

Stromübertragungsnetz

Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen des Netzbetriebs in Netzausbauanalysen

Wie lassen sich Optimierungspotenziale des Netzbetriebs in Netzausbauanalysen im Stromübertragungsnetz berücksichtigen, um realistische Bedarfe für die Zukunft zu ermitteln? Consentec hat eine Methodik entwickelt, um in Szenarioanalysen für die künftige Entwicklung des Stromsystems den Ausbau und Einsatz steuerbarer Netzbetriebsmittel und Wechselwirkungen mit dem konventionellen Leitungsausbau zu berücksichtigen. Dies ermöglicht die automatisierte Abschätzung von Netzausbaubedarfen unter Berücksichtigung eines etwaigen Zubaus und der Einsatzweise von Hochspannungsgleichstromübertragungen, Phasenschiebertransformatoren und der reaktiven Netzbetriebsführung.

Das elektrische Energieversorgungssystem ist auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität in den kommenden Jahren umfangreichen Veränderungen ausgesetzt. Um die angestrebten Klimaziele zu erreichen und den (weiterhin) massiven Zubau Erneuerbarer-Energien-Anlagen in das Energiesystem zu integrieren, sind richtungsweisende energiepolitische und -wirtschaftliche Entscheidungen erforderlich. Als wesentliche Grundlage hierzu können Energiesystemstudien dienen.

Aufgrund der erheblichen Auswirkungen auf die Umsetzbarkeit und die Systemkosten ist zu erkennen, dass innerhalb solcher Systemstudien auch die Berücksichtigung von Netzausbaubedarfen zunehmend relevant wird¹, um einen ganzheitlichen Vergleich von Szenarien vornehmen zu können. Ziel ist dabei explizit nicht, eine detaillierte Netzplanung zu ersetzen, sondern die Auswirkungen unterschiedlicher Richtungsentscheidungen auf die Netzausbaubedarfe abzuschätzen. Dennoch sollten hierbei alle relevanten Freiheitsgrade berücksichtigt werden, weswegen vor allem auch die Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen des Netzbetriebs² auch in Netzausbauplanungen relevant erscheint.

¹ Siehe zum Beispiel Ergebnisse der »Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland« im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (www.langfristszenarien.de) und »Klimaneutrales Stromsystem 2035 – Wie der deutsche Stromsektor bis zum Jahr 2035 klimaneutral werden kann« im Auftrag von Agora Energiewende (www.agora-energie-wende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-stromsystem-2035).

triebs² auch in Netzausbauplanungen relevant erscheint.

Durch die technische Entwicklung haben sich neben dem Ersatz oder Zubau von Drehstromleitungen bereits heute auch Hochspannungsgleichstromübertragungen (HGÜ) oder Phasenschiebertransformatoren (PST) als etablierte Alternativen für den Netzausbau bewiesen. Es ist zu erwarten, dass künftig auch Netzbetriebsmittel (NBM) der reaktiven Netzbetriebsführung (rNBF) verstärkt in das Stromnetz integriert werden. HGÜ, PST und rNBF haben gemeinsam, dass es sich hierbei um steuerbare NBM handelt, die nicht ausschließlich als passive Elemente (wie Drehstromleitungen) errichtet werden, sondern aktiv im Netzbetrieb gesteuert werden können. Dies kann dazu beitragen, Übertragungsnetzleitungen gezielter auszulasten und Netzbelastungen zu reduzieren. Zusätzlich steht auch in Investitionsentscheidungen ein Zubau dieser NBM in direkter Konkurrenz zu konventionellem Leitungsausbau im Übertragungsnetz. Um Optimierungsmöglichkeiten des Netzbetriebs in Netzausbauplanungen in geeigneter Weise zu berücksichtigen, sollten diese Wechselwirkungen daher modelliert und der Zubau von steuerbaren NBM integriert mit dem Ausbau von konventionellen Leitungen ermittelt werden. Aufgrund der Vielzahl von Szenarien, die in der Regel in Energiesystemstudien betrachtet werden, bietet sich dabei eine automati-

² Siehe auch Forschungsvorhaben »Innosys 2030«, in dem innovative Ansätze des optimierten Netzbetriebs bewertet und verglichen werden (www.innosys2030.de).

sierte Abschätzung an. Dadurch wird zum einen der hohe Aufwand reduziert, der bei einer manuellen Durchführung von Netzausbauberechnungen anfällt. Zum anderen ermöglicht dies im Vergleich zur manuellen Durchführung eine besonders gute Vergleichbarkeit der Szenarienergebnisse durch die Eliminierung subjektiver Einflüsse.

Modellbasierte Ermittlung von Netzausbaubedarfen in Systemstudien

Zur Ermittlung von Netzausbaubedarfen müssen in Systemstudien die Anforderungen an das Stromnetz in geeigneter Weise simuliert werden. Grundlage hierfür stellen regional und zeitlich aufgelöste Szenarien zur Abbildung einer künftigen Versorgungsaufgabe dar. Darauf aufbauend werden mit einem Netzmodell Lastfluss- und $(n-1)$ -Netzsicherheitsanalysen durchgeführt. Auf Basis der sich ergebenden maximalen Leitungsauslastungen werden die erforderlichen Netzausbaubedarfe ermittelt. Ziel derartiger Analysen ist stets die grundsätzliche Abschätzung von Ausbaubedarfen im Rahmen von Szenarienvergleichen. Es ist zu beachten, dass es sich hierbei explizit nicht um eine detaillierte Netzplanung oder um die Ermittlung exakt auszubauender Trassen oder konkreter Projekte handelt, wie sie die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) vornehmen.

Ein Überblick über die Vorgehensweise bei einer solchen modellbasierten Ermittlung von Netzausbaubedarfen für das Übertragungsnetz ist in **Bild 1** dargestellt.

Vor der Zielstellung eines kostenoptimalen Netzausbaus unter Ausschöpfung

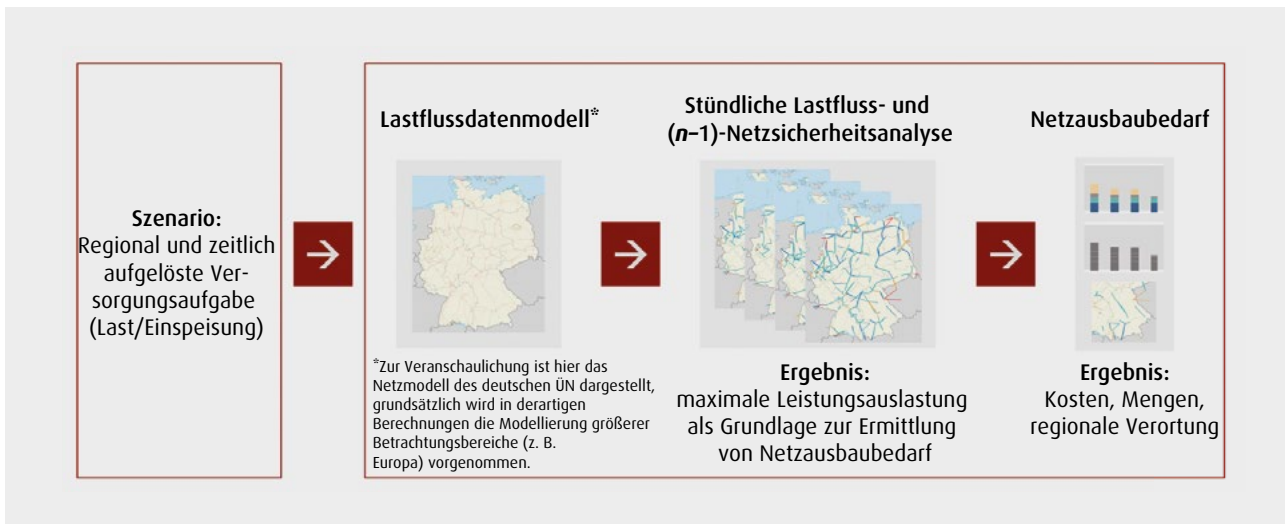


Bild 1. Modellbasierte Ermittlung von Netzausbaubedarfen für das Übertragungsnetz in Systemstudien

aller möglichen Technologien müssen Kosten und Nutzen von konventionellen Drehstromleitungen und steuerbaren NBM (sowie deren optimale Einsatzweise) gegeneinander abgewogen werden. Eine solche Abwägungsentscheidung zwischen verschiedenen Investitionen und deren Wechselwirkungen kann innerhalb von Simulationsmodellen mithilfe eines Optimierungsproblems modelliert werden. Der entwickelte Ansatz hierzu wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Ansatz zur automatisierten Abschätzung von Netzausbaubedarfen unter Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen des Netzbetriebs

Mithilfe der entwickelten Methodik kann automatisiert eine Abschätzung des kostenminimalen Netzausbaus erfolgen. Dazu werden sowohl der Zubau

von konventionellen Drehstromleitungen als auch der Zubau und die Einsatzweise von steuerbaren NBM modelliert und die Bedarfe teilweise in einem Optimierungsproblem ermittelt. Um die Modellierung anwendbar (und rechenbar) zu halten, dabei die zu untersuchende Fragestellung jedoch hinreichend genau abzubilden, sind hierbei geeignete Vereinfachungen erforderlich. So ist das Optimierungsproblem zur Vermeidung von ganzzahligen Variablen und damit zur Reduktion der Rechenzeit linear formuliert, das heißt, die Investitionsentscheidungen werden als kontinuierliche Variablen beschrieben und nachgelagert regelbasiert in ganzzahlige Zubauentscheidungen für die steuerbaren NBM überführt. Weiterhin werden die zu rechnenden Stunden reduziert, indem nach Einspeisung und Nachfrage identifizierte Cluster aus Netznutzungs-

situationen ermittelt werden, die in die Berechnungen eingehen. Darauf aufbauend ist für den konventionellen Netzausbau, der nachgelagert zum näherungsweise optimierten Zubau von steuerbaren NBM stattfindet, eine iterative Vorgehensweise implementiert. Die einzelnen Schritte der Modellierung sind als Übersicht in **Bild 2** dargestellt.

Als Eingangsdaten für die Modellierung dienen zunächst die für Netzberechnungen typischen und in **Bild 2** aufgelisteten Daten und Annahmen. Zusätzlich finden auch die Stundencluster, die für die Optimierung betrachtet werden, sowie eine Vorauswahl von Standorten für den Zubau von steuerbaren NBM Eingang in die Methodik. Über die Vorauswahl kann erreicht werden, dass zum einen aus Umsetzungssicht sinnvolle Standorte verwendet werden, zum an-

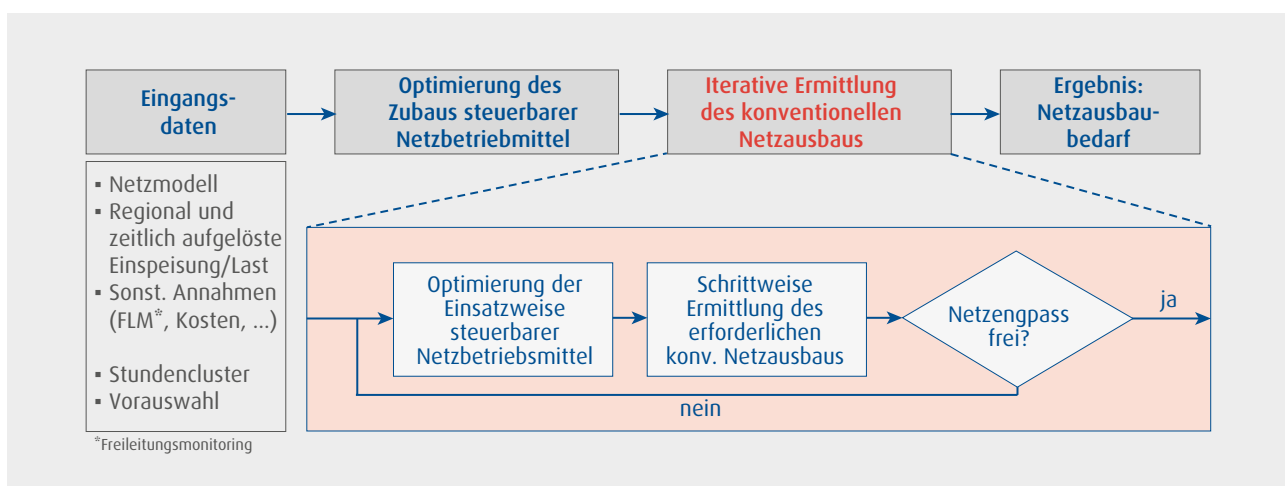


Bild 2. Modellierung der kostenoptimalen Ermittlung von Netzausbaubedarfen unter Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen im Netzbetrieb

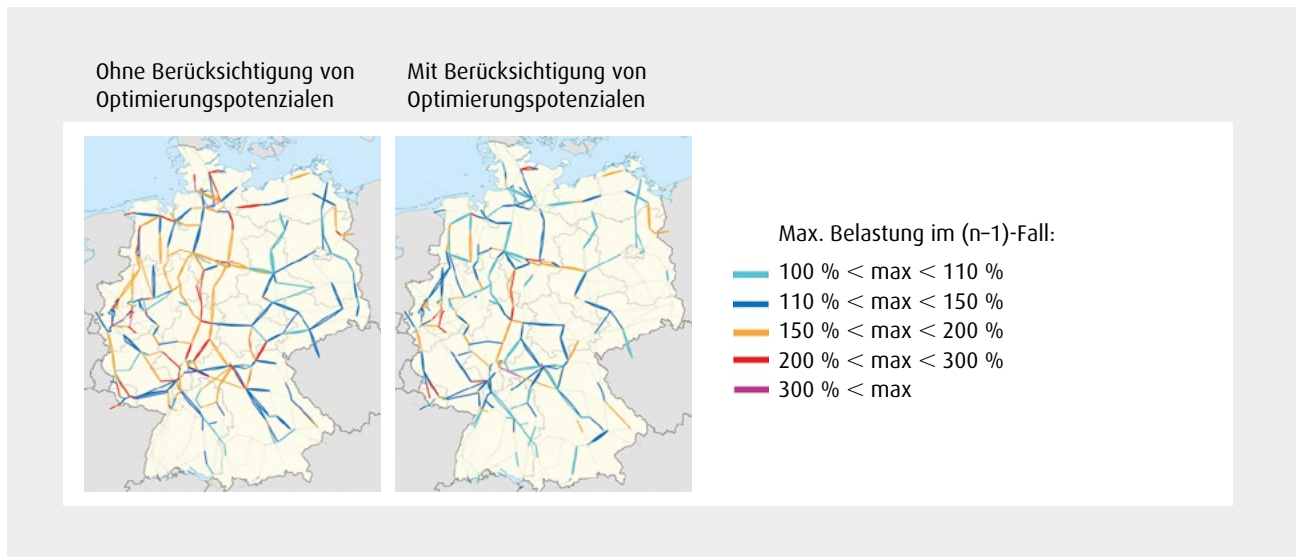


Bild 3. Netzauslastungen mit und ohne Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen im Netzbetrieb (Zubau und Einsatz steuerbarer NBM)

deren aber auch die Zahl der Entscheidungsvariablen (Größe des Optimierungsproblems und der Rechenzeit) reduziert wird. Diese Vorauswahl lässt sich je nach gewünschtem Anwendungsfall beliebig vorgeben.

Auf Basis dieser Eingangsdaten erfolgt zunächst die Optimierung des Zubaus steuerbarer NBM. Hier sind als Freiheitsgrade der Zubau von steuerbaren NBM (entsprechend der Vorauswahl) und die Einsatzweise bereits bestehender steuerbarer NBM implementiert. Es wird eine Optimierung (Minimierung) der Investitionskosten durchgeführt, wozu auch eine näherungsweise Ab-

schätzung der Kosten für den für verbleibende Überlastungen erforderlichen konventionellen Netzausbaubedarf getroffen wird, um diese gegenüber den Kosten für die steuerbaren NBM abzuwägen. Als Ergebnis resultieren die zuzubauenden steuerbaren NBM.

Nachdem der optimale Zubau der steuerbaren NBM identifiziert wurde, erfolgt die iterative Ermittlung des konventionellen Netzausbaus, der darüber hinaus erforderlich ist. Da dieser Schritt nach der Optimierung des Zubaus steuerbarer NBM durchgeführt wird, können hier bereits die Einsatzweisen aller HGÜ, PST und der rNBF op-

timiert werden, um die noch erforderlichen konventionellen Ausbaubedarfe zu minimieren. Durch die iterative Vorgehensweise werden auch Veränderungen der Lastflüsse durch in vorherigen Iterationen identifizierte Ausbauten konventioneller Leitungen berücksichtigt. Auf Basis der sich aus den Berechnungen ergebenden Netzüberlastungen werden schrittweise Netzausbaumaßnahmen eingefügt. Die einzelnen Iterationen orientieren sich an dem auch von den ÜNB herangezogenen NOVA-Prinzip (Netzoptimierung vor -verstärkung vor -ausbau). Dabei werden also zunächst Optimierungsmaßnahmen durchgeführt, bis durch diese keine Netzengpässe³ mehr behoben werden können. Anschließend folgen Verstärkungsmaßnahmen und schließlich Ausbaumaßnahmen. Nach jeder Iteration wird mithilfe einer erneuten Netzberechnung geprüft, ob das Netz unter Berücksichtigung der ermittelten Netzausbauten nun engpassfrei ist oder ob eine weitere Iteration erforderlich ist. Schließlich ergibt sich der über den Zubau der steuerbaren NBM hinaus erforderliche Leitungsausbau.

Mithilfe der implementierten Modellierung ist es somit möglich, automatisiert die insgesamt erforderlichen Netzausbaubedarfe (steuerbare NBM und konventioneller Leitungsausbau) abzuschätzen. Die Ergebnisse der automatisierten Vorgehensweise liefern dabei

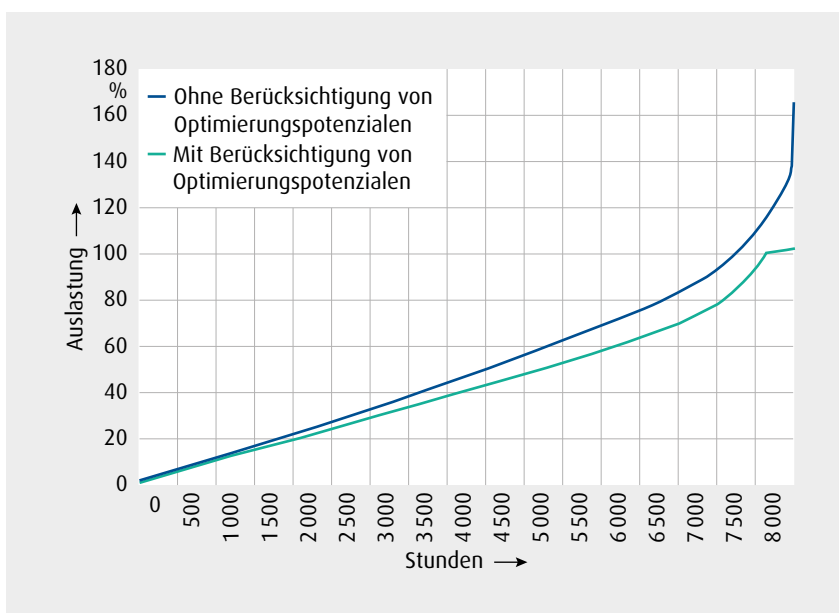


Bild 4. Dauerlinie der Leitungsauslastung einer beispielhaften Leitung mit und ohne Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen im Netzbetrieb

³ Zur Identifizierung von Netzengpässen kann ein Überlastungskriterium vorgegeben werden (Vorgabe, dass alle Leitungen als überlastet gelten, die in x Stunden höher als y Prozent ausgelastet sind).

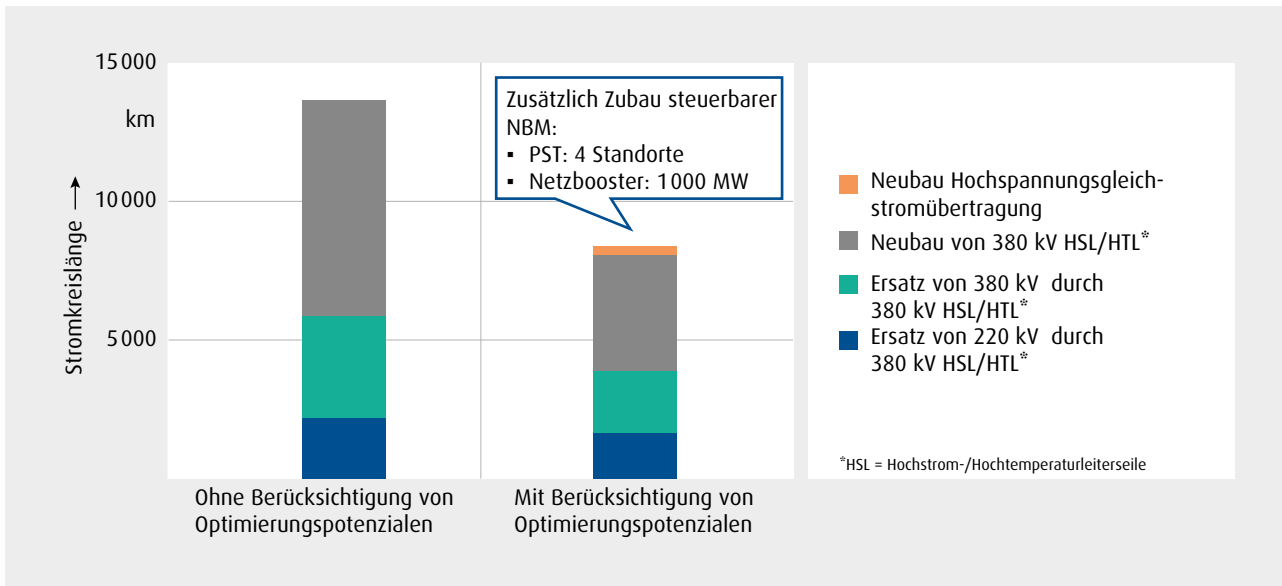


Bild 5. Erforderliche Netzausbaubedarfe (Stromkreislänge) mit und ohne Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen im Netzbetrieb

Ergebnisse, die vergleichbar mit denen (ungleich aufwendigeren) manueller Netzausbauberechnungen sind (dies wurde anhand verschiedener Plausibilisierungsrechnungen überprüft).

Ergebnisse für Netzausbaubedarfe mit und ohne Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen des Netzbetriebs

Im Folgenden werden Ergebnisse, die mithilfe der entwickelten Methodik für die kostenoptimale Ermittlung von Netzausbaubedarfen unter Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen des Netzbetriebs bestimmt wurden, mit denjenigen Ergebnissen verglichen, bei denen ausschließlich konventionelle Drehstromleitungen ausgebaut werden und für die auch keine Einsatzoptimierung steuerbarer NBM durchgeführt wurde. Das Szenario, das den Ergebnissen zugrunde liegt, kann als Zwischenschritt auf dem Weg zur Klimaneutralität im Energiesystem verstanden werden und stellt daher eine realistische Grundlage für die Anforderungen an die Übertragungsnetze in den nächsten 10 bis 15 Jahren dar.

Als erstes Ergebnis sind in **Bild 3** die Leitungsauslastungen des Stromnetzes als Indikator für die Anforderungen und die sich ergebenden Netzausbaubedarfe dargestellt. Eingefärbt sind Leitungen, die in mindestens einer Stunde eine Belastung über 100 % bezogen auf die thermische Übertragungsleistung aufweisen (als Ausbaukriterium wird hier die Vorgabe verwendet, dass alle Leitungen als überlastet gelten, die

in 20 Stunden des Jahres mit mehr als 110 % belastet sind). Auf der linken Seite sind die Netzbelastungen zu sehen, die sich ohne einen optimierten Netzbetrieb einstellen. Im Vergleich dazu ist auf der rechten Seite zu erkennen, dass durch die Berücksichtigung von optimierter Netzbetriebsführung die Netzüberlastungen deutlich reduziert (einige sogar bis zur Engpassfreiheit) werden können.

In **Bild 4** sind die Dauerlinien der Leitungsauslastungen einer Leitung, die ohne optimierten Netzbetrieb überlastet erscheint (zu erkennen an Werten größer 110 % oder kleiner minus 110 % der blauen Linie). Unter Berücksichtigung eines optimierten Netzbetriebs zeigt sich, dass diese Leitung nun bei Anwendung des gewählten Ausbaukriteriums (20 Stunden, 110 %) engpassfrei wäre und kein Ausbau erforderlich ist (grüne Linie).

Die Anwendung der Methodik ermöglicht nun auch die Ermittlung der vollständigen Netzausbaubedarfe, die für das betrachtete Szenario in **Bild 5** dargestellt sind. Es zeigt sich, dass die Bedarfe durch die Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen im Netzbetrieb deutlich reduziert werden können (rechts gegenüber links). Insgesamt können durch einen Zubau von PST an vier Standorten, rund 300 km HGÜ-Leitungen und 1.000 MW Netzboosterkapazität sowie durch die Optimierung der Einsatzweise der steuerbaren NBM rund 40 % der konventionellen Leitungsbauten eingespart werden. Die erforderlichen Investitionen reduzieren sich dabei um rund 20 %.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Berücksichtigung von Optimierungspotenzialen des Netzbetriebs im Rahmen von Netzausbauplanungen grundsätzlich realisierbar ist. Es wurde aufgezeigt, dass zur Handhabbarkeit der Berechnungen Vereinfachungen erforderlich sind, unter deren Berücksichtigung bei geeigneter methodischer Umsetzung jedoch eine Abschätzung kostenoptimaler Netzausbaubedarfe möglich ist. Die Anwendung verbessert die Abschätzung von Netzausbaubedarfen in Energiesystemstudien und verhindert eine Überschätzung künftiger Ausbaubedarfe. Durch die Automatisierung der Netzausbauberechnungen kann eine Vielzahl von Szenarien bei guter Vergleichbarkeit der Szenarienergebnisse effizient bewertet werden.



Sebastian Willemsen,
Senior Consultant,
Consentec GmbH, Aachen



Tom Dröscher,
Consultant,
Consentec GmbH, Aachen

>> willemsen@consentec.de

>> www.consentec.de