand: 15.01.2017.
- [5] Van Leeuwen, T., et al.: Ermittlung von Transitflüssen im Hochspannungsnetz durch mehrere Verknüpfungspunkte mit dem Übertragungsnetz, Graz, 2014.
- [6] entso-e: Consumption Data, <https://www.entsoe.eu/data/data-portal/consumption/Pages/default.aspx>, Stand: 25.01.2017.
- [7] destatis: Bundestagswahlkreise, <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/Archiv/GVAuszugQ/BTW20132Q2013.html>, Stand: 25.01.2017.
- [8] S. Rassenhövel: Performancemessung im Hochschulbereich: Theoretische Grundlagen und empirische Befunde, Springer-Verlag, 2010.