



Bayreuth, Berlin, Dortmund, Stuttgart 22.12.2020 | Seite 1 von 26

# BETRACHTUNGEN ZUM NETZ- UND VERSORGUNGSWIEDERAUFBAU

TEIL DES BERICHTS DER DEUTSCHEN  
ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER  
GEM. § 34 (1) KVBG

## INHALT

BETRACHTUNGEN ZUM NETZ- UND VERSORGUNGSWIEDERAUFBAU .....	1
TEIL DES BERICHTS DER DEUTSCHEN ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER GEM. § 34 (1) KVBG.....	1
1. Einleitung.....	3
2. Maßnahmen im Netzwiederaufbauplan .....	4
<b>2.1 Phasen während des Netz- und Versorgungswiederaufbaus.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Voraussetzungen für die Handlungsfähigkeit im Netz- und Versorgungswiederaufbau .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Verantwortlichkeiten der Übertragungsnetzbetreiber .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Dauer des Netzwiederaufbaus.....</b>	<b>9</b>
3. Erfordernisse für den Netzwiederaufbau ÜNB und Einordnung in den Kontext des KVBG .....	10
<b>3.1 Erfordernisse für den Netzwiederaufbau ÜNB.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Einsatz großer thermischer Erzeugungsanlagen im Netzwiederaufbau ÜNB.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 Auswirkungen des KVBG auf die Handlungsfähigkeit im Netzwiederaufbau ÜNB .....</b>	<b>13</b>
4. Auswirkungen des KVBG auf den Versorgungswiederaufbau.....	15
<b>4.1 Erfordernisse für den Versorgungswiederaufbau .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Einsatz großer thermischer Erzeugungsanlagen im Versorgungswiederaufbau .....</b>	<b>16</b>
<b>4.3 Auswirkungen des KVBG auf die Handlungsfähigkeit im Versorgungswiederaufbau .....</b>	<b>16</b>
<b>4.4 Maßnahmen zur Sicherstellung des Versorgungswiederaufbaus .....</b>	<b>18</b>
5. Forschungsprojekt „Weiterentwicklung Netzwiederaufbaupläne“ .....	20
<b>5.1 Forschungsinhalte und Projektziele .....</b>	<b>20</b>
6. Zusammenfassung und Ausblick.....	23

## 1. EINLEITUNG

Mit der Verabschiedung des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes (KVBG) am 08.08.2020 geht die Verpflichtung für die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) einher, bis zum 31.12.2020 zu prüfen, ob die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Elektrizitätsversorgungssystems durch die Maßnahmen des KVBG mit hinreichender Wahrscheinlichkeit nicht unerheblich gefährdet oder gestört werden. Die ÜNB stellen dazu entsprechende Analysen bereit und zeigen zu initiierende Prozesse und Handlungsstränge auf. Im Rahmen dieses Dokuments werden wesentliche Aspekte des Netz- und des Versorgungswiederaufbaus mit Blick auf die aktuelle Situation sowie die Entwicklungen bis zur vollständigen Beendigung der Kohleverstromung in 2038 aus qualitativer Sicht dargestellt.

Das vorliegende Dokument gliedert sich in vier Hauptabschnitte. Zunächst wird auf die wesentlichen Maßnahmen bzw. Handlungsschritte im Netzwiederaufbau eingegangen. Im Fokus stehen dabei die Handlungsschritte, die durch die Netzbetreiber und Betreiber von Erzeugungsanlagen durchgeführt werden müssen, um die Versorgung mit elektrischer Energie nach einem vollständigen bzw. großflächigen Netzzusammenbruch wiederherstellen zu können. Auf Grundlage der vorgestellten Maßnahmen werden im Kapitel 3 die Erfordernisse des Netzwiederaufbaus erläutert. Die dargestellten Erfordernisse beschreiben dabei die technischen Grundvoraussetzungen dafür, dass die Energieversorgung in Gänze wiederhergestellt werden kann. Das Kapitel 4 befasst sich mit dem Aspekt der Wiederversorgung der Netzkunden und behandelt auf qualitativer Ebene wesentliche Aspekte zum Thema der Lastdeckung aus der Situation eines Netzzusammenbruchs heraus. Zuletzt wird im Kapitel 5 das aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekt der vier deutschen ÜNB vorgestellt, das sich mit den zukünftigen technischen Rahmenbedingungen für den Netzwiederaufbau und möglichen Weiterentwicklungen der Netzwiederaufbaupläne befasst. Eine Zusammenfassung erfolgt in Kapitel 6.

## 2. MAßNAHMEN IM NETZWIEDERAUFBAUPLAN

### **2.1 Phasen während des Netz- und Versorgungswiederaufbaus**

Die erforderlichen Maßnahmen im Netz- und Versorgungswiederaufbau können in vier Maßnahmenpakete eingeteilt werden, die sich zeitlich bis zu einem gewissen Grad überschneiden können. Diese Einteilung ist in Abbildung 1 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

Zum Zeitpunkt  $t = 0$  tritt ein Großstörungsereignis im deutschen Stromnetz auf, das zu einem großflächigen Zusammenbruch der Stromversorgung führt. In Folge dessen werden die Netzwiederaufbaupläne (NWAP) der ÜNB aktiviert und die Marktaktivitäten ausgesetzt. Auf Grundlage einer unmittelbar durchgeführten Störungsanalyse beginnen die ÜNB mit der Durchführung des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“. Darin enthalten sind alle Maßnahmen, die erforderlich sind, um die spannungslos gewordene Netzinfrastruktur der ÜNB wieder unter Spannung zu setzen und diese für den anschließenden Versorgungswiederaufbau zu sichern. Im Rahmen der Netzwiederaufbaupläne wird gemäß der EU-Verordnung zur Festlegung eines Netzkodex über den Notzustand und den Netzwiederaufbau des Übertragungsnetzes (EU-VO 2017/2196) zwischen der Top-Down- und der Bottom-Up-Strategie unterschieden. Die Top-Down-Strategie findet Anwendung, wenn sich eines der benachbarten Übertragungsnetze innerhalb des Verbundgebiets in einem stabilen Betriebszustand gefangen hat und eine Spannungsvorgabe für den „Netzwiederaufbau ÜNB“ bereitstellen kann. Im kritischeren Fall sind von der Spannungslosigkeit große Teile oder sogar das gesamte Verbundsystem betroffen, so dass der „Netzwiederaufbau ÜNB“ von Grund auf aus eigener Kraft, d. h. ohne externe Spannungsvorgabe erfolgen muss (Bottom-Up-Strategie). Die Notwendigkeit des „Netzwiederaufbau ÜNB“ ohne externe Spannungsvorgabe kann nicht ausgeschlossen werden und muss deshalb von den NWAP zwingend abgedeckt werden und stellt eine Grundanforderung gemäß EU Verordnung zur Festlegung eines Netzkodex über den Notzustand und den Netzwiederaufbau des Übertragungsnetzes (EU-VO 2017/2196) dar. Folglich müssen die Pläne derart gestaltet sein, dass der „Netzwiederaufbau ÜNB“ innerhalb der eigenen Regelzone aus eigener Kraft möglich ist. Die Bottom-Up-Strategie stellt damit die wesentliche und zwingend notwendige Voraussetzung dafür dar, dass das Stromnetz nach dessen Ausfall wieder in Betrieb genommen werden kann und im Anschluss die Wiederversorgung der Netzkunden möglich ist. Das Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ ist abgeschlossen, wenn die Netzinfrastruktur der ÜNB wieder unter Spannung steht und als gesichert angesehen werden kann.

Das Maßnahmenpaket zur Wiederversorgung von Netzkunden, also z.B. Haushalte oder Industrie, innerhalb einer Regelzone wird als „Versorgungswiederaufbau“ bezeichnet. Dieses Paket beinhaltet die erforderlichen Schritte, die zur Wiedereinschaltung von Lasten in Abhängigkeit der zu dem Zeitpunkt verfügbaren Erzeugungsleistung vorzunehmen sind. Im Zuge dieses Maßnahmenpakets erfolgt auch die Wiederversorgung

und damit Sicherung der unterlagerten Netzebenen, also Netze im Bereich der Verteilnetzbetreiber. Der Versorgungswiederaufbau (VWA) wird als abgeschlossen betrachtet, wenn die Netzkunden weitestgehend wieder mit elektrischer Energie versorgt sind. Im Anschluss an den VWA beginnen die ÜNB mit der Aufnahme des Lastfolgebetriebs.

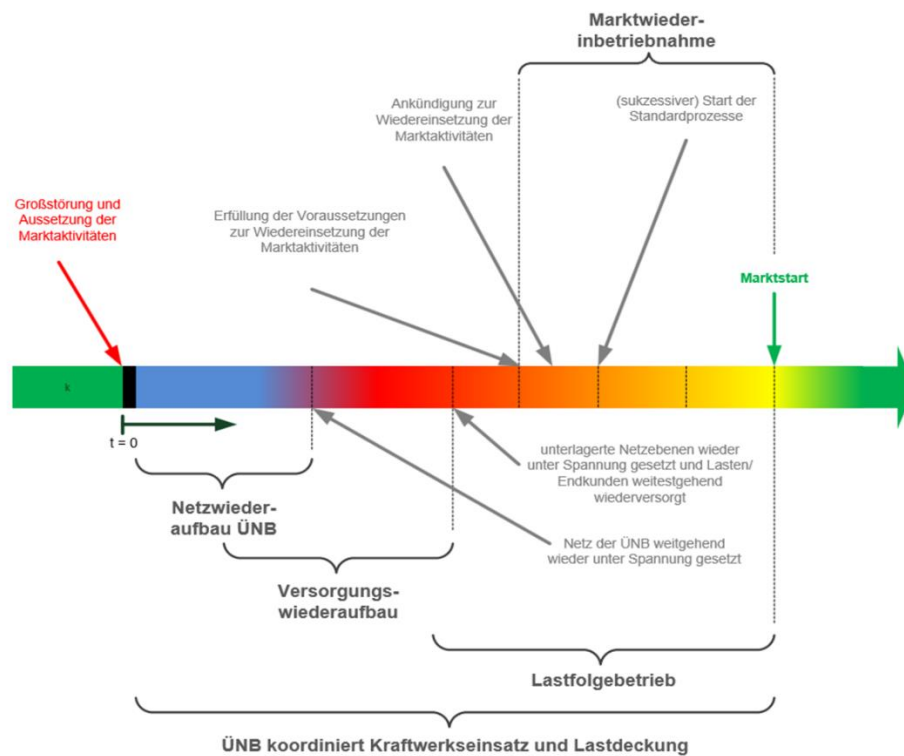


Abbildung 1: Phasen des Netz- und Versorgungswiederaufbaus

Aufgrund der technischen Erfordernisse des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“ ist eine scharfe Abgrenzung zum Maßnahmenpaket „Versorgungswiederaufbau“ allerdings nicht möglich. Dies ist der Abbildung 1 anhand der Überlappungen angedeutet und wird im weiteren Verlauf des vorliegenden Dokuments näher erläutert.

Das Maßnahmenpaket „Lastfolgebetrieb“ beinhaltet die Handlungen der ÜNB im Zeitraum zwischen der Wiederversorgung der Netzkunden im VWA und der Wiederaufnahme der regulären Marktaktivitäten, die bis dahin aufgrund der Großstörung außer Kraft gesetzt sind. Im Wesentlichen koordinieren die ÜNB während dieser Zeit den Einsatz von verfügbaren Erzeugungsanlagen und organisieren nach Können und Vermögen die Lastdeckung innerhalb ihrer Regelzonen unter Nutzung von verfügbaren Erzeugungspotentialen benachbarter ÜNB auf nationaler wie europäischer Ebene. Grundlage für den Einsatz der Erzeugungsanlagen sind dabei Lastverläufe und Lastprognosen, die die Netzbetreiber ermitteln bzw. erstellen. Spätestens mit der

Aufnahme des Lastfolgebetriebs beginnen die Netzbetreiber mit den Vorbereitungen für die Durchführung des Marktstarts.

Die Voraussetzungen unter denen der Markt wieder in Betrieb genommen werden kann, sind in den Bestimmungen für die Aussetzung und Wiederaufnahme von Marktaktivitäten gemäß Artikel 39 Abs. 1 EU-VO 2017/2196 definiert und werden aktuell von den Fachgruppen der ÜNB näher ausgestaltet. Eine wesentliche Grundlage stellt jedoch der Abschluss des VWA dar. Somit kann zum Zeitpunkt des Marktstarts davon ausgegangen werden, dass die Wiederversorgung von Endkunden weitestgehend abgeschlossen ist.

## **2.2 Voraussetzungen für die Handlungsfähigkeit im Netz- und Versorgungswiederaufbau**

Für die erfolgreiche Durchführung des Netz- und Versorgungswiederaufbaus gemäß der im Abschnitt 2.1 erläuterten Vorgehensweise ist die Sicherung der Handlungsfähigkeit der Netzbetreiber unerlässlich. Für das Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ ist es erforderlich, dass die ÜNB ihr Netz überwachen, steuern und wieder unter Spannung setzen können. Für die Überwachung und Steuerung des Netzes verfügen die ÜNB an allen relevanten Stellen über Notstromanlagen, die für eine zeitlich begrenzte Dauer die benötigte Energie bereitstellen (vgl. Abschnitt 2.4). Diese Energie wird auch als Eigenbedarf bezeichnet. Aufgrund der endlichen Kapazität der Energiespeicher bzw. lokal vorgehaltener Brennstoffe sind die ÜNB jedoch darauf angewiesen, die Versorgung aus den Notstromanlagen durch eine permanent verfügbare Leistungsbereitstellung direkt aus dem Höchstspannungsnetz abzulösen. Dies erfolgt dadurch, dass Stromkreise und Transformatoren durch Erzeugungsanlagen am Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz unter Spannung gesetzt werden. Aus den Tertiärwicklungen der Transformatoren erfolgt anschließend die Versorgung des Eigenbedarfs der Anlagen des ÜNB analog dem ungestörten Netzbetrieb. Der gesamte Vorgang wird als Sicherung der Netzinfrastruktur der ÜNB bezeichnet und ist für das Gelingen des Netz- und Versorgungswiederaufbaus unverzichtbar.

Das Unter-Spannung-Setzen der spannungslosen Netzinfrastruktur der ÜNB erfolgt aus Kraftwerken, die in der Lage sind, ohne eine externe Spannungsvorgabe ihren Betrieb aufzunehmen und Energie in das Netz des ÜNB einzuspeisen. Ein solches Kraftwerk wird als schwarzstartfähiges Kraftwerk bzw. Schwarzstartanlage (SSF KW) bezeichnet. Neben dieser Fähigkeit müssen SSF KW weitere Anforderungen erfüllen, die in den „vertraglichen Modalitäten für Anbieter von Systemdienstleistungen zum Netzwiederaufbau“ festgelegt sind. Zur Sicherstellung der Bottom-Up-Strategie und damit der eigenen Handlungsfähigkeit kontrahieren die ÜNB technisch geeignete SSF KW und binden diese in die NWAP ein. Sobald die ersten primärtechnischen Anlagen der ÜNB unter Einsatz der SSF KW wieder unter Spannung gesetzt sind, kann mit dem Fortschalten der Spannung begonnen werden. Dadurch werden die Anlagen des ÜNB zunehmend wieder mit Energie

Bayreuth, Berlin, Dortmund, Stuttgart 22.12.2020 | Seite 7 von 26

aus Erzeugungsanlagen versorgt und die lokale Eigenbedarfsversorgung aus Notstromanlagen abgelöst. Die Netzinfrastruktur wird somit wie zuvor erläutert gesichert.

Allerdings gilt es zu beachten, dass die vorgehaltenen Energiemengen der SSF KW häufig technologischen Begrenzungen unterliegen. Pumpspeicherkraftwerke (PSKW) mit Tagesspeicher, Saisonalspeicherkraftwerke im Alpenraum sowie Gasturbinenkraftwerke mit lokalem Brennstoffspeicher sind nicht für eine dauerhafte Sicherung der Netzinfrastruktur des ÜNB ausgelegt. Um dem entgegen zu wirken, sehen die NWAP der ÜNB vor, weitere Erzeugungsanlagen wieder mit dem Übertragungsnetz zu verbinden und diese als primäre Energiequellen einzusetzen. Erst dadurch wird es möglich, die Netzinfrastruktur und die Handlungsfähigkeit der ÜNB dauerhaft zu sichern. Darüber hinaus ist die Einbindung weiterer Erzeugungsanlagen, Speicher und Kompensationsanlagen für das Maßnahmenpaket des „Netzwiederaufbau ÜNB“ zwingend erforderlich, um essentielle Systemdienstleistungen bereitstellen zu können. Hierzu zählen:

- Frequenzhaltung: Bereitstellung von Primär- und Sekundärregelleistung zur Stabilisierung der Netzfrequenz nach Lastzuschaltungen,
- Spannungshaltung: Bereitstellung von Blindleistung zur statischen und dynamischen Spannungsstützung.

Weiterhin sind ausgewählte Anlageneigenschaften von Erzeugungsanlagen von essentieller Bedeutung:

- Bereitstellung von Schwungmasse (Momentanreserve) zur Begrenzung des Frequenzgradienten nach Lastzuschaltungen und
- Bereitstellung von Kurzschlussleistung zur Sicherstellung der Schutzanregung und -auslösung.

Damit zusätzliche Erzeugungsanlagen, Speicher und Kompensationsanlagen wieder in Betrieb genommen werden können, müssen wenigstens die folgenden Bedingungen erfüllt sein. Die Anlagen müssen mit der jeweiligen Netzinsel des ÜNB verbunden werden können und über eine ausreichend große Nennleistung verfügen, um in einem ausreichenden Maße Blindleistung und Kurzschlussleistung bereitstellen zu können. Bei Anlagen mit direktem Anschluss an das Netz der ÜNB ist dies gegeben. Bei Anlagen in unterlagerten Netzebenen ist dieser Punkt jedoch nicht notwendigerweise erfüllt. Weiterhin müssen die Anlagen direkt oder indirekt durch den ÜNB gesteuert werden können. Andernfalls kann der ÜNB die Erzeugungsanlagen nicht zur Erbringung der Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften einsetzen.

Darüber hinaus ist es erforderlich, dass Lasten bereitstehen, die den einspeisenden Erzeugungsanlagen einen Arbeitspunkt nahe der technischen Mindestleistung ermöglichen. Da Kundenlasten im Netz des ÜNB üblicherweise nicht vorhanden sind, erfolgt hier eine Abstimmung mit den Netzbetreibern der unterlagerten Netzebenen, die speziell für diesen Zweck erste Kunden frühzeitig wieder mit Energie versorgen. Die Wiederversorgung von Kunden im Rahmen des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“ ist dabei als Mittel zum Zweck der Netzinfrastruktursicherung zu verstehen.

Weitere und essentielle Voraussetzungen für die Sicherstellung der Handlungsfähigkeit der ÜNB sind, dass die Netzwiederaufbaupläne (NWAP) erstellt, durch Simulationsberechnungen geprüft und das Personal aller involvierten Partner adäquat geschult ist. Dies macht es erforderlich, ein gewisses Maß an Kontinuität in den NWAP sicherzustellen. Daher ist bei Anpassungen darauf zu achten, dass Änderungen mit ausreichender Vorlaufzeit bekannt sind und in den zwingend notwendigen Voraussetzungen berücksichtigt werden. Häufige grundlegende Änderungen an den Plänen sind daher nicht zielführend.

Alle zuvor genannten Punkte sind letztlich Grundlage für das Gelingen des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“ bezogen auf das in Abbildung 1 dargestellte Vorgehen des NWA und die anschließende Durchführung des VWA.

### **2.3 Verantwortlichkeiten der Übertragungsnetzbetreiber**

Wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, stellt das Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ die Grundlage für die Wiederherstellung der Energieversorgung dar und ist in den NWAP der ÜNB detailliert abgebildet. Um die initialen Schritte im Netzwiederaufbau durchführen zu können, rüsten die ÜNB ihre eigenen Anlagen mit Notstromanlagen aus, kontrahieren entsprechend technisch geeignete SSF KW und halten in den Energiespeichern der Kraftwerke, sofern dies für den Betrieb des SSF KW erforderlich ist, Energiemengen vor. Somit können die ÜNB sicherstellen, dass die Handlungsfähigkeit während der ersten Stunden gesichert ist. Wie in Abschnitt 2.2 erläutert, sind die zur Verfügung stehenden Energiemengen jedoch begrenzt. Innerhalb des Maßnahmenpakets „Versorgungswiederaufbau“ sehen die ÜNB geeignete Maßnahmen zur dauerhaften Sicherung der eigenen Netzinfrastruktur und damit einhergehend implizit auch für einen (stark) begrenzten Umfang der Wiederversorgung von Netzkunden vor. Für die Vorhaltung der erforderlichen Erzeugungsleistung und Energiemenge zur großflächigen Wiederversorgung von Netzkunden treffen die ÜNB hingegen keine direkte Vorsorge, da die Verantwortung für Maßnahmen zur erzeugungsseitigen Lastdeckung nicht in deren Zuständigkeit fällt.

Die Wiederversorgung von Netzkunden geht mit der Sicherung der Handlungsfähigkeit und der Netzinfrastruktur unterlagerter Netzebenen einher. Um dies gewährleisten zu können, ist es gleichwohl erforderlich, dass die ÜNB mit ersten Maßnahmen des „Versorgungswiederaufbaus“ so zeitnah wie möglich beginnen. Eine vollständig sequentielle Durchführung von „Netzwiederaufbau ÜNB“ und „Versorgungswiederaufbau“ ist nicht sinnvoll, da dies unterlagerte Netzebenen dazu zwingen würde, in großem Umfang gesonderte Maßnahmen zur Sicherung der eigenen Netzinfrastruktur zu ergreifen.



## **2.4 Dauer des Netzwiederaufbaus**

Seriöse und exakte Angaben zur Dauer des Netzwiederaufbaus sind aus Sicht der ÜNB nicht möglich. Dies liegt zum einen darin begründet, dass die Dauer sehr stark vom auslösenden Störereignis und der sich daraufhin einstellenden Situation im Netz und bei den handelnden Akteuren abhängt. Zum anderen basiert das Vorgehen im Netzwiederaufbau auf Prämissen, die unter kontinuierlicher Analyse der Lage und des Vorschreitens des Netzwiederaufbaus in Abstimmung mit allen relevanten Partnern, eine permanente und nicht vorherbestimmbare Anpassung der Maßnahmen bedingen. Somit können kein eindeutiger Fahrplan und eine exakte Zeit für den Abschluss der Maßnahmen angegeben werden. Aus bisher vorliegenden Erkenntnissen, etwa basierend auf regelmäßig durchgeführten Simulatortrainings, kann davon ausgegangen werden, dass der Netzwiederaufbau einen Zeitbereich von 8 bis 10 Stunden erfordert. Diese Einschätzung legt gleichwohl die idealisierte Annahme zugrunde, dass die Netz- und Erzeugungsinfrastruktur vollständig verfügbar und funktionsfähig ist.

Gleichwohl stellt die Auslegung der Noteigenbedarfsversorgung der Netzbetreiber eine Anforderung hinsichtlich der zulässigen Zeitdauern dar. Aufgrund der begrenzten Energiereserven müssen die Netzbetreiber die primäre Energieversorgung aller relevanter Anlagen so schnell wie möglich, spätestens aber nach 24 Stunden wiederhergestellt haben. Die 24 Stunden ergeben sich dabei aus der Festlegung der EU Verordnung zur Festlegung eines Netzkodex über den Notzustand und den Netzwiederaufbau des Übertragungsnetzes (EU-VO 2017/2196, NC ER), die eine entsprechende Dauer für alle für den Netzwiederaufbau relevanten Anlagen ab dem 18. Dezember 2022 vorschreibt. Entsprechend werden die Anlagen der Netzbetreiber derzeit so ausgerüstet bzw. umgebaut, dass diese Zeitdauer sichergestellt werden kann. Um besonders ungünstigen äußeren Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen, beispielsweise bei einer signifikanten Nichtverfügbarkeit von Betriebsmitteln, wird zukünftig eine Eigenbedarfsbesicherung über Notstromanlagen der für den NWA relevanten Anlagen bei ÜNB und VNB von 72 Stunden gemäß den Empfehlungen des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe angestrebt.

Für die Zeitdauer des Netzwiederaufbaus bedeutet dies, dass die ÜNB heute wie zukünftig den Abschluss des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“ so schnell wie möglich vorantreiben werden. Es wird jedoch kontinuierlich überprüft werden müssen, ob die Zeitspanne von 24 Stunden bzw. perspektivisch 72 Stunden auch zukünftig im Hinblick auf die sich ändernden Rahmenbedingungen eingehalten werden kann.

### 3. ERFORDERNISSE FÜR DEN NETZWIEDERAUFBAU ÜNB UND EINORDNUNG IN DEN KONTEXT DES KVBG

Im vorherigen Kapitel wurden die wesentlichen Schritte des Netz- und Versorgungswiederaufbaus vorgestellt und die Erfordernisse für die Phase bzw. das Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ erläutert. Innerhalb dieses Kapitels werden nun die Erfordernisse für die erste Phase konkretisiert, der Einfluss des KVBG auf die Handlungsfähigkeit der ÜNB beschrieben und Maßnahmen abgeleitet, um die Handlungsfähigkeit der ÜNB vor dem Hintergrund des KVBG zu erhalten.

#### **3.1 Erfordernisse für den Netzwiederaufbau ÜNB**

Wie im Kapitel 2 erläutert, sind die ÜNB auf das Vorhandensein und die Verfügbarkeit von SSF KW angewiesen, um jederzeit mit der Sicherung der Infrastruktur und der anschließenden Wiederversorgung beginnen zu können. Die SSF KW müssen dazu über eine gesicherte und ausreichend hohe Energiemenge verfügen. Bei Anzahl, Platzierung und vorzuhaltender Energiemenge können sich aufgrund geänderter Randbedingungen zukünftig Änderungen ergeben. Ungeachtet dessen sind SSF KW, die die ÜNB für den Schwarzstart kontrahiert und in ihre NWAP integriert haben, als essentiell und kritisch für den Netzwiederaufbau einzustufen. Aus technischen Gründen kommen heute wie auch zukünftig vor allem Wasser- und Gaskraftwerke mit Anschluss am Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz zum Einsatz. Die Beendigung der Kohleverstromung hat somit keinen unmittelbaren Einfluss auf die Fähigkeit zum Schwarzstart. Die Kontrahierung von SSF KW sowie eine kontinuierliche Überprüfung und eventuelle Anpassung der NWAP stellen das wirkungsvollste Werkzeug der ÜNB dar, die Handlungsfähigkeit im Netzwiederaufbau sicherzustellen.

Zusätzlich zu den SSF KW besteht für die ÜNB allerdings die Notwendigkeit, Zugriff auf weitere Erzeugungsanlagen bzw. Kraftwerke mit gesicherter Erzeugungsleistung zu haben. Diese werden benötigt, um die Versorgung und Sicherung der eigenen Netzinfrastruktur über die Eigenbedarfsversorgung aus Notstromanlagen des ÜNB und die Energiebevorratung innerhalb der SSF KW hinaus zu gewährleisten. Darüber hinaus stellen alle am Netz der ÜNB angeschlossenen Anlagen, so eben auch Erzeugungsanlagen, Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften bereit, die im Netzwiederaufbau zwingend benötigt werden. Bei „Primärregelleistung“ bzw. „Schwungmasse“ kann in erster Näherung die kumulierte Menge der Erzeugungsleistung in eine Bewertung mit einbezogen werden. Unter bestimmten Voraussetzungen können aber auch Betriebsmittel wie STATCOM-Anlagen, rotierende Phasenschieber oder Speicher diese Systemleistungen bereitstellen. Insgesamt gilt, je mehr Anlagen die genannten Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften bereitstellen können, desto höher ist die resultierende Stabilität und die Inselnetzfrequenz weniger anfällig bei der Zuschaltung weiterer Erzeugungsanlagen und Lasten. Dieser Punkt ist vor allem dann von

Relevanz, wenn eine Rückkehr zum innerdeutschen Verbundnetz nicht oder nur teilweise möglich ist. Auch in solchen Fällen muss gewährleistet sein, dass regional betrachtet eine ausreichende Menge an Schwungmasse und Primärregelleistung verfügbar ist, um eine ausreichend hohe Stabilität erreichen zu können. Dies muss heute wie auch zukünftig stets für die einzelnen Regionen analysiert werden, da andernfalls ein nicht-substituierter Wegfall von Erzeugungsanlagen lokal kritisch für die Durchführbarkeit der ersten Schritte innerhalb des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“ sein wird.

„Blindleistung zur statischen und dynamischen Spannungshaltung“ sowie „Kurzschlussleistung zur Sicherstellung der Schutzanregung und -auslösung im Fehlerfall“ sind aufgrund ihrer Charakteristik zu jedem Zeitpunkt während des Netzwiederaufbaus lokal zu betrachten und müssen im Einzelfall bewertet werden. Sofern dem ÜNB in Teilbereichen des Netzes nicht in einem ausreichenden Maße Anlagen zur Steuerung der Blindleistung bzw. zur Bereitstellung von Kurzschlussleistung zur Verfügung stehen, ist die Wiederaufnahme des Betriebs im betroffenen Bereich des Netzes nicht oder nur stark eingeschränkt möglich. Die Sicherstellung der Handlungsfähigkeit kann durch den Bau bzw. die Ertüchtigung von geeigneten Erzeugungsanlagen oder Betriebsmitteln der ÜNB zur dynamischen Spannungsstützung (rotierende Phasenschieber, STATCOM, HGÜ-Systeme) erreicht werden. In dem Zusammenhang ist zu beachten, dass Kapazitäten zur Fertigung, Errichtung und Inbetriebnahme bei Herstellern von Erzeugungsanlagen bzw. entsprechenden Betriebsmitteln zur Verfügung stehen müssen, was bereits in der langfristigen Planung zu berücksichtigen ist. Für die Erbringung der zuvor genannten Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften ist außerdem die Erreichbarkeit der Anlagen über Sprach- bzw. Datenkommunikation von entscheidender Bedeutung. Bei Anlagen mit direktem Anschluss an das Netz des ÜNB kann dies heute vor allem über die schwarzfallfeste Kommunikationsinfrastruktur des ÜNB sichergestellt werden. Zukünftig sind unter dem Aspekt weitere Technologien auf ihre Eignung hin zu prüfen, etwa die 450 MHz-Technologie.

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor ist die Deckung der Systembilanz während des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“. Wenngleich die benötigte Erzeugungsleistung für die reine Sicherung der Infrastruktur nicht sehr groß ist, bestehen vor allem zu Beginn noch keine Verbindungen zwischen den Netzeinseln der ÜNB. Somit ist ein innerdeutscher Austausch von Erzeugungsleistung trotz intensiver Zusammenarbeit technisch nicht immer möglich. Erst nachdem erste überregionale Verbindungen wiederhergestellt werden konnten, über das Drehstromnetz oder mittels HGÜ-Verbindungen, ist ein Austausch von Erzeugungsleistung möglich. Entsprechend muss, analog zum Thema Erbringung von Primärregelleistung, der Aspekt des kurzfristigen regionalen Ausgleichs von Erzeugung und Last immer mitberücksichtigt werden. Die regional verfügbare Erzeugungsleistung determiniert zudem, ob und in welchem Umfang benachbarten Regionen Unterstützung angeboten werden kann.

### **3.2 Einsatz großer thermischer Erzeugungsanlagen im Netzwiederaufbau ÜNB**

Große thermische Erzeugungsanlagen wie Braun- und Steinkohlekraftwerke sind für den Maßnahmenkatalog „Netzwiederaufbau ÜNB“ relevant, nachdem der Schwarzstart durchgeführt und erste Lasten wiederversorgt sind. Diese Lasten dienen dabei als Grundlast für die großen thermischen Erzeugungsanlagen, um einen Betrieb der Erzeugungsanlagen nahe der thermischen Mindestleistung zu ermöglichen. Die Erzeugungsanlagen stellen die benötigten Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften für den „Netzwiederaufbau ÜNB“ bereit und bieten zugleich die benötigte gesicherte Energieversorgung für die Sicherung der Netzinfrastruktur des ÜNB. Darüber hinaus kann der ÜNB die Erzeugungsleistung des thermischen Kraftwerks nutzen, um die Energiespeicher der SSF KW bei Bedarf wieder zu füllen. Durch die unmittelbare Steuerbarkeit der Erzeugungsleistung kann zudem das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch bei einer volatilen Last- und Einspeisesituation sichergestellt werden.

Die Auswahl der thermischen Erzeugungsanlagen während der Phase des „Netzwiederaufbau ÜNB“ erfolgt typischerweise auf Grundlage der zum Zeitpunkt vorliegenden Verfügbarkeiten. Erzeugungsanlagen, die sich im Eigenbedarf fangen konnten und die mittels einer überschaubaren Anzahl von Schalthandlungen elektrisch erreichbar sind, sind besonders für eine schnelle Resynchronisierung geeignet. Hat sich keine Anlage im Eigenbedarf gefangen oder konnte keine Anlage den Zustand Eigenbedarfsbetrieb ausreichend lange halten, wird diejenige Anlage ausgewählt, die zum nächstmöglichen Zeitpunkt in der Lage ist, Energie, Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften bereitzustellen. Auch dabei stellt die elektrische Erreichbarkeit eine zentrale Größe dar. Weitere Kriterien bei der Auswahl sind die Flexibilität in der Erzeugung und die maximale Erzeugungsleistung.

Bezogen auf die benötigte Erzeugungsleistung ist diese für das Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ in Relation zur Erzeugungsleistung für eine vollständige Lastdeckung in Deutschland gering. Von wesentlich größerer Bedeutung ist die Bereitstellung der erforderlichen Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften. Bei der derzeit in Betrieb befindlichen Anzahl von Erzeugungsanlagen mit Anschluss am Hoch- und Höchstspannungsnetz wird jedoch davon ausgegangen, dass eine ausreichende Anzahl von Anlagen, Erzeugungs- wie auch sonstige Anlagen, innerhalb von wenigen Stunden verfügbar ist. Somit ist sichergestellt, dass die Noteigenbedarfssicherung im Bereich der ÜNB im Sinne des NC ER nach spätestens 24 h abgelöst werden kann. Darüber hinaus werden die im Netz der ÜNB installierten Blindleistungskompensationsanlagen und weiteren Betriebsmittel wie STATCOM und rotierende Phasenschieber bereits heute schon zum frühestmöglichen Zeitpunkt eingesetzt.

### **3.3 Auswirkungen des KVVG auf die Handlungsfähigkeit im Netzwiederaufbau ÜNB**

Für die Sicherung der Infrastruktur der ÜNB im Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ werden die ÜNB auch zukünftig auf eine adäquate Menge an dauerhaft gesicherter Einspeiseleistung angewiesen sein. Diese Einspeiseleistung muss dabei eine hohe Verfügbarkeit aufweisen und wie heute zügig und mit wenigen Schalthandlungen elektrisch erreichbar sein. Als primärer Energieträger ist hier vor allem Gas zu nennen, da die Erzeugung aus erneuerbaren Energien mit Anschluss an das Hoch- und Höchstspannungsnetz einen volatilen Charakter hat und damit eben nicht gesichert ist.

Darüber hinaus sind die ÜNB auf eine ausreichende geografische Verteilung von Erzeugungs- und sonstigen Anlagen wie Speichertechnologien, rotierende Phasenschieber, HGÜ-Systeme oder STATCOM-Anlagen angewiesen, sodass die lokal benötigten Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften erbracht werden können. Bezogen auf die Bereitstellung von Blindleistung werden darüber hinaus die Blindleistungskompensationsanlagen zunehmend von Bedeutung für die Wiederherstellung der Infrastruktur der ÜNB sein.

Unter Berücksichtigung des genehmigten Szenariorahmens 2021 – 2035 und den dort getroffenen Annahmen zum Szenario B 2040 gehen die ÜNB derzeit davon aus, dass für die Maßnahmen des „Netzwiederaufbau ÜNB“ grundsätzlich eine ausreichende Anzahl von regelungstechnisch geeigneten Gaskraftwerken mit Anschluss an das Hoch- und Höchstspannungsnetz vorhanden sein wird, um die zuvor genannten Anforderungen an die erforderliche Erzeugungsleistung mit Anschluss an das Netz der ÜNB erfüllen zu können. Dies gilt ebenso für die Ablösung der Noteigenbedarfssicherung im Sinne des NC ER innerhalb von aktuell 24 Stunden. Die tatsächliche Entwicklung im Bereich der installierten Erzeugungsleistung im Hoch- und Höchstspannungsnetz muss jedoch regelmäßig im Hinblick auf die Durchführbarkeit des Maßnahmenkatalogs „Netzwiederaufbau ÜNB“ überprüft werden. Bei Bedarf sind zur Sicherstellung der Handlungsfähigkeit geeignete Maßnahmen zu treffen.

Weiterhin ist zwingend zu beachten, dass die für den „Netzwiederaufbau ÜNB“ zukünftig einzusetzenden Gaskraftwerke über eine ausreichende regionale Verteilung verfügen müssen. Dies ist vor allem relevant vor dem Hintergrund der regionalen Erbringung der oben genannten Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften. Hier lässt sich im Szenariorahmen erkennen, dass insbesondere Regionen mit hohem Anteil an Erzeugungsleistung aus Windenergieanlagen nicht in einem ausreichenden Maß über thermische Erzeugungsanlagen am Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz verfügen werden. In begleitenden Analysen ist daher sicherzustellen, dass die für den „Netzwiederaufbau ÜNB“ bestehenden Anforderungen an die lokale Erbringung von Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften jederzeit erfüllt werden können. Dies bedingt mitunter die Möglichkeit für die ÜNB im benötigten Umfang weitere Betriebsmittel zu installieren, etwa Blindleistungskompensationsanlagen, rotierende Phasenschieber, STATCOM-Anlagen, HGÜ-Systeme oder besondere netztechnische Betriebsmittel.



## 4. AUSWIRKUNGEN DES KVBG AUF DEN VERSORGUNGSWIEDERAUFBAU

Auf Grundlage der Maßnahmen des „Netzwiederaufbau ÜNB“ erfolgen die Maßnahmen gemäß Maßnahmenpaket „Versorgungswiederaufbau“ mit dem Ziel der großflächigen Wiederversorgung von Netzkunden und die Sicherung der Netzinfrastruktur auf den unterlagerten Netzebenen. Innerhalb dieses Kapitels werden die Erfordernisse des VWA erläutert und in Beziehung mit dem KVBG gesetzt.

### **4.1 Erfordernisse für den Versorgungswiederaufbau**

Für das Gelingen der großflächigen Wiederherstellung der Energieversorgung sind verschiedene Faktoren und Voraussetzungen ausschlaggebend. Zunächst ist die Handlungsfähigkeit der Verteilnetzbetreiber über den zu erwartenden Zeitraum des Netz- und Versorgungswiederaufbaus sicherzustellen. Dies ist gewährleistet, wenn VNB – insbesondere der Hochspannungsebene und an der Übergabe zur Mittelspannung – analog zu den Maßnahmen beim ÜNB ihr Netz überwachen und die erforderlichen Schalthandlungen zur Integration von Last und Erzeugung in ihrem Netz durchführen können.

Einen wesentlichen Faktor stellt das Verhältnis von Angebot und Nachfrage elektrischer Energie dar, da nur der Anteil an Last wiederversorgt werden kann, der zum betreffenden Zeitpunkt durch Leistungsbereitstellung aus Erzeugungsanlagen gedeckt ist. Dieses Erfordernis ist eng verknüpft mit der grundsätzlichen Fragestellung, wie Lastdeckung in Deutschland und Europa erreicht und sichergestellt werden kann. Während des VWA muss jedoch beachtet werden, dass aufgrund der vorliegenden Netzsituation nach einem Netzzusammenbruch in Abhängigkeit von der jeweiligen konkreten Situation der Transport elektrischer Energie über weitere Strecken und speziell der Import aus dem Ausland nicht bzw. zumindest nur stark eingeschränkt möglich sein kann. Die ÜNB gehen hierbei in der Bewertung der Situation und bei der Vorbereitung von Gegenmaßnahmen vom schlimmsten anzunehmenden Fall aus, dass die im Normalbetrieb verfügbaren externen Leistungsreserven nicht erreichbar sind und daher nicht für eine lokale Lastdeckung im VWA zur Verfügung stehen.

Gleiches gilt für die Bereitstellung von zwingend benötigten Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften. Spannungs- und Frequenzhaltung sowie die Vorhaltung von ausreichend Kurzschlussleistung und Momentanreserve muss zunächst je Netzinsel lokal erbracht werden. Durch die zunehmende Wiederversorgung von bis dahin spannungslosen Netzgebieten bzw. Lasten, steigt im gesamten wiederversorgten Stromnetz der Bedarf an diesen Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften. Ebenso nehmen die Volatilität der Last und die Menge an unregelmäßiger Einspeisung zu, sodass der automatische Einsatz von Regelleistung zur Wiederherstellung der Netzfrequenz in größerem Umfang erforderlich wird. Auch nach bereits erfolgter

Zusammenschaltung mit anderen Netzen ist aufgrund der anfänglich noch schwachen Verbindungen zwischen diesen Netzen weiterhin auf eine verstärkt lokale Erbringung dieser Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften zu achten. Hierfür ist die Ansteuerbarkeit der erbringenden Anlagen durch den Anschlussnetzbetreiber, insbesondere für die Blindleistungsbereitstellung zur Spannungshaltung und der Sekundärregelung für die Frequenzhaltung, eine Grundvoraussetzung.

#### **4.2 Einsatz großer thermischer Erzeugungsanlagen im Versorgungswiederaufbau**

Bisher ist es den ÜNB aber auch den VNB mit Hochspannungsnetzen im VWA möglich, große thermische Erzeugungsanlagen unmittelbar zur Lastdeckung und zur Erbringung von Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften einzusetzen und direkt anzusteuern. Neben der schnellen und unmittelbaren Einbindung dieser Erzeugungsanlagen in den Prozess des VWA, weisen große thermische Erzeugungsanlagen außerdem eine hohe Verfügbarkeit von Primärenergieträgern auf, sodass die Energieversorgung über einen längeren Zeitraum gesichert werden kann. Dies ermöglicht darüber hinaus in den weiteren Schritten die Einbeziehung des Potentials in den unterlagerten Netzebenen, auch und gerade die Einbindung erneuerbarer Energieträger. Abhängig von der Verfügbarkeit bzw. dem Dargebot aus dezentralen und erneuerbaren Erzeugungsanlagen zur Deckung der Last, wird die konventionelle thermische Erzeugungsleistung durch die ÜNB unter Berücksichtigung der Bereitstellung von erforderlichen Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften koordiniert eingesetzt bzw. gesteuert, sodass das notwendige Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Last erreicht werden kann. Im Falle eines eingeschränkten Dargebots aus erneuerbaren Energiequellen, z.B. bei einer Dunkelflaute, können die konventionellen thermischen Erzeugungsanlagen die Deckung der Last absichern.

Zur Nutzung des Potentials von Erzeugungsanlagen zur Wirkleistungserbringung bzw. der Bereitstellung von Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften, seien es nun große thermischen oder dezentrale erneuerbare Erzeugungsanlagen, ist eine schwarzfallfeste bzw. schwarzfall-robuste Kommunikation zwischen Erzeugungsanlagen und zugreifenden Netzbetreibern erforderlich. Nach dem großflächigen Zusammenbruch der öffentlichen Stromversorgung kann sich hierbei nicht auf die Verfügbarkeit von Kommunikationspfaden über aktuelle öffentliche Kommunikationsinfrastrukturen verlassen werden.

#### **4.3 Auswirkungen des KVBG auf die Handlungsfähigkeit im Versorgungswiederaufbau**

Durch die Reduktion der konventionellen Erzeugungsstruktur durch die Beendigung der Kohleverstromung ist ohne adäquate Gegenmaßnahmen für den VWA zunächst von einer Verschlechterung der lokalen Bereit-



stellung von Wirkleistung, Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften auszugehen. Dies gilt insbesondere für Zeiträume, in denen aufgrund eines fehlenden Dargebots an Wind und Solareinstrahlung, erneuerbare Erzeugungsanlagen nicht oder nur eingeschränkt verfügbar sind.

Gemäß Szenariorahmen 2021 – 2035 ist für 2025 ein Zubau von Erzeugungsanlagen zur Verstromung von Gas in Höhe von 2.100 MW und für den Zeitraum zwischen 2030 und 2040 in Höhe von 1.900 MW antizipiert. Jedoch handelt es sich hierbei um Kleinanlagen mit einer Nennleistung kleiner 10 MW. Ein Zubau einer Vielzahl weiterer Anlagen unterschiedlicher Leistungsklassen, maßgeblich jedoch kleine bis mittlere Anlagen, ist ebenfalls angenommen. Auffällig ist hierbei, dass insbesondere in den nördlichen Bundesländern bzw. den von Windenergieeinspeisung dominierten Regionen nur ein sehr geringer Zubau an thermischen Erzeugungsanlagen vorgesehen ist.

Unter Berücksichtigung der Beendigung der Kohleverstromung sowie des Szenariorahmens zeigt sich, dass die Höhe der durch die Netzbetreiber direkt steuerbare Erzeugungsleistung zur Bereitstellung von Wirkleistung, Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften in einigen Regionen Deutschlands deutlich abnehmen wird. Sofern diese nicht adäquat ersetzt bzw. Maßnahmen ergriffen werden, ist die Durchführung des Maßnahmenpakets „Versorgungswiederaufbau“ bzw. der Grad der Wiederversorgung vom Dargebot an dann jeweils noch verfügbarer Erzeugungsleistung abhängig. Sind beispielsweise für die regionale Deckung der Last Importe aus anderen, weiter entfernten Regionen erforderlich, muss zunächst die übergeordnete Netzinfrastruktur wiederhergestellt und gesichert werden. Gleiches gilt für den Import von Energie aus dem europäischen Ausland. Dies ist nur dann möglich, wenn die elektrischen Verbindungen zu den benachbarten Netzen wiederhergestellt werden können und die benachbarten ÜNB über ausreichend hohe Leistungsreserven verfügen und diese auch bereitstellen können. Wenngleich alle ÜNB dem Grundsatz „Können und Vermögen“ entsprechend der gesetzlichen Verpflichtungen folgen, so muss dennoch davon ausgegangen werden, dass ein zügiger Bezug von Energie zur Lastdeckung nicht immer möglich sein wird.

Eine Folge von signifikanten Verzögerungen des VWA in einigen Regionen des deutschen Übertragungsnetzes aufgrund nicht ausreichender Verfügbarkeit von Erzeugungsleistung sowie von erforderlichen Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften ist eine länger andauernde Nichtversorgung der Netzkunden sowie Einschränkungen bei der Sicherung der Netzinfrastruktur unterlagerter Netzebenen. Vor allem in Regionen, in denen VNB nicht unmittelbar in die Umsetzung des Maßnahmenpakets „Netz-wiederaufbau ÜNB“ eingebunden sind, besteht daher das im zeitlichen Verlauf zunehmende Risiko, dass eine Sicherung der Infrastruktur und Wiederversorgung nicht mehr rechtzeitig gewährleistet werden kann. Da die Notstromanlagen der Netzbetreiber in den betroffenen Netzregionen nur für eine begrenzte Zeitdauer ausgelegt sind, wird die Handlungsfähigkeit ab einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr gegeben sein. Ob oder inwieweit hier eine Erweiterung der Absicherungsdauer durch Notstromanlagen zielführend wäre, müsste geprüft werden, erscheint jedoch aus aktueller Sicht nur in begrenztem Umfang technisch und ökonomisch sinnvoll.

#### **4.4 Maßnahmen zur Sicherstellung des Versorgungswiederaufbaus**

Um die Auswirkungen auf die Dauer bis zur Erreichung einer Vollversorgung bestimmen und damit eventuell notwendige Maßnahmen zur Sicherung unterlagerter Netzebenen ableiten zu können, ist eine Konkretisierung der Rahmenbedingungen erforderlich. Erst auf Grundlage entsprechender Vorgaben und Zielwerte kann ermittelt werden, welche Handlungsoptionen bestehen und welche ggf. erforderlichen zusätzlichen Maßnahmen zu ergreifen sind. In entsprechenden Rahmenbedingungen sind unter anderem die folgenden Faktoren zu berücksichtigen. Zunächst ist festzulegen, welcher Grad an Wiederversorgung aus eigener Kraft und innerhalb welcher Zeitspanne anzustreben ist. Durch die Bestimmung der Szenarien von installierter konventioneller und volatiler Erzeugung lässt sich in Abhängigkeit der tatsächlich verfügbaren und erreichbaren Erzeugungspotentiale ermitteln, in welchem Umfang Importe aus dem Ausland für die Erreichung des Zielzustandes erforderlich wären. Diese Mengen wären zuletzt an den tatsächlich verfügbaren Importmengen zu spiegeln, um somit den Szenario-abhängigen Handlungsbedarf für den VWA zu ermitteln. Darüber hinaus sind Festlegungen erforderlich, wie in Situationen vorzugehen ist, in denen während des VWA trotz entsprechender Maßnahmen keine ausreichende Lastdeckung erreichbar ist oder auch zwingend benötigte Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften nicht ausreichend erbracht werden können. Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass dafür vorgesehene Erzeugungsanlagen aufgrund zeitlicher Verzögerungen zur Wiederherstellung der Einspeisefähigkeit nicht im ausreichenden Umfang verfügbar sind.

Sofern konventionelle Kraftwerke im Hoch- und Höchstspannungsnetz nur noch im geringen Maße zur Verfügung stehen, um die Differenz zwischen ungesteuerter Erzeugung und Last ausgleichen zu können, müssen dezentrale Erzeugungsanlagen in ausreichendem Maße steuerbar gemacht werden. Entsprechend benötigen die jeweiligen Anschlussnetzbetreiber, als wesentliche am VWA beteiligte Akteure, die technischen Möglichkeiten, das verfügbare Erzeugungspotential zu ermitteln und dieses einzusetzen. Konkret bedeutet dies, dass Netzbetreiber mit einem hohen Anteil an dezentralen und erneuerbaren Erzeugungsanlagen in die Lage versetzt werden müssen, insbesondere unter den verschärften Bedingungen des Schwarzfalls die Erzeugung aus Wind und Solar zu prognostizieren sowie aus thermischen Erzeugungsanlagen gezielt einsetzen zu können. Diese Potentiale sind dem vorgelagerten Netzbetreiber zu melden. Aktuell laufende Vorhaben zur verbesserten Einbindung dezentraler Erzeugungsanlagen in die Systemdienstleistungen, wie z.B. die Umsetzung des Redispatch 2.0, sind dahingehend zu prüfen, inwieweit diese Prozesse auch für den Netz- und Versorgungswiederaufbau geeignet sind. Grundvoraussetzung für die Eignung der Prozesse aus dem Normalbetrieb, auch für den gestörten Betrieb nach einem Schwarzfall, ist eine schwarzfallfeste bzw. schwarzfall-robuste Kommunikationsinfrastruktur. Eine mögliche Lösung stellt die 450 MHz-Technologie dar, die hinsichtlich ihrer Eignung im Forschungsprojekt der ÜNB untersucht wird (vgl. Kapitel 5). Zusätzlich ist

Bayreuth, Berlin, Dortmund, Stuttgart 22.12.2020| Seite 19 von 26

der Datenaustausch zwischen den verschiedenen Netzebenen zu erweitern, der bei der Vielzahl Erzeugungsanlagen eine sinnvolle Aggregation und Darstellung von Prognose-, Erzeugungs- und Lastdaten erlaubt.

Jedoch sehen die ÜNB es darüber hinaus ebenfalls als erforderlich an, dass ein Teil des antizipierten Zubaus an Erzeugungsanlagen zur Verstromung von Gas auch in den nördlichen Bundesländern erfolgt. Gleichzeitig können diese Anlagen schwarzstartfähig ausgelegt werden und somit einen zusätzlichen Nutzen für den Netzwiederaufbau des ÜNB generieren.

Stellen zukünftig vermehrt Gaskraftwerke, unabhängig von der Netzebene der Einspeisung, Wirkleistung, Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften für den Netz- und Versorgungswiederaufbau bereit, ist die Verfügbarkeit von Gas im Szenario eines Schwarzfalls von entscheidender Bedeutung. Verdichter- und Verteilstationen müssen auch im Schwarzfall ohne Versorgung aus dem Stromnetz in der Lage sein, den Betrieb relevanter Gaskraftwerke zu ermöglichen. Hier befinden sich die ÜNB im Austausch mit den Ferngasnetzbetreibern. Entsprechend der Ergebnisse dieser Gespräche leiten sich Maßnahmen zur Besicherung der Gasnetzinfrastruktur ab.

## 5. FORSCHUNGSPROJEKT „WEITERENTWICKLUNG NETZWIEDERAUFBAUPLÄNE“

Vor dem Hintergrund der zukünftigen technischen Herausforderungen zur Durchführung des Netz- und Versorgungswiederaufbaus haben die vier deutschen ÜNB ein Forschungsprojekt gestartet. Das Projekt wird gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE), dem Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiemanagement der TU Kaiserslautern sowie den Unternehmen E-Bridge und DUtrain durchgeführt. Das Projekt hat eine Laufzeit von 15 Monaten und endet im November 2021. Im Folgenden werden die wesentlichen Forschungsinhalte des Projekts vorgestellt. Es erfolgt eine Einordnung in den Kontext des KVBG.

### **5.1 Forschungsinhalte und Projektziele**

Das Forschungsprojekt „Weiterentwicklung NWAP“ befasst sich mit wesentlichen technischen Herausforderungen für die zukünftige Durchführung des Netz- und Versorgungswiederaufbaus. Die Kernfragen lauten:

1. Wie sieht ein robuster Netzwiederaufbauplan für das Jahr 2030 aus und welche Maßnahmen sind über das Jahr 2030 vor dem Hintergrund der Beendigung der Kohleverstromung hinaus erforderlich?
2. Welche Schritte sind auf dem Weg bis dahin notwendig, um einen fortlaufend funktionsfähigen Netzwiederaufbauplan sicherzustellen?

Um diese Fragen strukturiert beantworten zu können, werden folgende Aspekte im Rahmen einzelner Arbeitspakete untersucht:

1. Einordnung der aktuellen Netzwiederaufbaupläne sowie die Dimensionierung und Verortung schwarzstartfähiger Erzeugungsanlagen
2. Einsatz von schwarzfallfester bzw. schwarzfall-robuster Kommunikationstechnik
3. Technische Optionen zur Bereitstellung von (virtueller) Schwungmasse
4. Einsatz spezifischer IT-Systeme für den Netz- und Versorgungswiederaufbau zur Unterstützung des Wartepersonals
5. Erarbeitung von Kriterien zur Bewertung der Robustheit von Netzwiederaufbauplänen
6. Identifikation von Chancen und Risiken durch eine stärkere Verzahnung von Netzwiederaufbauplänen

Bei der Betrachtung der Dimensionierung und Verortung von SSF KW wird analysiert, wie die Vorhaltung ausreichender Primärenergiereserven und die Anzahl und die Verortung von Hochfahrnetzen mit entspre-

chenden SSF KW in Deutschland gewährleistet werden kann. Dabei werden insbesondere bereits vorhandene Kraftwerksstandorte und Standorte von Umspannanlagen gemäß der bestehenden NWAP berücksichtigt. Eine weitere Randbedingung für diese Dimensionierung und Auslegung stellt die erwartete Erzeugungsstruktur in 2030 sowie den Folgejahren dar. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand in dem Zusammenhang ist die Diversifizierung von Primärenergieträgern. Aufgrund des volatilen Charakters erneuerbarer Energieträger werden Primärenergieträger identifiziert, die auch im Falle einer Dunkelflaute für eine Entlastung der SSF KW verfügbar und damit für die Sicherung der Netzinfrastruktur der ÜNB und unterlagerter Netzebenen geeignet sind. Dieses Arbeitspaket adressiert damit vor allem die zukünftige Ausgestaltung des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“ und die Sicherstellung der Handlungsfähigkeit der ÜNB.

Unter dem Aspekt des Einsatzes von Kommunikationssystemen wird der Datenaustausch im Hinblick auf die Steuerung und die Prognose von Erzeugungspotentialen, Lasten und die Erbringung von Systemdienstleistungen untersucht. Besonders relevant ist hier die technische Umsetzung der Kommunikation zwischen den einzelnen Akteuren. Zwischen den Netzbetreibern müssen Prognosedaten, Netzzustandsinformationen, Steuersignale in Richtung von Erzeugungsanlagen und Informationen zu verfügbaren Systemdienstleistungen ausgetauscht werden. Insbesondere für die VNB müssen Kommunikationssysteme entwickelt werden, die die Aggregation und die Bereitstellung von Daten an die ÜNB ermöglichen und eine schwarzfall-robuste Steuerbarkeit gewährleisten. Innerhalb des Arbeitspakets wird damit der für den Netz- und Versorgungswiederaufbau beschriebene zentrale Aspekt der zukünftig benötigten schwarzfallfesten bzw. schwarzfall-robusten Kommunikationsinfrastruktur auf technischer Ebene betrachtet.

Im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Schwungmasse wird untersucht, welche technischen Systeme geeignet sind, diese bereitzustellen, wenn große konventionelle Erzeugungsanlagen im Netz- und Versorgungswiederaufbau nicht mehr verfügbar sind. In diesem Arbeitspaket werden somit technologische Optionen aufgezeigt, mit denen die zuvor erläuterten essentiellen Anlageneigenschaften Schwungmasse und Kurzschlussleistung zur dynamischen Spannungsstützung zukünftig erbracht werden können.

Bezogen auf den Einsatz von spezifischen IT-Lösungen für den Netz- und Versorgungswiederaufbau wird zunächst betrachtet, wie Informationen zur aktuellen Netzsituation gewonnen, ausgewertet und dem Wartepersonal bereitgestellt werden können. Bei der Entwicklung solcher Systeme wird außerdem betrachtet, wie die Daten sowohl mit benachbarten ÜNB als auch den unterlagerten VNB ausgetauscht werden. Weiterhin wird untersucht, wie solche spezifischen IT-Lösungen einzusetzen sind, um die Kommunikation zwischen den Warten zu vereinfachen. Über solche Systeme kann die komplexe Aufgabe realisiert werden, die verfügbaren Einspeise- und Lastpotentiale zu identifizieren und einzusetzen. Ebenso sind solche Systeme geeignet, die Entscheidungsfindung des Wartepersonals zu unterstützen, indem verschiedene Handlungsoptionen dargestellt und automatisiert bewertet werden. Das Arbeitspaket adressiert damit die zunehmende

Bayreuth, Berlin, Dortmund, Stuttgart 22.12.2020| Seite 22 von 26

Komplexität in der Kommunikation und Koordination insbesondere innerhalb der Maßnahmenpakete „Netz-wiederaufbau ÜNB“ und „Versorgungswiederaufbau“, die durch den Wegfall einzelner großer Erzeugungs-anlagen entsteht.

Vor dem Hintergrund der Umsetzung von NWAP wird zuletzt die Zusammenarbeit zwischen ÜNB während später Phasen des VWA und im Lastfolgebetrieb betrachtet. Wenngleich die Umsetzung von separaten NWAP je Regelzone insbesondere für das Maßnahmenpaket „Netz-wiederaufbau ÜNB“ erfolgt, so ist die Zusammenarbeit für die vollständige Wiederversorgung und im Lastfolgebetrieb erforderlich. Wesentliche Aspekte einer engeren Verzahnung können etwa die Nutzung der HGÜ-Systeme zur Resynchronisation oder auch Konzepte zur Nutzung der Offshore-Erzeugung für den Gesamtdeutschen VWA sein. Auch in diesem Zusammenhang wird nochmals betrachtet, wie der effiziente Austausch von Information über die Leitsysteme zwischen den ÜNB (horizontal) und VNB bzw. Erzeugungsanlagen (vertikal) organisiert werden kann.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die wesentlichen Aspekte im Zusammenhang mit dem Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die ÜNB kontrahieren schwarzstartfähige Erzeugungsanlagen und halten Energiemengen vor, um innerhalb der ersten Stunden nach dem Netzzusammenbruch das eigene Netz wieder unter Spannung setzen zu können und die eigene Netzinfrastruktur zu sichern und damit die Voraussetzungen für den sich anschließenden Versorgungswiederaufbau zu schaffen. Dafür kommen aus technischen Gründen heute wie auch zukünftig vor allem Wasser- und Gaskraftwerke zum Einsatz. Die Beendigung der Kohleverstromung hat damit auf die Schwarzstartfähigkeit für das Übertragungsnetz keinen Einfluss.
- Die Noteigenbedarfsversorgung der Netzbetreiber wird derzeit ausgebaut, sodass die Handlungsfähigkeit für mindestens 24 Stunden gemäß der Festlegung der EU Verordnung zur Festlegung eines Netzkodex über den Notzustand und den Netzwiederaufbau des Übertragungsnetzes (EU-VO 2017/2196, NC ER) gesichert ist. Zukünftig wird die Eigenbedarfsbesicherung der für den „Netzwiederaufbau ÜNB“ relevanten Anlagen bei ÜNB und VNB gemäß der Empfehlung des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe auf 72 Stunden erweitert. Für die Durchführung des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“ muss daher auch zukünftig sichergestellt sein, dass die Maßnahme heute spätestens nach 24 Stunden, perspektivisch nach spätestens 72 Stunden abgeschlossen ist.
- Für eine dauerhafte Sicherung der Netzinfrastruktur der ÜNB sind die ÜNB auf die Verfügbarkeit von weiteren Erzeugungsanlagen mit gesicherter Erzeugungsleistung angewiesen. Vor dem Hintergrund des KVBG sind hier vor allem Kraftwerke mit dem Primärenergieträger Gas zu nennen, da diese auch im Falle einer Dunkelflaute gesichert Wirkleistung bereitstellen können. Hierfür wäre zu monitoren, inwieweit die im Szenariorahmen 2021 – 2035 getroffenen Annahmen zum Neubau gasbefeuerteter KW in der Praxis eintreten.
- Für die Wiederherstellung der Spannung im Netz sind die ÜNB auf die Erbringung wesentlicher Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften mit einer ausreichenden regionalen Verteilung angewiesen. Als wesentliche Systemdienstleistung und Anlageneigenschaften können folgende Punkte genannt werden:
  - Frequenzhaltung: Bereitstellung von Primär- und Sekundärregelleistung zur Stabilisierung der Netzfrequenz nach Lastzuschaltungen,
  - Spannungshaltung: Bereitstellung von Blindleistung zur statischen und dynamischen Spannungsstützung.
  - Bereitstellung von Schwungmasse (Momentanreserve) zur Begrenzung des Frequenzgradienten nach Lastzuschaltungen und
  - Bereitstellung von Kurzschlussleistung zur Sicherstellung der Schutzanregung und -auslösung.
- Für die Erbringung von Sekundärregelleistung ist es dabei zwingend erforderlich, dass die ÜNB die

Erzeugungsanlagen unmittelbar oder mittelbar über Kommunikationssysteme erreichen können.

- Insbesondere bei der Systemdienstleistung „Spannungshaltung“ und Anlageneigenschaft „Kurzschlussleistung“ muss stets die regionale Deckung sichergestellt sein. Bei der Betrachtung finden neben Erzeugungsanlagen auch weitere Anlagen wie STATCOM, rotierende Phasenschieber, besondere netztechnische Betriebsmittel und HGÜ-Systeme in den Netzen der ÜNB Berücksichtigung.
- Durch die Beendigung der Kohleverstromung in Deutschland ist unter Berücksichtigung des Szenariarahmens für die Netzentwicklungsplanung gem. § 12a Abs. 3 EnWG zunächst nicht davon auszugehen, dass eine signifikante Verschlechterung der Handlungsfähigkeit der ÜNB im „Netzwiederaufbau ÜNB“ zu erwarten ist. Wichtig in dem Zusammenhang ist jedoch, dass den ÜNB auch zukünftig SSF KW für den Schwarzstart bereitstehen. Weiterhin sind die ÜNB auf das Vorhandensein und die Einsatzfähigkeit von thermischen Kraftwerken mit geeigneter Regelfähigkeit (Primärenergieträger Gas) sowie ausreichend Anlagen wie STACOM, rotierende Phasenschieber, HGÜ-Systeme und besondere netztechnische Betriebsmittel zur Bereitstellung von Blind- und Kurzschlussleistung mit einer hinreichenden regionalen Verteilung angewiesen.
- Die Einhaltung aller zuvor genannten Kriterien bzw. Vorgaben ist regelmäßig zu überprüfen und zu bewerten. Dies erfolgt derzeit mitunter durch die regelmäßige Überprüfung und ggfs. Anpassung der Netzwiederaufbaupläne. Vor dem Hintergrund des KVBG wird der Themenkomplex des Netz- und Versorgungswiederaufbaus auch zunehmend im Rahmen der Netz- und Bedarfsanalysen betrachtet werden. Sofern die Einhaltung der genannten Kriterien nicht gewährleistet werden kann, sind geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Die wesentlichen Aspekte des Maßnahmenpakets „Versorgungswiederaufbau“ können wie folgt zusammengefasst werden:

- Grundvoraussetzung ist die erfolgreiche Durchführung des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB“.
- Das Gelingen des VWA ist durch das Verhältnis von Angebot und Nachfrage elektrischer Energie determiniert. In Abhängigkeit von Verfügbarkeit und Aktivierungszeit von Erzeugungsanlagen im Zuständigkeitsbereich ergibt sich die Zeitdauer bis zum Abschluss des VWA. Zum Zeitpunkt des Marktstarts kann davon ausgegangen werden, dass die Wiederversorgung von Endkunden weitestgehend abgeschlossen ist.
- Große Erzeugungsanlagen können bisher zum Ausgleich des volatilen Charakters der ungesteuerten dezentralen Erzeugung sowie des Verbrauchs eingesetzt werden. Durch den Wegfall der steuerbaren großen Erzeugungsanlagen müssen dezentrale Erzeugungsanlagen mit einer schwarzfallfesten bzw. schwarzfall-robusten Kommunikationsanbindung zur Steuerung ertüchtigt werden.
- Netzbetreiber müssen in die Lage versetzt werden, Einspeise- und Lastpotentiale auch in der schwierigen



gen Situation eines Netzzusammenbruchs sicher und verlässlich zu prognostizieren. Diese Informationen sind über die Netzebenen zu aggregieren.

- Wie auch im Maßnahmenpaket „Netzwiederaufbau ÜNB“ ergeben sich regionale und zusätzlich überregionale Anforderungen an die Erbringung von Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften.
- Aktuell kann die Lastdeckung der Netzkunden aus nationalen Erzeugungsanlagen erfolgen. Die Möglichkeiten zum Leistungsimport von benachbarten europäischen ÜNB kann nicht als gegeben angesehen werden. Bei einer zukünftig auftretenden Unterdeckung der Leistungsbereitstellung aus gesicherten Erzeugungsanlagen und der Nichtverfügbarkeit von Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften kann es beim VWA zu Verzögerungen kommen. Je nach Dauer ist in der Folge die Netzinfrastruktur unterlagerter Netzebenen ohne zusätzliche Gegenmaßnahmen nicht mehr als hinreichend gesichert anzusehen.
- Seitens des Gesetzgebers und der Regulierungsbehörde ist gemeinsam mit den ÜNB und den VNB ein Rahmen zu schaffen, der Vorgaben und Ziele zur erforderlichen Lastdeckung und einer zeitlichen Staffelung des VWA in einem Referenzszenario enthält.

Es ist festzuhalten, dass der Szenariorahmen 2021 – 2035 ein Zubau an Erzeugungsanlagen zur Verstromung von Gas vorsieht, der sich für das Jahr 2025 auf 2.100 MW und für den Zeitraum zwischen 2030 und 2040 auf 1.900 MW beläuft. Jedoch handelt es sich hierbei um Kleinanlagen mit einer Nennleistung kleiner 10 MW. Ein Zubau einer Vielzahl weiterer Gaskraftwerke unterschiedlicher Leistungsklassen, maßgeblich jedoch kleine bis mittlere Anlagen, ist ebenfalls angenommen. Mit Blick auf Gesamtdeutschland scheint dies zunächst ausreichend zu sein, um Erzeugungsleistung, Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften auch im Netz- und Versorgungswiederaufbau nach dem Ausstieg aus der Kohleverstromung bereitstellen zu können. Auffällig ist jedoch, dass insbesondere in den nördlichen Bundesländern, bzw. den von Windenergieeinspeisung dominierten Regionen, nur ein sehr geringer Zubau an thermischen Erzeugungsanlagen vorgesehen ist. Ein Teil des antizipierten Zubaus an Gaskraftwerken, auch in den nördlichen Bundesländern, sowie die Ansiedlung der Erzeugungsanlagen am Höchstspannungsnetz mit entsprechender Leistungsklasse ist sicherzustellen. Gleichzeitig können diese Anlagen schwarzstartfähig ausgelegt werden und somit einen zusätzlichen Nutzen für den Netzwiederaufbau der ÜNB generieren.

Um insbesondere die Durchführbarkeit der Maßnahmenpakete „Netzwiederaufbau ÜNB“ und „Versorgungswiederaufbau“ sicherzustellen, diskutieren die ÜNB vor dem Hintergrund der anstehenden Änderungen in der Erzeugungsstruktur seit zwei Jahren gemeinsam mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und der Regulierungsbehörde die Auswirkungen auf die Netzwiederaufbaupläne. Darüber hinaus führen die ÜNB derzeit das Forschungsprojekt „Weiterentwicklung der Netzwiederaufbaupläne“ durch, in dem wesentliche technische Faktoren für die erforderliche Weiterentwicklung der bestehenden Netzwiederaufbaupläne

Bayreuth, Berlin, Dortmund, Stuttgart 22.12.2020 | Seite 26 von 26

insbesondere mit Blick auf die Auswirkungen des KVVG untersucht und zu ergreifende Maßnahmen ermittelt werden.

Als weitere Schritte schlagen die ÜNB vor, aufbauend auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts die ggf. anfallenden Anpassungen an technischen Regelwerken zu unterstützen und erforderliche regulatorische und gesetzliche Rahmenbedingungen in Konsultation mit allen betroffenen Akteuren zu erstellen.

Letztlich ist gemeinsam festzulegen, wie trotz der zuvor beschriebenen Maßnahmen in Situation mit einem Leistungsmangel unter Anwendung des Gesetzes zur Sicherung der Energieversorgung (EnSiG) bzw. dem Mangel an erforderlichen Systemdienstleistungen und Anlageneigenschaften vorzugehen ist, um die negativen Auswirkungen eines Netzzusammenbruchs minimieren und trotzdem einen erfolgreichen Netz- und Versorgungswiederaufbau sicherzustellen.