

Zunehmende Belastung in den Verteilungsnetzen

# Entwicklung kostenminimaler 110-kV-Netzausbaupfade in einer vom EE-Zubau geprägten Region

Der Zubau von Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien (EE) führt in vielen Regionen Deutschlands dazu, dass die bestehenden Verteilungsnetze ausgebaut werden müssen. Bei der Aufgabe, kostenminimale Netzausbaupfade zu erarbeiten, können moderne rechnergestützte Optimierungswerkzeuge eine wichtige Unterstützung bieten, wie sich bei den nachfolgend in Auszügen dargestellten Untersuchungen für das 110-kV-Netz der Main-Donau Netzgesellschaft gezeigt hat.

Der Zubau von Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien (EE) führt in vielen Regionen Deutschlands zu einer Zunahme der Belastung der Verteilungsnetze. Vor allem in ländlichen Gegenden muss immer mehr EE-Leistung über die 110-kV-Netze in das vorgelagerte Übertragungsnetz abgeführt werden. Um dieser Entwicklung gerecht zu werden, müssen bestehende 110-kV-Netze vielfach ausgebaut werden. Dabei besteht die Herausforderung darin, einen möglichst kostengünstigen Netzausbaupfad zu entwickeln, der zugleich robust ist gegenüber den unsicheren Last- und vor allem EE-Entwicklungen und sich zudem möglichst im Rahmen altersbedingter Erneuerungsmaßnahmen umsetzen lässt.

Bei der Aufgabe, kostenminimale Ausbaupfade für 110-kV-Netze zu erarbeiten, können moderne rechnergestützte Optimierungswerkzeuge eine wichtige

Unterstützung bieten, wie sich bei den nachfolgend in Auszügen dargestellten Untersuchungen für das Netz der MDN Main-Donau Netzgesellschaft mbH gezeigt hat. Hierbei wurden ausgehend von der bestehenden Netzstruktur Zielnetze für mehrere künftige Betrachtungszeitpunkte unter Annahme verschiedener Last- und Einspeiseentwicklungen erarbeitet. Dabei wurde Wert auf praxisgerechte Ergebnisse gelegt. So wurden bereits laufende Netzertüchtigungsmaßnahmen ebenso berücksichtigt wie bestehende Unsicherheiten hinsichtlich der künftigen Anbindung an das vorgelagerte Übertragungsnetz.

### Untersuchungsmethodik

Rechnergestützte Zielnetzoptimierungen werden seit vielen Jahren für verschiedene Lösungen eingesetzt. Diese meist auf einen mehr oder weniger fernen Zeit-

punkt in der Zukunft ausgerichteten und vom bestehenden Netz losgelösten Grüne-Wiese-Betrachtungen weisen mit Blick auf den unmittelbaren praktischen Nutzen meist zwei grundsätzliche Schwierigkeiten auf: Zum einen sind die auf dem Grüne-Wiese-Ansatz beruhenden Netzentwürfe in der Regel kaum praktisch umsetzbar, da sie sich zu stark vom bestehenden Netz unterscheiden. Zum anderen ist häufig unklar, wie robust die optimale Zielnetzstruktur gegenüber Abweichungen der last- und einspeiseseitigen Anforderungen von den zugrunde gelegten Szenarien ist.

In der Untersuchung für das MDN-Netz wurde die Methodik zur Zielnetzoptimierung daher so weiterentwickelt, dass der Anspruch der Kostenoptimierung mit den Anforderungen an die praktische Umsetzbarkeit der ermittelten Zielnetzstrukturen und deren Robustheit gegenüber Unsicherheiten bezüglich der Last- und Einspeiseentwicklung verbunden werden konnte. Die praktische Umsetzbarkeit wurde im Kern dadurch sichergestellt, dass die Optimierungen nicht losgelöst vom bestehenden Netz, sondern ausdrücklich unter Berücksichtigung der bestehenden Betriebsmittel vorgenommen wurden. Hierzu wurde die erwartete Nutzungsdauer bestehender Leitungen berücksichtigt, was dazu führt, dass tendenziell jüngere Leitungen überwiegend auch in den Zielnetzen berücksichtigt sind, während ältere Leitungen grundsätzlich in Frage gestellt werden.

Erfahrungen aus zahlreichen vergangenen (Grüne-Wiese-)Zielnetzoptimierungen zeigen, dass es meist eine größere Zahl von Netzen gibt, die aus Kostensicht sehr ähnlich sind, sich aber strukturell deutlich voneinander unterscheiden. In dieser Untersuchung ist es gelungen, dies auszunutzen, indem diejenigen für eine

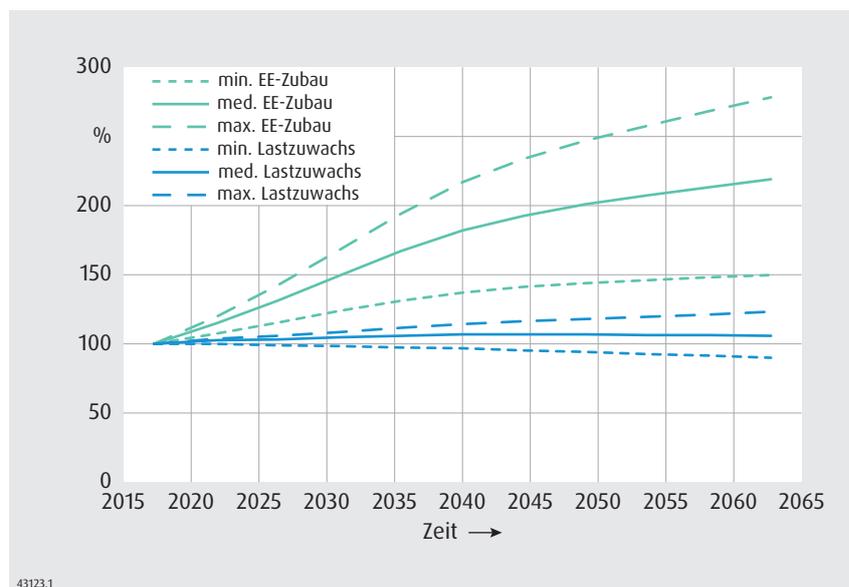


Bild 1. Prognostizierter Zuwachs von Jahreshöchstlast und Jahreshöchstwert der zeitgleichen EE-Einspeiseleistung bezogen auf heutige Höchstleistungswerte

bestimmte prognostizierte Last- und Einspeiseentwicklung optimierten Zielnetze ausgewählt wurden, deren Strukturen (Trassenwahl) größtmögliche Ähnlichkeit mit den Strukturen von Zielnetzen für hiervon abweichenden Last- und Einspeiseentwicklungen aufweisen.

Grundsätzliches Ziel der Untersuchung war somit die Erarbeitung eines optimalen Entwicklungspfads für das 110-kV-Netz ausgehend vom bestehenden hin zu einem kostenminimalen und möglichst robusten Zielnetz. Für die Bewertung und den Vergleich der verschiedenen Netze wurden technische und wirtschaftliche Kriterien herangezogen.

Zu den technischen Analysen gehören Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen sowie Zuverlässigkeitsanalysen zur Bewertung der Auswirkungen der betrachteten Netzentwicklungsmaßnahmen auf das Belastungs-, Spannungs- und Zuverlässigkeitsniveau und zur Analyse möglicher Gegenmaßnahmen bei unerwünschten Verschlechterungen dieser technischen Kriterien. Für die wirtschaft-

lichen Bewertungen hat es sich bewährt, annuitätische Kosten zu betrachten und dabei Investitions-, Verlust- und sonstige Betriebskosten zu berücksichtigen.

---

*Der Zubau von  
Erzeugungsanlagen auf  
EE-Basis führt in vielen  
Regionen Deutschlands zu  
einer Zunahme der  
Belastung der  
Verteilungsnetze.*

---

Im Kern wurden mit einem Optimierungswerkzeug Zielnetze für die prognostizierte Versorgungsaufgabe für verschiedene Zeitpunkte (2020, 2030, 2045 und 2065) erarbeitet. Das Optimierungsziel besteht darin, für die gegebene Versorgungsaufgabe den bei effizienter Netzplanung und unter Be-

achtung technischer und planerischer Restriktionen erforderlichen Bestand an Netzanlagen und die damit verbundenen Netzkosten zu minimieren. Eine zentrale Anforderung mit Blick auf die praktische Umsetzbarkeit war dabei – wie bereits erläutert –, den jüngeren Bestand an Netzbetriebsmitteln als festen Bestandteil der Zielnetze zu berücksichtigen.

#### Prognose von Last und Erzeugung

Als Grundlage für die Zielnetzoptimierung wurde im ersten Schritt die erwartete Entwicklung der Versorgungsaufgabe, das heißt, die räumliche Verteilung und die erwartete Höhe der Lasten und (dezentralen) Einspeisungen bestimmt. Um Unsicherheiten in der Entwicklung von Erzeugung und Last zu berücksichtigen, wurden drei verschiedene Entwicklungen betrachtet, die hier als minimale, mittlere und maximale Wachstumspfade bezeichnet werden (*Bild 1*).

In den Prognosen zu Lasten und Erzeugungen werden Instrumente zur Flexibilisierung wie Demand Side Management

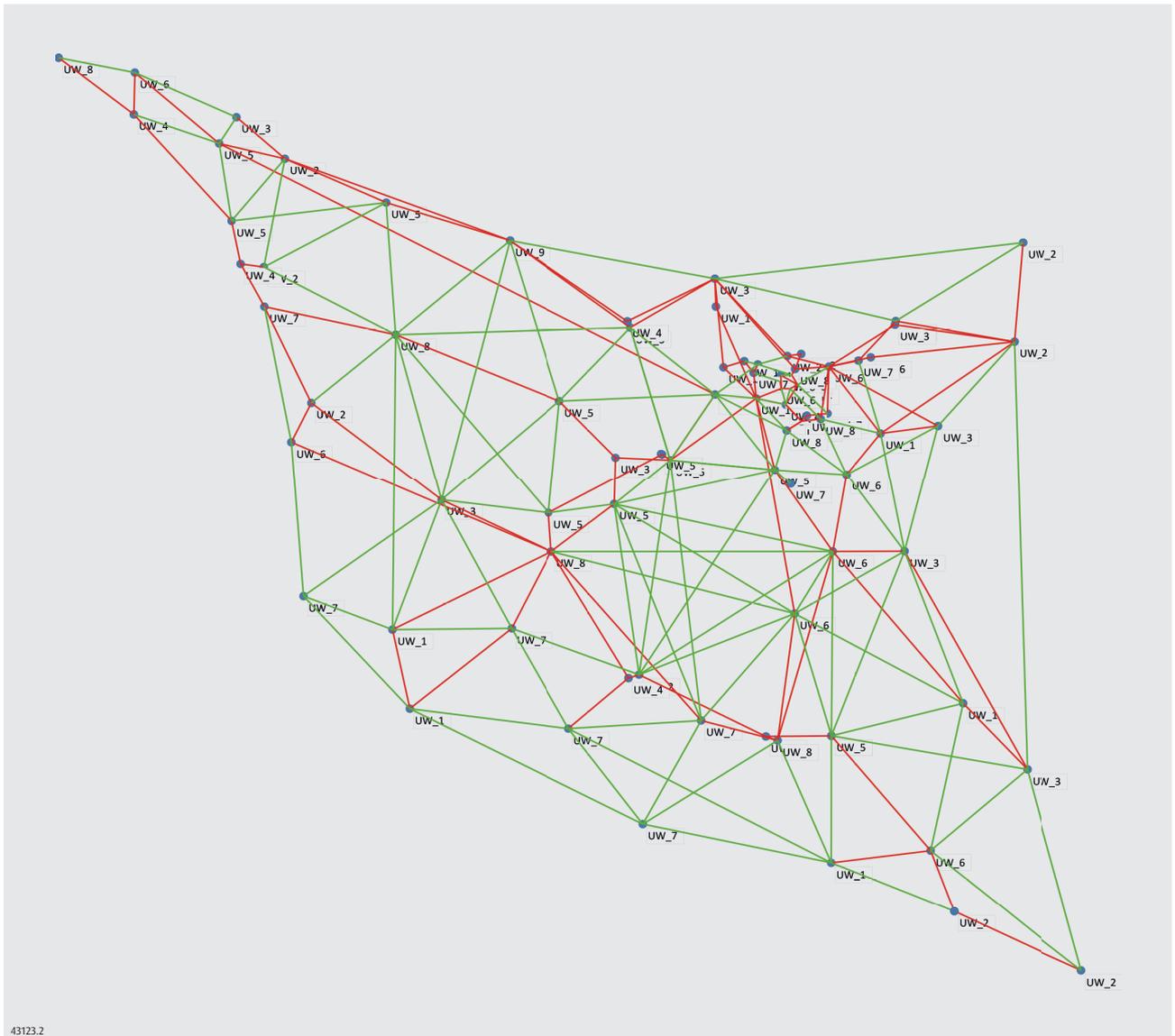


Bild 2. Heute genutzte und mögliche künftige Leitungstrassen (vereinfachte Darstellung)

und die Spitzenkappung dezentraler Einspeiseleistung zunächst nicht explizit berücksichtigt, da die künftige Entwicklung derartiger Regelungen ebenfalls nur unsicher vorhersehbar ist. Um die Auswirkungen derartiger Entwicklungen auf die Netzbelastung dennoch berücksichtigen zu können, wurden Abschlagsfaktoren auf die Höchstleistungswerte berücksichtigt.

Die Lastentwicklung verläuft in allen drei Szenarien eher moderat. Aus heutiger Sicht am wahrscheinlichsten ist ein geringfügiger Lastanstieg um rund 7 % in den nächsten drei Jahrzehnten. Abweichend hiervon wurde als Maximalvariante ein Anstieg um rund 25 % und als Minimalvariante ein Rückgang um rund 10 % betrachtet.

Dagegen wird beim Zuwachs der in EE-Anlagen installierten Leistung von einem erheblichen Wachstum ausgegangen. Aus heutiger Sicht am wahrscheinlich-

sten ist eine Verdoppelung bis 2045 und bis 2065 ein Anstieg auf gut 220 % des heutigen Werts. Abweichend hiervon wurde als Maximalvariante ein Anstieg

*Durch moderne Optimierungsansätze können Kostenminimierung und praktische Umsetzbarkeit vereint werden.*

auf 280 % und als Minimalvariante ein Anstieg auf 150 % des heutigen Werts betrachtet.

Für die Zielnetzfindung wird zunächst der mittlere Wachstumspfad unterstellt. Anschließend wird die Zielnetzstruktur unter den ermittelten Varianten so aus-

gewählt, dass sie sich möglichst geringfügig von möglichen Zielnetzen für die beiden anderen Szenarien (minimaler und maximaler Wachstumspfad) unterscheidet.

### Randbedingungen und Freiheitsgrade bei Netzauslegung

Neben der Entwicklung der Last und Erzeugung sowie Vorgaben für zulässige Strom- und Spannungsgrenzen waren bei der Erarbeitung optimierter und praxiserer Netzentwicklungspfade weitere Randbedingungen und Freiheitsgrade zu beachten.

### Geografische Verteilung der Lasten

Die geografische Lage der Umspannwerke ist durch die heutigen Standorte vorgegeben. Ein Rückbau bestehender Umspannwerke war nicht vorgesehen. Ein Zubau neuer Umspannwerke geschieht dann, wenn die für das jeweilige Umspannwerk

prognostizierte Höchstbelastung (Last oder Rückspeisung) die heute vorhandene Transformatorkapazität überschreitet. Bild 2 zeigt die geografische Lage der heute vorhandenen Umspannwerke.

**Trassenführung**

Auf den heute vorhandenen Trassen sind Freileitungen mit einer Systemlänge von gut 1 300 km und Kabel mit einer Systemlänge von rund 100 km installiert. Im Rahmen der Optimierung wurde davon ausgegangen, dass bestehende Leitungen bis zum Erreichen der erwarteten technischen Lebensdauer weiterbetrieben werden sollen und erst im Anschluss daran ein möglicher Rückbau in Frage kommt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, neue Trassen zu erschließen. Die möglichen Trassenverbindungen sind in Bild 2 als Luftlinienverbindungen dargestellt. Die roten Linien zeigen die bereits genutzten Trassen und die grünen Linien die möglichen neuen Trassen.

**Betriebsmittelwahl**

Es können sowohl Kabel als auch Freileitungen eingesetzt werden, wobei Freileitungen ausschließlich zum 1:1-Ersatz von heute bereits bestehenden Leitungssystemen verwendet werden. Zur Realisierung von Leitungen auf neuen Trassen werden ausschließlich Kabel verwendet. Zur Verstärkung bestehender Leitungen, also für den Zubau neuer Leitungen parallel zu bestehenden Leitungen, werden ebenfalls ausschließlich Kabel eingesetzt.

**Einbindung von Umspannwerken**

Eine Möglichkeit, die Leitungslänge und somit die Kosten des Netzes zu minimieren, besteht darin, Umspannwerke nicht über zwei separate Trassen zwischen zwei unterschiedlichen benachbarten Umspannwerken in das Netz einzuschleifen, sondern durch einen Doppelstich anzubinden, also über zwei Leitungen auf einer gemeinsamen Trasse. Gerade für Umspannwerke mit niedriger Last und/oder großer Entfernung zu den Haupttrassen kann sich eine solche Optimierungsmöglichkeit anbieten.

**Beispielhafte Ergebnisse**

Ergebnis der Untersuchung sind Zielnetze für die verschiedenen Betrachtungszeitpunkte sowie Pläne von Maßnahmen, die für die Umsetzung der Zielnetze ausgehend vom bestehenden Netz ergriffen werden müssten. Nachfolgend werden beispielhaft wichtige Eigenschaften der Zielnetze für das mittlere Last- und Einspeiseszenario dargestellt.

Langfristig – hier für das Jahr 2065 – ist ein erheblicher Leitungsausbau erforder-

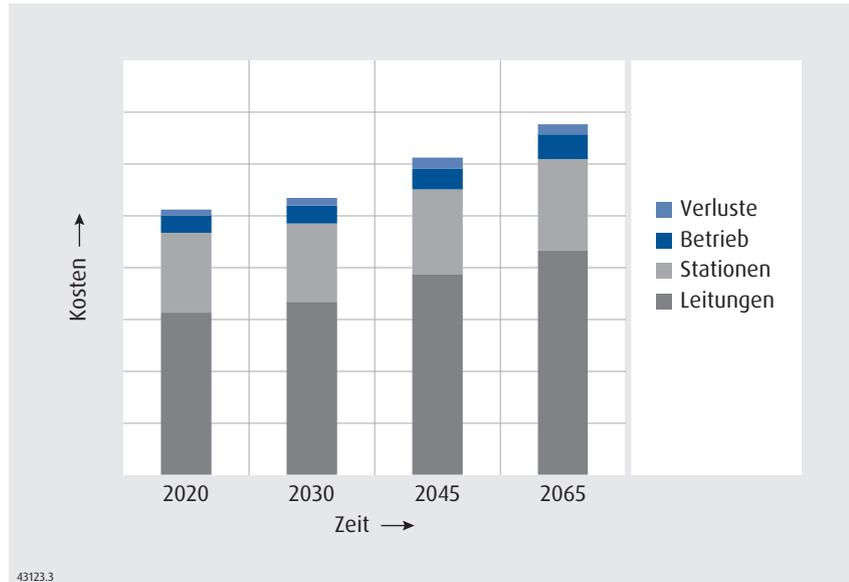


Bild 3. Jährliche Kosten einer ausgewählten Zielnetzstruktur

lich. Insgesamt müssen neue Leitungen in einem Umfang von rund 25 % der heutigen Leitungslänge errichtet werden. Dieser zunächst groß erscheinende Zubau bedarf wird allerdings deutlich relativiert in Anbetracht der dieser Netzentwicklung zugrundeliegenden Erwartung an den Zuwachs an installierter EE-Leistung von über 200 % gegenüber den heutigen Werten, die im Übrigen bereits in der Größenordnung der Höchstlast liegen. Von den heute bestehenden Leitungen wird ein großer Teil – 94 % der Systemlänge – auch im langfristigen Zielnetz weiterverwendet, was für die praktische Umsetzbarkeit ausgehend vom bestehenden Netz essenziell ist.

Die mit dem Um- und Ausbau des Netzes verbundene Kostenentwicklung zeigt Bild 3. Dargestellt sind annuitätische Kosten, differenziert nach Kapitalkosten für Stationen und Leitungen und nach Verlust- und sonstigen Betriebskosten.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die weitere Integration von EE-Anlagen zwar erwartungsgemäß zu einem Anstieg der Netzkosten führen wird, dass diese Mehrkosten aber durch eine konsequente Optimierung des Netzausbaus deutlich begrenzt werden können. Langfristig ergibt sich in dem hier dargestellten Fall ein Kostenanstieg von gerade einmal rund 25 % für ein Netz, dessen EE-Aufnahmekapazität mehr als verdoppelt wird.

**Zusammenfassung**

Wie die hier in Auszügen dargestellten Untersuchungen zeigen, ist es mit modernen rechnergestützten Zielnetzoptimierungen möglich, den Anspruch eines

kostenoptimalen Netzausbaus mit den Anforderungen an die praktische Umsetzbarkeit der ermittelten Zielnetzstrukturen zu verbinden. Gleichzeitig kann dabei sichergestellt werden, dass die Netzstrukturen gegenüber Unsicherheiten bezüglich der Last- und vor allem der Einspeisentwicklung robust sind, was aktuell vor allem hinsichtlich des EE-Ausbaus von entscheidender Bedeutung ist.



Dipl.-Ing. David Kemnitz, Analyst, Consentec GmbH, Aachen



Dipl.-Ing. Christian Linke, Senior Consultant, Consentec GmbH, Aachen



Dipl.-Ing. Dipl.-Volksw. Gerd Dangriess, Netzentwicklung, Grundsatzfragen Strom, MDN Main-Donau Netzgesellschaft mbH, Nürnberg

>> kemnitz@consentec.de  
linke@consentec.de  
gerd.dangriess@main-donau-netz.de

>> www.consentec.de  
www.main-donau-netz.de