

# Intelligente Netzplanung für flexible zukunftsfähige Netze

Thomas Gündel\*

Fachbereichsleiter Netzentwicklung  
Stromnetz Hamburg GmbH  
Hamburg, Deutschland

\*E-Mail: thomas.guendel@stromnetz-hamburg.de

Thorsten Niepel\*\*

Ing. Netzentwicklung Stromnetz  
Stromnetz Hamburg GmbH  
Hamburg, Deutschland

\*\*E-Mail: thorsten.niepel@stromnetz-hamburg.de

**Kurzfassung** – Stromnetz Hamburg als Betreiber des zweitgrößten städtischen Stromnetzes in Deutschland hat es sich zum Ziel gesetzt, auf die Herausforderungen der Energiewende mit flexiblen und intelligenten Netzen zu reagieren, um die sichere Versorgung aller Hamburger Kunden auch zukünftig sicherstellen zu können. Im Fachbereich Netzentwicklung werden dazu Netzstrukturen entwickelt, die sich nach Bedarf den jeweiligen Anforderungen anpassen lassen. Dies bedeutet auch eine Abkehr von althergebrachten Methoden wie der starken Vermaschung bei geringer Übertragungsfähigkeit und einer exakt an jeden prognostizierten Lastfluss angepassten Leitungsdimensionierung. Stattdessen sollen klarere Strukturen sowie standardisierte Materialien und Betriebsmittel zur Anwendung kommen. Eine notwendige Grundlage für die Erstellung derartiger Netze ist die klare Vorstellung darüber, welchen Anforderungen diese genügen müssen. Anforderungen wie eine hohe Versorgungssicherheit, niedrige Wartungskosten, einfacher Netzbetrieb, angemessene Investitionskosten, Machbarkeit und Robustheit gegenüber Veränderungen müssen in entsprechend prüfbar Parameter übersetzt werden, um einen gesamtheitlich optimierten Zielzustand erreichen zu können. Stromnetz Hamburg ist dies gelungen, und ein Zielnetz für die Hochspannungsebene liegt vor.

**Stichworte** – Zielnetze, Netzplanung, Netzstrukturen, Energiewende

## NOMENKLATUR

BNetzA	Bundesnetzagentur
UW	Umspannwerk: HS-/MS-Transformator mit angebundener MS-Schaltanlage
SA	Schaltanlage: HS-Schaltanlage (Knoten im 110-kV-Transportnetz)
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VNB	Verteilnetzbetreiber

## I. EINLEITUNG

Das Netz von Stromnetz Hamburg wurde vor allem in den 1960er und 1970er Jahren errichtet. Damals wurde für das Jahr 2000 eine Last von fast 10.000 MVA prognostiziert. Die hierfür benötigten Konzepte lagen zum damaligen Zeitpunkt vor, auch eine Regionalisierung der prognostizierten Last auf die Stadtteile war vorhanden. Eine Umsetzung der Konzepte war daher ab diesem Zeitpunkt möglich und wurde begonnen. Besonders der Bau der 380/110-kV-Umspannwerke in Hamburg Nord, Ost und Süd zeigen den Glauben an die prognostizierten Lasten – bis dahin wurde das Hamburger Netz nur

aus dem 110-kV-Netz gespeist. Mit der Ölkrise Anfang der 1970er Jahre zeigte sich aber auch, dass die starke Steigerung der Last sich nicht mehr fortsetzen würde – allerdings waren zu diesem Zeitpunkt bereits zahlreiche Betriebsmittel gemäß dem neuen Netzkonzept in allen Spannungsebenen errichtet worden. Ein Rückbau der nun nicht mehr konzeptgemäßen Betriebsmittel wäre zum damaligen Zeitpunkt jedoch unwirtschaftlich gewesen – denn diese Betriebsmittel waren zu diesem Zeitpunkt noch sehr neu.

Der Zeitpunkt einer wirtschaftlich fundierten Umstellung bestehender Netzstrukturen auf neue Anforderungen ist mit dem Ende der Abschreibungsdauer grundsätzlich erreicht. Es ist daher sinnvoll, sich spätestens zu diesem Zeitpunkt über eine Anpassung von Netzstrukturen Gedanken zu machen.

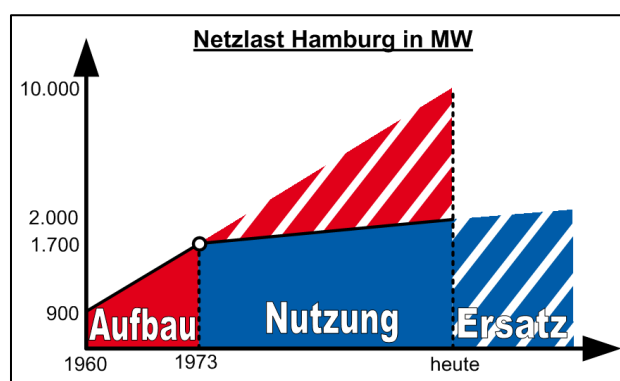


ABBILDUNG 1: NETZAUSBAU IN ABHÄNGIGKEIT VON NETZLAST UND ALTER.

Bei der Erstellung neuer Netzstrukturen müssen neben den technischen Fragestellungen auch die jeweils aktuellen energie- und umweltpolitischen Ziele sowie ökologische Fragestellungen Berücksichtigung finden. Hierbei ist vor allem die Rolle von Stromnetz Hamburg als Partner der Energiewende und Unterstützer bei umweltpolitischen Zielen zu nennen.

Die bei Stromnetz Hamburg durchgeführten Untersuchungen sollen im Folgenden dargestellt werden.

## II. BESCHREIBUNG DES AKTUELLEN HOCHSPANNUNGSNETZES

### A. Beschreibung der Altersstruktur des Netzes

Das Durchschnittsalter der Hochspannungskabelanlagen beträgt mittlerweile ca. 40 Jahre. Gerade auch aufgrund der vorhandenen Kabeltechnologien soll ein Fokus auf den Ersatz

beziehungsweise die Außerbetriebnahme von Öl- und Gaskabeln gelegt werden. Altersbedingt soll daher der Ersatz forciert werden – denn diese Kabelanlagen sind perspektivisch auch vom Ende des Herstellersupports betroffen.

Die Freileitungen im Hamburger Stadtgebiet sind mit einem Durchschnittsalter von 54 Jahren nochmals älter als die eingesetzten Kabelanlagen.

Für den langfristig notwendigen Betriebsmittlersatz soll daher eine von Stromnetz Hamburg definierte technisch-wirtschaftliche Nutzungsdauer nicht mehr überschritten werden. Hierfür müssen langfristig dauerhaft ca. 20 km Kabel und Leitungen pro Jahr ersetzt werden.

### B. Mengengerüst

Das Hamburger Hochspannungsnetz umfasst 360 km Kabelnetz, davon sind 54 km VPE Kabel, 243 km Ölkabel und 63 km Gasdruckkabel. Die Gesamtlänge des Hochspannungsfreileitungsnetzes beträgt 690 km.

### C. Struktureller Aufbau des Netzes

Das Hochspannungsnetz von Stromnetz Hamburg basiert auf drei Funktionen. Stromnetz Hamburg unterscheidet in eine Transportfunktion, die hauptsächlich von den Einspeisepunkten zu den innerstädtischen Lastschwerpunkten führt. Das Netz der Transportfunktion ist größtenteils in Freileitungsbauweise aufgebaut.

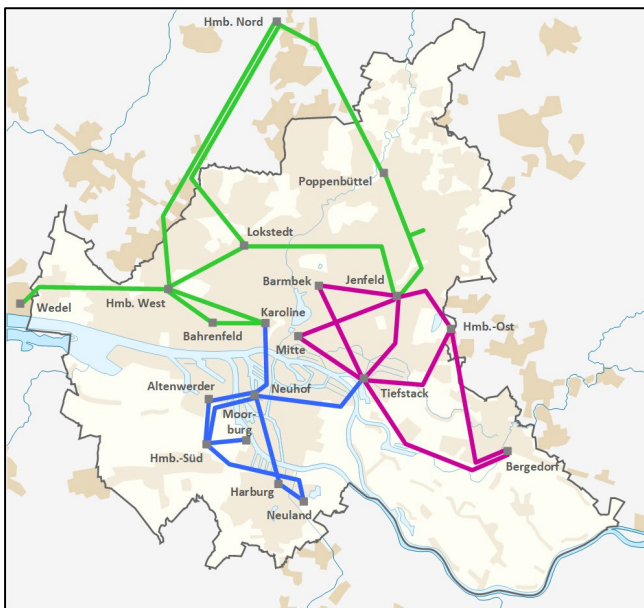


ABBILDUNG 2: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES HEUTIGEN HOCHSPANNUNGSNETZES.

Das Netz zwischen den Lastschwerpunkten nennt Stromnetz Hamburg Verteilungsnetz. Von den Lastschwerpunkten gehen in aller Regel die Umspannwerkseinspeisungen ab. Beide letztgenannten Funktionen werden sowohl durch Kabel als auch Freileitungen realisiert.

Aufgrund der derzeit eingesetzten Betriebsmittel kann das Netz vermascht betrieben werden – dennoch muss es aufgrund der in das Netz speisenden Kurzschlussleistung aus Kraftwerken und dem vorgelagerten Übertragungsnetz in drei Teilnetzen betrieben werden.

### D. Beispielhafte Herausforderungen im aktuellen Netz

Für die aktuellen Lasten und Anforderungen, die Stromnetz Hamburg an das Hochspannungsnetz stellt, eignet sich das aktuelle Netz sehr gut. Viele betriebliche Schaltungen sind möglich, was beispielsweise Lastverlagerungen für Baumaßnahmen ermöglicht. Das Netz beherrscht derzeit noch praktisch alle definierten Fehlerfälle und ermöglicht zusätzlich in einigen darüber hinausgehenden Fehlerszenarien Teilversorgungen. Die Belastungsgrenzen der Betriebsmittel für die Fähigkeit, Ausfälle zu beherrschen, sind jedoch erreicht. Durch die Vermaschung des Netzes existieren entsprechende Abhängigkeiten, sodass Lasterhöhungen Wirkungen auf viele, auch geographisch entfernte, Verbindungen zeigen.

Bei steigenden Lasten bedeutet dies daher auch, dass einzelne in den Planungsgrundsätzen (siehe Kapitel IV.H) als „zu beherrschende Fehlersituationen“ definierte Netzsituationen durch dann entstehende Betriebsmittelüberlastungen nicht mehr beherrscht werden können. Hierdurch kommt es beim Anschluss neuer Lasten immer mehr auf den jeweiligen Schaltzustand im Netz an. So verliert die Netzführung die Freiheiten im Netz und muss das Netz nach der aktuellen Lastsituation führen – mit der Konsequenz, dann nicht mehr alle Fehlerfälle wie vorgesehen zu beherrschen. Für die Netzführung bedeutet dies, dass sie je nach Lastverteilung und Lasthöhe mit unterschiedlichen Schaltzuständen auf gleichartige Fehler reagieren muss. Dies erscheint nicht zielführend und soll im Zielnetz vermieden werden.

Es zeigte sich, dass die bisherige Netzkonstellation mit den bisherigen Betriebsmitteln die Anforderungen zum Anschluss neuer Lasten nicht mehr beherrscht. Bei gleichzeitiger Notwendigkeit des Betriebsmittlersatzes bedeutet dies, dass das bestehende Netz 1:1 ersetzt werden müsste.

Auf Grund von beschränkten Ressourcen erschien dieser Ansatz nicht zielführend, sodass die Struktur des Netzes überdacht werden musste, um in den nächsten Jahren die Anzahl der notwendigen Baumaßnahmen bestmöglich zu reduzieren und trotzdem alle an das Netz gestellten Anforderungen beherrschen zu können.

## III. GENERELLE ANFORDERUNGEN

### A. Politischer Rahmen

Der Verteilungsnetzbetreiber hat mit der Freien und Hansestadt Hamburg den „Vertrag über die Benutzung öffentlicher Wege für Anlagen zur Stromverteilung (Wegenutzungsvertrag)“ [1] sowie die „Kooperationsvereinbarung zum zukunftsorientierten Stromnetzbetrieb“ [2] für das Gebiet der Stadt Hamburg geschlossen, der am 01.01.2015 in Kraft getreten ist und am 31.12.2034 endet. Auf Basis dieses Vertrages darf Stromnetz Hamburg Anlagen im Stadtgebiet errichten und betreiben.

### B. Städtebauliche Aspekte

Hamburg ist eine wachsende Stadt. Dies hat bereits 2001 mit der Erstellung des Leitbildes „Metropole Hamburg – Wachsende Stadt“ Einzug in ein Stadtentwicklungskonzept gefunden [3]. Im Kern soll dabei trotz Bevölkerungszunahme und der Schaffung neuer Arbeitsplätze die Stadt Hamburg eine lebenswerte, konkurrenzfähige und zukunftsfähige Stadt bleiben. Basierend auf diesen Wünschen hat Stromnetz Hamburg bereits Freileitungen im Stadtgebiet demontiert und wird dies auch in Zukunft versuchen. Im Bereich der Gebäude versucht Stromnetz Hamburg ebenfalls, ökonomische und ökolo-

gische Ansprüche zu vereinen, beispielsweise beim Energieverbrauch und beim Eingriff in den städtischen Raum. So sollen sich Gebäude in die Umgebung einfügen, möglichst viele Grünflächen sollen geschützt und Baumschnitt weitestgehend vermieden werden. Neben Gebäuden und Freileitungen versucht Stromnetz Hamburg auch bei der Kabellegung, möglichst mit weiteren Infrastrukturunternehmen der Stadt zu kooperieren, um auch hier den Eingriff in die Umwelt möglichst klein zu halten – so sollen zum Beispiel möglichst wenige Baustellen den Verkehr negativ beeinflussen und auch knapper Parkraum soll möglichst selten für Baumaßnahmen gesperrt bleiben.

### C. Regulatorischer Rahmen

Stromnetz Hamburg wird als Verteilungsnetzbetreiber von der BNetzA reguliert. Dies geschieht, da Stromnetze ein natürliches Monopol sind – der Bau eines Netzes ist aufwändig und teuer, und damit ist eine Verlegung konkurrierender Netze nicht wahrscheinlich und wirtschaftlich auch nicht sinnvoll. Die BNetzA legt jeweils vor Beginn einer Regulierungsperiode fest, welche Erlöse dem Netzbetreiber Jahr für Jahr während der Regulierungsperiode zur Verfügung stehen sollen. Dafür werden zunächst die betriebsnotwendigen Kosten des Netzbetreibers geprüft. Diese Kosten gehen in einen Effizienzvergleich ein und sind der Ausgangspunkt für die Bestimmung der angemessenen Erlöse. Mit den genehmigten Erlösen kann das Unternehmen seine Aufgaben als Netzbetreiber erfüllen. Zusätzlich wird die Erlösobergrenze jedes Verteilungsnetzbetreibers jährlich um einen von der Regulierungsbehörde festgelegten Prozentsatz (sektoraler Produktivitätsfaktor) abgesenkt. Dem entgegen wirken von der BNetzA anerkannte Erweiterungsinvestitionen (Erweiterungsfaktor) sowie die Berücksichtigung der Inflation. Weiterhin überwacht die BNetzA den diskriminierungsfreien Zugang zu den Stromversorgungsnetzen.

Zur Sicherstellung von nötigen Netzinvestitionen sind in der Anreizregulierungsverordnung (ARegV) bestimmte Regelungen und Mechanismen, zum Beispiel Investitionsmaßnahmen, Kapitalkostenaufschläge sowie eine angemessene Eigenkapitalverzinsung vorgesehen.

### D. Unternehmerischer Rahmen

Stromnetz Hamburg hat sich selbst für seine Arbeit Ziele gesetzt. Diese müssen ebenfalls durch die Netzplanung unterstützt werden. Das erste Ziel stammt dabei aus der Vorgabe des Energiewirtschaftsgesetzes [4] und bezieht sich auf die Versorgung der Allgemeinheit. Gleichzeitig ist es das Ziel von Stromnetz Hamburg, die Wirtschaftlichkeit zu wahren und eine angemessene Eigenkapitalrendite zu erwirtschaften – bezogen auf gesetzliche und regulatorische Randbedingungen. Nicht zuletzt sollen die netzplanerischen Untersuchungen auch die Umsetzbarkeit der Energiewende sicherstellen, wenn nicht gar beschleunigen.

### E. Gesellschaftliche Akzeptanz

Die gesellschaftliche Akzeptanz der Ergebnisse der Netzplanung sind ein wichtiger Baustein für die Umsetzbarkeit der Planungen in die Realität. Stromnetz Hamburg geht davon aus, dass Akzeptanz vorliegen kann, wenn die angeschlossenen gewerblichen und industriellen Netznutzer auf eine weiterhin hohe Netzzuverlässigkeit, eine hohe Produktqualität und eine hohe Versorgungssicherheit setzen können. Gleichzeitig soll die Netzleistungsfähigkeit so groß sein, dass sich Netznutzer dadurch nicht eingeschränkt fühlen. Für die Hamburger Bürgerinnen und Bürger werden die Faktoren für eine

höhere Akzeptanz vielmehr in einer geringen Beeinträchtigung des täglichen Lebens erwartet, beispielsweise durch weniger Baustellen, Leitungstrassen und Eingriffe in die Natur.

### F. Kosten

Der bevorstehende altersbedingte Ersatz vieler bereits bestehenden Kabel und Freileitungen wird einen großen Finanzbedarf aufweisen. Eine der Aufgaben war es daher, die Netzplanung darauf auszurichten, für jedes Kabel/jede Freileitung einen unbedingten Bedarfsnachweis zu liefern. Dazu muss geprüft werden, ob es Möglichkeiten gibt, durch eine Anpassung der Netzstrukturen Optimierungen im Netz zu finden, die den benötigten Leitungsumfang reduzieren können.

### G. Ressourcen

Neben den entstehenden Finanzbedarfen bedeutet der Ersatz und Neubau von Kabeln und Leitungen im Stadtgebiet ebenfalls eine große Herausforderung, aufgrund beschränkter Ressourcen sowohl bei Dienstleistern als auch bei eigenem Personal. Auch aus diesem Grund bedarf es einer Prüfung, welche Betriebsmittel unbedingt notwendig sind, um genannte Ressourcen zu schonen.

### H. Planungsgrundsätze

Die Planungsgrundsätze von Stromnetz Hamburg verschriftlichen die Anforderungen, die bei der Planung der Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetze zu berücksichtigen sind. Diese Planungsgrundsätze sind zwischen den verschiedenen Bereichen des Unternehmens abgestimmt und daher ein wichtiges Instrument zur Umsetzung von Maßnahmen, da hierdurch Einzelfallentscheidungen vermieden werden können. Die Planungsgrundsätze werden jährlich überarbeitet und um neue Erkenntnisse ergänzt beziehungsweise um überholte Festlegungen bereinigt.

## IV. FESTLEGUNG VON PARAMETERN

Aus den generellen Anforderungen werden Optimierungsziele und prüfbare Parameter für die entsprechende Zielnetzplanung abgeleitet.

### A. Optimierungsziele

#### 1) Ausfallsicherheit

In Verteilungsnetzen ist die gewünschte Ausfallsicherheit immer auch von den Auswirkungen eines Schadensereignisses abhängig. Um diese diskriminierungsfrei für alle angeschlossenen Netzkunden gewährleisten zu können, setzt Stromnetz Hamburg über das qualitative (n-1)-Kriterium hinaus noch das Kriterium der nicht zeitgerecht gelieferten Arbeit ein [5]. Durch dessen Anwendung ist es möglich, zulässige Wiederversorgungszeiten in Abhängigkeit der Ausfallhäufigkeiten und der ausfallenden Leistung zu bestimmen – was dann aufgrund der sich daraus ergebenden Zeit zu einer vorzusehenden Netzredundanz führt. Hierbei ist in der Netzplanung darauf zu achten, dass aufgrund der Wirtschaftlichkeit die Redundanz aus der gleichen Spannungsebene erfolgt.

Im Ergebnis muss daher das Transportnetz einen beliebigen Fehler während einer Wartung beherrschen, gleiches gilt auch im Verteilungsnetz. Für Umspannwerksanschlüsse ist eine Redundanz insofern notwendig, dass das Umspannwerk nach einem ersten Fehler nicht ausfällt.

#### 2) Last- und Einspeiseszenarien

Die zukünftig zu versorgende Last ist eine Eingangsgröße, deren Herleitung eine der großen Herausforderungen auf dem

Weg zu einer Zielnetzplanung darstellt. Bei Stromnetz Hamburg gibt es einen eigenen Bereich, welcher für diese Aufgabe verantwortlich ist.

Grundsätzlich können im einfachsten Fall Daten aus der Vergangenheit mit den entsprechenden Steigerungs- oder Stagnationsraten in die Zukunft fortgeschrieben werden. Aufgrund der durch die Energiewende erwarteten starken Veränderung des Nutzerverhaltens geht dieser Ansatz jedoch mit großen Unsicherheiten einher. Da sich die einzelnen Lasten und Einspeisungen unterschiedlich stark entwickeln und dabei auch abhängig von vielen Randbedingungen sind, wird hier auf die Entwicklung und Prüfung unterschiedlicher Szenarien gesetzt. Stromnetz Hamburg hat sich bei der Erstellung seiner Prognose am Prozess der ÜNB orientiert. So gibt es auch für Hamburg drei Szenarien zur Lastentwicklung. Für diese umfassenderen, aber auch komplexeren Ansätze soll hier auf die von der Bundesnetzagentur akzeptierte Methode verwiesen werden [6].

### 3) Leitungslänge

Die Länge neu zu legender oder zu erneuernder Leitungen ist grundsätzlich ein Faktor bei der Bewertung einer Netzstruktur, da die Leitungslänge einen Einfluss auf die begrenzten Ressourcen „Kosten“ und „Umsetzungskapazität“ hat. Als alleiniger Bewertungsmaßstab ist die Leitungslänge jedoch nicht geeignet, da man theoretisch redundante Leitungen in der gleichen Trasse führen könnte. Die Forderungen allgemein basieren allerdings auf der Basis der zeitgerecht gelieferten Arbeit [5]. Führt daher eine Ursache zur Abschaltung sich gegenseitig Redundanz stellender Systeme, so ist eine derartige Legung aber nicht zulässig – hierfür ist eine Georedundanz notwendig, die dann zur Legung in verschiedenen Trassen führt. Da die Materialkosten einer Hochspannungsleitung im Vergleich zu den Tiefbaukosten in städtischen Gebieten einen Bruchteil der Gesamtkosten ausmachen, ist es daher sinnvoller, eine Optimierung auf die Trassenlänge durchzuführen.

## B. Abgeleitete Optimierungsziele

### 1) Trassenlänge

Die Trassenlänge ist ein Optimierungsparameter, der eine erkennbare Abhängigkeit zur Leitungslänge aufweist, jedoch zusätzlich unter Berücksichtigung der Ausfallsicherheit betrachtet wird.

### 2) Betriebliche Freiheitsgrade

Der Netzbetrieb muss auch zukünftig möglich sein, er soll durch Topologie-Änderungen nicht zusätzlich erschwert werden. Eine Abbildung dieser Anforderung ist eine besondere Herausforderung, da Aspekte aus den täglichen Herausforderungen des Netzbetriebs stark abstrahiert werden müssen, um sie in einer entsprechenden Planung berücksichtigen zu können.

### 3) Gesicherte Versorgungsleistung

Die gesicherte Versorgungsleistung eines Knotens ist ein Parameter, der sich aus der Anzahl und Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden redundanten Betriebsmittel ableitet. Aus der Summe der Leistungsfähigkeit der den jeweiligen Knoten versorgenden Leitungen, abzüglich der Anzahl der im jeweiligen Fehlerszenario ausfallenden Versorgungsleistung, ergibt sich die gesicherte Versorgungsleistung des Knotens.

## V. ZIELNETZPLANUNG

### A. Randbedingungen (Voruntersuchungen)

#### 1) Prüfung der Anzahl notwendiger

##### Umspannungsgebiete

Es wurde geprüft, ob die heute existierende Anzahl an Umspannwerken noch ausreichend ist oder zu hoch sein könnte. Diese Frage wirkt sich auch auf die von einem UW versorgten Gebiete aus. Aus den erfolgten Untersuchungen wurde abgeleitet, dass eine Zusammenlegung nur in zwei Fällen sinnvoll sein könnte, in den anderen Fällen wäre ein großer Mehrbedarf auf der MS-Ebene entstanden. Ein erhöhter Bedarf an UW entsteht auch zukünftig nicht, da die aktuellen Standorte bei erhöhtem Leistungsbedarf entsprechend erweitert werden können.

#### 2) Prüfung der Anbindung von Umspannwerken

Die bisherige Strategie zum Anschluss der Umspannwerke an verschiedenen Schaltanlagen unter Inkaufnahme erhöhter Verbindungslängen wurde in einer Studie überprüft und wird nicht weiter umgesetzt. Umspannwerke werden zukünftig bei Erneuerungsbedarf der Anschlussleitungen in der Regel an die nächstgelegene Schaltanlage angeschlossen.

#### 3) Untersuchung zu einzusetzenden Kabeltypen

Im Zuge der Standardisierung von einzusetzenden Übertragungsmedien hat Stromnetz Hamburg untersucht, welche Übertragungsfähigkeiten die aktuell im Netz eingesetzten Betriebsmittel aufweisen. Aus der Vielzahl der dabei vorgefundenen Betriebsmittel wurde dann im nächsten Schritt eine Anforderung hinsichtlich der Funktion (Transport- und Verteilungsaufgabe sowie Anbindung der Umspannwerke) vorgenommen. Diesen drei Kategorien ist dann eine Übertragungsfähigkeit zugeordnet worden.

Der Ersatz verschiedener alter Kabeltechnologien mit geringen Übertragungsfähigkeiten durch aktuelle Standardkabeltypen höherer Querschnitte ermöglicht neue Freiheiten in der Netzgestaltung. Es kann beispielsweise auf einige Verbindungen zwischen den Lastschwerpunkten verzichtet werden, da diese durch die erhöhte Transportkapazität substituiert werden können.

#### 4) Prüfung der Anzahl von notwendigen Schaltanlagen

Die Anzahl der im 110-kV-Netz vorhandenen Knoten wurde ebenfalls überprüft. Hier ergeben sich ebenfalls keine Änderungen in der notwendigen Anzahl. Es gibt jedoch den Bedarf, HS-Schaltanlagen im Hinblick auf die Anzahl der Sammelschienen und Schaltfelder in Abhängigkeit der erwarteten Last- und Einspeiseentwicklungen anzupassen.

#### 5) Untersuchung der Auswirkungen der Elektromobilität auf das Hochspannungsnetz

In Kooperation mit der Helmut-Schmidt-Universität ist eine umfangreiche Analyse der Auswirkungen des Hochlaufens der Elektromobilität auf das Hochspannungsnetz und die hierdurch versorgten UW-Gebiete durchgeführt worden. Hier wurde insbesondere ein großes Augenmerk auf die Untersuchung eines Übergangs des öffentlichen Personennahverkehrs auf eine vollständige Elektrifizierung bis zum Jahr 2030 gelegt.

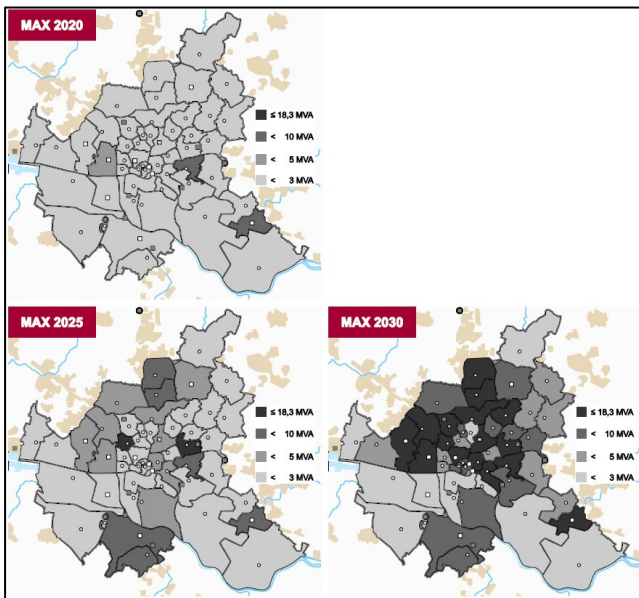


ABBILDUNG 3: ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER LASTEN IM SZENARIO MAX [7].

### B. Szenarien

Die Entwicklung eines passenden Szenarienraumes ist für einen Verteilungsnetzbetreiber sehr komplex. Dieser Raum sollte die Möglichkeiten hinsichtlich der Entwicklung von Last- und Einspeisung einerseits möglichst breit abbilden, jedoch auch nicht auf zu extreme und damit eher unwahrscheinliche Entwicklungen fokussiert sein. Je niedriger die betrachtete Spannungsebene, desto schwieriger ist insbesondere die Prognose des entsprechenden Ortes bestimmter Last- oder Einspeisungsentwicklungen – dies gilt insbesondere für die Mittel- und Niederspannungsebene. In der Hochspannungsebene aggregieren sich diese Entwicklungen wieder auf eine überschaubare Anzahl von Umspannwerken beziehungsweise Schaltanlagen. Werden jedoch Top-down-Ansätze für die Prognosen gewählt, ergibt sich auch hier ein Verteilungsproblem. Für eine wachsende Großstadt mit einem erwarteten Lastanstieg um mehrere hundert Megawatt ergäben sich je nach Verteilung der Last große Unterschiede in den Strukturen des Netzes und dem Ausbaugrad der Schaltanlagen. Stromnetz Hamburg setzt daher auf interne Bottom-up-Prognosen, die in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden.

Um auch eine gegenüber stochastisch verteilten Veränderungen – wie beispielsweise der Verteilung von Busbetriebshöfen oder PtX-Anlagen – hinreichende Widerstandsfähigkeit aufzuweisen, wird in der Prüfung der Szenarien auch die gesicherte Versorgungsleistung einbezogen und nur bei ausreichendem Abstand zur prognostizierten Last akzeptiert.

### C. Varianten

Für die Erzeugung von Varianten zur Prüfung können verschiedene Verfahren angewendet werden. Hier sind auch die bereits benannten Randbedingungen wie beispielsweise die Akzeptanz von Freileitungen zu berücksichtigen. Eine Variante könnte zum Beispiel ein Netz sein, in dem Freileitungen über bebautem Gebiet weitestgehend vermieden werden müssen. Diese Leitungen könnten einerseits durch Kabel ersetzt werden, alternativ könnte eine topologische Änderung an anderer Stelle diese Notwendigkeit auflösen. Es sind auch rechnergestützte Verfahren denkbar, um andere Varianten für etwaige Netzstrukturen zu generieren, hier liegt jedoch eine

Herausforderung in der Abbildung von Randbedingungen und einer entsprechenden Bewertung.

Grundsätzlich ist es möglich, einen iterativen Entwicklungsansatz ausgehend von den bestehenden Netzstrukturen zu wählen. Andere Ansätze setzen zusätzlich auf die Entwicklung eines idealen Netzes, um hier entsprechende Abhängigkeiten und stabile Lösungen erkennen zu können.

In Hochspannungsnetzen in der Größe des Hamburger Netzes ist es noch möglich, die entsprechenden Auswirkungen von Netzänderungen teilautomatisiert zu prüfen und zu bewerten. Wird die Anzahl oder Größe der Netze umfangreicher, wie beispielsweise in der Mittelspannungs- oder gar Niederspannungsebene, muss hier noch stärker auf eine Unterstützung von Optimierungsalgorithmen gesetzt werden.

## VI. ZIELNETZ

Im Ergebnis ist ein Zielnetz entstanden, welches deutliche strukturelle Unterschiede zum heutigen Netzzustand aufweist, dabei jedoch der zukünftigen Versorgungsaufgabe deutlich besser gewachsen ist.

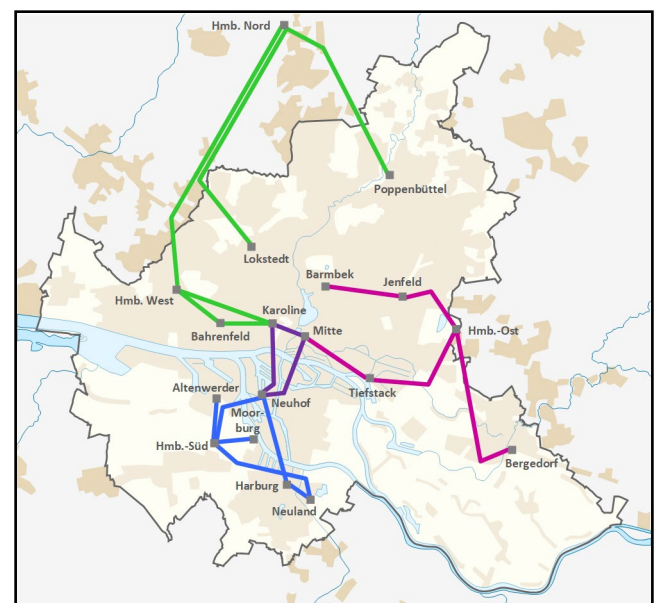


ABBILDUNG 4: VEREINFACHTE SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES HS-ZIELNETZES.

## VII. NETZAUSBAUPLANUNG

Die Netzausbauplanung beinhaltet die Beschreibung des Weges von einer bestehenden Netzstruktur zu einer Zielnetzstruktur. Hierbei werden die gemäß Zielnetzkonzept erforderlichen Maßnahmen zur Umstrukturierung mit dem Erneuerungsbedarf des Netzes zusammengebracht und in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht. Hierbei ist insbesondere auf den Einfluss von Maßnahmen auf die Ausfallsicherheit des Netzes, Abhängigkeiten von Maßnahmen untereinander und natürlich die Machbarkeit in Bezug auf Budget und sonstige Ressourcen zu achten.

Ein Rückbau von grundsätzlich betriebsnotwendigen Betriebsmitteln ist beispielsweise erst dann möglich, wenn hierfür ein entsprechender – konzeptgemäß auch an alternativer Stelle möglicher – Ersatz geschaffen worden ist. Die Netzausbauplanung ist ein Rahmen für einen Zeitraum von 10 Jahren,

der aufgrund vielfältiger Einflüsse einer beständigen Anpassung unterliegt. Je näher der Realisierungszeitraum der geplanten Maßnahmen rückt, desto detaillierter werden die Maßnahmen beschrieben und entsprechend konkrete Projekte zur Umsetzung beauftragt.

### VIII. FAZIT UND AUSBLICK

Stromnetz Hamburg hat in den zurückliegenden Jahren ein Hochspannungszielnetz erstellt. Hiermit wurde der nötige Aufwand gegenüber einer 1:1-Erneuerung durch verringerte Leitungs- und Trassenlängen mit 15 Prozent beziehungsweise 5 Prozent deutlich verringert.

Basierend auf den Planungsgrundsätzen wurde ein Netz definiert, welches genau die bereits beschriebenen Anforderungen erfüllt. Zusätzlich sollte an allen Stellen im Verteilungsnetz mit Hilfe gleichartiger Strukturen und Betriebsmittel ein vergleichbar zuverlässiges Netz geschaffen werden. Redundanzen und Möglichkeiten von Teilversorgungen wurden dabei auf das in den Planungsgrundsätzen definierte Maß reduziert. Die Behandlung und Beherrschbarkeit einer Nichtverfügbarkeit ist daher zukünftig nicht mehr von der Lage der Nichtverfügbarkeit im Netz abhängig. Auf diese Weise ist ein Baukasten an Anschlussformen entstanden, der dann auf das gesamte Verteilungsnetz angewendet werden kann.

Mit dem Ausrollen auf das gesamte Netz haben noch Zuordnungen von Umspannwerken zu entsprechenden Teilnetzen stattgefunden, so konnte die benötigte Netzlänge weiter reduziert werden. Gleichzeitig ist die Leistungsfähigkeit des Netzes aufgrund des Einsatzes von Betriebsmitteln höherer Leistungsfähigkeit gestiegen.

Aus Sicht der Netzplanung ist es gelungen, ein Zielnetz mit angemessen hoher Reserve gegen Nichtverfügbarkeiten auszurüsten. Die Auflagen des Konzessionsgebers, Flächen sparsam zu nutzen, können durch das Zielnetz gut erfüllt werden, auch wenn einzelne Leitungen dafür zukünftig in Straßen verlegt werden müssen. Durch den modularen Aufbau des Netzes kann dieses auch gut den städtebaulichen Entwicklungen oder einer über die Prognose ansteigenden Last folgen, indem durch das Verlegen paralleler Leitungssysteme bedarfsgerecht mehr Leistung zur Verfügung gestellt werden kann. Bei einem Minderbedarf müssen eventuell auch nicht alle geplanten Leitungen gebaut werden. Regulatorisch werden alle beschriebenen Baumaßnahmen abgedeckt, durch weniger, dafür aber leistungsfähigere Leitungen wird die Effizienz erhöht. Diese Effekte wirken gleichartig auch auf den unternehmerischen Rahmen und die gesellschaftliche Akzeptanz. Besonders wichtig für Stromnetz Hamburg ist aber die Perspektive, bei weiterhin knappen Ressourcen, sowohl finanziell als auch personell (sowohl bei Eigen- als auch Fremdpersonal), diese Ressourcen bestmöglich zielgerichtet einzusetzen – was erneut die Effizienz steigern soll.

Es wird daher für den Fachbereich Netzentwicklung weiterhin das Ziel sein, die zugrundeliegenden Gedanken hinter der Netzplanung und dem Zielnetz offen zu kommunizieren und im Unternehmen hierfür ein gemeinsames Verständnis zu schaffen. Die Darstellung des Weges vom heutigen Netz zum Zielnetz ist dabei ein weiterer wichtiger Baustein. Gleichzeitig gilt es regelmäßig zu prüfen, ob die Anforderungen von Stromnetz Hamburg in den Planungsgrundsätzen ausreichend präzise beschrieben und zusätzlich marktüblich sind. Für eine weitere Priorisierung von Maßnahmen soll ermittelt werden, wo die Abweichungen zwischen Bestand und Zielnetz am

größten sind, damit, sofern technisch möglich, schnellstmöglich potenzielle Unternehmensrisiken weiter reduziert werden können. Die Restrukturierung und Erneuerung des gesamten Hochspannungsnetzes ist eine riesige Herausforderung, der wir uns gemeinsam mit den Kolleginnen und Kollegen von Stromnetz Hamburg annehmen und auf den richtigen Weg bringen werden. Durch städtische Kooperationen sollen weitere Möglichkeiten gesucht werden, um die Stadt Hamburg auf dem Weg zur Klimaneutralität zu unterstützen.

### LITERATUR

- [1] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, „Wege-nutzungsvertrag Strom (notariell beurkundete Fassung)“, 17.11.2014. [Online]. Available: [http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservervice.GetRessource100/GetRessource100.svc/a13aaec3-8b4d-4602-b5b9-a03878b88100/Akte\\_BR60.18-291.pdf](http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservervice.GetRessource100/GetRessource100.svc/a13aaec3-8b4d-4602-b5b9-a03878b88100/Akte_BR60.18-291.pdf). [Zugriff am 19 11 2020].
- [2] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, „Kooperationsvereinbarung FHH und Stromnetz Hamburg zum zukunftsorientierten Stromnetzbetrieb“, 17.11.2014. [Online]. Available: [http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservervice.GetRessource100/GetRessource100.svc/919bd94e-b60d-4aa3-9997-a267c98066fb/Akte\\_UI822.00-01.pdf](http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservervice.GetRessource100/GetRessource100.svc/919bd94e-b60d-4aa3-9997-a267c98066fb/Akte_UI822.00-01.pdf). [Zugriff am 19 11 2020].
- [3] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, „Räumliches Leitbild, Entwurf“, 2001. [Online]. Available: <https://www.hamburg.de/contentblob/155068/65b62ad9195e940e29ed0453626acd90/data/raeumliches-leitbild.pdf>. [Zugriff am 16 11 2020].
- [4] Energiewirtschaftsgesetz (Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung), Artikel 1 des Gesetzes vom 07.07.2005 (BGBl. I S. 1970, ber. S. 3621), in Kraft getreten am 13.07.2005, zuletzt geändert durch Gesetz vom 08.08.2020 (BGBl. I S. 1818) m.W.v. 14.08.2020.
- [5] L. Fickert, „Zollenkopf vs. (n-1)-Prinzip vs. Kosten — ein Lösungsvorschlag für die optimierte Gestaltung von Netzen“, [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03055484>. [Zugriff am 02 11 2020].
- [6] R. Esland, T. Boßmann, A.-L. Klingler, A. Herbst, M. Klobasa und M. Wietschel, „Entwicklung der regionalen Stromnachfrage und Lastprofile“, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, 2016.
- [7] M. Dietmannsberger, M. Meyer, M. Schumann und D. Schulz, „Anforderungen an das Stromnetz durch Elektromobilität, insbesondere Elektrobusse, in Hamburg“, Helmut-Schmidt Universität, Hamburg, 2016.