

# Optimierung der Umbauplanung großstädtischer Mittelspannungsnetze

Mustafa Akgül, Thomas Gündel, Christian Linke und Jessica Reher

*Wie viele Verteilungsnetzbetreiber steht auch Stromnetz Hamburg vor der Herausforderung, die zu wesentlichen Teilen in den 1960er und 1970er Jahren verlegten Stromleitungen in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten zu erneuern. Der umfangreiche Modernisierungsbedarf bietet die Chance, optimierte Netzkonzepte zu erarbeiten und in vergleichsweise überschaubarer Zeit im Rahmen der Erneuerung auch tatsächlich umzusetzen.*

## Grundsätzliche aktuelle Anforderungen

Der rechtliche Handlungsrahmen der Verteilungsnetzbetreiber wird in hohem Maße durch das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und nachgelagerte Verordnungen bestimmt. Neben den Anforderungen im EnWG bestehen Anforderungen seitens der Konzessionsgeber, in diesem Fall der Freien und Hansestadt Hamburg [1, 2]. Hamburg ist eine wachsende Stadt, dies wurde bereits 2001 im Stadtentwicklungskonzept dargestellt. Bevölkerungszuwachs und Schaffung neuer Arbeitsplätze erfordern eine Erweiterung und Anpassung der bestehenden Stromnetze.

Parallel dazu führt die Energiewende, die mit verstärktem Einsatz von Sektorkopplungsanwendungen einhergeht, zu deutlichen Veränderungen der Versorgungsaufgabe. Neben der Integration einer Vielzahl dezentraler Erzeugungsanlagen sind in den nächsten Jahren und Jahrzehnten netzseitige Anpassungen infolge der Elektrifizierung des Verkehrs, des verstärkten Übergangs auf strombasierte Heizungstechnologien, des verstärkten Einsatzes dezentraler Stromspeicher und der Nutzung von Flexibilitätsoptionen erforderlich.

Gleichzeitig werden seitens der Bevölkerung stetig wachsende Anforderungen bezüglich einer möglichst geringen Beeinträchtigung des täglichen Lebens gestellt, beispielsweise durch weniger Baustellen, sichtbare Leitungstrassen und Eingriffe in die Natur.

## Anforderungen an die Netzplanung

Diese vielfältigen und kleinteiligen Veränderungen sowie der weiterhin gleichblei-

bend hohe Anspruch an eine zuverlässige und kostengünstige Stromversorgung führen dazu, dass die Aufgabe der Netzplanung zunehmend komplexer wird. Für den Umgang mit diesen Herausforderungen setzt Stromnetz Hamburg (SNH) verstärkt auf Digitalisierung und sucht nach Möglichkeiten, die vielfältigen Planungsaufgaben in effizienter Weise bewältigen zu können.

Bereits seit den 1990er Jahren wird zunehmend an Verfahren zur rechnergestützten Zielnetzoptimierung gearbeitet. Diese mittlerweile vielfach praxiserprobten Anwendungen liefern wertvolle Hinweise für eine langfristig optimale Netzgestaltung, bieten allerdings keine Unterstützung beim Auffinden eines konkreten Umbauplans. Bisher war hierfür auch kaum Bedarf vorhanden, da bislang in den meisten Fällen nur ein punktueller Ersatz von Betriebsmitteln im Netz notwendig war.

Wie viele Verteilungsnetzbetreiber steht nun aber auch SNH vor der Herausforderung, die zu wesentlichen Teilen in den 1960er und 1970er Jahren verlegten Stromleitungen in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten zu erneuern. Der Umfang der notwendigen Erneuerungsmaßnahmen und die Anzahl der Netzverstärkungsmaßnahmen infolge der oben genannten Veränderungen der Versorgungsaufgabe werden damit im Vergleich zu den letzten Jahren erheblich ansteigen. Insbesondere der umfangreiche Erneuerungsbedarf bietet die Chance, die bestehenden Netzkonzepte zu überarbeiten und tatsächlich in vergleichsweise überschaubarer Zeit im Rahmen der Erneuerung umzusetzen. Gleichzeitig setzen allerdings – neben finanziellen Aspekten – vor allem auch die zur Verfügung stehenden Planungs- und Baukapazitäten harte Randbe-

dingungen für die Umsetzung der Erneuerungsmaßnahmen. Diese drücken sich z. B. in einer Begrenzung der Zahl der zeitgleich zulässigen Baustellen aus.

Wie erste Erfahrungen aus der Planungspraxis zeigen, ist die Bestimmung eines technisch zulässigen und kostengünstigen Umbauplans zum Übergang von bestehenden auf angepasste Zielnetzstrukturen sehr herausfordernd und mit erheblichem manuellem Planungsaufwand und entsprechend hohem Personalaufwand verbunden. Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen und Erkenntnisse arbeiten SNH und Consentec aktuell gemeinsam an Methoden für eine rechnerbasierte Unterstützung der Netzumbauplanung, wobei der Fokus auf den Netzen der Mittelspannungsebene liegt.

## Übergang von Mehrstrang- auf Einstrangspeisung

Ausgangspunkt waren optimierte Planungsgrundsätze, die SNH und Consentec in der Vergangenheit erarbeitet haben. Diese optimierten Grundsätze sollen sukzessive im Zuge altersbedingter Erneuerungen, lastzuwachsbedingter Erweiterungen oder anderweitig veranlasster Maßnahmen (z. B. aufgrund von städtebaulichen Maßnahmen) umgesetzt werden. Ein wesentlicher Unterschied der neuen gegenüber den früheren Planungsgrundsätzen besteht in der Art und Weise der Anbindung der unterlagerten Ortsnetze. Bei dem aktuell verfolgten Konzept der Einstrangspeisung werden räumlich nebeneinander liegende Ortsnetzstationen aus ein und demselben Mittelspannungsabgang versorgt, während sie bei dem früher angewandten und in wesentlichen Teilen der heutigen Netze noch vorzufindendem Konzept der Mehrstrangspeisung aus verschiedenen

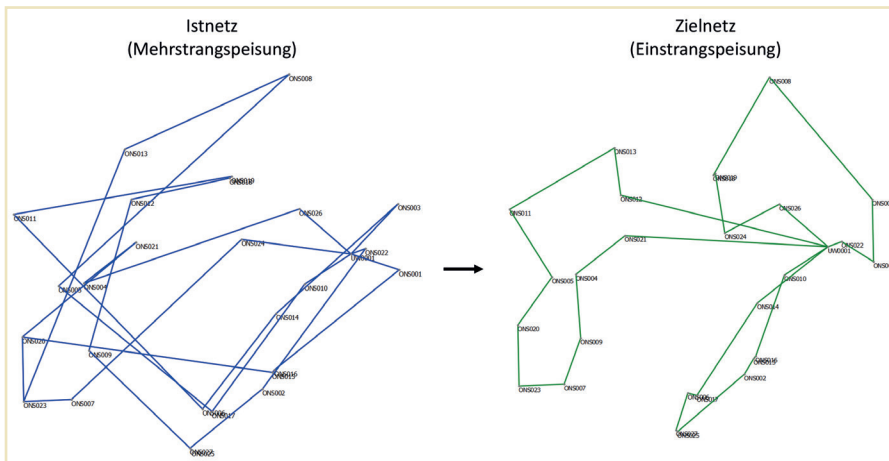


Abb. 1 Gegenüberstellung eines Mittelspannungsnetzausschnitts (drei Ringe) in Mehrstrang- und Einstrangspeisung

Mittelspannungsabgängen gespeist werden (Abb. 1).

Bei der Mehrstrangspeisung sind die erforderliche Ringlänge und damit auch die sich ergebenden Netzkosten systematisch erheblich höher als bei der Einstrangspeisung. Darüber hinaus sind bei der Mehrstrangspeisung aufwändigere Schutzeinrichtungen in den Ortsnetzstationen (sog. Maschennetzrelais) erforderlich, um eine rückwärtige Speisung von Fehlern in einem Mittelspannungsabgang über die Ortsnetze aus einem anderen Mittelspannungsabgang zu verhindern.

Wenn das Niederspannungsnetz – wie in solchen Fällen üblich – als Maschennetz aufgebaut ist und vermascht betrieben wird, ergibt sich bei der Mehrstrangspeisung betriebliche Redundanz für Fehler in der Mittelspannungsebene. Insbesondere Einfachfehler auf Mittelspannungsleitungen führen hierbei nicht zu einer Versorgungsunterbrechung der an die Ortsnetze angeschlossenen Verbraucher. Das Mehr-

strangkonzepnt bietet also zumindest konzeptgemäß ein höheres Zuverlässigkeitsniveau als das Einstrangkonzepnt. Wie die Erfahrungen verschiedener Verteilnetzbetreiber zeigen, treten allerdings in der Praxis hin und wieder Fehlfunktionen der Maschennetzrelais auf, was in Kombination mit einer nichtselektiven Sicherungsauslösung in den Ortsnetzen zu einem Ausfall der gesamten von mehreren Mittelspannungssträngen gemeinsam gespeisten Ortsnetze führen kann, in dessen Folge unter Umständen stunden- bis tagelange Fehlersuch- und Netzaufbaumaßnahmen erforderlich sein können.

Ein Übergang von der Mehrstrang- auf die Einstrangspeisung eröffnet also die Möglichkeit, erhebliche Leitungslängen und damit Kosten einzusparen, geht jedoch grundsätzlich mit einer Einbuße an Netz Zuverlässigkeit einher. Letzterem kann allerdings durch den Einsatz von Fernwirktechnik, der in den letzten Jahren üblicher und kostengünstiger geworden ist, entgegengewirkt werden. So

lassen sich die Zuverlässigkeitseinbußen eines Übergangs auf die Einstrangspeisung bereits durch die gezielte Automatisierung von drei Ortsnetzstationen pro Ring („3-Punkt-Automatisierung“) sehr weitgehend kompensieren. Die hierdurch entstehenden Mehrkosten sind um ein Vielfaches geringer als die Einsparungen, die sich durch die verschlankten Netzstrukturen erzielen lassen. Aus diesen Gründen hat sich SNH, wie andere großstädtische Verteilnetzbetreiber auch, entschieden, zukünftig das Konzept der Einstrangspeisung in Verbindung mit verstärkter Automatisierungstechnik umzusetzen.

### Gliederung der Zielnetz- und Umbauplanung in drei Phasen

Um die mit einem solchen Konzeptwechsel verbundenen Umbauplanungen effizient vornehmen zu können und dabei die im Zuge der Digitalisierung entstehenden Möglichkeiten zu nutzen, wurde der in Abb. 2 dargestellte dreiphasige Planungsprozess entwickelt.

Die **erste Phase** dient der Bestimmung optimaler Netzstrukturen mit dem Ziel, die benötigte Trassen-/Leitungslänge zu minimieren. Die Abweichungen zwischen den bestehenden mehrstranggespeisten Netzen und den für die Zukunft gemäß aktuellen Planungsgrundsätzen angestrebten einstranggespeisten Zielnetzstrukturen fallen je nach Umspannwerks-Netzbereich deutlich unterschiedlich aus. Ein beispielhaftes Ergebnis ist in Abb. 3 dargestellt. Mit Blick auf die künftigen Erneuerungsplanungen nutzt SNH die Ergebnisse dieser ersten Phase auch dazu, eine Priorisierung dahingehend vorzunehmen, welche Umspannwerksbereiche vorrangig erneuert und auf die neuen schlankeren Strukturen umgestellt werden sollen. Diese Priorisierung erfolgt u. a. danach, welcher Umfang an Kabeltrassen bei einer vollständigen Anpassung der Netzstruktur an die optimierte Struktur (theoretisch) eingespart werden kann.

Die **zweite Phase** dient einem Abgleich der bestehenden Netze mit den Zielnetzen. Dabei besteht das Ziel darin, die Zielnetzstruktur möglichst weitgehend mit den bereits vorhandenen Betriebsmitteln, soweit diese ein vergleichsweise junges Alter aufweisen und

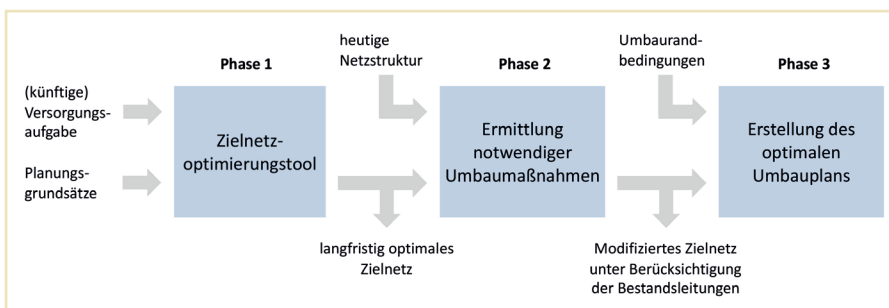


Abb. 2 Übersicht über die drei Phasen der Zielnetz- und Umbauplanung

damit noch lange genutzt werden können, erreichen zu können (siehe Abb. 4). Junge Leitungen sollen also möglichst weitgehend weiter genutzt und die erforderlichen Umstrukturierungen mit möglichst wenigen „Ummuffungen“ vorgenommen werden können. Hierbei ist zwischen der Zahl der erforderlichen Ummuffungen und der Zahl und Länge neu zu verlegender Leitungen abzuwägen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der zweiten Phase soll in der **dritten Phase** eine praktisch realisierbare Umsetzungsreihenfolge unter Berücksichtigung praxisrelevanter Randbedingungen wie z. B. der maximalen Zahl gleichzeitig vorzunehmender Ummuffungen (Zahl der erforderlichen Bautrupps), der zu ersetzenden Kabelabschnitte mit Minderquerschnitten und der gänzlich neu zu verlegenden Kabelabschnitte bestimmt werden.

### Werkzeuge zur Unterstützung der Zielnetz- und Umbauplanung

Dieser Planungsprozess ist bei SNH für eine hohe zweistellige Zahl von Umspannungsbereichen zu durchlaufen. Rechnerbasierte Optimierungswerkzeuge sind deshalb ein wichtiges Hilfsmittel, um die bestehenden Optimierungsspielräume identifizieren und die erforderlichen Planungsschritte in möglichst effizienter Weise vornehmen zu können.

Hierzu wurde ein von Consentec für die Bestimmung optimaler Zielnetzstrukturen für Mittelspannungsnetze (Phase 1) entwickeltes Verfahren eingesetzt. Dieses Verfahren entwirft für eine knotengenau beschriebene Versorgungsaufgabe auf Basis individuell parametrierbarer Vorgaben zu technischen Randbedingungen (vor allem Strom- und Spannungsgrenzen) und Freiheitsgraden der Netzplanung (z. B. bzgl. Netzstruktur, Kabeltypen und -querschnitten) ein technisch zulässiges und gleichzeitig kostenoptimiertes und von subjektiven Entscheidungen des Netzplaners unbeeinflusstes Mittelspannungs-Zielnetz.

### Ergebnisse der Zielnetzoptimierung

Unter Verwendung dieses Werkzeugs wurden für alle Umspannungsbereiche des Mittelspannungsnetzes von SNH Zielnetze

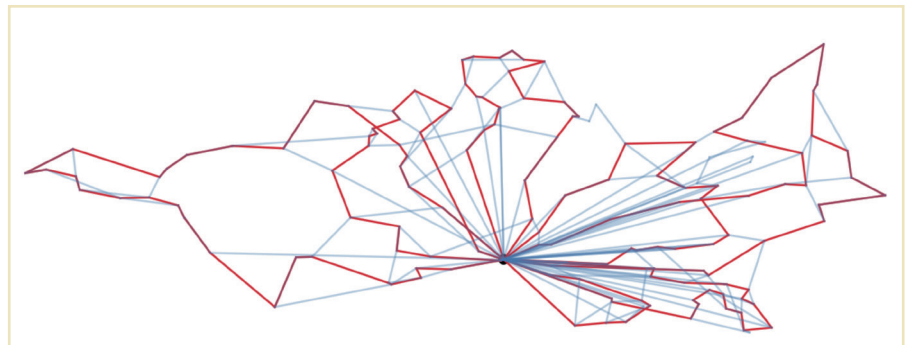


Abb. 3 Gegenüberstellung der Leitungsverläufe von Istnetz (blau) und Zielnetz (rot)

entworfen. Abb. 3 zeigt das Ergebnis dieses Schritts für ein beispielhaft ausgewähltes Umspannwerk. Hierin sind die bestehenden Leitungen (blau) und die des Zielnetzes (rot) gegenübergestellt. Die Anzahl der Mittelspannungsringe und damit die Zahl der Leitungsabgänge im Umspannwerk liegen in diesem Netzbereich im Zielnetz gerade einmal halb so hoch wie im Istnetz. Die Gesamtlänge der Leitungen ist im Zielnetz mit rund 50 km sogar deutlich mehr als um den Faktor 2 geringer als im Istnetz mit gut 130 km.

Die so ermittelten Netze sind „Grüne-Wiese-Zielnetze“, die losgelöst vom bestehenden Netz entworfen wurden. Ein Netzentwurf, der in einer Grüne-Wiese-Situation kostenoptimal ist, muss bei zusätzlicher Berücksichtigung des Umbaufwands vom bestehenden hin zum Zielnetz keineswegs optimal sein. Es ist sogar wahrscheinlich, dass sich unter Berücksichtigung dieses Aufwands Abweichungen von dem Grüne-Wiese-Netz als vorteilhaft herausstellen.

Der Frage, inwieweit Anpassungen des Zielnetzes unter Berücksichtigung des vorhandenen und aufgrund seines Alters

noch auf längere Sicht nutzbaren Betriebsmittelbestands sinnvoll sind, ist Phase 2 des oben dargestellten Planungsprozesses gewidmet. In dieser Phase findet ein systematischer Abgleich des Leitungsbedarfs im Zielnetz mit den bestehenden Leitungen unter Beachtung der jeweils zu erwartenden Restnutzungsdauern statt. Als Ergebnis hierzu ist in Abb. 4 für den bereits oben betrachteten Umspannungsbereich dargestellt, welche der bestehenden und noch hinreichend jungen Leitungen im Zielnetz weiterverwendet werden können (grün), welche Leitungen entfallen können (blau) und welche Leitungen neu zu verlegen sind (rot).

In dem betrachteten Netzbereich kann immerhin gut ein Drittel der Leitungen des Zielnetzes 1:1 aus dem Istnetz übernommen werden, rund zwei Drittel sind neu zu verlegen und nahezu 80 % der Bestandsleitungen können gänzlich entfallen. Bereits diese einfache Gegenüberstellung zeigt, dass zwar neue Leitungen erforderlich sind, um die Zielstruktur zu erreichen, allerdings auch ein erheblicher Teil der bestehenden (jungen) Leitungen weiterverwendet wer-

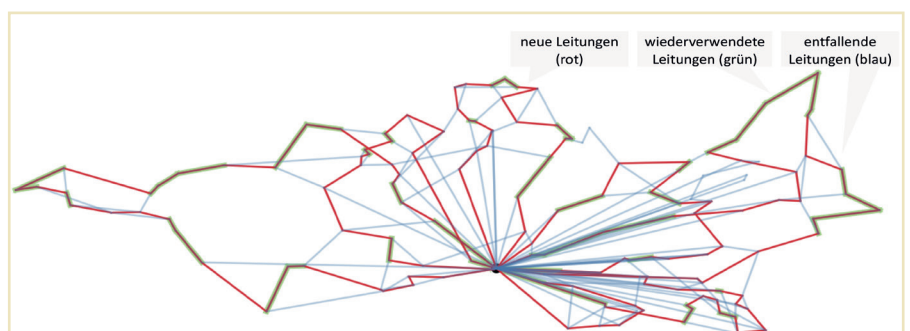


Abb. 4 Abgleich von Istnetz und Zielnetz

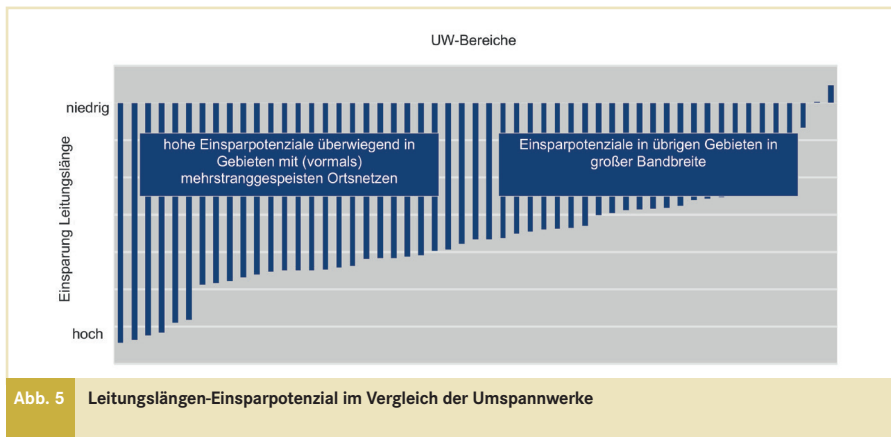


Abb. 5 Leitungslängen-Einsparpotenzial im Vergleich der Umspannwerke

den kann und ein erhebliches Verschlangungspotenzial besteht. Der Übergang auf die neuen Strukturen bietet also auch unter Berücksichtigung des Betriebsmittelbestands ein erhebliches Einsparpotenzial.

Das Einsparpotenzial an Leitungslänge durch Übergang auf das Einstrangspeisungskonzept unterscheidet sich für die verschiedenen Umspannwerksbereiche stark, wie Abb. 5 verdeutlicht. Ein besonders hohes Einsparpotenzial (links im Bild) ergibt sich in den Umspannwerksbereichen, in denen im Istzustand durchgängig das Konzept der Mehrstrangspeisung umgesetzt ist. Insbesondere in diesen Gebieten ist ein Übergang auf die deutlich schlankeren Zielnetzstrukturen zu empfehlen. Eine Auswer-

tung dieser Art ist eine wertvolle Grundlage für die Priorisierung von Erneuerungsmaßnahmen.

### Ausblick auf Phase 3

Aufbauend auf den Ergebnissen der Phase 2 des Planungsprozesses ist in Phase 3 die Aufgabe zu bewältigen, eine technisch zulässige, praktisch umsetzbare und möglichst kostengünstige Abfolge von Ausbau- und Umbaumaßnahmen zu bestimmen, mit der ausgehend vom Istzustand das Zielnetz erreicht werden kann.

Bei den bisherigen Arbeiten hierzu hat sich herausgestellt, dass diese Aufgabe sehr komplex ist. Gründe hierfür sind u. a. die zu berücksichtigenden Randbedingungen hinsichtlich der ver-

fügbaren Ressourcen (etwa der Anzahl zeitgleich einsetzbarer Bautrupps) und der durch vorhandene Kabelabschnitte mit Minderquerschnitten eingeschränkten Flexibilität bei Ummuffungen. Bei manueller Bearbeitung ist diese Aufgabe mit sehr hohem Ressourcenaufwand verbunden, und die bislang verfügbaren Werkzeuge unterstützen hierbei nur Teilaufgaben, nicht jedoch eine weitreichende rechnergestützte Optimierung.

Consentec und SNH beabsichtigen daher, als nächsten Schritt im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts eine in Form eines Optimierungswerkzeugs implementierbare Methodik zur Unterstützung der Netzplanung in dieser Phase des aufgezeigten Planungsprozesses zu entwickeln.

### Fazit

Bereits die bisherigen Arbeiten haben gezeigt, dass sich im Rahmen der bevorstehenden Erneuerungswelle der Mittelspannungsnetze erhebliche Einsparpotenziale bei Aufrechterhaltung des gewohnten Zuverlässigkeitsniveaus erschließen lassen.

Aufgrund dieser vielversprechenden Ergebnisse soll im nächsten Schritt auch für die dritte, bei heutiger Praxis noch manuell zu bewältigende Aufgabe der konkreten Umbaumaßnahmenplanung eine Methodik zur rechnergestützten Optimierung entwickelt werden.

### Quellen

- [1] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, „Wegenutzungsvertrag Strom (notariell beurkundete Fassung)“, 17.11.2014. Verfügbar unter: [http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservice.GetRessource100/GetResource100.svc/a13aaee3-8b4d-4602-b5b9-a03878b88100/Akte\\_BR60.18-291.pdf](http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservice.GetRessource100/GetResource100.svc/a13aaee3-8b4d-4602-b5b9-a03878b88100/Akte_BR60.18-291.pdf). (Zugriff am 17.02.2021).
- [2] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, „Kooperationsvereinbarung FHH und Stromnetz Hamburg zum zukunftsorientierten Stromnetzbetrieb“, 17.11.2014. Verfügbar unter: [http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservice.GetRessource100/GetResource100.svc/919bd94e-b60d-4aa3-9997-a267c98066fb/Akte\\_UI822.00-01.pdf](http://daten.transparenz.hamburg.de/Dataport.HmbTG.ZS.Webservice.GetRessource100/GetResource100.svc/919bd94e-b60d-4aa3-9997-a267c98066fb/Akte_UI822.00-01.pdf). (Zugriff am 17.02.2021).

J. Reher und T. Gündel, *Stromnetz Hamburg GmbH, Hamburg*; M. Akgül und C. Linke, *Consentec GmbH, Aachen*  
[linke@consentec.de](mailto:linke@consentec.de)

### Verbände zur Vergabe der 450 MHz-Frequenz

Am 09.03.2021 hat die Bundesnetzagentur der 450connect GmbH den Zuschlag für die 450 MHz-Frequenzen erteilt. Durch die Zuteilung der 450 MHz-Frequenz an das Konsortium der Energie- und Wasserwirtschaft endet der über dreijährige Vergabeprozess. Dazu erklären Kerstin Andreae, Hauptgeschäftsführerin BDEW und Ingbert Liebing, Hauptgeschäftsführer VKU: „Wir begrüßen, dass die Bundesnetzagentur nun zügig zu einer Entscheidung gekommen ist und die 450 MHz-Frequenzen an die Energie- und Wasserwirtschaft vergeben hat. Nach über dreijährigem Vergabeprozess kann nun endlich mit dem bundesweiten Ausbau und der Nutzung dieses wichtigen Funknetzes begonnen werden. Dies ist ein wichtiger Meilenstein, um die Energiewende weiter voranzubringen und gleichzeitig Versorgungssicherheit sowie den Schutz kritischer Infrastrukturen zu gewährleisten.“

Grundsätzlich gilt: Für die zunehmend dezentrale und digital gesteuerte Strom- und Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien sowie die Wasserversorgung braucht die Energie- und Wasserwirtschaft die 450 MHz-Funkfrequenz. Mit dieser sicheren und hochverfügbaren Kommunikationslösung können wir unsere Netze digitalisieren und optimal steuern. Zudem können wir das hohe Niveau an Versorgungssicherheit halten und den weiteren Ausbau der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität vorantreiben. Davon profitiert auch der Wirtschaftsstandort Deutschland. Da die Funkfrequenz auch im Falle eines Blackouts funktioniert, ist die Entscheidung der Bundesnetzagentur ein wichtiger Beitrag, um kritische Infrastrukturen wirksam zu schützen.“

Weitere Informationen unter [www.bdew.de](http://www.bdew.de) und [www.vku.de](http://www.vku.de)