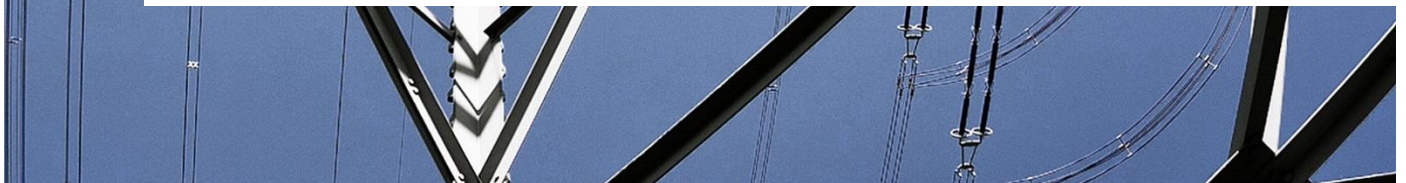




Netzwiederaufbaukonzepte vor dem Hintergrund der Energiewende



Bericht

für die deutschen Übertragungsnetzbetreiber

50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, Tennet TSO GmbH, TransnetBW GmbH

7. Juli 2020

Inhalt

Inhalt	i
1 Hintergrund	1
2 Netzwiederaufbau bisher	2
2.1 Wann findet ein Netzwiederaufbau statt?	2
2.2 Welche Ziele werden verfolgt?	3
2.3 Welche Strategien gibt es?	4
2.4 Wie erfolgt der Netzwiederaufbau im Detail?	5
2.4.1 Abfolge	5
2.4.2 Fokus Netzwiederaufbau	6
2.4.3 Fokus Versorgungswiederaufbau	12
2.4.4 Lastfolgebetrieb	13
2.5 Welche Rolle haben die Akteure beim Netzwiederaufbau?	14
2.5.1 Übertragungsnetzbetreiber	14
2.5.2 Verteilungsnetzbetreiber	15
2.5.3 Erzeugungseinheiten	16
2.5.4 Marktteilnehmer	16
2.6 Was sind die kritischen Erfolgsfaktoren beim Netzwiederaufbau?	16
2.6.1 Klare Verantwortlichkeiten und Systemfokus	16
2.6.2 Robuste Netzwiederaufbaupläne	17
2.6.3 Schwarzfallfeste Kommunikation	18
2.6.4 Training	19
3 Energiewendebedingte Änderungen mit Rückwirkungen auf die Netzwiederaufbaupläne	20
3.1 Überblick	20
3.2 Abnahme steuerbarer und gesicherter Erzeugungsleistung am Höchstspannungsnetz	20
3.3 Zunahme erneuerbarer und dezentraler Erzeugungsleistung	24

3.4	Neue Verbraucher	27
3.5	Fortschreitende Digitalisierung und neuartige Netzbetriebsmittel	28
4	Entwicklung von zukünftigen Netzwiederaufbauplänen	31
4.1	Brauchen die ÜNB ein grundlegend anderes Konzept für den Netzwiederaufbau?	31
4.2	Was ändert sich für die einzelnen Akteure?	32
4.2.1	Rolle der ÜNB	32
4.2.2	Rolle der VNB	33
4.2.3	Rolle neuer Akteure	34
5	Handlungs- und Entscheidungsbedarf auf politischer und regulatorischer Ebene	35

1 Hintergrund

Ein voll funktionierender und vernetzter Energiebinnenmarkt ist für die Erhaltung der Elektrizitätsversorgungssicherheit sowie die Gewährleistung eines hohen Wettbewerbs von entscheidender Bedeutung. Abweichungen vom Normalzustand des Übertragungsnetzbetriebs müssen daher nach Möglichkeit vollständig vermieden, im Falle ihres Auftretens allerdings wieder schnellstmöglich behoben werden.

Die im Gebiet der Europäischen Union unmittelbar anwendbare Verordnung 2017/1485/EU zur Errichtung von Leitlinien für den Übertragungsnetzbetrieb (SOGL) unterscheidet verschiedene Systemzustände. Ein wesentlicher Systemzustand ist der Netzwiederaufbauzustand, der auf einen Not- oder Blackoutzustand folgt, und in dem die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) Netzwiederaufbaupläne (NWAP) zur Wiederherstellung des Normalzustands aktivieren. Die Vorbereitung von geeigneten NWAP ist eine wesentliche Verpflichtung der systemverantwortlichen ÜNB. Diese Verpflichtung ist konkretisiert in der Verordnung 2017/2196/EU zur Festlegung eines Netzkodex über den Notzustand und den Netzwiederaufbau (NWA) des Übertragungsnetzes (NC ER) sowie im ENTSO-E-Operation Handbook, insb. der Policy 5.

Auch die nationalen Regularien auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland, wie die VDE-Anwendungsregel 4141-1, die die Ausgestaltung der Schnittstelle zwischen dem Übertragungs- und Verteilungsnetz definiert, adressieren die übergeordnete Verantwortung für den NWA bei den ÜNB. Der Transmission Code aus 2007, der zwar mittlerweile ähnlich wie das Operation Handbook von ENTSO-E keine direkt anwendbare Systemregel mehr ist, gibt jedoch weiterhin eine gute Übersicht über die etablierte Praxis im Übertragungsnetzbetrieb. Insbesondere beschreibt er den Versorgungswiederaufbau (VWA) aus dem Übertragungsnetz als eine der wesentlichen von den Übertragungsnetzbetreibern zusätzlich zur Übertragung und Verteilung von Energie zu erbringenden Systemdienstleistungen. Auf Basis insbesondere des Transmission Code haben die ÜNB in der Vergangenheit ihre NWAP entwickelt. Bereits hier wird auf die unterschiedlichen Begriffe NWA und VWA hingewiesen. Die Bedeutungsunterschiede werden nachfolgend geklärt.

Die NWAP werden von den ÜNB kontinuierlich angepasst, um die aktuellen Zustände in den deutschen Übertragungsnetzen zu reflektieren. Jüngste Anpassungen dienen u. a. der Kompatibilität mit o. g. NC ER. Vor dem Hintergrund des sich schnell ändernden Elektrizitätsversorgungssystems und insbesondere der veränderten Erzeugungsstrukturen sehen die ÜNB jedoch mittlerweile erhebliche Herausforderungen, die NWAP in der bisherigen Form fortzuschreiben. Hierbei ist insbesondere der Abtausch von flexibel steuerbarer und zentraler Erzeugungsleistung mit vorrangig dezentralen und dargebotsabhängigen Anlagen zu nennen. Dabei nehmen die an das Höchstspannungsnetz angeschlossenen thermischen Erzeugungsanlagen aktuell eine Schlüsselrolle beim NWA und VWA ein. Mit der Stilllegung wesentlicher Teile dieser Anlagen (u. a. durch Kernenergie- und Kohleausstieg) sind Änderungen in den NWAP absehbar.

Angesichts dieser Herausforderungen streben die deutschen ÜNB an, die Thematik des NWA vor dem Hintergrund der fortschreitenden Energiewende und des beschlossenen Kohleausstiegs umfassend zu untersuchen und haben Consentec mit einer entsprechenden Studie beauftragt. Die Studie soll dabei nicht nur die technischen und prozessualen Fragen behandeln, sondern zudem auch die rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen für die Erarbeitung von NWAP klären.

Im Folgenden erläutern wir daher zunächst die in der Vergangenheit verfolgten Prinzipien beim NWA (Kapitel 2) und stellen dabei auch die Grundzusammenhänge und Herausforderungen dar.

Anschließend analysieren wir zukünftige, aus der Energiewende hervorgehende Änderungen mit Rückwirkungen auf die NWAP (Kapitel 3) und erörtern, inwiefern heutige Konzepte des NWAP angepasst werden müssen (Kapitel 4) und leiten daraus erforderlichen rechtlich-regulatorischen Handlungsbedarf ab (Kapitel 5).

2 Netzwiederaufbau bisher

2.1 Wann findet ein Netzwiederaufbau statt?

Der NWA dient der sicheren und geordneten Wiederherstellung der Funktionalität des Elektrizitätsversorgungssystems nach einem Netzzusammenbruch mit Spannungslosigkeit erheblicher Teile des Elektrizitätsversorgungsnetzes und einer Versorgungsunterbrechung für eine signifikante Anzahl von Kunden.

In der Praxis wird zwischen partiellen und vollständigen Netzzusammenbrüchen unterschieden.

Partielle Netzzusammenbrüche führen dabei nicht zu einer (vollumfänglichen) Auslösung der NWAP der ÜNB. Sie liegen insbesondere vor, wenn die Spannungslosigkeit im Netz regional begrenzt ist, bspw. bei einem Ausfall des Verteilungsnetzes eines Verteilungsnetzbetreibers, oder das Übertragungsnetz in stabile Netzinseln (Teilnetzbildung) zerfallen ist.

Bei einer regionalen Spannungslosigkeit ist die Störungsbehebung und Wiederversorgung in der Regel in vergleichsweise kurzer Zeit möglich, insofern keine Betriebsmittel beschädigt oder zerstört wurden. Es besteht sowohl beim Störungseintritt als auch während der Wiederversorgung keine Gefahr einer Destabilisierung des Elektrizitätsversorgungssystems als Ganzes. Das betroffene Netzgebiet kann ausgehend vom intakten Übertragungsnetz wiederaufgebaut werden. In der Vergangenheit sind regional begrenzte Störungsereignisse beispielsweise 2004 in Luxemburg/Rheinland-Pfalz oder 2005 im Münsterland aufgetreten.

Auch bei der in 2006 aufgetretenen großflächigen Verbundstörung in Kontinentaleuropa, die ihren Ursprung in einer Netzschwächung während der Überführung eines Kreuzfahrtschiffes der Meyer Werft über die Ems hatte, handelte es sich um einen Zerfall des Verbundbetriebs in mehrere getrennte Teilnetze einhergehend mit einem partiellen Netzzusammenbruch. Von diesem Störereignis war das Übertragungsnetz umfassend betroffen und es kam zu erheblichen Versorgungsunterbrechungen durch Auslösung des automatischen frequenzabhängigen Lastabwurfs. Unter anderem aufgrund dieses Sicherheitsmechanismus haben sich die Netzinseln mit jeweils individuellen Netzfrequenzen gefangen. Innerhalb kurzer Zeit wurden diese entstandenen Teilnetze resynchronisiert und zwischenzeitlich abgeworfene Lasten und Erzeuger wieder zugeschaltet. Auch dieses Störungsereignis hat nicht zu einer Aktivierung der NWAP geführt, es wurden jedoch Strategien und einzelne Maßnahmen der NWAP zur Klärung der Störungssituation genutzt.

Hingegen wird als **vollständiger Netzzusammenbruch** (Not- oder Blackout-Zustand) insbesondere die komplette und somit überregionale Spannungslosigkeit des Übertragungsnetzes im Verantwortungsbereich eines ÜNB definiert. Ein solcher vollständiger Netzzusammenbruch führt zwangsläufig zur Auslösung der NWAP. Auch hier sind jedoch zwei Fälle zu unterscheiden. Im für den NWA einfacheren Fall hat sich eines der benachbarten Übertragungsnetze innerhalb des Verbundgebiets in einem stabilen Betriebszustand gefangen und kann eine Spannungsvorgabe für den NWA liefern. Diese Situation war z. B. bei den beiden letzten Blackout-Ereignissen in Europa 2003 in Italien und 2015 in der Türkei gegeben. Im kritischeren Fall sind von der Spannungslosigkeit große Teile oder sogar das gesamte Verbundsystem betroffen, so dass der NWA von Grund auf „aus eigener Kraft“, d. h. ohne externe Spannungsvorgabe erfolgen muss. Eine

solche Situation ist innerhalb des kontinentaleuropäischen Verbundsystems bisher nicht aufgetreten. Auch international sind die Beispiele für einen NWA völlig ohne externe Unterstützung gering.¹ Die Notwendigkeit eines NWA ohne externe Spannungsvorgabe kann jedoch nicht ausgeschlossen werden und muss deshalb von den NWAP zwingend abgedeckt werden. Diese Anforderung steht somit auch im NC ER.

Die NWAP zur Behebung eines vollständigen Netzzusammenbruchs umfassen auch die Maßnahmen, die ggf. zur Behebung eines partiellen Netzzusammenbruchs notwendig sind. Im Hinblick auf die Entwicklung und ggf. energiewendebedingten Anpassung der NWAP ist es daher für den vorliegenden Bericht ausreichend, ausschließlich NWAP für Störereignisse mit vollständigen Netzzusammenbrüchen zu betrachten.

2.2 Welche Ziele werden verfolgt?

Vorrangiges Ziel der ÜNB beim NWA ist es, das spannungslos gewordene Übertragungsnetz zügig und ohne erneute Netzzusammenbrüche wieder unter Spannung zu setzen und durch kontrollierte und koordinierte Zuschaltung von Erzeugungseinheiten und Lasten in einen stabilen Betriebszustand zu bringen. Zur Stabilisierung ist es dabei vorteilhaft, während des NWA entstehende Netzinseln schnellstmöglich zu synchronisieren. Denn mit der Systemgröße steigen die Trägheit des Systems und damit die Resilienz gegenüber unerwarteten Ereignissen wie Lastschwankungen oder Netztrennungen von Erzeugungsanlagen. Ein weiteres Ziel beim NWA ist natürlich auch die Wiederversorgung der durch den Netzzusammenbruch von der Versorgung abgeschnittenen Kunden. Diese Wiederversorgung erfordert jedoch im Regelfall zunächst die Stabilisierung des Übertragungsnetzes und ist deshalb nachrangig zu dieser. Es kann somit zwischen den Schritten des **Netzwiederaufbaus** und des **Versorgungswiederaufbaus** unterschieden werden, die mit unterschiedlichen Prioritäten verfolgt werden.

Bei einem vollständigen Netzzusammenbruch wird hierzu zunächst ein Teilnetz (bzw. parallel mehrere Teilnetze) wieder unter Spannung gesetzt und möglichst stabilisiert, um einen erneuten Netzzusammenbruch zu vermeiden. Das Teilnetz wird anschließend vergrößert. Hierzu werden sukzessive weitere Netzbereiche sowie Einspeisungen und Lasten so zugeschaltet, dass die Stabilität des aufgebauten Teilnetzes nicht gefährdet bzw. schrittweise verbessert wird.

Der Prozess des eigentlichen NWA ist dabei abgeschlossen, wenn das Übertragungsnetz wieder weitestgehend/vollständig unter Spannung gesetzt wurde und in einem stabilen Betriebszustand ohne Grenzwertverletzungen bei Frequenz und Spannung betrieben wird.

Der VWA mit der gezielten Wiederversorgung der in den unterlagerten Verteilungsnetzen angeschlossenen Netzkunden wird erst mit höherer Priorität verfolgt, wenn der NWA vollständig oder zumindest weitgehend abgeschlossen ist. Zwar werden bereits beim NWA aufgrund der möglichst ausgeglichenen Bilanz aus Einspeisung und Verbrauch teilweise auch bereits Lasten aus dem Verteilungsnetz wiederversorgt, dies stellt aber zunächst „nur“ ein Mittel zum Zweck zur Vergrößerung und Stabilisierung des Teilnetzbereichs dar.

¹ Ein mögliches Beispiel sind die Blackouts in Venezuela im Jahr 2019. U. a. deutet der lange Zeitraum bis zur Wiederversorgung von bis zu einer Woche darauf hin. Die vorliegenden Informationen sind allerdings nicht ausreichend, um die dort verfolgte Netzwiederaufbaustrategie umfassend zu beurteilen.

2.3 Welche Strategien gibt es?

Bei einem vollständigen Netzzusammenbruch kommt entweder eine **Top-down-Strategie** oder eine **Bottom-Up-Strategie** zum Einsatz. Als Top-down-Strategie wird eine Strategie bezeichnet, bei der durch die Unterstützung mindestens eines angrenzenden ÜNB, dessen Übertragungsnetz noch unter Spannung steht und stabil ist, Teile des Netzes in Betrieb genommen werden (auch häufig klassifiziert als Störfall mit vorliegender ENTSO-E-Spannung²). Bei der Bottom-Up-Strategie wird das Netz hingegen durch eigenständige Maßnahmen des ÜNB ohne Unterstützung durch benachbarte ÜNB wieder unter Spannung gesetzt.

Die Top-down-Strategie wird angewendet, wenn mindestens an einem Randknoten eines benachbarten ÜNB eine hinreichend stabile Spannung anliegt und das benachbarte Netz hinreichende Reserven zur Unterstützung aufweist. Der NWA erfolgt bei dieser Strategie unter Zuhilfenahme dieses stabilen Nachbarnetzes und in enger Abstimmung mit dem benachbarten ÜNB. Dabei werden sukzessive Netzbereiche des zuvor spannungslosen Übertragungsnetzes oder einzelne Netzelemente zum Nachbarnetz zugeschaltet und unter Spannung gesetzt. Die dabei zugeschalteten Teilnetze werden im Vorfeld von den ÜNB, ggf. in enger Abstimmung mit weiteren Akteuren, ausgewählt.

Erzeugungsanlagen, die sich im Eigenbedarfsinselbetrieb gefangen haben oder schnellstartfähig sind, werden mit dem benachbarten Übertragungsnetz synchronisiert und durch schrittweise zugeschaltete Lasten aus dem Verteilungsnetz belastet. Je nach Netzsituation kann zuvor auch bereits eine Zuschaltung erster Lasten erfolgen. Um eine Überlastung von Verbindungsleitungen zum benachbarten und unterstützenden ÜNB und von dessen internen Netzbetriebsmitteln und eine Destabilisierung dieses Systems zu vermeiden, werden die Zuschaltungen von Erzeugungsleistung und Last stückweise durchgeführt und möglichst im Gleichgewicht gehalten. Es wird dabei darauf geachtet, dass die hierbei unvermeidbar auftretenden Ungleichgewichte die Regelfähigkeit der Anlagen in der Netzinsel nicht übersteigen.

Die Notwendigkeit, das eigene Netz ausgehend von in der Regelzone befindlichen Erzeugungsanlagen unter Spannung zu setzen, ist bei der Top-down-Strategie somit nicht gegeben, sondern dies erfolgt über das Nachbarnetz. Dennoch wird der NWA vorrangig mit eigenen Ressourcen durchgeführt. Ein Austausch mit dem benachbarten Übertragungsnetz wird insbesondere in der ersten Phase des NWA als Starthilfe und Absicherung vorgenommen und ist im Regelfall auf wenige 100 MW begrenzt.

Nach einem vollständigen Netzzusammenbruch ohne anstehende Spannung in benachbarten Übertragungsnetzen wird der NWA bei der Bottom-Up-Strategie ausgehend von schwarzstartfähigen Anlagen oder Kraftwerken, die sich im Eigenbedarfsinselbetrieb gefangen haben, gestartet. Bei dieser Strategie erfolgt der NWA eines ÜNB ohne Spannungsvorgabe durch einen anderen ÜNB. Eine wesentliche Voraussetzung zur Umsetzung der Bottom-Up-Strategie liegt daher im Vorhandensein von geeigneten Anlagen, die in der Lage sind, ohne externe Spannungsvorgabe anzufahren und als Keimzelle für den Aufbau einer Netzinsel zu dienen. Dies wird als Schwarzstartfähigkeit einer Erzeugungsanlage bezeichnet.

Die Anlagen, die über die für die Bottom-Up-Strategie zwingend erforderlichen technischen Eigenschaften, insbesondere die Eigenschaft der Schwarzstartfähigkeit, verfügen, sind ausnahmslos am Höchst- oder Hochspannungsnetz angeschlossen. Auch die Bottom-up-Strategie verfolgt somit den Grundsatz, dass das spannungslose Netz ausgehend vom Übertragungsnetz unter

² Im Fachjargon wird gelegentlich auch von anstehender „gesunder“ Spannung gesprochen.

Spannung gesetzt wird. Dieses Vorgehen wird von den ÜNB im Regelfall an mehreren Stellen im Übertragungsnetz durchgeführt, so dass voneinander unabhängige Inselnetze entstehen, die im weiteren Verlauf dann synchronisiert werden.

Im Vergleich beider Strategien wird vorzugsweise ein NWA durch Spannungsvorgabe aus dem Nachbarnetz durchgeführt (Top-Down-Strategie). Dabei ist davon auszugehen, dass es sich bei dem benachbarten Netz um einen vergleichsweise ausgedehnten Netzbereich in einem stabilen Betriebszustand handelt. Die rotierende Masse in diesem System und damit dessen Trägheit und Resilienz gegenüber einem Leistungsbilanzungleichgewicht sind somit deutlich höher als innerhalb einer mit einer schwarzstartfähigen Anlage aufgebauten Netzinsel. Das Risiko eines erneuten Netzzusammenbruchs aufgrund während des NWA nicht vollständig vermeidbarer sprunghafter Änderungen von Last und Erzeugung ist somit bei der Top-Down-Strategie deutlich reduziert. Entsprechend der geringeren Trägheit des Systems müssen bei einem Bottom-Up-NWA auch die Größen der auf einmal zugeschalteten Lasten und Einspeisungen entsprechend geringer gewählt werden. In der Konsequenz ist im Vergleich zur Top-down-Strategie der zu erwartende Zeitaufwand bis zum Abschluss der vollständigen Wiederversorgung deutlich höher.

Da nicht gewährleistet ist, dass bei einem Nachbar-ÜNB ein stabiler Netzzustand vorliegt, kann eine – grundsätzlich vorteilhafte – Top-Down-Strategie beim NWA jedoch nicht immer verfolgt werden, weshalb die NWAP der ÜNB beide Strategien abdecken müssen. Da die Bottom-Up-Strategie die komplexere Strategie mit gleichzeitig höheren Anforderungen darstellt, fokussieren die nachfolgenden Betrachtungen hierauf. Die bei der Umsetzung der Bottom-Up-Strategie ergriffenen Maßnahmen wären ebenfalls in der Lage, den NWA bei der Top-Down-Strategie zu gewährleisten.

2.4 Wie erfolgt der Netzwiederaufbau im Detail?

2.4.1 Abfolge

In der Bottom-Up-Strategie ergibt sich die in Bild 2.1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellte Abfolge des NWA, der dabei grob in drei Phasen untergliedert werden kann. In der ersten Phase wird der NWA fokussiert, bei dem das Unterspannungsetzen großer Teile des Übertragungsnetzes sowie die Stabilisierung des Netzbetriebs im Vordergrund stehen. Sind weite Teile des Übertragungsnetzes wieder unter Spannung gesetzt und hinreichend stabil, verlagert sich anschließend der Fokus auf den VWA und die Zuschaltung weiterer Einspeisungen und Lasten. Das finale Ziel liegt letztlich in der Rückkehr zum Normalbetrieb. Dies erfolgt über die Phase des Lastfolgebetriebs, bei dem die Kraftwerksleistung zur Deckung der Last durch die ÜNB koordiniert und die Prozesse zur Rückkehr zum Markt eingeleitet und gestartet werden.

Die dargestellte Abfolge des NWA wird nicht zwangsläufig streng von den ÜNB bei jedem NWA so eingehalten. Je nach Art der Störung, die zum vollständigen Netzzusammenbruch geführt hat, kann es insbesondere sinnvoll sein, die Phase des VWA sowie Teilschritte der Rückkehr zum Verbundsystem bereits früher durchzuführen und durch den Zusammenschluss der Teilnetze die Stabilität des Systems insgesamt zu erhöhen. In der Praxis können sich die Teilschritte einzelner Phasen somit überschneiden. Im Grundsatz folgt der Ablauf des NWA aber der abgebildeten Vorgehensweise.

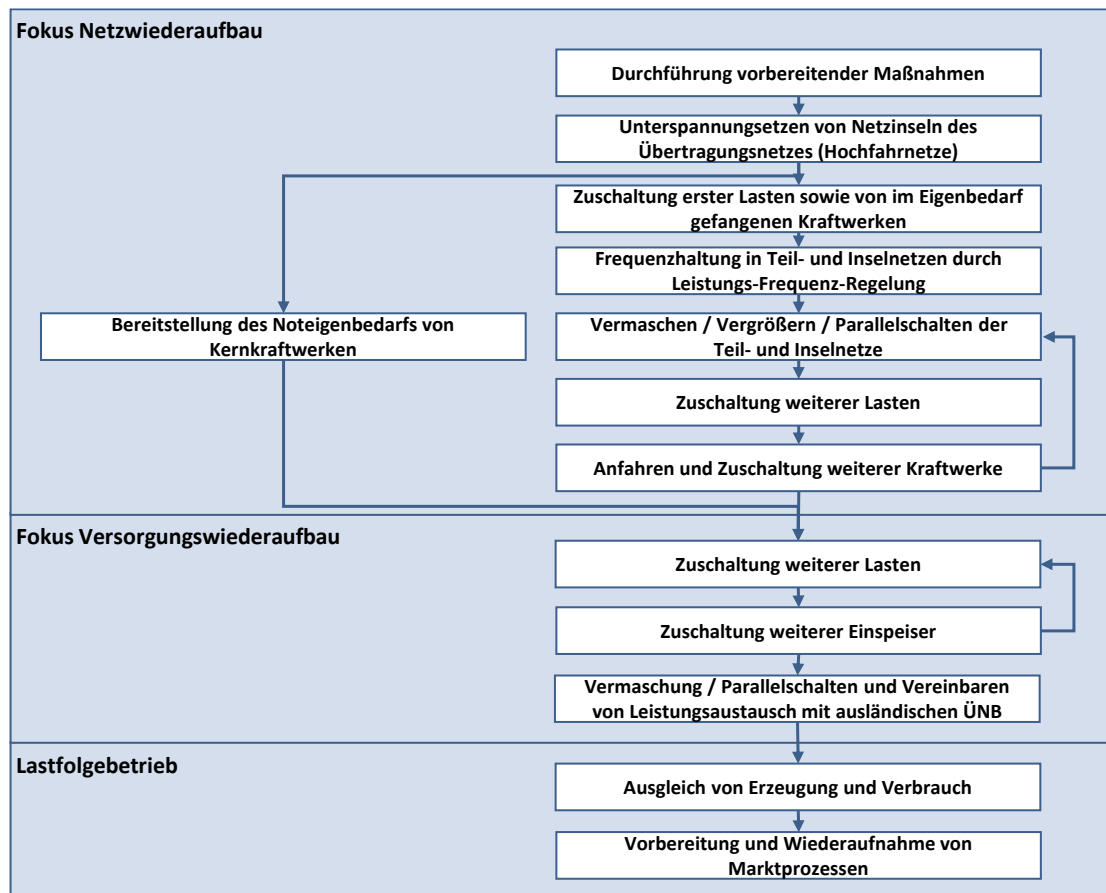


Bild 2.1: Typische Abfolge des NWA

2.4.2 Fokus Netzwiederaufbau

2.4.2.1 Vorbereitende Maßnahmen im Störfall

Bei einem vollständigen Netzzusammenbruch werden zunächst vorbereitende Maßnahmen ergriffen. Die Maßnahmen werden dabei jeweils im spannungslosen Netz durchgeführt. Erst nach Abschluss dieser Maßnahmen wird das Netz wieder unter Spannung gesetzt.

- **Heraustrennen des Netzbereichs:** Im ersten Schritt wird das unter Spannung zu setzende Übertragungsnetz isoliert. Hierzu wird es im spannungslosen Zustand von den Übertragungsnetzen benachbarter ÜNB sowie von allen unterlagerten Verteilungsnetzen getrennt. Das Ziel dieser Maßnahme liegt in einer Abtrennung von Netzbereichen, die nicht im Verantwortungsbereich des ÜNB liegen und deren Rückwirkungen auf den NWA nicht unmittelbar abgeschätzt werden können.
- **Vorbereitung des Übertragungsnetzes:** Im spannungslosen Zustand wird das Übertragungsnetz anschließend in einzelne Teilnetze oder Netzelemente getrennt. Die gewählten Teilnetze unterscheiden sich hinsichtlich der gewählten NWA-Strategie (Top-Down- oder Bottom-Up-Strategie). Die Zerlegung ist erforderlich, da unmittelbar nach Zuschaltung die noch leerlaufenden Leitungen stark kapazitiv wirken und ohne Kompensation (durch Aufnahme induktiver Blindleistung) eine Verletzung von Spannungsgrenzen bzw. der Betriebsgrenzen der angeschlossenen Erzeugungsanlagen droht. Dies wird präventiv umgangen durch Kompensationsspulen und den untererregten Betrieb der wenigen bereits wieder mit dem Netz synchronisierten Kraftwerke. Durch die Zerlegung in Teilnetze wird der Bedarf an

Blindleistung begrenzt. Im Extremfall erfolgt die Blindleistungsbereitstellung lediglich durch ein Kraftwerk.

- **Vorbereitung der Lasten:** Analog der Vorbereitung des Übertragungsnetzes wird auch das Verteilungsnetz in einzelne Teilbereiche getrennt. Dies erfolgt ebenfalls im spannungslosen Zustand. ÜNB und VNB sprechen sich dabei bilateral ab. Das Ziel besteht darin, möglichst Teilbereiche mit definierter, gut prognostizierbarer Last aufzuteilen und bereitzustellen, die anschließend beim NWA zugeschaltet werden können. Die Teilbereiche sind ebenfalls von der gewählten NWA-Strategie abhängig. Die von den VNB vorbereiteten Lasten liegen typischerweise in der Größenordnung von bis zu 40 MW, insbesondere in der ersten Phase des NWA liegen diese allerdings eher in dem Bereich einiger weniger MW.
- **Vorbereitung dezentraler Erzeugungsanlagen (DEA):** DEA trennen sich im Regelfall im spannungslosen Zustand vom Netz und schalten sich nach Wiederkehr der Spannung automatisch wieder ein. Um dadurch bedingte Leistungssprünge und negative Rückwirkungen der DEA auf den Prozess des NWA zu vermeiden, müssen sie durch den Anschlussnetzbetreiber nach Spannungswiederkehr ansteuerbar sein. Es ist erneut Aufgabe des VNB, Teilbereiche in seinem Netz zu identifizieren, die eine hohe Durchdringung mit DEA aufweisen und diese anzusteuern bzw. vom unter Spannung zu setzendem Netz zu trennen.
- **Aussetzen von Marktaktivitäten:** Bei einem vollständigen Netzzusammenbruch ist das Fortführen des Marktes nicht mehr möglich. Daher erfolgen die Aussetzung des Marktes sowie eine entsprechende Informationsübermittlung an die Marktteilnehmer. Von der Marktaussetzung ist neben dem Fahrplanenergiemarkt auch der Markt für Regelreserve betroffen.

Diese Maßnahmen werden unmittelbar nach Störungseintritt durchgeführt, allerdings sehen die Pläne des NWA der ÜNB vor, dass ein Großteil der Maßnahmen, insbesondere die Aufteilung der Netzbereiche in einzelne Teilnetze, bereits im Rahmen der Festlegung der NWAP von den Akteuren identifiziert und vorbereitet werden und damit die entsprechenden Maßnahmen im Fehlerfall schneller umgesetzt werden können. Zudem kann somit sichergestellt werden, dass die Akteure auch die notwendige technische Infrastruktur zur Durchführung der Maßnahmen bereithalten.

2.4.2.2 Unterspannungsetzen von Netzsinseln des Übertragungsnetzes

Nach Abschluss der vorbereitenden Maßnahmen wird das Übertragungsnetz anschließend wieder unter Spannung gesetzt. Bei der Bottom-Up-Strategie muss dies unabhängig von einer externen Spannungsvorgabe erfolgen. Die Netzbetreiber sind bei Planung und Umsetzung eines NWA notwendigerweise auf spezielle technische Fähigkeiten von Erzeugungsanlagen angewiesen. Dies sind insbesondere

- Schwarzstartfähigkeit und
- Inselbetriebsfähigkeit.

Schwarzstartfähige Anlagen (auch Schwarzstartanlagen) sind in der Lage, ohne externe Spannungsversorgung eine Spannung an einem Netzanschlusspunkt oder in einem vorgegebenen Teilnetz bereitzustellen. Dabei ist die wesentliche Herausforderung, dass beim Anfahren eines Kraftwerks zur Energieerzeugung zunächst eine Reihe von elektrischen Verbrauchern innerhalb des Kraftwerks (Eigenbedarf) bedient werden müssen. Üblicherweise wird die hierfür benötigte elektrische Energie aus dem Netz entnommen. Bei fehlender Netzspannung muss die Energie für diese Verbraucher jedoch kraftwerksintern, z. B. aus dieselbetriebenen Notstromgeneratoren, Batterien o. ä., bereitgestellt werden.

Da ÜNB nicht davon ausgehen können, dass im Blackout-Zustand hinreichend Kraftwerke, die sich im Eigenbedarf gefangen haben, für die erfolgreiche Durchführung der Bottom-Up-Strategie verfügbar sind, kontrahieren sie im Vorfeld schwarzstartfähige Anlagen im erforderlichen Umfang. Bei der Bereitstellung von schwarzstartfähiger Leistung handelt es sich um eine Systemdienstleistung, die entsprechend vertraglich festgehalten und vergütet wird. Bei der Kontrahierung schwarzstartfähiger Anlagen handelt es sich somit ebenfalls um eine vorbereitende Maßnahme im Rahmen der Festlegung der NWA.

Eine Schwarzstartanlage kann dabei aus mehreren Einheiten bestehen, wenn an einem gemeinsamen Netzanschlusspunkt die mit dem ÜNB abgestimmten und notwendigen Eigenschaften in Summe bereitgestellt werden können. Bisher waren die Anforderungen an Schwarzstartanlagen nicht verbindlich geregelt. Im Zuge der Umsetzung des Network Codes Requirements for Generators (NC RfG) erfolgten allerdings erste Vorgaben in den technischen Anschlussregeln (TAR) für Höchst- und Hochspannungsnetze. Weitere Anforderungen befinden sich aktuell im Genehmigungsverfahren der „Modalitäten für Anbieter von Systemdienstleistungen zum Netzwiederaufbau“.

Zu den technischen Anforderungen einer Schwarzstartanlage gehört eine autarke Eigenbedarfsversorgung. Die Bereitschaft zur Zuschaltung der Schwarzstartanlage auf das Netz muss gemäß aktuellem Diskussionsstand der Modalitäten innerhalb einer Stunde, in Ausnahmefällen innerhalb von zwei Stunden, nach Anforderung durch den Netzbetreiber vom Anlagenbetreiber hergestellt werden können. Zudem müssten schwarzstartfähige Anlagen über eine vergleichsweise schnelle Regeleinrichtung verfügen und in der Lage sein, eine Netzfrequenz nach Vorgabe des Netzbetreibers einstellen zu können und auf Änderungen der Last mit einer angemessenen Anpassung der Leistungsabgabe zu reagieren. Die Erfüllung dieser Anforderung ist notwendig, um einen stabilen Betrieb im Teilnetz gewährleisten zu können. Hierzu muss die Anlage in der Lage sein, die Frequenz und die Spannung vorgeben zu können und diese anschließend bei Lastsprüngen zu stabilisieren.

Da davon auszugehen ist, dass zum Zeitpunkt des Netzzusammenbruchs wie auch während des NWA die Telekommunikation deutlich eingeschränkt ist, müssen schwarzstartfähige Anlagen über schwarzfallfeste Kommunikationswege und über unterbrechungsfreie Stromversorgungen der Steuerungs- und Leittechnik verfügen.

Kontrahiert ein ÜNB eine Schwarzstartanlage mit Anschluss an ein 110-kV-Netz, schließt er mit dem betreffenden Anschlussnetzbetreiber eine Vereinbarung über den Zugriff auf die Anlage im NWA ab. Im Einsatzfall erfolgt die Kommunikation zwischen ÜNB und Betreiber der Schwarzstartanlage unter Einbeziehung des VNB, so dass dieser beim NWA sein Netz geeignet schaltet. Der VNB muss weiterhin sicherstellen, dass er über eine Schnittstelle zu seinem Kommunikationsnetz mit entsprechender Schwarzfallfestigkeit verfügt. Dies wird ebenfalls vertraglich vereinbart.

Eine Erzeugungsanlage wird als **inselbetriebsfähig** bezeichnet, wenn sie Frequenz und Spannung eines isolierten Teilnetzes über einen längeren Zeitraum innerhalb der für diesen Betriebszustand geltenden Grenzwerte stabil halten kann. Diese Fähigkeit ist insbesondere in den ersten Phasen des NWA von wesentlicher Bedeutung. Für Kraftwerke, die in der Hoch- und Höchstspannung angeschlossen sind, ist diese Eigenschaft gemäß den TAR verbindlich vorgeschrieben, so dass entsprechende Kraftwerke besonders für den NWA geeignet sind.

Kraftwerke, die in der Mittel- und Niederspannung angeschlossen sind, werden aktuell nicht direkt beim NWA berücksichtigt. Entsprechend konkretisieren die TAR für diese Netzebenen

ebenfalls keine Anforderungen. Aufgrund folgender Gründe werden diese Anlagen aktuell nicht berücksichtigt.

- Typischerweise wird die Anschlussspannungsebene von Kraftwerken anhand ihrer Leistung bestimmt. An die Hoch-/Mittelspannungs-Umspannebene werden in der Regel Kraftwerke mit einer Leistung bis zu ca. 20 MW angeschlossen, in Mittelspannungsnetze erfolgt ein Anschluss bis etwa 5 MW. Wenn ein NWA mit Spannungsvorgabe für das Höchstspannungsnetz über in diesen Spannungsebenen angeschlossene Kraftwerke erfolgen soll, muss sowohl das Netz unter Spannung gesetzt werden als auch alle weiteren Spannungsebenen einschließlich der dazwischenliegenden Umspannungsebene. Dementsprechend groß ist der Aufwand für das Spannungs-Blindleistung-Management dieser Netze und damit verbunden die Deckung des Blindleistungsbedarfs, der vom Kraftwerk bedient werden muss. Allein aufgrund des Blindleistungsbedarfs und der vglw. kleinen Kraftwerksleistungen erscheint es fraglich, ob ein in niedrigen Spannungsebenen angeschlossenes Kraftwerk in der Lage ist, eine Spannungsvorgabe für die überlagerten Netze bereit zu stellen.
- Zudem ist die überwiegende Zahl der in unterhalb der Hochspannungsebene angebotenen Lasten (z. B. Mittel-/Niederspannungs-Umspannstationen mit einer typischen Last von 20-40 MVA) in der Regel lediglich manuell zuschaltbar, so dass z. B. bei wiederkehrender Spannung in der Mittelspannungsebene automatisch alle daran angeschlossenen Verbraucher mitversorgt werden müssen. Um diesen Lastsprung beherrschen zu können, dürfte die Leistung von in der Mittel- oder Niederspannung angeschlossenen Kraftwerken in den allermeisten Fällen nicht ausreichend sein. Darüber hinaus wäre zu befürchten, dass die Netzfrequenz die kritische Frequenzschwelle von 49,0 Hz (automatischer frequenzabhängiger Lastabwurf) bzw. 47,5 Hz (Netztrennung von Erzeugungsanlagen) unterschreiten und hierdurch die Netzinsel wieder in sich zusammenbrechen könnte.
- Viele in der Mittel- und Niederspannung angeschlossene Anlagen verfügen darüber hinaus nicht über die gerade in den ersten Phasen des NWA zwingend notwendigen Eigenschaften der Schwarzstartfähigkeit oder Inselbetriebsfähigkeit.
- Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien trennen sich in Fehlersituationen ggf. automatisch vom Netz und resynchronisieren sich selbsttätig. Erzeugungsanlagen mit einem solchen Verhalten kommen als schwarzstartfähige Anlagen nicht in Frage.

Momentan haben die ÜNB schwarzstartfähige Anlagen mit einer Gesamtleistung von ungefähr 10 GW, teilweise unter Einbeziehung von VNB oder auch ausländischen ÜNB, kontrahiert. Weit überwiegend handelt es sich hierbei um Wasserkraftanlagen, teilweise aber auch um Gasturbinenkraftwerke. Hydraulische Kraftwerke sind darauf ausgelegt, ihre Maximalleistung aus dem Leerlauf innerhalb weniger Minuten erreichen zu können, während thermische Kraftwerke für den gleichen Vorgang deutlich mehr Zeit benötigen. Darüber hinaus haben hydraulische Kraftwerke im Vergleich zu ihrer Nennleistung einen geringen Eigenbedarf und stellen in der Regel keine oder nur geringfügige Anforderungen an eine zu erbringende Mindestleistung, so dass hydraulische Kraftwerke nahezu über ihren gesamten Leistungsbereich stetig eingesetzt werden können. Wasserkraftanlagen sind daher besonders im Rahmen von NWAP geeignet. Aufgrund der hohen Gradienten und hohen Flexibilität eignen sich bei den thermischen Kraftwerken speziell dafür ausgelegte Gasturbinen zur Bereitstellung von Schwarzstartfähigkeit. Entsprechend haben die ÜNB heute teilweise auch Gasturbinen kontrahiert. Zwar könnten grundsätzlich auch weitere thermische Kraftwerke bei der Bereitstellung von Schwarzstartfähigkeit berücksichtigt werden, aufgrund ihrer im Vergleich zu hydraulischen Kraftwerken und Gasturbinen geringeren

Flexibilität in Folge von geringeren Leistungsgradienten, dem hohen spezifischen Eigenbedarf und höherer Mindestleistung werden sie aktuell nicht von den ÜNB kontrahiert.

Die durchschnittliche standortspezifische Anlagengröße der aktuell von den ÜNB kontrahierten Anlagen beträgt etwa 350 MW. Die Anlagen sind somit bestens dazu geeignet, auch größere Lastsprünge beherrschen und einen stabilen Teilnetzbetrieb gewährleisten zu können. Die Anlagen sind dabei so geografisch verteilt, dass die ÜNB jeweils an verschiedenen Stellen im Übertragungsnetz das Netz unter Spannung setzen können. Das ist u. a. deshalb sinnvoll, weil im Störfall nicht auszuschließen ist, dass Teile des Übertragungsnetzes beschädigt sind und nicht zur Verfügung stehen. Eine redundante Vorhaltung von Schwarzstartfähigkeit erhöht somit die Wahrscheinlichkeit eines zügigen NWA. Jeder ÜNB sieht dabei mindestens zwei voneinander unabhängige Netzbereiche vor (sogenannte Kristallisationspunkte).

2.4.2.3 Bereitstellung des Noteigenbedarfs von Kernkraftwerken

Die Sicherung der Eigenbedarfsversorgung von Kernkraftwerken genießt besondere Priorität. Diese muss auch im Störfall unabhängig von der Kraftwerkseinspeisung sichergestellt werden, um bspw. eine Kühlung aufrecht zu erhalten. In Deutschland haben sich die ÜNB verpflichtet, dass nach einer Versorgungsunterbrechung den Kernkraftwerken innerhalb von zwei Stunden eine Spannungsvorgabe an einem abgestimmten Netzanschlusspunkt zur Verfügung gestellt werden muss³. Diese Anforderung gilt bis zur Aufkündigung des Anschlusses seitens des Anlagenbetreibers bei den ÜNB und somit ggf. 10 Jahre oder mehr nach Beendigung der Einspeisung.

Hiermit verbundene Anforderungen werden von den ÜNB bei der Erstellung der NWAP berücksichtigt. Dies kann auch implizieren, dass eigens schwarzstartfähige Kraftwerke in unmittelbarer Nähe zu den Kernkraftwerken kontrahiert werden, um insbesondere die zeitliche Anforderung von zwei Stunden einhalten zu können.

2.4.2.4 Zuschaltung erster Lasten sowie von im Eigenbedarf gefangener Kraftwerke

Parallel zur Bereitstellung des Noteigenbedarfs von Kernkraftwerken werden erste Lasten sowie im Eigenbedarfsinselbetrieb gefangene Kraftwerke zugeschaltet. Dabei wird stets auf ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Lasten und Einspeisungen geachtet, um das Netz nicht zu destabilisieren.

Da die schwarzstartfähigen Kraftwerke nur einen begrenzten Belastungssprung sicher ausregeln können, ohne Frequenzgrenzen zu verletzen und die Stabilität der Netzinsel zu riskieren, werden die Lasten nur schrittweise und im begrenzten Umfang zugeschaltet. Um das Risiko für einen Zusammenbruch der Netzinsel möglichst gering zu halten, wird aufgrund der durchschnittlichen Leistungsgradienten für Belastungssprünge für die Höhe der einschaltbaren Lasten vielfach die Größenordnung von 5 % der am Netz befindlichen Kraftwerksnennleistung genannt.

Insbesondere in der ersten Phase des NWA bei noch anfälliger Netzinsel werden vorrangig schwankungsarme Lasten mit eher geringer Höhe ans Netz genommen werden, um das Risiko für kritische Frequenz- und Spannungsschwankungen zu verringern. Typische Größenordnungen liegen im Bereich von einigen wenigen MW. Um ein unterfrequenz-bedingtes Abschalten ab einer Frequenz kleiner gleich 49,0 Hz zu verhindern, wird vor der Zuschaltung dieser Lasten die Netzfrequenz in der Netzinsel ggf. erhöht.

Ein zunehmend wichtiges Kriterium bei der Zuschaltreihenfolge ist neben der maximalen Lasthöhe auch die Prognostizierbarkeit der Lasten. Insbesondere bei nennenswertem Umfang

³ Dies erfolgt in Abstimmung mit der Reaktorsicherheitskommission.

dargebotsabhängiger Erzeugungsanlagen muss diesem Aspekt besondere Beachtung zukommen. Die Belastungsschwankungen, hervorgerufen durch sich bei wiederkehrender Netzfrequenz und -spannung zuschaltende DEA, müssen von den am Netz befindlichen regelbaren Kraftwerken ausgeregelt werden, um ein Aufschwingen des Systems durch zyklisches Ab- und Zuschalten der DEA zu vermeiden. Schlimmstenfalls sind Schutzauslösungen und in der Folge der Zusammenbruch der Netzinsel möglich.

Die Zuschaltung von Lasten wird auf Anforderung der ÜNB durch die VNB umgesetzt.

Im Abtausch mit der Zuschaltung der ersten Lasten werden im Eigenbedarfsinselbetrieb gefangene Kraftwerke zugeschaltet. Im Fall eines Netzausfalls trennen sich Kraftwerke bei Verlassen des Frequenzbereichs von 47,5 bis 51,5 Hz vom Netz. Im Optimalfall fangen sich diese Kraftwerke im Eigenbedarf und können sich über längere Zeit selbstständig versorgen. Bei wiederkehrender Spannung können diese Kraftwerke zügig wieder mit dem Netz synchronisiert werden und dabei gerade in frühen Phasen des NWA das Netz stabilisieren.

Allerdings können die Kraftwerke den Betriebszustand des Eigenbedarfs nicht beliebig lange, sondern typischerweise nur für einen Zeitbereich von wenigen Stunden aufrechterhalten. Die gesetzlichen Anforderungen schreiben einen Zeitbereich von mindestens 2 Stunden vor. Somit kommt der Zuschaltung dieser Kraftwerke bei einem schnellen NWA besondere Bedeutung zu.

Schwarzstartfähige Anlagen werden daher vorrangig für das Unterspannungsetzen von Netzteilen in Richtung anderer Erzeugungseinheiten genutzt, die zum einen zur Stabilisierung der Netzinsel beitragen und zum anderen die anschließende Deckung von zugeschalteten Lasten übernehmen. Zudem entlasten diese Kraftwerke die Primärenergieversorgung der schwarzstartfähigen Anlagen.

2.4.2.5 Frequenzhaltung in Teil- und Inselnetzen durch Leistungs-Frequenz-Regelung

Die Wiederaufnahme der technischen Leistungs-Frequenz-Regelung erfolgt zur Entlastung des Betriebspersonals so schnell wie möglich, aber in Abhängigkeit von der Netzwiederaufbaustrategie. Bei der Top-Down-Strategie wird die Leistungs-Frequenz-Regelung nach Rücksprache mit dem Frequenzkoordinator (im Regelfall der unterstützende ÜNB) aktiviert, sobald regelfähige Kraftwerkseinheiten am Netz zur Verfügung stehen und regelbereit sind. In diesem Fall kann die Aufnahme der Leistungs-Frequenz-Regelung bereits in einem frühen Stadium des NWA erfolgen. Bei der Bottom-Up-Strategie wird die Leistungs-Frequenz-Regelung aktiviert, wenn die Teilnetzinsel hinreichend stabil ist und über ausreichend regelfähige Einheiten verfügt. Je Netzinsel muss hierzu ein Leistungs-Frequenz-Regler sowie mindestens eine regelfähige Kraftwerkseinheit verfügbar und fernwirktechnisch ansteuerbar sein. Die Leistungs-Frequenz-Regelung muss hierbei nicht durch denselben Regler wie im Verbundbetrieb, sondern kann auch durch einen auf die Bedürfnisse des NWA reduzierten Regler erfolgen.

Diese technische Leistungs-Frequenz-Regelung ist nicht mit der marktlich organisierten Leistungs-Frequenz-Regelung gleichzusetzen. Zur Teilnahme an der Frequenzhaltung innerhalb der Teilnetze werden beim NWA alle Anlagen verpflichtet, die hierzu technisch in der Lage und mit dem Regler verbunden sind. Zu Beginn des NWA erfolgt eine reine Frequenz-Steuerung. In späteren Phasen des NWA, bei dem dann auch wieder Teilnetze miteinander parallelgeschaltet wurden, die über eigene Regler verfügen, erfolgt der Übergang zur Leistungs-Frequenz-Regelung und damit auch die stetige Einhaltung von Sollauslastungen zwischen den Netzbereichen.

2.4.2.6 Ausdehnung des unter Spannung gesetzten Übertragungsnetzes

Anschließend wird der Übertragungsnetzbereich ausgedehnt. Hierbei werden die einzelnen Netzeinseln vergrößert und zum frühestmöglichen Zeitpunkt parallelgeschaltet. Dies geschieht, um die Vermaschung des Netzes zu erhöhen und dessen Stabilität zu verstärken. Diese Vermaschung stellt dabei insbesondere auch ein Instrument zur Spannungshaltung in der Netzeinsel dar.

Bei der Vergrößerung der Netzeinseln werden Zug um Zug mit der Zuschaltung von Lasten ebenfalls sukzessive weitere Kraftwerke zugeschaltet und der wiederversorgte Übertragungsnetzbereich vergrößert. Der so schrittweise vergrößerte Übertragungsnetzbereich sowie die erhöhte Kraftwerksleistung führen dazu, dass die Höhe rotierender Masse im System zunimmt und dementsprechend der Abfall der Netzfrequenz bei Zuschaltung weiterer Lasten bzw. der Anstieg bei Zuschaltung von Erzeugern weniger stark ausgeprägt ist. Mit zunehmender Größe der Netzeinsel sinkt somit auch die Gefahr von systemkritischen Frequenzeinbrüchen durch Belastungsschwankungen.

Primär schalten die ÜNB hierbei Kraftwerke zu, die auf der Höchst- oder Hochspannungsebene angeschlossen sind, da diese Kraftwerke über die bereits oben diskutierten technischen Eigenschaften der Inselbetriebsfähigkeit verfügen und die Frequenz und die Spannung eines Teilnetzes stabil halten können. Gleichzeitig erfordert die Zuschaltung von auf oberen Spannungsebenen angeschlossenen Kraftwerken nicht gleichzeitig die Zuschaltung großer Netzteile mit unklarem Lastverhalten und ggf. erheblichem Blindleistungsbedarf.

2.4.3 Fokus Versorgungswiederaufbau

2.4.3.1 Zuschaltung weiterer Einspeiser und Lasten

Ist der NWA auf der Übertragungsebene hinreichend weit vorangeschritten und die Netzeinsel stabilisiert, rückt der VWA stärker in den Vordergrund. Dabei erfolgt die Zuschaltung noch verbleibender Einspeisungen und Lasten. Auch hierbei erfolgt, soweit möglich, ein steter Wechsel zwischen der Zuschaltung von Einspeisern und Lasten.

Zwar schalten die ÜNB zur weiteren Stabilisierung des Netzbereichs vorzugsweise regelfähige Kraftwerke zu, in dieser Phase des NWA ist allerdings zu erwarten, dass diese schon überwiegend zugeschaltet sein dürften. Somit erfolgt in diesem Schritt insbesondere eine Resynchronisierung von Anlagen auf den Verteilungsebenen.

Auch Netzbereiche der VNB, die im Zuge der vorbereitenden Maßnahmen nicht in Teilnetze zerlegt wurden und deren Einspeisungs- und Lasthöhe von den beteiligten Netzbetreibern nicht exakt prognostiziert werden können, werden beim VWA zugeschaltet. Insbesondere ist zu erwarten, dass auch Netzbereiche zugeschaltet werden, in denen eine starke Durchmischung von Lasten und DEA vorhanden ist und ggf. sogar die Einspeisung der DEA überwiegen. Aufgrund des zu diesem Zeitpunkt wieder großflächig versorgten Netzbereichs und der damit verbundenen Höhe rotierender Massen können solche Effekte aber in der Regel abgefangen werden.

Ein Bottom-Up-NWA erfolgt zunächst unabhängig von benachbarten Übertragungsnetzen (wenn auch in Deutschland eng koordiniert zwischen den vier deutschen ÜNB). Stromaustausche mit dem Ausland, die vor dem Störungseintritt stattgefunden haben, können deshalb im Regelfall nicht sofort wiederaufgenommen werden. Für den VWA können die ÜNB deshalb sicher nur auf in ihren Regelzonen angeschlossene Erzeugungsleistung zurückgreifen. Deren Verfügbarkeit bestimmt den erreichbaren Wiederversorgungsgrad.

Bisher konnte aufgrund einer die Spitzenlast übersteigenden gesicherten Erzeugungsleistung insbesondere aus thermischen Kraftwerken davon ausgegangen werden, dass ein vollständiger oder jedenfalls nahezu vollständiger VWA in Deutschland möglich ist.

2.4.3.2 Vermaschung / Parallelschaltung und Vereinbaren von Leistungsaustausch mit ausländischen ÜNB

Das finale Ziel des NWA besteht darin, wieder zum Normalbetriebszustand des Netzes zurückzukehren. Dies umfasst, dass der Netzbereich wieder in das Verbundsystem Kontinentaleuropa integriert wird.

In Folge eines Netzzusammenbruchs müssen zur Rückkehr zum Verbundsystem die entstandenen Teilnetze (auch in anderen Ländern), die jeweils isoliert voneinander mit eigener Netzfrequenz betrieben werden, wieder synchronisiert werden. Je nach Eigenschaft des Störereignisses kann eine Resynchronisation mit Netzbereichen anderer ÜNB bereits während der Phase des NWA oder des VWA sinnvoll sein und entsprechend von den ÜNB durchgeführt werden.

Die Parallelschaltung erfolgt über Parallelschaltgeräte in den Schaltanlagen der ÜNB. Hierzu werden Parallelschaltgeräte an essenziellen Feldern aller Schaltanlagen vorgehalten. Außerdem werden an ausgewählten Schaltanlagen die gemessene Netzfrequenz an das Netzleitensystem übertragen. Dies dient der Fehlereingrenzung und dem Erkennen von Teilnetzen sowie der Auswahl und Vorgabe der Netzfrequenz. Dabei findet ein Austausch der Frequenzmessungen zwischen den jeweils betroffenen ÜNB statt. Die ÜNB vereinbaren in diesem Zuge zudem den Leistungsaustausch an den Kuppelleitungen. Spätestens mit diesem Schritt erfolgt bei der Leistungsfrequenz-Regelung die Einhaltung von Sollauslastungen.

2.4.4 Lastfolgebetrieb

2.4.4.1 Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch

Nachdem sowohl der NWA als auch der VWA weitgehend abgeschlossen sind, wird das Elektrizitätsversorgungssystem von den ÜNB im Lastfolgebetrieb gesteuert. Hierbei erfolgt ein ständiger Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch. Der Betrieb der Kraftwerke orientiert sich dabei an der zeitlich veränderten Stromnachfrage. Die ÜNB planen hierbei den Kraftwerkseinsatz bzw. legen die Fahrpläne fest.

2.4.4.2 Vorbereitung und Wiederaufnahme von Marktprozessen

Eine Wiederaufnahme der Marktaktivitäten kann erfolgen, sofern die zur Aussetzung des Marktes zugrundeliegende Störung von den ÜNB behoben ist. Das bedeutet, dass sich das System wieder im Normalzustand befindet und das Übertragungsnetz wiederaufgebaut, synchron, stabil und belastet ist. Das Übertragungsnetz muss zudem wieder in das Verbundsystem integriert und die Versorgung der in den Verteilungsnetzen angeschlossenen Kunden sichergestellt worden sein. Zudem muss die technische Leistungs-Frequenz-Regelung aktiviert sein. Dieser Zustand muss über einen hinreichenden Zeitraum aufrechterhalten werden. Als Größenordnung sollte der Normalzustand etwa einen Tag andauern, bevor eine Wiederaufnahme der Marktaktivitäten erfolgen kann. Ein Großteil der Marktteilnehmer muss zur Wiederaufnahme der üblichen Marktaktivität bereit sein. Die ÜNB fragen diese Bereitschaft daher im Rahmen des Kommunikationsverfahrens ab.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, können die ÜNB die Wiederaufnahme der Marktaktivitäten einleiten und die betroffenen Marktteilnehmer entsprechend informieren. Die Verkündung des Marktstarts muss dabei mit einer Vorlaufzeit von mindestens drei Tagen erfolgen. Diese lange

Vorlaufzeit ist notwendig, da die Abwicklung marktbasierter Stromlieferungen erheblichen Vorlauf erfordert, z. B. für die Ermittlung von Last- und EE-Prognosen, Kapazitätsmodellen und weiteren Prozessen.

2.5 Welche Rolle haben die Akteure beim Netzwiederaufbau?

2.5.1 Übertragungsnetzbetreiber

Im Falle eines vollständigen Netzzusammenbruchs ist der jeweils betroffene ÜNB für die Koordination zuständig. Hierbei koordiniert er sich mit weiteren ÜNB, VNB sowie signifikanten Netznutzern (SNN). Dies bedeutet, dass alle durchgeführten Maßnahmen ausschließlich in Abstimmung mit dem jeweils zuständigen ÜNB oder auf dessen Anforderung umgesetzt werden dürfen und kein Akteur selbstständig Maßnahmen ergreifen darf. Der ÜNB stimmt sich eng mit weiteren Akteuren ab, wie **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** darstellt.

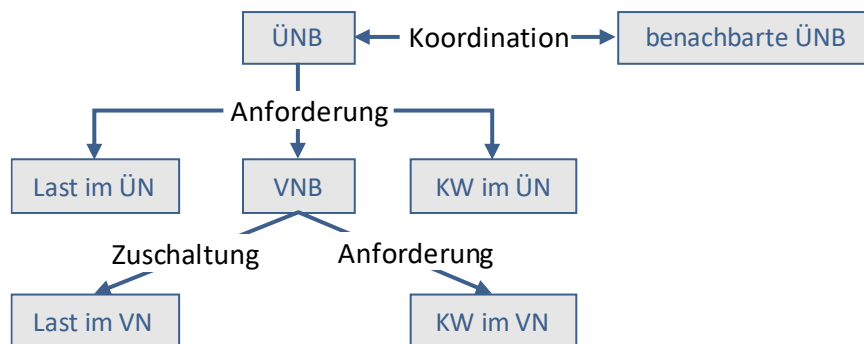


Bild 2.2: Koordination der Akteure beim NWA.

Zwar ist jeder ÜNB für den NWA in seiner Regelzone verantwortlich, die ÜNB koordinieren sich hierbei allerdings mit weiteren und insbesondere benachbarten ÜNB. Des Weiteren kann der ÜNB direkt am Höchstspannungsnetz angeschlossenen Anlagen wie Kraftwerken oder größeren Verbrauchern Anweisungen zu deren Betriebsverhalten geben.

Den ÜNB ist es hingegen im Regelfall nicht möglich, selbstständig umfangreich Lasten zuzuschalten. Dies ist Aufgabe des VNB. Der ÜNB fordert dabei im Bedarfsfall eine konkrete Lastscheibe, definiert über Höhe und Zeitpunkt, beim VNB an. Dieser ist anschließend für deren Bereitstellung zuständig.

Der Zugriff auf Kraftwerke im Verteilungsnetz erfolgt im Regelfall ebenfalls unter Einbeziehung des VNB. Teilweise kommunizieren die ÜNB allerdings auch direkt mit im Verteilungsnetz angeschlossenen Kraftwerken.

Im Fall eines Netzzusammenbruchs müssen die ÜNB ihre Handlungsfähigkeit sicherstellen. Hierfür werden zuvor ausgewählte Schaltanlagen mit Mitarbeitern der zuständigen Organisationseinheit besetzt. Der Anlagenbetrieb übernimmt dabei folgende Aufgaben:

- Störungsaufklärung in Zusammenarbeit mit der Systemführung
- Zustandsmeldung der Anlagenverfügbarkeit an die Systemführung
- Sicherstellung der Eigenbedarfsversorgung der Schaltanlagen
- Schalthandlungen auf Anweisung der Systemführung

Um sicherzustellen, dass im NWA-Zustand ein Informationsaustausch zwischen den Akteuren möglich ist, müssen die Akteure jeweils über ein Sprachkommunikationssystem mit ausreichend Redundanz und einer Backup-Stromversorgungsquelle (schwarzfallfest) verfügen.

2.5.2 Verteilungsnetzbetreiber

Während des NWA müssen die VNB den Anweisungen des jeweiligen ÜNB Folge leisten. Die Aufgabe der VNB beim NWA besteht vorrangig darin, auf Anforderung der ÜNB Lasteinschaltungen durchzuführen und hierbei die geforderte Lasthöhe und den Zeitpunkt der Lastzuschaltung zu erfüllen. Hierzu müssen VNB im Vorfeld entsprechende Konzepte in Zusammenarbeit mit dem zuständigen ÜNB entwickeln, die sowohl geeignete Trennungen des Verteilungsnetzes vorsehen als auch hinreichend robuste Prognosen der Lasten, ggf. unter Berücksichtigung des Einflusses von DEA, umfassen.

Infolge des Eintretens des Netzzusammenbruchs müssen VNB die Handlungsfähigkeit an besonders wichtigen Schaltanlagen sicherstellen. Hierzu kann es erforderlich sein, dass VNB festgelegte Schaltanlagen durch Personal besetzen und somit auf Anforderung des ÜNB zur Durchführung von Schalthandlungen reagieren können. Zu den relevanten Schaltanlagen gehören Anlagen:

- mit Übergabe zum ÜNB,
- in denen das Netz vorbereitend aufgetrennt wird,
- in Netzpfaden zu Schwarzstartanlagen des ÜNB,
- mit Kraftwerkanschluss.

Die Sicherstellung der Handlungsfähigkeit ist Aufgabe der VNB und liegt nicht im Verantwortungsbereich des ÜNB.

Darüber hinaus meldet der Anlagenbetrieb der Netzführung die Anlagenverfügbarkeit und trägt bei Bedarf zur Störungsaufklärung bei.

Beim Zuschalten der Last müssen VNB darauf achten, dass DEA keine negativen Rückwirkungen auf den NWA haben. Eine Zuschaltung von DEA erfolgt ebenfalls in Abstimmung mit dem ÜNB. Die VNB stellen sicher, dass sie die DEA nach Wiederkehr der Spannung gemäß § 9 und § 14 EEG 2017 steuern können.

Einige wenige städtische VNB verfügen über eigene Konzepte zum NWA. Motiviert werden diese Konzepte häufig durch kritische Infrastrukturen, wie bspw. Fernwärmenetze, die im Störfall nicht nass fallen dürfen, oder Tagebaue, bei denen der Pumpbetrieb aufrechterhalten werden muss. Entsprechende Konzepte sehen dabei allerdings keine Vollversorgung der von dem VNB belieferten Kunden vor.

Eigene NWAP gibt es bei den VNB somit lediglich in limitierter Anzahl und in Ausnahmesituationen. Solche Konzepte sind aus Sicht der ÜNB in den wenigen bestehenden und begründeten Ausnahmefällen (s. o.) sinnvoll und zulässig, sofern sie im Voraus mit den ÜNB abgestimmt sind, so dass diese sie im Rahmen ihrer NWAP berücksichtigen können. Im Regelfall erfolgt die Einbeziehung dieser Inselnetze in den NWA des ÜNB durch Resynchronisation. Es ist aber auch denkbar und in den NWAP der ÜNB konkret vorgesehen, dass die VNB zwischenzeitlich den von ihnen versorgten Netzbereich wieder spannungslos setzen und anschließend eine Wiederversorgung mittels Spannungsvorgabe aus dem Übertragungsnetz erfolgt, sofern keine Parallelschaltgeräte vorhanden sind.

2.5.3 Erzeugungseinheiten

Betreiber von Erzeugungsanlagen müssen während des NWA entsprechend der Regelungen des § 13 (2) EnWG den Anforderungen der ÜNB oder der VNB Folge leisten und ihre Anlagen entsprechend betreiben sowie die angeforderte Einspeiseleistung möglichst exakt erfüllen. Neben diesen unmittelbaren Anweisungen müssen sie darüber hinaus sicherstellen, dass sich die Anlagen im Störfall entsprechend der rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen verhalten. Hierzu müssen Erzeugungsanlagen insbesondere die Anforderungen der technischen Anschlussbedingungen des VDE erfüllen. Diese legen u. a. fest, in welchem Umfang Erzeugungsanlagen Dienstleistungen zur Bilanz- und Spannungshaltung bereitstellen müssen.

Für Erzeugungsanlagen am Hoch- und Höchstspannungsnetz sind zudem die entsprechenden TAR zu erfüllen, die vorschreiben, dass die Anlagen inselbetriebsfähig sind und Sollwerte für Bilanz- und Spannungshaltung abfahren können. Hierdurch sind sie in der Lage, die Frequenz und die Spannung eines isolierten Teilnetzes über einen längeren Zeitraum stabil zu halten, was insbesondere in der ersten Phase des NWA essenziell ist.

Schwarzstartfähigkeit ist laut TAR hingegen nicht zwingend erforderlich, sondern eine Eigenschaft einiger weniger Kraftwerke. Auf Anforderung des Anschlussnetzbetreibers müssen neu zu errichtende Kraftwerke allerdings ein Angebot für die Ertüchtigung der Anlagen und Erbringung der Schwarzstartfähigkeit vorlegen.

DEA sollen sich nach Möglichkeit im spannungslosen Netz und vor Einleitung erster Maßnahmen des NWA vom Netz trennen und nicht negativ bzw. ungesteuert auf das System einwirken, um negative Rückwirkungen auf den NWA auszuschließen und gleichzeitig zu einer besseren Prognostizierbarkeit der Last-/Einspeisesituation in einem Netzbereich beizutragen. Nach Spannungswiederkehr resynchronisieren sich DEA zwar wieder selbstständig mit dem Netz, müssen aber dabei die in den TAR der Mittel- und Niederspannung definierten Leistungsgradienten einhalten. Dieser darf nicht größer als 10 % der maximalen Wirkleistung pro Minute betragen. Zudem müssen DEA die Steuerbarkeit gemäß § 9 und § 14 EEG 2017 sicherstellen.

2.5.4 Marktteilnehmer

Marktteilnehmer müssen sicherstellen, dass ihre Handlungen den NWA nicht gefährden. Entsprechend erfolgt im Störereignis ein Aussetzen der Marktaktivitäten. Die Marktteilnehmer werden über die Aussetzung des Marktes durch die ÜNB informiert. Während des NWA bis zur Wiederaufnahme der Marktaktivitäten erfolgen der Kraftwerkseinsatz und die Versorgung der Stromverbraucher nicht auf Basis einer Koordination von Angebot und Nachfrage am Strommarkt, sondern aufgrund direkter Anweisungen der ÜNB im Rahmen des Lastfolgebetriebs. Gleiches gilt für die Leistungs-Frequenz-Regelung, die aus Kraftwerken erfolgt, die zwar am Netz und technisch dafür geeignet sind, im Voraus aber nicht gezielt für diese Systemdienstleistung marktlich beschafft wurden. Die Rolle der Großkraftwerke beim NWA wird mit den entsprechenden Betreibern besprochen. Darüber hinaus werden sonstige Marktteilnehmer, wie bspw. Lieferanten, nicht explizit bei den NWAP eingebunden.

2.6 Was sind die kritischen Erfolgsfaktoren beim Netzwiederaufbau?

2.6.1 Klare Verantwortlichkeiten und Systemfokus

Damit der NWA gelingen kann, müssen die Verantwortlichkeiten und die jeweils von den Akteuren zu übernehmenden Rollen klar geregelt sein. Der NC ER schreibt dabei vor, dass jeder ÜNB in Konsultation mit den relevanten VNB, SNN sowie weiteren ÜNB ein Konzept zum NWA

entwickeln muss. Diese Forderung umfasst dabei auch die Identifizierung von vorbereitenden Maßnahmen, die für die Ausübung der entwickelten NWAP im Falle einer Störung des Systemzustands zwingend notwendig sind. Diese Maßnahmen müssen von den jeweils verantwortlichen Akteuren umgesetzt werden. Beispielhaft können ÜNB Anforderungen an die Kommunikationstechnik definieren, die dann von relevanten VNB umgesetzt und eingehalten werden müssen. Die ÜNB sind zur Kontrolle der Umsetzung der Maßnahmen verpflichtet.

Der nationale Gesetzesrahmen konkretisiert dabei weiter die Verantwortlichkeiten. In der VDE-Anwendungsregel 4141-1 wird die Zusammenarbeit zwischen ÜNB und VNB beim NWA näher beschrieben. Diese legt fest, dass zunächst die Aufklärung der eingetretenen Netzsituation unabhängig von ÜNB und VNB durchzuführen ist. Die Ergebnisse der Situationsklärung sind anschließend zwischen ÜNB und VNB auszutauschen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse legt der ÜNB seine Vorgehensweise und Maßnahmenauswahl fest. Der ÜNB steuert bzw. koordiniert die Zuschaltung von Last und Stromerzeugung, um die Frequenz im Bereich der Zielfrequenz bzw. der Nennfrequenz zu regeln. Die VNB schalten auf Anweisung des ÜNB stufenweise die vorgegebene Last zu.

Die auf Basis dieses Rechtsrahmens entwickelten NWAP der ÜNB verfolgen dabei einen Systemfokus. Das bedeutet, dass das primäre Ziel des NWA in der Stabilisierung des Gesamtsystems liegt. Die Versorgung einzelner Kunden ist diesem Ziel entsprechend untergeordnet. Zwar könnte im Einzelfall die Versorgung einzelner Netzkunden durch lokale Konzepte, bspw. beim VNB zügiger erfolgen, es wäre aber zu erwarten, dass sich der Prozess des NWA für Gesamtdeutschland durch den organisatorischen und zeitlichen Mehraufwand für eine Vielzahl an Resynchronisationen insgesamt deutlich verzögern dürfte.

2.6.2 Robuste Netzwiederaufbaupläne

2.6.2.1 Abstimmung mit Nachbar-ÜNB

Während des NWA ist eine enge Koordination zwischen den ÜNB erforderlich. Diese umfasst nicht nur die Koordination einzelner Maßnahmen im Fehlerfall wie bspw. bei der Resynchronisation zweier Teilnetze, sondern auch bereits die Abstimmung der jeweiligen NWAP bei deren Entwicklung.

Gerade für ÜNB, in deren Regelzone bereits im Normalbetriebsfall ein unausgeglichenes Verhältnis zwischen Kraftwerks- und Verbraucherleistung vorliegt, ist es aus eigener Kraft schwierig möglich, einen hohen Grad der Wiederversorgung aller Netzkunden zu gewährleisten. In diesen Fällen sehen die NWAP eine schnelle Ausdehnung des Netzbereichs auch auf andere Regelzonen vor, so dass auf deren Kraftwerksleistung zugegriffen werden kann. Auch der unterstützende ÜNB berücksichtigt entsprechende Maßnahmen bei der Ausgestaltung seiner NWAP. Momentan streben alle deutschen ÜNB nach wie vor eine Lastdeckung aus eigener Kraft an.

2.6.2.2 Sichere Verfügbarkeit von schwarzstartfähigen Erzeugungsanlagen

Damit der NWA bei einem spannungslosen Übertragungsnetz möglich ist, müssen diverse Voraussetzungen erfüllt sein. Zum erfolgreichen Unterspannungsetzen des Übertragungsnetzes sind die ÜNB zunächst auf schwarzstartfähige Anlagen oder Anlagen, die sich im Eigenbedarf gefangen haben, angewiesen. Nur schwarzstartfähige Anlagen können auch ohne anstehende Netzspannung aus dem Stillstand hochgefahren werden und anschließend eine Spannungsvorgabe für andere nicht schwarzstartfähige Erzeugungsanlagen setzen.

Für den NWA ist es somit elementar, dass hinreichend Anlagen vorhanden sind, die diese Eigenschaften erfüllen. Um dies sicherzustellen, kontrahieren die ÜNB hierzu im Voraus

schwarzstartfähige Anlagen und stellen somit die für den NWA notwendige Leistung sicher. Die ÜNB achten dabei auf Redundanzen sowie auf eine geeignete geografische Verteilung der Anlagen. Dies ist notwendig, da die Anlagen zum einen keine 100%ige Verfügbarkeit gewährleisten können, da auch sie z. B. in Revision oder störungsbedingt nicht verfügbar sind und sich somit gegenseitig Reserve stellen müssen, und zum anderen die Schwächung des Übertragungsnetzes, insbesondere der Ausfall wichtiger Leitungsstränge, dazu führen kann, dass einzelne Anlagen in gewissen Situationen nicht für den NWA geeignet sind. Jeder ÜNB sieht dabei im Regelfall mindestens zwei voneinander unabhängige Netzbereiche vor, in denen er redundante schwarzstartfähige Anlagen kontrahiert.

Da diese Anlagen konzeptgemäß in einer frühen Phase des NWA durch weitere regelfähige Anlagen unterstützt werden, muss der Umfang der kontrahierten Anlagen die gesamte Wiederversorgung der Netzkunden nicht gewährleisten können.

2.6.2.3 Steuer- und Regelfähigkeit von Erzeugungsanlagen

Gerade in der ersten Phase des NWA ist es entscheidend, dass ein unter Spannung gesetztes Teilnetz stabilisiert und anschließend vergrößert werden kann. Hierfür sind Erzeugungsanlagen notwendig, die über Inselbetriebsfähigkeit verfügen. Diese Anlagen können durch eigene Regleinrichtungen Abweichungen von Netzfrequenz und Spannung von ihren Sollwerten entgegenwirken und somit systemdestabilisierende Grenzwertverletzungen vermeiden. Für einen erfolgreichen NWA müssen daher hinreichend viele dieser Anlagen am Netz sein.

Im Gegensatz zu schwarzstartfähigen Anlagen werden inselbetriebsfähige Anlagen nicht von den ÜNB kontrahiert, da aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen vorschreiben, dass Erzeugungsanlagen am Hoch- und Höchstspannungsnetz entsprechende Eigenschaften erfüllen müssen. Solange somit eine hinreichende Anzahl an Anlagen in der Regelzone des ÜNB am Hoch- und Höchstspannungsnetz angeschlossen sind, muss der ÜNB keine weiteren Schritte unternehmen.

2.6.2.4 Definierte Lastzuschaltungen

Neben diesen organisatorischen und erzeugungsseitigen Voraussetzungen müssen des Weiteren auch verbrauchsseitige Voraussetzungen erfüllt werden. Da auch die inselbetriebsfähigen Kraftwerke nur einen begrenzten Belastungssprung sicher beherrschen können, dürfen Lasten nur schrittweise und im begrenzten Umfang zugeschaltet werden. Insbesondere gerade in der ersten Phase des NWA bei noch kleiner Netzinsel werden vorrangig schwankungsarme Lasten mit eher geringer Höhe ans Netz genommen werden. Um diese Voraussetzung erfüllen zu können, ist es erforderlich, dass die Lasten durch die VNB hinreichend robust prognostiziert werden können. Somit muss der VNB das Verhalten der Lasten, auch insbesondere im Fall wiederkehrender Spannung kennen. Zudem kann es erforderlich sein, dass das Verteilungsnetz in geeignete Teilbereiche zerlegt werden muss, um Lasten mit den gewünschten Eigenschaften zu isolieren. Hierzu muss das Netz durch die VNB entsprechend vorbereitet werden.

2.6.3 Schwarzfallfeste Kommunikation

Beim NWA sind eine enge Koordination und ein enger Informationsaustausch zwischen den Akteuren notwendig. Dabei ist zu erwarten, dass das öffentliche Telekommunikationsnetz beim vollständigen Netzzusammenbruch und somit spannungslosen Übertragungsnetz ebenfalls von Einschränkungen betroffen sein dürfte und nicht zur Verfügung steht. Die am NWA beteiligten Akteure müssen daher jeweils über ein schwarzfallfestes Sprach- und Datenkommunikationssystem mit ausreichend Redundanz sowie einer Backup-Stromversorgungsquelle verfügen.

Zu den wichtigsten technischen Anforderungen gehört die im NC ER vorgeschriebene Sicherstellung der Verfüg- und Ansteuerbarkeit von kritischen IT-Systemen und Anlagen. Die ÜNB planen hierbei, aktuell eine Verfügbarkeit von 72 Stunden nach Ausfall der Stromversorgung umzusetzen. Die ÜNB folgen damit einer Empfehlung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) für Betreiber kritischer Infrastrukturen, wozu das Übertragungsnetz zählt. Entsprechend sehen die ÜNB auch eine geeignete Ausstattung wichtiger Kommunikations- und Schaltelemente bei schwarzstartfähigen Anlagen sowie bei VNB vor.

2.6.4 Training

Um im Ernstfall möglichst zeitlich unverzögert reagieren zu können, ist es erforderlich, die einzelnen Umsetzungsschritte und Maßnahmen zu proben. Hierfür führen die ÜNB regelmäßige Trainings durch. Die Trainings sind in der Regel ganz- oder mehrtägig ausgelegt und umfassen die Simulation verschiedener Störungsszenarien. Hierbei werden insbesondere die Durchführung einzelner Maßnahmen sowie die Kommunikation zwischen den Akteuren geprobt.

Die Trainings finden dabei sowohl regelzonenintern als auch mit anderen ÜNB statt. Die deutschen ÜNB koordinieren sich hierbei mit allen benachbarten ÜNB in unterschiedlichen Konstellationen. So finden Trainings innerhalb des DACH-Raums als auch in den sogenannten CEE- und CWE-Regionen (Central-East- und Central-West-Europe) statt.

Bei ausgewählten Trainings werden zudem direkt an das Übertragungsnetz angeschlossene VNB und Betriebspersonal von Kraftwerken und Schwarzstartanlagen einbezogen. Gemäß dem NC ER ist die Durchführung regelmäßiger Trainings für alle relevanten Akteure verpflichtend.

Neben diesen Simulationen haben die ÜNB in der Praxis zudem Betriebsversuche durchgeführt, um den NWA unter möglichst realen Rahmenbedingungen zu proben. Hierzu wurden ausgehend von schwarzstartfähigen Anlagen Netzbereiche unter Spannung gesetzt, die Kraftwerke mit Lasten belastet sowie Teilnetze resynchronisiert.

3 Energiewendebedingte Änderungen mit Rückwirkungen auf die Netzwiederaufbaupläne

3.1 Überblick

Die fortschreitende Umsetzung der Energiewende wird nachhaltige Rückwirkungen auf die NWAP haben. Diese werden insbesondere in neuen Herausforderungen, vereinzelt aber auch in Chancen bestehen. Soweit die bisherige Praxis sich zukünftig als nicht mehr durchführbar oder suboptimal erweist, müssen die NWAP allerdings an die veränderten Rahmenbedingungen angepasst werden. Bereits heute sind folgende energiewendebedingte Änderungen erkennbar:

- **Abnahme steuerbarer und gesicherter Erzeugungsleistung am Höchstspannungsnetz:** Durch den Übergang von fossil-thermischer zu dargebotsabhängiger erneuerbarer Stromerzeugung sinkt die steuerbare Erzeugungsleistung kontinuierlich. Fossil-thermische Anlagen nehmen aktuell insbesondere in der ersten Phase eine Schlüsselrolle beim NWA ein.
- **Zunahme erneuerbarer und dezentraler Erzeugungsleistung:** Im Abtausch mit der Abnahme der steuerbaren Erzeugungsleistung ist mit einer deutlichen Zunahme der Erzeugungsleistung auf Basis erneuerbarer und dargebotsabhängiger Energieträger zu rechnen. Diese Anlagen spielen bisher allerdings eine lediglich passive Rolle beim NWA und müssen daher geeignet integriert werden.
- **Neue Verbraucher:** Es ist absehbar, dass große Teile des heute noch über fossile Brennstoffe gedeckten Verbrauchs der Sektoren Wärme und Kälte sowie Verkehr zukünftig strombasiert gedeckt werden. Hierdurch dürften die Anzahl und Leistung aktiver Verbraucher wie bspw. die Nutzung von Elektromobilität, Wärmepumpen oder Wasserstoffelektrolyse zunehmen. Diese Verbraucher müssen entsprechend in den NWAP berücksichtigt werden.
- **Fortschreitende Digitalisierung und neuartige Netzbetriebsmittel:** Zuletzt hält die fortschreitende Digitalisierung vermehrt Einzug in den Energiesektor. Zum einen könnten den ÜNB hierdurch gegenüber heute zusätzliche Daten und Kommunikations-Infrastrukturen zur Verfügung stehen, zum anderen werden ÜNB Zugriff auf neuartige Betriebsmittel wie Hochspannungsgleichstromübertragungen haben. Es ist daher zu prüfen, inwiefern diese Veränderungen beim NWA genutzt werden können.

Die Rückwirkungen dieser energiewendebedingten Änderungen auf die NWAP werden im Folgenden jeweils diskutiert.

3.2 Abnahme steuerbarer und gesicherter Erzeugungsleistung am Höchstspannungsnetz

In Deutschland sind zur Umsetzung der Energiewende sowohl der Kernenergie-, als auch der Kohleausstieg politisch beschlossen. Der Kernenergieausstieg ist bereits weit fortgeschritten und wird bis Ende 2022 abgeschlossen. Zwar werden beim Kohleausstieg noch unterschiedliche Ausstiegspfade diskutiert, es ist aber absehbar, dass bereits in den nächsten 10 Jahren – und damit zeitlich überlagert mit der Stilllegung von Kernkraftwerken – umfassende Kapazitäten vom Netz gehen werden. Spätestens in 2038 dürfte sowohl auf den Einsatz von Braun- als auch von Steinkohlekraftwerken vollständig verzichtet werden. Gleichzeitig wird zwar – speziell mit Blick auf die Wärmeversorgung aus Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung – ein (teilweiser) Ersatz dieser Anlagen durch gasbefeuerte Kraftwerke diskutiert. Aufgrund der in den letzten Jahren stark gefallenem Großhandelspreise für Strom sowie dem Zubau von EE-Anlagen einerseits und der Bemühungen um eine Dekarbonisierung der Wärmeversorgung andererseits erscheint ein

Ersatz durch steuerbare Erzeugungsleistung in der gleichen Größenordnung allerdings äußerst fraglich. Aufgrund der angespannten wirtschaftlichen Lage einiger Kraftwerksbetreiber, hier insbesondere der Betreiber von Pumpspeicherkraftwerken, erscheint es darüber hinaus nicht unrealistisch, dass auch hydraulische Anlagen nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden können und entsprechend zur Stilllegung angemeldet werden. In der Konsequenz ist damit zu rechnen, dass in Deutschland die Erzeugungsleistung von am Höchstspannungsnetz angeschlossenen, steuerbaren Kraftwerkseinheiten stark abnehmen wird.

Solche Anlagen nehmen momentan eine Schlüsselrolle beim NWA ein. Die geschilderte Entwicklung ist für die NWAP somit kritisch zu bewerten. Davon sind unterschiedliche Ebenen des NWAP betroffen.

- **Abnahme schwarzstartfähiger Kraftwerke:** Während Kern- und Kohlekraftwerke als Erbringer von Schwarzstartfähigkeit keine Bedeutung haben, reduziert die drohende Stilllegung hydraulischer Anlagen inhärent Anzahl und Leistung schwarzstartfähiger Anlagen, die bei einer völligen Spannungslosigkeit des Übertragungsnetzes und einem NWA mit der Bottom-Up-Strategie unabdingbar sind. Zwar liegt die Kernaufgabe dieser Anlagen in dieser Phase des NWA vorwiegend in der Spannungsvorgabe für einen isolierten Netzbereich zum Aufbau einer Netzinsel und nicht in der Wiederversorgung aller Netzkunden⁴, so dass aktuell nur eine begrenzte Zahl und Leistung schwarzstartfähiger Anlagen benötigt wird. Allerdings müssen diese Anlagen hinreichende Redundanzen, eine dem NWAP entsprechend ausreichende Primärenergiebevorratung sowie eine geeignete geografische Verteilung aufweisen. Letztlich könnte eine starke Abnahme der schwarzstartfähigen Anlagen die Fähigkeit der ÜNB einschränken, Netzinseln aus eigener Kraft zu bilden und somit letztlich das Unterspannungsetzen des Übertragungsnetzes und damit den gesamten NWA gefährden.

Momentan kontrahieren die ÜNB schwarzstartfähige Anlagen über einen längeren Zeitraum. Somit ist sichergestellt, dass diese Anlagen nicht ohne Weiteres vom Netz gehen können. Selbst in dem Fall, in dem die Anzahl und Leistung schwarzstartfähiger Anlagen so weit abnehmen würde, dass ÜNB keine Vertragspartner zur Kontrahierung schwarzstartfähiger Anlagen mehr finden könnten, könnten heute bestehende und neu hinzukommende Anlagen nachgerüstet werden. Im Notfall könnten ÜNB auch eine Beschaffung schwarzstartfähiger Anlagen über Ausschreibungen durchführen. So wäre auch zukünftig eine hinreichende Zahl und Leistung schwarzstartfähiger Anlagen gesichert. Diese Entwicklung kann für einzelne Regionen herausfordernd sein, wenn entsprechende Anlagen eine Schlüsselrolle beim NWA einnehmen. Es ist aber in absehbarer Zukunft zumindest nicht damit zu rechnen, dass die Abnahme der zentralen Kraftwerksleistung dazu führen könnte, dass insgesamt nicht mehr ausreichend schwarzstartfähige Anlagen am Netz sind. Allerdings könnten sich durch die erforderliche Nachrüstung/Beschaffung die Kosten seitens der ÜNB zur Kontrahierung der Anlagen deutlich erhöhen.

- **Abnahme regelfähiger Kraftwerke:** Neben der Abnahme schwarzstartfähiger Kraftwerke verringert sich durch die Abnahme der steuerbaren thermischen Erzeugungsleistung auch die den ÜNB zur Verfügung stehenden Kraftwerke, die aktuell die Wirk- und Blindleistungsregelung beim NWA übernehmen. Das kann Risiken für einen erfolgreichen NWA in der sich

⁴ Bei schwarzstartfähigen Anlagen handelt es sich im Regelfall auch um regelfähige Anlagen, die im späteren Verlauf des NWA die Wirk- und Blindleistungsregelungen mit übernehmen. Unter Schwarzstartfähigkeit wird in diesem Kontext allerdings die Fähigkeit zur Unterspannungsetzung eines Netzbereichs verstanden.

nach dem Unterspannungsetzen des Übertragungsnetzes anschließenden Phase der Stabilisierung und Ausdehnung der Netzinsel bergen.

Bisher waren thermische Anlagen fast ausnahmslos am Höchst- und Hochspannungsnetz angeschlossen. Daher müssen sie gemäß den technischen Richtlinien des VDE die Eigenschaften zur Inselbetriebsfähigkeit erfüllen. Diese Anlagen sind somit in der Lage, auf Sollwertvorgaben für Frequenz- und Spannungshaltung mit Anpassungen der abgegebenen Wirk- und Blindleistung zu reagieren. Ein Mangel an Wirk- und Blindleistungsregelfähigkeit kann insbesondere dazu führen, dass in der ersten Phase des NWA die noch fragile Netzinsel wieder zusammenbricht und der NWA neu initiiert werden muss. Insbesondere ist nicht zu erwarten, dass die Eigenschaft der Inselbetriebsfähigkeit ohne Weiteres durch sonstige Anlagen kompensiert werden kann. Die Auswirkungen einer Stilllegung von Kraftwerken am Hoch- und Höchstspannungsnetz auf die NWA ist somit durch die ÜNB in jedem Einzelfall zu prüfen.

- Insbesondere die Regelung und Aufrechterhaltung der **Frequenz** ist gerade in der ersten Phase des NWA, bei noch vergleichsweise kleiner und somit fragiler Netzinsel, eine essenzielle Aufgabe. Der Rückgang entsprechender Anlagen begrenzt somit die Handlungsoptionen der ÜNB und damit deutlich deren Flexibilität in der ersten Phase des NWA. Gerade bei noch kleinen Teilnetzen reduziert sich durch die Abnahme regelfähiger Kraftwerke die zur Verfügung stehende Kraftwerksnennleistung. Auf deren Basis wird aber die Höhe der in einem Schritt maximal zuschaltbaren Last bestimmt. Als Richtwert für die Höhe der zuschaltbaren Lasten gilt eine Größenordnung von 5 % der am Netz befindlichen Kraftwerksnennleistung (rotierende Leistung). In der Konsequenz führt dies somit dazu, dass ÜNB die Last in den zur Zuschaltung vorgesehenen Netzbereichen genauer bestimmen und diese Netzbereiche aufgrund der kleineren freigegebenen Lastscheiben ebenfalls kleiner wählen müssen. Damit dürfte der NWA gegenüber heute deutlich mehr Zeit in Anspruch nehmen und komplexer werden.
- Auch die **Blindleistungsregelung**, die zur Einhaltung von Spannungsgrenzen zwingend erforderlich ist, wird durch die Abnahme der steuerbaren Erzeugungsleistung deutlich eingeschränkt. Ein Ersatz durch blindleistungsregelfähige Erzeugungsanlagen in den unterlagerten Spannungsebenen ist nicht direkt möglich, da zumindest ein Teil dieser Regelfähigkeit bereits für das Verteilungsnetz aufgewendet werden muss. ÜNB müssen daher zukünftig bei der Auswahl zuzuschaltender und anfangs leerlaufender Netzbereiche des Übertragungsnetzes noch stärker als bisher die eingeschränkten Möglichkeiten zur Blindleistungsbereitstellung beachten. Aufgrund der insgesamt abnehmenden Leistung von zentralen Kraftwerken wird dies voraussichtlich dazu führen, dass die zugeschalteten Netzbereiche von den ÜNB kleiner gewählt oder speziell für den NWA Kompensationsbetriebsmittel installiert werden müssen. Auch hierdurch dürfte die insgesamt für den NWA benötigte Zeitdauer ansteigen und dieser zudem grundsätzlich an Komplexität gewinnen.
- **Weniger Kraftwerke im Eigenbedarfsinselbetrieb:** Die Abnahme steuerbarer, v. a. thermischer Kraftwerksleistung dürfte weiterhin dazu führen, dass sich beim Netzzusammenbruch weniger Kraftwerksleistung im Eigenbedarfsinselbetrieb fangen wird. Kraftwerke im Eigenbedarfsinselbetrieb werden möglichst schnell nach Beginn des NWA resynchronisiert und hiermit gleichzeitig die Netzinsel vergrößert. Durch die damit verbundene Erhöhung der rotierenden Masse und der regelfähigen Kraftwerksleistung sowie der Möglichkeit, aus den Synchrongeneratoren der Einheiten Blindleistung bereitzustellen oder zu entnehmen, steigt

die Resilienz der Netzinsel gegenüber Spannungs- und Lastschwankungen. Kraftwerke im Eigenbedarfsinselbetrieb können deshalb einen wertvollen Beitrag in den ersten Phasen des NWA leisten und insbesondere dessen Dauer positiv beeinflussen. Mit sinkender Zahl der Anlagen sind somit eine steigende Komplexität und Dauer des NWA zu erwarten.

- **Regionale Verlagerung von Erzeugungskapazität:** Als Konsequenz der Energiewende nimmt die steuerbare Erzeugungsleistung nicht nur in Deutschland, sondern europaweit ab. Infolge der fortschreitenden Integration des europäischen Strombinnenmarktes werden Kraftwerksstandorte darüber hinaus zunehmend von lokalen Unterschieden bei den Erzeugungskosten bestimmt und lastfern gewählt. Gleichzeitig werden bei der Auslegung der Kraftwerkssysteme Portfolioeffekte aus grenzüberschreitendem Handel, z. B. hinsichtlich der (Nicht-)Gleichzeitigkeit von der Einspeisung erneuerbarer Energien und der Höchstlast realisiert. All diese Effekte werden in Deutschland zunehmend dazu führen, dass die steuerbare Erzeugungsleistung in vielen Netzregionen als auch bundesweit während weiter Teile des Jahres geringer ist als die Netzlast. Für einzelne Zeitpunkte wird die Erzeugungsleistung auch unter Berücksichtigung der Einspeisung dargebotsabhängiger Anlagen unterhalb der Netzlast liegen. Für die Zukunft erscheint es somit zunehmend wahrscheinlich, dass nicht nur einzelne Netzregionen, sondern auch Deutschland – wie auch andere europäische Länder – auf Stromimporte aus dem Gebiet des Strombinnenmarktes angewiesen ist. Im Normalbetrieb sind solche Stromimporte im Regelfall unkritisch und problemlos möglich (und wurden ggf. in der Situation vor Störungseintritt auch umgesetzt). Im NWA-Fall können solche Entwicklungen jedoch erschwerend wirken.
 - Bei der Abnahme der regelfähigen Kraftwerke sind regionale Unterschiede innerhalb Deutschlands auszumachen. In einzelnen **Netzregionen**, in denen bereits heute lediglich wenige regelfähige Kraftwerke am Netz sind, kann diese Entwicklung kritisch für die NWAP sein. Dabei ist insbesondere zu beachten, dass in der ersten Phase des NWA das Übertragungsnetz noch nicht vollständig unter Spannung gesetzt ist und ein überregionaler Leistungstransport nicht oder allenfalls nur stark eingeschränkt möglich ist. In diesen Fällen müssten sich die ÜNB gegenseitig unterstützen, wodurch die Komplexität des NWA sowie dessen Dauer deutlich zunehmen wird.
 - Diese Problematik kann allerdings auch flächendeckend und somit **deutschlandweit** auftreten. Bei dem Fall einer Aktivierung der NWAP und insbesondere der Bottom-Up-Strategie muss davon ausgegangen werden, dass die benachbarten Übertragungsnetze ebenfalls nicht in einem stabilen Betriebszustand sind und insbesondere marktlich vereinbarte Stromimporte nicht zur Verfügung stehen. Das kann bedeuten, dass in der Phase des VWA von den deutschen ÜNB nicht aus eigenen Mitteln die Wiederversorgung aller Kunden gelingt. Vielmehr müssten erst die benachbarten Systeme ebenfalls wieder in einem stabilen Betriebszustand betrieben und der grenzüberschreitende Stromaustausch wiederaufgenommen werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Höhe dieses Stromaustauschs normalerweise durch Marktprozesse koordiniert wird. Bis zur Wiederaufnahme des europäischen Stromhandels – mehrere Tage nach einem Netzzusammenbruch – müssen die ÜNB, einschließlich der europäischen Nachbarn, eine Bedarfsplanung initiieren. Im Falle einer Unterdeckung kann es vorkommen, dass es bei Teilen der Verbraucher zu Versorgungsunterbrechungen kommt. Im Umkehrschluss bedeutet die enge Verknüpfung innerhalb des Strombinnenmarktes auch, dass die deutschen ÜNB in Situationen, in denen Deutschland umfangreich Strom exportiert hat, die angrenzenden ÜNB bei der Wiederversorgung ihrer Endkunden ggf. unterstützen müssen. In diesen Situationen hängt die Wiederversorgung der

Endkunden im Ausland vom NWA in Deutschland ab. Somit ergeben sich auch dann, wenn der VWA mit in Deutschland gelegener Erzeugungsleistung vollständig möglich ist, zusätzliche Abstimmungserfordernisse. Die gegenseitige Abhängigkeit der ÜNB beim NWA wird daher zukünftig stärker zunehmen.

3.3 Zunahme erneuerbarer und dezentraler Erzeugungsleistung

Als Kehrseite des Rückgangs steuerbarer Erzeugung aus Großkraftwerken ist in Deutschland mit einer weiterhin deutlichen Zunahme der Erzeugungsleistung auf Basis erneuerbarer und dargebotsabhängiger Energieträger zu rechnen. Ein Großteil dieser Anlagen ist dezentral in den Verteilungsnetzen angeschlossen. Sowohl für ÜNB als auch für VNB bringt dieser Trend neue Herausforderungen bei der Entwicklung und Umsetzung der NWAP mit sich.

- **Erschwerte Prognosen für VNB:** DEA erschweren die Aufgabe der VNB, die Lastanforderungen seitens der ÜNB möglichst genau umzusetzen. In der Vergangenheit bestand eine vergleichsweise klare Trennung zwischen steuerbaren und direkt am Übertragungsnetz angeschlossenen Erzeugungseinheiten und überwiegend an das Verteilungsnetz angeschlossenen Lasten. Da zu jeder Zeit des NWA das Verhältnis zwischen Lasten und Einspeisungen im Gleichgewicht gehalten werden muss, ist es Aufgabe der VNB, die Lastanforderungen der ÜNB möglichst genau zu erfüllen und hierfür ein gutes Verständnis für die in einem Netzbereich des VNB angeschlossenen Verbraucher sowie deren Verhalten zu besitzen. Aufgrund der Zunahme der DEA findet momentan allerdings eine stärkere Durchmischung von Verbrauchern und Einspeisern auf der Verteilungsnetzebene statt. Für VNB ist es somit schwieriger möglich, das Verhalten der Netzkunden in einem Netzbereich zu antizipieren und die Anforderungen der ÜNB zu erfüllen. Erschwerend kommt hinzu, dass die DEA vorrangig dargebotsabhängig und somit prognosefehlerbehaftet sind. Somit ist die Systembilanzwirkung der Zuschaltung eines Verteilungsnetzbereichs im Rahmen des NWA mit deutlich höheren Unsicherheiten behaftet, als dies in der Vergangenheit der Fall war. Es ist dabei nicht auszuschließen, dass einige Netzbereiche aufgrund einer hohen Einspeisung aus DEA eine negative Residuallast aufweisen und die VNB dann aus Bilanzsicht eine Erzeugung zuschalten würden.
- **Geringe Unterstützung beim NWA:**
 - **Anschluss über Umrichter:** Der weit überwiegende Teil der DEA ist über Umrichter an das Stromnetz angeschlossen. Abhängig von der Steuerung dieser Umrichter ist die Toleranz gegenüber während des NWA typischerweise auftretender Frequenz- und Spannungsschwankungen deutlich geringer als bei Synchrongeneratoren, mit denen zentrale Kraftwerksleistungen mit dem Stromnetz verbunden sind. Dieser Zusammenhang dürfte insbesondere für Altanlagen gelten, bei denen das Verhalten der Umrichter in der Vergangenheit nicht im Hinblick auf Situationen des NWA eingestellt wurde. Bei neueren Anlagen könnten die Einstellungen der Umrichter hingegen angepasst und hierdurch das Verhalten der Anlagen bei Frequenz- und Spannungsschwankungen beeinflusst werden. Naturgemäß verfügen über Umrichter angeschlossene Anlagen aber nicht über frequenzgekoppelte rotierende Masse, die als Momentanreserve instantan und automatisch zu einer Begrenzung des Gradienten der Frequenzänderung aufgrund von Leistungsbilanzungleichgewichten beiträgt. Theoretisch ist dies zwar durch eine Kombination von Kurzzeitspeichern und entsprechender Umrichtersteuerung denkbar, dass Verhalten rotierender Massen zu emulieren, bisher verfügen DEA aber nicht über derartige Funktionalitäten.

- **Fehlende Schwarzstartfähigkeit:** DEA sind heute in der Regel nicht dazu ausgelegt, schwarzstartfähig zu sein und können keine Spannungsvorgabe zur Bildung einer Teilnetzinsel vorgeben. Anlagen, die heute über die Fähigkeit der Schwarzstartfähigkeit zumindest technisch verfügen, besitzen häufig keine schwarzfallfeste Kommunikationseinrichtung. Somit kann der ÜNB im spannungslosen Zustand keine gezielten Anforderungen an die Anlagen bzw. deren Betreiber senden.

Zwar konnte in Praxistests, insbesondere durch Wind- und Biomasseanlagen, bereits gezeigt werden, dass auch mit DEA eine Netzinsel initiiert und stabil betrieben werden kann, allerdings konnten die Netzinseln aufgrund der beschränkten Leistungsklasse der Anlagen dabei meist nur auf einige wenige MW ausgedehnt werden. Zudem wurden die dabei verwendeten Anlagen und insbesondere deren Kommunikationseinrichtungen für die Praxistests nachgerüstet. Ein systematisches und für die ÜNB nutzbares Potential besteht daher momentan nicht.

Hinzu kommt, dass DEA zum überwiegenden Teil in den unterlagerten Netzebenen angeschlossen sind. Eine Einbindung der Anlagen in den frühen Phasen des NWA würde somit die Einbindung vieler Akteure und die schwarzfallfeste Kommunikation zwischen diesen erfordern, wodurch die Komplexität steigen würde. Zudem müssten zur Nutzung des Potentials der DEA auch die unterlagerten Netzebenen im Schwarzfall ansteuerbar sein.

- **Autonomes Verhalten bei Spannungswiederkehr:** DEA trennen sich konzeptgemäß im Fehlerfall solange vom Netz, bis eine Spannungswiederkehr stattfindet. Bei Spannungswiederkehr findet eine selbstständige Resynchronisation der DEA mit dem Netz unter Einhaltung der vorgeschriebenen Leistungsgradienten von 10 % pro Minute statt (bei älteren Anlagen sind höhere Leistungsgradienten möglich). Die selbstständige Zuschaltung der DEA bei Spannungswiederkehr kann auch unter Einhaltung der Leistungsgradienten dazu führen, dass die Frequenz ansteigt. Dies gilt insbesondere, wenn die Kraftwerksleistung konventioneller Anlagen nicht in gleichem Maße reduziert werden kann. Steigt die Frequenz zu stark an, könnten sich Kraftwerke und sonstige Anlagen aus Selbstschutzgründen vom Netz trennen und es droht ein erneuter Netzzusammenbruch. ÜNB müssen daher gerade in den ersten Phasen des NWAs mit kleinen und daher fragilen Netzinseln sicherstellen, dass sich ausreichend regelfähige Kraftwerke am Netz befinden, um diesen Leistungsanstieg der DEA entgegenzuwirken. Alternativ müssen VNB in der Lage sein, den Leistungsanstieg der DEA durch eigene Steuereingriffe zu begrenzen, um die mit den ÜNB vereinbarte Übergabeleistung/Lastzuschaltung möglichst genau einzuhalten. Auch hierfür sind entsprechende Kommunikationseinrichtungen notwendig.
- **Erbringung von Systemdienstleistungen:** DEA sind momentan kaum in die Erbringung der Systemdienstleistung der Leistungs-Frequenz-Regelung eingebunden. Insbesondere Anlagen auf Basis erneuerbarer und dargebotsabhängiger Erzeugung wie Wind- und Fotovoltaikanlagen, die sowohl heute als auch mittel- bis langfristig eine dominante Rolle bei der Lastdeckung in Deutschland einnehmen werden, verfügen nicht oder nur bedingt über die technischen Voraussetzungen für eine Teilnahme an der Leistungs-Frequenz-Regelung. Zwar verhalten sich neuere Anlagen bei Schwankungen der Frequenz oder des Spannungsniveaus gemäß den in den TAR definierten Anforderungen und stützen die Frequenz bzw. die Spannung durch entsprechende Wirk- und Blindleistungsregelung (bei Überfrequenz drosseln die Anlagen ihre Einspeiseleistung,

bei Unterfrequenz dürfen sie ihre Einspeisung zumindest nicht reduzieren), eine gezielte Ansteuerung der Anlagen oder eine Vorgabe der Frequenz ist momentan hingegen nur in Ausnahmefällen, bspw. bei auf der Hoch- oder Höchstspannungsebene angeschlossenen Windparks, möglich. In der Vergangenheit wurden zwar bereits erste Windenergieanlagen für die Erbringung von Regelleistung präqualifiziert, dabei handelt es sich allerdings ausschließlich um das Produkt der Minutenreserveleistung und nicht der für den NWA relevanteren schnelleren Regelfähigkeit im Bereich der Primär- und Sekundärregelreserve. Zudem handelt es sich bei diesen Fällen bisher ausschließlich um Pilotprojekte. Für die Zukunft erscheint es allerdings durchaus denkbar, steuerbare Anlagen auf Basis erneuerbarer Energien aktiv, u. a. zur Vergleichmäßigung der Netzlast und zur Begrenzung von Leistungsbilanzungleichgewichten, zu nutzen. Diese würde es auch erlauben, derartige Erzeugungsanlagen während des NWA nicht vom Netz zu trennen, wie heute bei nicht steuerbarem Verhalten teilweise notwendig, sondern ihr Energieerzeugungspotenzial zur Wiederversorgung der Kunden zu nutzen. Dafür wäre allerdings nicht nur das Vorhandensein von Steuerungseinrichtungen auf Anlagenseite, sondern auch die Möglichkeit zur sicheren Kommunikation im NWA-Fall⁵ sowie zum aktiven Management durch die Anschlussnetzbetreiber notwendig.

- **Parallelschalten von Netzen nicht möglich:** DEA können im Regelfall nicht auf Frequenzvorgaben reagieren. Dies ist aber notwendig, um die Resynchronisierung von Teilnetzen unterstützen zu können und asynchrone Teilnetze „zusammenzufahren“. Somit wäre ein NWA aus dem Verteilungsnetz und insbesondere die Rückkehr zum Verbundsystem ausschließlich durch DEA und ohne sonstige Anlagen im Verteilungsnetz aktuell nicht möglich.
- **Offshore-Windenergieanlagen:** Neben dem Einfluss der DEA dürfte auf Erzeugungsseite zudem zukünftig die installierte Leistung von Offshore-Windenergieanlagen zunehmen. Diese Anlagen sind häufig gebündelt über Hochspannungsgleichstromübertragungs-Verbindungen (HGÜ-Verbindungen) an das Übertragungsnetz am Festland angeschlossen. Die Anlagen eignen sich insbesondere zur Lastdeckung beim VWA. Technologieabhängig kann (bei den überwiegend zum Einsatz kommenden spannungsgeführten Wechselrichtern in VSC-Technologie) mit der Konverterstation auf dem Festland eine Spannung vorgegeben und somit der NWA initiiert werden. Außerdem können aus den Konvertern weitere Systemdienstleistungen wie Blindleistung bereitgestellt werden. Offshore-Windenergieanlagen in Verbindung mit ihrer HGÜ-Verbindung können grundsätzlich schwarzstartfähig sein. Neben der Ausführung der Land-Verbindung in VSC-Technologie sind darauf aufbauend weitere kostenintensive Anpassungen und Modifikationen an den Anlagen erforderlich. Außerdem ist die Schwarzstartfähigkeit offensichtlich windabhängig und für den ÜNB nicht garantiert. Zudem nachteilig ist, dass die Standorte der Konverterstationen geografisch konzentriert im Norden Deutschlands geplant sind. Hierdurch können die für den NWA notwendigen Redundanzen alleine aus diesen Anlagen nicht gewährleistet werden. Dennoch kann die Berücksichtigung der Fähigkeiten der Offshore-Windenergie und insbesondere der Konverterstationen in den NWAP die Optionen der ÜNB beim NWA vergrößern.

⁵ Internetbasierte Kommunikation ist hier wegen des Risikos einer Nichtverfügbarkeit von Internetverbindungen während des NWA nicht ausreichend.

3.4 Neue Verbraucher

Neben dem Abtausch von zentraler mit vermehrt dezentraler Erzeugungsleistung ist darüber hinaus absehbar, dass große Teile des heute noch über fossile Brennstoffe gedeckten Verbrauchs der Sektoren Wärme/Kälte und Verkehr zukünftig strombasiert gedeckt werden, z. B. durch die Nutzung von Elektromobilität, Wärmepumpen oder Wasserstoffelektrolyse. Darüber hinaus dürfte die Anzahl und Leistung von Speicherapplikationen, bspw. in Kombination mit PV-Anlagen, zukünftig an Relevanz gewinnen. Es ist somit zu erwarten, dass in den nächsten Jahren im Stromsystem neue Verbraucher mit hoher Leistung und vom bisherigen Verbrauch abweichender Verbrauchscharakteristik auftreten werden.

- **Erschwerte Prognosen für VNB:** Der weit überwiegende Teil der neuen Verbraucher wird sich auf den Verteilungsebenen ansiedeln. Vergleichbar wie bei der Wirkung von DEA wird es für VNB somit zukünftig schwieriger, robuste Prognosen über das Lastverhalten in einzelnen Netzbereichen zu erstellen und die Anforderung der ÜNB hinsichtlich der zuzuschaltenden Lasten zu erfüllen. In diesem Zusammenhang wirkt es weiterhin erschwerend, dass diese Verbraucher auf die zwischenzeitliche Versorgungsunterbrechung mit einem nachholenden Verhalten reagieren dürften, um den vom Endkunden geforderten Primärbedarf, wie bspw. die Temperatur oder den Ladezustand, zu decken. Dies könnte dazu führen, dass nach Spannungswiederkehr diese Anlagen mit einer hohen Gleichzeitigkeit ans Netz gehen und zu einem starken Lastanstieg in kurzer Zeit führen, der die Regelfähigkeit der Netzinsel überfordern könnte. Vergleichbares Verhalten ist aktuell beispielsweise bei Kälteapplikationen, wie Kühlschränken oder Klimaanlage, ersichtlich.
- **Ansteuerbarkeit:** Ein Teil der neuen Verbraucher ist im Vergleich zu DEA bei vorliegender Spannung besser ansteuerbar, z. B. über Smart-Meter-Gateways. Dies betrifft alle Anlagen mit einer Anschlussleistung von mindestens 12 kW. Bei diesen Anlagen müssen die Anlagenbetreiber sicherstellen, dass VNB die Anlage bei Bedarf ansteuern können. Darüber hinaus sind alle Anlagen ansteuerbar, die gemäß § 14a EnWG reduzierte Netzentgelte in Anspruch nehmen. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu berücksichtigen, dass direkt nach einem Netzzusammenbruch die Kommunikationsverbindung bei vielen Anlagen ebenfalls ausfällt und nach Spannungswiederkehr erst in einem Zeitbereich von einigen wenigen Minuten bis zu Stunden wieder zur Verfügung steht. Anlagen, die mittels eines Internet- oder Telefonienetzes kommunizieren, wären erst wieder steuerbar, wenn diese Netze wieder stabil betrieben werden.

Die Erfüllung der Anforderungen ist seitens der Anlagenbetreiber aber mit zusätzlichen (Investitions-)Kosten verbunden. In der Praxis ist daher bereits ersichtlich, dass einige Anlagenbetreiber versuchen, diese Anforderungen zu umgehen, indem sie bewusst die Kenngrößen ihrer Anlagen beeinflussen. Bspw. gilt, wie bereits weiter oben aufgeführt, für Anlagen ab einer Leistung von 12 kW die Vorschrift der Ansteuerbarkeit seitens des VNB. Daher kann aktuell die Installation vieler Ladesäulen mit einer Leistung von lediglich 11 kW beobachtet werden, für die diese Vorschrift entsprechend nicht gilt und die somit beim NWA nicht vom VNB gesteuert werden können. Bei Spannungswiederkehr wäre somit ein gleichzeitiges ungesteuertes Laden mittels dieser Ladesäulen zu befürchten, was in einer hohen Lastspitze resultieren und den NWA gefährden könnte.

Darüber hinaus sind momentan Geschäftsmodelle in der Diskussion, bei denen neue Verbraucher an der Leistungs-Frequenz-Regelung teilnehmen sollen und somit ebenfalls zumindest seitens eines Aggregators ansteuerbar sind. Würde die grundsätzliche Ansteuerbarkeit auf einen Großteil der Anlagen zutreffen, könnten VNB über geeignete Steuersignale –

sobald die Kommunikationsinfrastruktur wieder zur Verfügung steht – zumindest einen hohen Lastsprung nach Spannungswiederkehr dämpfen. Es ist momentan noch nicht absehbar, mit welcher zeitlichen Verzögerung diese Anlagen auf Signale reagieren. Realistisch erscheint hier eine Bandbreite im Bereich weniger Minuten bei Anwendung von Rundfunksteuersignalen, die heute bei Nachtspeicherheizung und zukünftig bei Anlagen größer 12 kW sowie teilweise bei Anlagen, die unter den § 14a fallen, eingesetzt werden. Einige VNB sehen hingegen eine bidirektionale und schwarzfallfeste Kommunikation mit Anlagen vor, die gemäß § 14a ansteuerbar sein müssen. Für Anlagen, die an der Leistungs-Frequenz-Regelung teilnehmen, ist ebenfalls eine zeitlich nahezu unverzögerte Ansteuerung denkbar. Es bleibt aber fraglich, ob VNB bei diesen Anlagen über die Möglichkeit verfügen werden, entsprechende Steuersignale zu versenden, oder ob dies dem Betreiber der Anlagen, bspw. einem Aggregator (mit ggf. eingeschränkter Verfügbarkeit während des NWA), vorbehalten ist. Entsprechende Standards sind hier noch nicht final ausgestaltet. Bei einem Großteil zukünftig angeschlossener Anlagen wird aber aller Voraussicht nach eine bidirektionale Kommunikation und Ansteuerung möglich sein. Kritisch ist in diesem Zusammenhang zu bewerten, dass momentan die Verpflichtung der Ansteuerbarkeit nicht von jedem VNB in Anspruch genommen wird und VNB bewusst auf diese Möglichkeit verzichten. So nehmen einige VNB nicht die hierzu notwendige Kommunikationsinfrastruktur in Betrieb, da sie keine lokale Netzengpasssituation in ihrem Netz befürchten. In diesen Fällen ergeben sich für VNB somit keine Möglichkeiten der gezielten Beeinflussung des Anlagenverhaltens und dabei eine Unterstützung des NWA, auch wenn hierfür die rechtliche Grundlage bestünde.

Sollte eine zeitlich nahezu unverzögerte Steuerung der Anlagen möglich sein, erscheint es – ähnlich wie bei steuerbaren DEA - denkbar, Leistungsbilanzungleichgewichte in den Aufbaunetzen zu begrenzen bzw. diesen entgegenzuwirken und damit den NWA zu vereinfachen. Analog zu steuerbaren Erzeugungsanlagen, bei denen die Steuerung z. B. auf Basis der Kompetenzen des § 13 (2) EnWG durchgeführt wird, ist es für diese Unterstützung auch nicht notwendig, Anlagen vertraglich zu kontrahieren, wie dies bspw. bei schwarzstartfähigen Anlagen vorgenommen wird, und dabei ein Geschäftsmodell für diese Anlagen zu etablieren. Gleichzeitig erscheint es fraglich, ob für alle Anlagen eine Ansteuerbarkeit rechtlich vorzuschreiben ist, wie dies bei zentralen und am Hoch- oder Höchstspannungsnetz angeschlossenen Anlagen der Fall ist.

Die Steuerung würde vermutlich vorrangig durch den VNB wahrgenommen, um die Lastanweisungen des ÜNB möglichst genau zu erfüllen. Darüber hinaus könnte eine gezielte Einbindung einzelner Verbraucher, bspw. von im Hochspannungsnetz angeschlossenen Elektrolyseuren, in die NWAP geprüft werden.

3.5 Fortschreitende Digitalisierung und neuartige Netzbetriebsmittel

Neben den Veränderungen in der Erzeugungs- und Laststruktur ist auch zu erwarten, dass zukünftig vermehrt neuartige Netzbetriebsmittel installiert werden, die direkt am Höchstspannungsnetz angeschlossen sind und auf die die ÜNB direkten Zugriff haben werden. Zeitgleich dürften Netzbetreiber durch die fortschreitende Digitalisierung Zugriff auf neue und insbesondere für den NWA relevante Informationen und gegenüber heute zudem über mehr Zugriffsmöglichkeiten verfügen.

- **Neuartige Netzbetriebsmittel:** Hinsichtlich der neuartigen Netzbetriebsmittel sind in erster Linie die Inbetriebnahme von Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssystemen (HGÜ-Systeme) zu nennen, mit denen – wie bereits oben näher ausgeführt – Offshore-Windparks

an das Festland angeschlossen werden. HGÜ-Systeme werden darüber hinaus allerdings auch vermehrt als Punkt-zu-Punkt-Übertragungsstrecken innerhalb Deutschlands zur Überbrückung großer Distanzen oder international zwischen zwei Ländern zur Erhöhung des zulässigen Stromhandels realisiert. ÜNB können mit den HGÜ-Systemen sowohl eine Spannungs- als auch eine Leistungsflussregelung vornehmen. Verbindet die HGÜ-Verbindung zwei nicht synchrone Netzbereiche, ist zudem eine Frequenzregelung denkbar, wenn der unterstützende Netzbereich über die hierzu notwendigen Reserven verfügt. Darüber hinaus können HGÜ-Systeme in gewissen Konstellationen eine Netzinsel aufbauen und eignen sich somit zumindest technisch als schwarzstartfähige Anlage, wobei auch hier die Komplexität und der Abstimmungsbedarf für den NWA steigen.

Als weitere neuartige Netzbetriebsmittel in Höchstspannungsnetzen sind die sogenannten Netzboosteranlagen zu nennen, deren Einsatz in den Netzentwicklungsplänen der ÜNB vorgesehen ist. Pilotanlagen wurden seitens der BNetzA mittlerweile auch als Teil des Netzentwicklungsplans genehmigt. Eine Inbetriebnahme dieser Anlagen innerhalb der nächsten 10 Jahre erscheint dabei realistisch. Zwar ist die genaue Auslegung der Netzboosteranlagen nach unserem Wissensstand noch nicht final festgelegt, es ist aber bereits absehbar, dass voraussichtlich im Süden zentrale Batteriespeichersysteme und im Gegenzug im Norden zentrale Power-to-Heat-Anlagen, ggf. aber ebenfalls Batteriespeichersysteme installiert werden dürften. Durch die Batteriespeichersysteme hätten die ÜNB damit eine zusätzliche Möglichkeit, Teile des Übertragungsnetzes unter Spannung zu setzen und Netzinseln zu initiieren. Sowohl die Batteriespeichersysteme als auch die Power-to-Heat-Anlagen könnten zudem zur Wirkleistungsregelung genutzt werden und Netzinseln stabilisieren.

Die Netzentwicklungspläne der ÜNB sehen neben der Inbetriebnahme der Netzboosteranlagen darüber hinaus auch die umfassende Installation von sogenannten FACTS (Flexible AC Transmission Systems – (flexible Drehstromübertragungssysteme)) vor. Mit diesen Betriebsmitteln kann die Leistungsübertragung in Stromnetzen gezielt beeinflusst und insbesondere eine Spannungsregelung vorgenommen werden. Durch den direkten Zugriff der ÜNB auf diese Anlagen bieten sich erweiterte Möglichkeiten beim NWA.

Ende Juni 2018 haben die ÜNB gemäß § 11 (3) EnWG die besonderen netztechnischen Betriebsmittel (bnBM) ausgeschrieben. Durch die bnBM soll den ÜNB ein jederzeitiger Zugriff auf Kapazitäten gewährleistet werden, die flexibel und verlässlich helfen, das Übertragungsnetz zu stabilisieren. Der Einsatz der bnBM erfolgt ausschließlich für Belange der ÜNB. Eine weitergehende Vermarktung, wie bspw. eine Partizipation an den Großhandelsmärkten für Strom, ist nicht zugelassen. Insgesamt wurde ein Umfang von 1.200 MW technologieoffen und europaweit ausgeschrieben, der sich über vier Regionen im Süden Deutschlands erstreckt. Die Anlagen sollen den ÜNB ab dem Winter 2022 zur Verfügung stehen. Durch die geforderte Technologieoffenheit ist dabei nicht gewährleistet, dass die Anlagen schwarzstartfähig sind. Bisherige Zuschläge wurden jedoch an Gasturbinen vergeben, bei denen Schwarzstartfähigkeit zumindest umgesetzt werden könnte. Die ÜNB dürften allerdings jeweils direkten Zugriff auf diese Anlagen haben und könnten diese somit in ihre bestehenden NWAP integrieren.

Insgesamt ergeben sich den ÜNB durch die neuartigen Netzbetriebsmittel erweiterte Handlungsoptionen, die sich für den NWA als hilfreich erweisen könnten. Durch den direkten Anschluss dieser Betriebsmittel an die Hoch- und Höchstspannungsebene scheinen auch die Ansteuerbarkeit sowie die Kommunikation mit anderen Akteuren leichter möglich. Eine Einbindung in den NWAP erscheint daher sinnvoll und sollte überprüft werden.

- **Digitalisierung in Verteilungsnetzen:** Da die Höchst- und Hochspannungsnetze sowie die direkt daran angeschlossenen Netzkunden bereits heute Echtzeit-Informationen an die Netzbetreiber übermitteln und zu einem hohen Grad fernsteuerbar sind, betrifft die fortschreitende Digitalisierung in erster Linie die Verteilungsnetze sowie Netzkunden der entsprechenden Spannungsebenen. Insbesondere in den Netzen der Mittelspannungsebene gehen die Netzbetreiber vermehrt dazu über, fernauslesbare und fernsteuerbare Netzbetriebsmittel an wichtigen Knotenpunkten des Netzes zu installieren.

VNB erhöhen damit ihre Möglichkeiten, das Netz zu überwachen und ferngesteuert Topologiemassnahmen durchführen zu können. Auf Basis übermittelter Lastflussinformationen können VNB zudem das Einspeise- und Verbrauchsverhalten der von ihnen versorgten Kunden besser abschätzen. Im NWA-Fall ermöglicht das sowohl eine schnellere und ggf. kleinteiligere Trennung von Zuschaltnetzbereichen vom restlichen Netz als auch die genauere Erfüllung der Lastanforderungen des ÜNB. Voraussetzung hierfür ist allerdings ein schwarzfallfestes Kommunikationskonzept für die zum Einsatz kommende Netzleittechnik.

- **Smart-Meter:** Es ist zu erwarten, dass Endkunden in den nächsten Jahren vermehrt mit Smart-Metern ausgestattet werden und den Netzbetreibern somit Verbrauchs- bzw. Einspeiseinformationen mit nur kurzer zeitlicher Verzögerung zur Verfügung stehen, mit denen sie ihre Prognosen verbessern können. Im Optimalfall könnten solche Informationen genutzt werden, die von den ÜNB gestellten Anforderungen an Lastzuschaltungen genauer zu erfüllen. Zukünftig sollen die Smart-Meter über sogenannte Smart-Meter Gateways ebenfalls dazu genutzt werden können, dass einzelne Netzkunden von den Netzbetreibern gezielt angesteuert werden können.

Im Regelfall dürfte die Kommunikation mit Smart-Metern aber nicht schwarzfallfest sein, so dass mit den Geräten ausschließlich bei vorliegender Spannung kommuniziert werden kann. Bei zwischenzeitlichem Spannungsausfall ist die Ansteuerbarkeit zudem häufig zeitlich verzögert, da die zur Kommunikation notwendigen Systeme nach Spannungswiederkehr zunächst wieder hochgefahren werden müssen. Zudem ist die Steuerfunktion über Smart-Meter Gateways aktuell noch nicht umgesetzt. Der Nutzen von Smart-Metern zur Optimierung des NWA ist derzeit deshalb sehr gering.

4 Entwicklung von zukünftigen Netzwiederaufbauplänen

4.1 Brauchen die ÜNB ein grundlegend anderes Konzept für den Netzwiederaufbau?

Die aus der fortschreitenden Umsetzung der Energiewende hervorgehenden Herausforderungen werden die Komplexität der NWAP zwar deutlich anwachsen lassen, ihre bisherige Grundstruktur aber voraussichtlich nicht verändern.

Auch in absehbarer Zukunft wird der NWA sich zumindest in seiner Anfangsphase auf steuerbare und gesicherte Erzeugungsleistung von am Höchstspannungsnetz angeschlossenen thermischen- und hydraulischen Kraftwerken stützen. Es ist aber absehbar, dass die Anzahl und Leistung dieser Kraftwerke deutlich abnehmen wird. Diese Entwicklung kann für einzelne Regionen zwar herausfordernd sein, wenn entsprechende Anlagen eine Schlüsselrolle beim NWA einnehmen. Es ist aber aktuell nicht zu befürchten, dass die Vorhaltung von ausreichend schwarzstartfähigen Anlagen insgesamt zum NWA des Übertragungsnetzes nicht mehr möglich sein wird. Die Kosten für die Vorhaltung könnten deutlich ansteigen. Außerdem muss die geringere Verfügbarkeit von steuerbarer Kraftwerksleistung in den NWAP berücksichtigt werden. Dadurch wird der weitere Verlauf des NWA gegenüber heute komplexer und kleinteiliger und könnte eine längere Zeit in Anspruch nehmen. Sollte die steuerbare Kraftwerksleistung regional so stark abfallen, dass in diesen Regionen kein NWA aus eigener Kraft möglich ist, wären ggf. ergänzende Maßnahmen notwendig.

Deutliche Veränderungen sind hingegen mit Blick auf den VWA als zweite Phase des NWA zu erwarten. Auch hier gilt, dass die veränderte Erzeugungsstruktur zu steigender Komplexität und längeren Zeitdauern bis zur Wiederversorgung führen dürfte. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass ohne weitere Maßnahmen ein vollständiger VWA in Deutschland unabhängig vom Betriebszustand der benachbarten Übertragungsnetze nicht jederzeit sicher möglich sein dürfte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Deutschland – wie andere europäische Länder auch – zukünftig während einzelner Teilbereiche des Jahres auf Stromimporte zur Lastdeckung angewiesen sein wird. In einer solchen Situation ist eine vollständige Wiederversorgung erst nach Normalisierung des Betriebszustands der Nachbarnetze und auf Basis einer grenzüberschreitenden Kooperation der ÜNB erreichbar.

Erheblichen Einfluss auf die NWAP werden auch die zunehmende Durchdringung der Verteilungsnetze mit DEA und neuen aktiven Stromverbrauchern haben. Die Rolle der VNB beim NWA und VWA wird durch diese Akteure maßgeblich beeinflusst. Während in der Vergangenheit die Kernaufgabe der VNB beim NWA in der Erfüllung der Lastanforderungen seitens der ÜNB durch stückweise Zuschaltung geeigneter Netzbereiche lag, müssen VNB nun verstärkt auch gezielt Netzbereiche mit Erzeugung zuschalten und den Beitrag von Systemdienstleistungen von im Verteilungsnetz angeschlossenen Anlagen koordinieren. Hierfür müssen sie das Verhalten der DEA und neuen Verbraucher antizipieren und dieses geeignet beim NWA berücksichtigen. Insbesondere das weitgehend ungesteuerte Verhalten der DEA und neuen Verbraucher und die fehlende schwarzfallfeste Kommunikation mit diesen Akteuren machen den NWA zwar nicht unmöglich, erhöhen seine Komplexität aber deutlich. Gleichzeitig bringen DEA und neue Stromverbraucher – insbesondere wegen ihres Anschlusses in den Verteilungsnetzebenen und fehlender verlässlicher Steuerungsmöglichkeiten im NWA-Fall – auch bei grundsätzlich vorhandener technischer Flexibilität kaum einen zusätzlichen Nutzen, sondern eher Risiken für den NWA.

Parallel zum NWA des Übertragungsnetzes wird häufig auch ein aus Verteilungsnetzen initiiertes NWA diskutiert, bei dem Verteilungsnetzbereiche unter Spannung gesetzt und Kunden in diesen

Netzbereichen wiederversorgt werden. Eine solche Strategie ist aber nicht erstrebenswert und käme ohne erhebliche Zusatzmaßnahmen ohnehin nur für solche (vor allem städtische) Verteilungsnetzbereiche in Betracht, in denen noch signifikante Anteile steuerbarer Erzeugungsleistung bestehen. Hierbei wären umfassende und kostenintensive Nachrüstungen der Anlagen notwendig. Unabhängig von der fraglichen technischen Machbarkeit würde ein solcher paralleler NWA in den Verteilungsnetzen in der Vorbereitung, d. h. bei Aufstellung verteilungsnetzspezifischer NWAP inklusive zugehöriger stetiger Trainings signifikante Kosten verursachen und im NWA-Fall auf VNB-Seite erhebliche Ressourcen insbesondere in Form von Personal binden. Damit widersprechen solche Konzepte dem übergeordneten Systemfokus und verzögern den NWA aus dem Übertragungsnetz, der für die Wiederversorgung der Gesamtheit der Kunden und die Rückkehr zum Normalbetrieb entscheidend ist.

4.2 Was ändert sich für die einzelnen Akteure?

4.2.1 Rolle der ÜNB

Aufgrund der übergeordneten Verantwortung für den NWA beim ÜNB müssen alle absehbaren Veränderungen und deren Rückwirkungen auf den NWA bewertet und die bestehenden Pläne im Bedarfsfall durch die ÜNB überarbeitet werden. Letztlich ist es Aufgabe der ÜNB, zu gewährleisten, dass alle Phasen des NWA auch zukünftig gelingen. Dies schließt insbesondere auch die Abstimmung mit weiteren Akteuren wie benachbarten ÜNB und VNB ein.

ÜNB werden zukünftig die angemeldeten Stilllegungen eines am Hoch- oder Höchstspannungsnetz angeschlossenen Kraftwerks für jeden Einzelfall prüfen und bewerten müssen. Resultiert aus der Stilllegung eines konkreten Kraftwerksblocks eine Gefahr für den Erfolg des NWA, ist es Aufgabe der ÜNB, entsprechende Gegenmaßnahmen zu identifizieren und durchzuführen. Diese können beispielsweise im Nachrüsten von am Netz verbleibenden Kraftwerken, der Installation weiterer Netzbetriebsmittel, wie Phasenschieber oder FACTS, oder der Einstufung eines Kraftwerks als systemrelevant und somit dem Erhalt der Eigenschaften des Kraftwerks für Zwecke des Netzbetriebs liegen. Es ist dabei Aufgabe der ÜNB, die jeweils effizienteste Maßnahme zu identifizieren und durchzuführen.

Darüber hinaus sollten ÜNB prüfen, ob der fortschreitende Ausbau von Offshore-Windparks ein für die NWAP nutzbares Potential darstellt und die Offshore-Anlagen bei den NWAP berücksichtigt werden sollten. In diesen Fällen sind konkrete Maßnahmen wie bspw. das Verhalten im Schwarzfall oder die Installation von schwarzfallfester Kommunikationsinfrastruktur zu bestimmen. Zudem sollte der Aufbau einer Netzinsel ausgehend von Konverterstationen durch Trainings simuliert und in der Praxis geprobt werden. Bevor Offshore-Windparks in die NWAP integriert werden können, sind somit zunächst die Klärung des Potentials sowie umfassende Simulationen zur Klärung insbesondere des technischen Verhaltens, Praxistests und Trainings notwendig.

Steigende Bedeutung wird die Koordination mit angrenzenden ÜNB, mit unterlagerten VNB sowie mit relevanten Netznutzern bekommen. Auch heute schon müssen ÜNB sich in Abhängigkeit von der Strategie des NWA (Top-Down- oder Bottom-Up) mit den benachbarten ÜNB abstimmen. Zukünftig wird gegenüber heute jedoch die Notwendigkeit zur gegenseitigen Unterstützung der ÜNB insbesondere in der Phase des VWA deutlich erhöht sein, da absehbar ist, dass einzelne ÜNB in Abhängigkeit vom Dargebot erneuerbarer Energien eventuell nicht alle in ihrer Regelzone angeschlossenen Endkunden vollständig aus eigener Kraft wiederversorgen können.

Auch zukünftig werden ÜNB nicht direkt auf Erzeuger oder Verbraucher im Verteilungsnetz zugreifen, sondern sich hierzu mit den jeweils verantwortlichen VNB abstimmen. Analog zu heute werden die ÜNB dabei konkrete Lastscheiben beim VNB anfordern. Es erscheint allerdings auch möglich, dass ÜNB auch vermehrt Erzeugung oder Unterstützung bei der Übernahme von Systemdienstleistungen beim VNB anfragen werden. Hierzu müssen ÜNB und VNB in enger Absprache sicherstellen, dass die jeweils erforderliche Kommunikation sowie die beiderseitigen Schaltmaßnahmen auch im Schwarzfall für einen hinreichend langen Zeitraum durchführbar sind.

Neuartige und direkt am Übertragungsnetz angeschlossene Netzbetriebsmittel können den NWA beschleunigen und die Handlungsoptionen der ÜNB erweitern. Eine Einbindung dieser Anlagen in die NWAP und die Nutzung des Potentials sollte von den ÜNB daher überprüft werden. Analog zur eventuellen Nutzung des Potentials von Offshore-Windparks sind hierzu zunächst umfassende Simulationen zur Klärung insbesondere des Potentials und des technischen Verhaltens sowie weiterführende Praxistests und Trainings notwendig.

Um sicherzustellen, dass beim NWA ein Informationsaustausch zwischen den Akteuren möglich ist, müssen die Akteure jeweils über ein Sprachkommunikationssystem mit ausreichend Redundanz und einer Backup-Stromversorgungsquelle verfügen. Es ist Aufgabe der ÜNB, die Anforderungen an diese Kommunikationssysteme bei den Akteuren zu identifizieren und deren Einhaltung seitens der Akteure zu überprüfen, wobei diese ihren Verpflichtungen anforderungs- und konzeptgemäß in Tests nachkommen müssen.

4.2.2 Rolle der VNB

Die zukünftige Rolle der VNB beim NWA wird gegenüber heute deutlich anspruchsvoller sein. Zwar besteht die Kernaufgabe der VNB heute wie zukünftig darin, auf Anforderung der ÜNB Netzbereiche mit definierter Last und Einspeisern zu identifizieren, vom restlichen Netz zu trennen und zuzuschalten. Diese Aufgabe wird aber deutlich komplexer, da VNB zukünftig die zunehmende Durchdringung der Verteilungsnetze mit unterschiedlichen Arten dezentraler, i. d. R. dargebotsabhängiger Einspeiser und neuer, aktiver Stromverbraucher berücksichtigen müssen. Des Weiteren ist vorstellbar, dass im Verteilungsnetz angeschlossene Anlagen zukünftig vermehrt einen höheren Beitrag bei der Übernahme und Erbringung von Systemdienstleistungen erbringen werden. Diese zu koordinieren wird ebenfalls Aufgabe des VNB sein.

Dies dürfte dazu führen, dass VNB ihre bisherigen Konzepte deutlich überarbeiten müssen. Davon dürfte sowohl die Trennung geeigneter Netzbereiche der Verteilungsnetze als auch das Monitoring der sich in diesen Netzbereichen jeweils befindlichen Lasten und Einspeiser betroffen sein.

VNB müssen dafür Sorge tragen, dass bei Spannungswiederkehr die DEA und neuen Verbraucher möglichst keine negativen Rückwirkungen auf den NWA haben. Ein Weg kann dabei darin bestehen, die zugeschalteten Netzbereiche so auszuwählen, dass diese möglichst ausschließlich Einspeiser oder Verbraucher umfassen und somit eine Durchmischung der Anlagen vermieden wird. Hierdurch würden VNB die Prognosegüte der Residuallast eines Netzbereichs anheben. Es erscheint hierzu angemessen, dass VNB ihr Netz an wichtigen Netzknotenpunkten schwarzfallfest fernauslesbar- und fernsteuerbar ausrüsten, um möglichst flexibel auf Lastanforderungen bzw. zukünftig auch ggf. Leistungsanforderungen der ÜNB reagieren zu können.

Es erscheint aber zukünftig unumgänglich, dass bereits in frühen und somit sensiblen Phasen des NWA von den VNB auch Netznutzer zugeschaltet werden müssen, die ein ungesteuertes und aus Sicht des NWA ungewünschtes Verhalten aufweisen. Für solche Fälle müssen VNB gewährleisten können, dass dieses Verhalten den NWA nicht nachhaltig gefährdet, z. B. in dem solche

Netznutzer direkt nach Spannungswiederkehr abgeregelt werden. Auch wenn das Verhalten dieser Netznutzer bei den VNB nicht zu lokalen Netzengpässen führt, kann eine Ansteuerung der Netznutzer und hierzu die Installation der notwendigen Kommunikations- und Steuerungsinfrastruktur dennoch notwendig sein.

Wie bereits zuvor beschrieben, sollten VNB im Regelfall von lokalen NWA, die einen zum NWA auf der Übertragungsebene parallelen NWA für einzelne Verteilungsnetzbereiche vorsehen, auch zukünftig absehen. Die Vorhaltung lokaler NWA würde, so sie sicher funktionieren sollen, hohe Kosten verursachen, die in keinem Verhältnis zur extrem geringen Anwendungswahrscheinlichkeit stünden. Noch entscheidender ist, dass lokale NWA aus Gesamtsystemsicht sogar nachteilig sein können, da sie VNB- und kundenseitige Ressourcen binden und dadurch den übertragungsseitigen NWA, der eine Voraussetzung für die Rückkehr zum Normalbetrieb ist, insgesamt deutlich verzögern könnten. Analog zu heute sollten lokale NWA ausschließlich der Versorgung kritischer Netzinfrastrukturen dienen und mit dem jeweils zuständigen ÜNB abgestimmt sein.

4.2.3 Rolle neuer Akteure

Sowohl DEA als auch neue aktive Stromverbraucher nehmen bisher eine fast ausschließlich passive Rolle beim NWA ein und werden nicht gezielt von den ÜNB oder VNB angesteuert. Momentan ist es vielmehr Rolle des VNB, negative Rückwirkungen auf den NWA durch das autonom gesteuerte Verhalten der DEA und neuen Stromverbraucher zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren.

Zukünftig wird aber die Durchdringung der DEA und der neuen aktiven Stromverbraucher in Deutschland weiter ansteigen, so dass auch bereits in frühen Phasen des NWA mit vergleichsweise wenig rotierender Masse im System VNB Netzbereiche zuschalten müssen, die sowohl DEA als auch neue Verbraucher enthalten. Ohne weitere Maßnahmen könnten sich aus deren Verhalten negative Rückwirkungen auf den NWA bis hin zur Destabilisierung der Netzinsel ergeben.

Um dennoch gewährleisten zu können, dass der NWA gelingen kann, müssen DEA und die neuen Verbraucher beim NWA mehr Verantwortung übernehmen. Diese könnte einerseits darin bestehen, dass ein Anlagenverhalten definiert wird, das bei Spannungswiederkehr nach länger andauernden Spannungsunterbrechungen einzuhalten ist. Hierdurch könnten hohe Einspeise- bzw. Lastspitzen vermieden werden. Andererseits wäre es darüber hinaus auch denkbar, dass die neuen Akteure vom Netzbetreiber gezielt ansteuerbar sind und der Netzbetreiber fallabhängig das Verhalten der Anlagen steuern kann. Dadurch könnten DEA und neue Verbraucher aktiv dazu beitragen, dass VNB die Lastanforderungen der ÜNB genau erfüllen können und somit das Risiko erneuter Netzzusammenbrüche sowie die Dauer des NWA verringern können. Denkbar wäre z. B., dass zumindest Anlagen, die an der Leistungs-Frequenz-Regelung teilnehmen, durch den VNB direkt und zeitlich unverzögert gesteuert werden können.

Es erscheint hingegen auch zukünftig nicht notwendig, die Anlagen flächendeckend mit schwarzfallfester Kommunikationstechnik auszustatten. Darüber hinaus ist aktuell auch nicht erkennbar, dass eine aktive anlagenscharfe Einbeziehung von DEA und aktiven Verbrauchern in die NWA der ÜNB, z. B. als Anlagen zur Erbringung von Schwarzstartfähigkeit, notwendig oder technisch-wirtschaftlich sinnvoll wäre. Weder besteht hier in absehbarer Zeit ein Mangel geeigneter technischer Einheiten, noch erscheinen auf den Verteilungsebenen angeschlossene Anlagen für diese Aufgabe besonders geeignet.

5 Handlungs- und Entscheidungsbedarf auf politischer und regulatorischer Ebene

Mit der Umsetzung der Energiewende müssen die bestehenden NWAP zwar nicht vollständig neu gedacht, dennoch aber an vielen Stellen angepasst werden. Dies hat Konsequenzen für die Aufgaben und Rollen der Netzbetreiber und Netznutzer im Zusammenhang mit dem NWA. Die vorausgegangenen Ausführungen haben aber gezeigt, dass die zukünftige Ausgestaltung der NWAP nicht alleine abhängig von den Akteuren ist. Vielmehr bestehen hier Freiheitsgrade, Ausgestaltungsmöglichkeiten und ggf. Interessenunterschiede zwischen den verschiedenen Akteuren, die eine Spezifikation der politisch-regulatorischen Rahmenbedingungen für den NWA sinnvoll erscheinen lassen. Dies betrifft insbesondere folgende Aspekte:

- **Zusammenarbeit zwischen ÜNB und VNB:** Sowohl heute als auch zukünftig kann der NWA nur gelingen, wenn ÜNB und VNB eng zusammenarbeiten. Dabei werden sich insbesondere die Anforderungen an VNB erhöhen. Auch zukünftig werden VNB Netzbereiche mit definierter Last und Einspeisung identifizieren und zuschalten sowie die Erfüllung der Anforderung während des NWA kontrollieren müssen. Die verlässliche Erfüllung dieser Aufgabe erfordert aber wegen der Durchmischung traditioneller Verbraucher mit dezentraler Einspeisung und neuen aktiven Verbrauchern deutlich detailliertere Analysen und Vorhersagen als in der Vergangenheit und eine enge Kommunikation mit den ÜNB. Hier kann eine Klärung der Verantwortlichkeiten durch politische und regulatorische Vorgaben sinnvoll sein. Der NC ER legt hierbei bereits den Grundstein, in dem er unter anderem festlegt, dass ÜNB eine Maßnahmenliste mit für den NWA notwendigen vorbereitenden Schritten erarbeiten und an für den NWA relevante Akteure, und somit auch insbesondere VNB, senden müssen. VNB müssen diese Maßnahmen entsprechend umsetzen.

Es erscheint dabei angeraten, zu überprüfen, ob die bereits in den technischen Regelwerken des VDE festgehaltene Ansteuerbarkeit von Netznutzern von VNB in allen Fällen mit Relevanz für den NWA in der Praxis umgesetzt wird. Dies könnte bspw. durch ein rollierendes Monitoring seitens des Regulators erfolgen

Ein weiterer Punkt mit möglichem rechtlich-regulatorischem Regelungsbedarf könnte der Zeitraum sein, für den schwarzfallfähige Kommunikationseinrichtungen vorzuhalten sind. Die ÜNB sehen hier (über die Mindestanforderungen des NC ER von 24 Stunden hinausgehend) gemäß den Empfehlungen des BBK einen Zeitraum von 72 Stunden vor und rüsten ihre Systeme aktuell entsprechend nach. Diese Vorgabe wird aber von den VNB nicht flächendeckend umgesetzt, auch wenn ihre Mitwirkung am NWA unabdingbar ist.

- **Eigene NWAP der VNB:** Einige wenige städtische VNB verfügen über eigene NWAP, um insbesondere kritische Infrastrukturen (z. B. Bereich der Fernwärmenetze) nach einem Black-out schnell wiederversorgen zu können. Entsprechende Konzepte sind mit den ÜNB abgestimmt und sehen keine Vollversorgung der von dem VNB belieferten Kunden vor. In der Vergangenheit haben – gerade vor dem Hintergrund der zunehmenden Durchdringung der Verteilungsnetze mit Erzeugungsanlagen – VNB aber auch darüber hinaus Interesse an Entwicklung und Vorhaltung verteilungsnetzspezifischer und vom Übertragungsnetz unabhängiger NWAP geäußert.

Auch wenn ein NWA auf Verteilungsebene in einzelnen Fällen, insbesondere bei großstädtischen Netzen mit direkt angeschlossenen steuerbaren Erzeugungsanlagen, technisch nicht unmöglich erscheint, sind separate NWAP auf Verteilungsnetzebene aufgrund des damit einhergehenden Aufwands, der extrem seltenen Anwendungsfälle und der negativen

systemischen Konsequenzen für den zügigen NWA auf Übertragungsnetzebene, der für die Wiederversorgung der Gesamtheit der Kunden und die Rückkehr zum Normalbetrieb entscheidend ist, nicht sinnvoll. Analog zu heute sollten lokale Netzwiederaufbaukonzepte ausschließlich der Versorgung kritischer Netzinfrastruktur dienen und mit dem jeweils zuständigen ÜNB abgestimmt sein.

Im Hinblick auf die diesbezüglich anhaltende öffentliche Diskussion wäre zu überlegen, ob eine Klarstellung z. B. im Sinne einer Priorität der ÜNB-seitigen NWAP hilfreich sein könnte.

- **Vorgaben für DEA und aktive Verbraucher:** Sowohl DEA als auch neue aktive Stromverbraucher können, falls sie bei Spannungswiederkehr ungesteuert agieren, den NWA gefährden. Es ist daher sicherzustellen, dass sich diese Akteure bei Spannungswiederkehr entsprechend der gesetzlich vorgegebenen Anforderungen verhalten, die bspw. Wirkleistungsgradienten vorschreiben. In der Praxis wird die Einhaltung dieser Anforderungen dabei nicht anlagenspezifisch, sondern vielmehr über ein einheitliches Anlagenzertifikat, das für alle Anlagen desselben Typs gilt, sichergestellt.

Da die Erfüllung der vorgeschriebenen Anforderungen seitens der Anlagenbetreiber aber mit zusätzlichen (Investitions-)Kosten verbunden ist, versuchen einige Anlagenbetreiber, die Anforderungen und somit Kosten zu vermeiden, indem sie gezielt die Anschlussleistung ihrer Anlagen verringern. Hierdurch sind die Anlagen nicht mehr durch den VNB ansteuerbar und können den NWA gefährden. Hier ist zu beachten, dass ggf. rechtzeitig eine Erweiterung der Anforderungen auf Anlagen mit niedrigerer Anschlussleistung erfolgt, um die Notwendigkeit einer ex-post-Aufrüstung (wie z. B. bei der 50,2Hz-Problematik) zu vermeiden.

Zudem wird ein zunehmender Teil der Anlagen während des NWA steuerbar sein müssen, um den VNB die verlässliche Erfüllung ÜNB-seitiger Anforderungen zu Wirk- und Blindleistungsübergaben zu ermöglichen. Hier sind entsprechende Regularien vorzusehen, die den genauen Adressatenkreis (z. B. Anlagen, die an der Dienstleistung der Leistungs-Frequenz-Regelung teilnehmen) und die Umsetzung einer solchen Verpflichtung klären.

- **Vorgaben zum Versorgungswiederaufbau:** Die NWAP der deutschen ÜNB zielen neben der eigentlichen Aufgabe, der Sicherung der kritischen Netzinfrastruktur, aktuell auf eine möglichst vollständige Wiederversorgung der Endkunden aus eigener Kraft und unabhängig vom Betriebszustand der benachbarten Übertragungsnetze ab. Aufgrund der tiefgreifenden Veränderung der Erzeugungsstruktur in Deutschland und Europa ist aber zu erwarten, dass ein vollständiger VWA von den deutschen ÜNB zukünftig nicht in jeder Konstellation gewährleistet werden kann. Die ÜNB wären in solchen Situationen auf die Unterstützung angrenzender ÜNB und damit auf die Rückkehr benachbarter Netze zu einem stabilen Systembetrieb angewiesen.

Zwar ist eine gegenseitige Unterstützung der ÜNB im Fehlerfall seit jeher fester Bestandteil der NWAP, bisher erfolgt diese aber nach Können und Vermögen und somit nicht gesichert. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir auf nationaler Ebene eine Klärung, ob bzw. zu welchem Grad die ÜNB in ihren NWAP einen VWA in Deutschland auch ohne Unterstützung durch andere Übertragungsnetze gewährleisten müssen. Sofern eine solche Verpflichtung bejaht werden sollte, sind entsprechende Instrumente vorzusehen.

Auf europäischer Ebene sollte gleichzeitig geprüft werden, ob die Zusammenarbeit der ÜNB im NWA-Fall bereits ausreichend detailliert (z. B. durch die RiskPreparedness-VO) geklärt ist, oder ob hier ggf. weitere Vorgaben, z. B. zu Wiederversorgungsreihenfolgen unterschiedlicher Kundengruppen der Länder und zur Unterstützung im NWA-Fall, notwendig sind.