

Wasserkraft - Ein unverzichtbarer Teil der sicheren Stromversorgung in Europa

18. März 2021, Essen/Deutschland

Am 8. Januar 2021 stand Europa kurz vor einem Blackout. Einmal mehr zeigte sich dabei, wie Wasserkraft in Krisensituationen maßgeblich zur Stabilisierung der europäischen Stromnetze beiträgt. Sie bietet mit Reservehaltung sowie Regelenergie ein unabdingbares Asset für die Sicherheit der Energieversorgung in Europa.

Ein Frequenzabfall bedingt durch die Auslösung eines Überstromschutzschalters in einem Umspannwerk in Kroatien am 8. Januar 2021 führte beinahe zu einem großflächigen Blackout im europäischen Stromnetz. Als Folge der Schalterauslösung führte eine Kaskade von Ausfällen von Stromleitungen und Schaltanlagen in Südosteuropa zu einer krisenhaften Entwicklung des Betriebszustandes im europäischen Stromnetz, was zur automatischen Trennung des südöstlichen vom nordwestlichen Netzteil führte. Da vor Eintritt der Störung Strom von Ost nach West exportiert wurde, führten der Erzeugungsüberschuss im Ostteil zu einem Frequenzanstieg auf 50,6 Hz und das Erzeugungsdefizit im Westteil zu einer Unterfrequenz von 49,74 Hz. Da das europäische Hochspannungsstromnetz normalerweise auf 50 Hz synchronisiert wird, können Frequenzabweichungen zu Abtrennungen und Abschaltungen von Teilnetzen und somit auch zu Stromausfällen führen.

Durch rechtzeitig und zielgerichtet eingeleitete Gegenmaßnahmen konnte jedoch ein Blackout vermieden werden. Angesichts der Unterfrequenz im nordwestlichen Teilnetz glichen Großkraftwerke aller Erzeugungsarten nach dem ersten Abfangen durch die Schwungmassen der rotierenden Maschinensätze (Synchronous Inertia) mit rascher Leistungssteigerung das Erzeugungsdefizit aus. Des Weiteren wurden dafür vertraglich vorgesehene Lasten in Form von Industrieverbrauchern mit einer Leistung von insgesamt 1,7 GW vor allem in Frankreich und Italien vom Netz genommen. Auch im südöstlichen Teilnetz wurden aufgrund der erhöhten Frequenz automatische und manuelle Gegenmaßnahmen aktiviert. So wurde der Leistungsüberschuss einerseits mit Hilfe der Rücknahme von Erzeugung und der Abschaltung von Erzeugungsanlagen reduziert, und es wurde andererseits ein forcierter Pumpeinsatz in Pumpspeicherkraftwerken für diese Region eingeleitet, um Energie aus dem System zu nehmen.

Der Dekarbonisierungsprozess des europäischen Stromsystems, verbunden mit dem teilweisen Atomausstieg schreitet rasch voran und wird zur Erreichung der nunmehr verschärften EU-Klimaziele in den kommenden Jahren weiter intensiviert. Gemeinsam mit der Wasserkraft bilden derzeit die großen thermischen Erzeugungseinheiten das Rückgrat für die Systemflexibilität in allen Zeitbereichen (präqualifizierte Reserveleistung am Beispiel Deutschland siehe Abbildung 1).

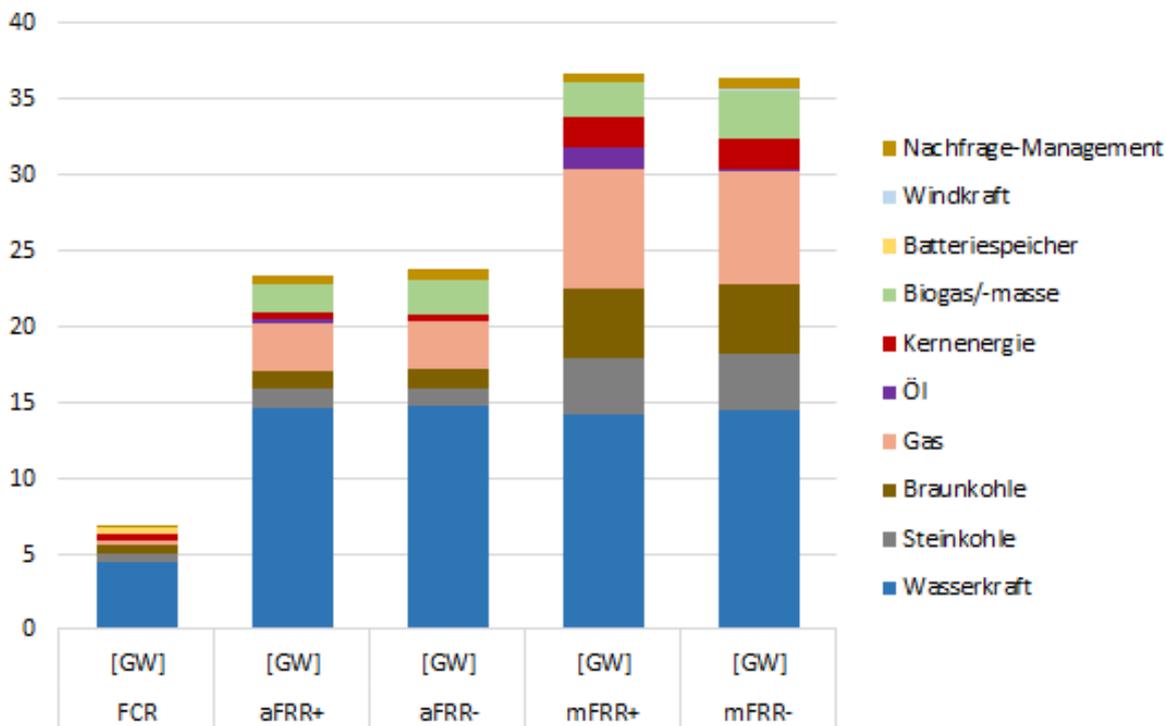


Abb. 1: Präqualifizierte Reserveleistung für Deutschland, Sept, 2020 (Ref.: www.regelleistung.net)

Die Reserveleistungen gleichen die Schwankungen im Stromnetz innerhalb von Sekunden („Primärreserve (PRL)/ Frequency Containment Reserves (FCR)“), fünf Minuten („Sekundärreserve (SRL)/ automatic Frequency Restoration Reserves (aFRR)“) oder Viertelstunden („Minutenreserve (MRL)/ manual Frequency Restoration Reserves (mFRR)“) aus.

Mit dem Ausscheiden großer thermischer Einheiten geht dem System schrittweise ein wesentlicher Teil seiner flexiblen Leistungen (Flexibility Facilities) samt Inertia verloren. Die Bedeutung der Wasserkraft, hier vor allem die der hochflexiblen Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke, wird daher weiter steigen. Dieses Thema liegt im Fokus des ordnungspolitischen Rechtsrahmens der EU (z.B. TEN-E Regulation) bzw. der strategischen Planungspapiere der ENTSO-E (Zehnjahresnetzentwicklungsplan TYNDP 2020 samt Begleitdokumenten), damit das hohe Maß der Stabilität des europäischen Stromnetzes weiterhin sicher gestellt wird.

Wo vorhanden, sind Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke integrativer Bestandteil des technischen Krisenmanagements im Netzbetrieb. Wäre es zu einem Blackout gekommen, wäre das europäische Verbundsystem im Extremfall in mehrere Teilnetze zerfallen und Erzeugung sowie Lasten weitreichend vom Netz entkoppelt worden. In einem solchen Fall werden vor allem mit Hilfe schwarzstartfähiger Wasserkraftanlagen nach definierten Prozessschritten der Reihe nach Netzinseln aufgebaut, nach Möglichkeit mit Pumpen das Lastverhalten stabilisiert, schrittweise konventionelle Lasten und weitere Kraftwerke in der Insel herangeführt und in weiterer Folge die Teilnetze wieder zum Systemverbund synchronisiert. Ohne externe Stromversorgung können schwarzstartfähige Anlagen selbst stabil hochfahren, Spannung vorgeben, den Blindleistungshaushalt ausgleichen und bei Inselbetriebsfähigkeit die Netzinsel stabil betreiben. Große Wasserkraftwerke sind infolge ihrer großen Schwungmassen und hohen Regelfähigkeit besonders für diesen Zweck geeignet.

Auch für den Normalbetrieb ist die Rolle der Wasserkraft zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit und Netzstabilität äußerst weitreichend. Je nach Standort und technischer Ausrüstung variieren die von den Wasserkraftwerken zusätzlich erbrachten Netzdienstleistungen. Bezüglich der möglichen Netz- und Systemdienstleistungen (Ancillary Services) lassen sich drei verschiedene Arten unterscheiden:

Netz- und Systemdienstleistungen	
Frequenzhaltung	Unter Frequenzhaltung versteht man die Erbringung von Systemdienstleistungen in Form von Primärregelung (engl. Frequency Containment Reserve - FCR), Sekundärregelung (engl. automatic Frequency Restoration Reserves - aFRR) und Minutenreserve (engl. manual Frequency Restoration Reserve - mFRR).
Spannungshaltung	Für die Spannungshaltung stellen die Kraftwerke im sogenannten Phasenschieberbetrieb Blindleistung zur Verfügung.
Netzaufbau	Der Netzaufbau erfolgt primär durch schwarzstartfähige Anlagen, die aus eigener Kraft (ohne externe Stromversorgung) und ohne Vorgabe einer Netzfrequenz anfahren können. Sie werden von inselbetriebsfähigen Anlagen unterstützt.

Im Detail offeriert die Wasserkraft eine Fülle von Dienstleistungen zur europäischen Netzstabilisierung und zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit.

Dienstleistungen	Beitrag der Wasserkraft
Backup- und Reservekapazität	Wasserkraftwerke können ohne Brennstoffbedarf zuverlässig und kalkulierbar vorgehalten werden, bei Bedarf ohne fremde Hilfe binnen Sekunden hochfahren und Energie in das elektrische System einspeisen.
Schnellstartfähigkeit	Die Schnellstartfähigkeit von Wasserkraft ist beispiellos und dauert nur wenige Sekunden.
Schwarzstartfähigkeit	Die Schwarzstartfähigkeit von Wasserkraft ist nahezu beispiellos. Mit Einschränkungen und in Verbindung mit Batteriespeichern sind auch Gaskraftwerke geeignet
Redispatch	Mit dem Ziel, Netzengpässe zu vermeiden oder zu beseitigen, benötigt der Übertragungsnetzbetreiber eine Redispatch-Kapazität, die etwa von Pumpspeicherkraftwerken aus dem Stillstand in positiver (Erzeugung) oder negativer Richtung (Verbrauch oder Last) bereitgestellt werden kann.
Kurzschlussleistung	Zur Spannungshaltung und Gewährleistung des Netzschutzes sind gemäß den ENTSO-E Anforderungen ein Mindestmaß an Kurzschlussleistung vorzuhalten. Die Wasserkraft trägt dazu seit jeher substantiell bei. Mit zunehmendem Ausscheiden thermischer Anlagen steigt die Bedeutung weiter.
Leistungs-Frequenz-Regelung	Wasserkraft trägt dazu bei, die Frequenz durch kontinuierliche Modulation der Wirkleistung innerhalb der vorgegebenen Grenzen zu halten und Schwankungen des Systemleistungsbedarfs von Moment zu Moment zu begegnen. Die schnelle Reaktionsfähigkeit von Wasserkraft macht diese besonders geeignet, steilen Lastgradienten (Rampenraten) durch schnelle Lastverfolgung (d.h. Erzeugungsänderung) zu begegnen. Diese Flexibilitätsdienstleistungen werden unter anderem aus ganzen Kraftwerksgruppen des Alpenraums für das europäische Verbundsystem für alle Zeitbereiche erbracht.
Balancing	Zusätzlich zu den Regelfunktionen zugunsten des Systembetriebs gleicht die Wasserkraft Energiedefizite in allen Zeitbereichen aus. Von zunehmender

Dienstleistungen	Beitrag der Wasserkraft
	Bedeutung ist die saisonale Speicherfähigkeit großer Wasserkraftspeicher- und Pumpspeicher zur Deckung der Winterlücke vor allem bei zunehmendem PV-Anteil in der Erzeugung. Diese Flexibilitätsdienstleistungen werden unter anderem aus ganzen Kraftwerksgruppen des Alpenraums für das europäische Verbundsystem für alle Zeitbereiche erbracht.
Spannungshaltung, Blindleistungshaushalt	Wasserkraftwerke können die Blindleistung steuern und damit den Blindleistungshaushalt im Netz sicherstellen. Dies ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für eine stabile Netzspannung.
Hohe Kapazitätsänderung (Laständerungsrate)	Wasserkraft- und Pumpspeicher können über schnelle und flexible Starts bzw. Stopps sehr kurzzeitig Leistungssprünge im Netz ausgleichen. Mit der Methode des hydraulischen Kurzschlusses kann bei Pumpspeicherkraftwerken eine extrem rasche Änderung des Betriebszustandes von Pumpbetrieb (Verbraucher) in Turbinenbetrieb (Erzeugung) herbeigeführt werden.
Spitzenlastregelung	Wasserkraftspeicher und Pumpspeicher können höchst flexibel auf Lastspitzen reagieren (Hydro-Peaking, Schwall- und Sunkbetrieb).
Rotierende Massen (Inertia)	Große Wasserkraftanlagen verfügen über enorme Schwungmassen ihrer rotierenden Maschinensätze (Synchronous Inertia). Diese stabilisieren das Verbundsystem in den ersten Augenblicken einer Netzstörung. Bei zunehmendem Wegfall thermischer Einheiten kann als bedingter Ersatz mit Hilfe von Leistungselektronik sog. „synthetische Inertia“ bereitgestellt werden.

Der jüngste Vorfall vom 8. Januar 2021 wird unter Branchenexperten als Warnsignal und weiteres Indiz für das steigende Risiko eines Blackouts gesehen. Auch Krisenvorsorgeexperten, prognostizieren schon jetzt, dass binnen der nächsten 5 Jahre mit einem europaweiten Blackout zu rechnen ist, sofern nicht umgehend weitere koordinierte Maßnahmen vorgenommen werden.

Auch die Schweiz agiert sicherheitsorientiert: In der jüngsten Risikogesamtanalyse für die Schweiz wird ein Blackout als eines der am höchsten angesiedelten Gefährdungspotenziale erkannt. Zur Dämpfung eines nationalen Blackout-Risikos und zur Überbrückung der zu erwartenden Winterlücke infolge des forcierten PV- und Windkraftausbauprogramms wurde der geförderte Ausbau von 2 TWh Großspeicherkraft beschlossen und wird 2021 gesetzlich verankert werden.

Neben dem Aus- und Umbau des Versorgungsnetzes ist eine weitere intelligente Kombination von Stromerzeugern und -verbrauchern im Netz erforderlich. In diesem Zusammenhang kommt der Wasserkraft als Teil der „erneuerbaren Familie“ insbesondere wegen ihrer hohen Effizienz, Zuverlässigkeit, Flexibilität und Speicherbarkeit eine Schlüsselrolle als Dienstleister für die Versorgungssicherheit und Netzstabilität zu. Daher bleibt die Wasserkraft eine unverzichtbare erneuerbare Energiequelle, die im Rahmen einer ehrgeizigen Energie- und Klimapolitik weiterzuentwickeln und zu bewahren ist.

Der Bericht wurde in Kooperation mit den Mitgliedern des VGB PowerTech I Hydro erstellt.

Kontakt

VGB PowerTech e.V.

Dr. Mario Bachhiesl

*(Leiter Erneuerbare Energie und
Dezentrale Erzeugung)*

Tel.: +49 201 8128 270

E-mail: mario.bachhiesl@vgb.org

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG

Dr. Peter Bauhofer

*(Leiter Abteilung Energiestrategie
und Energieeffizienz)*

Tel.: +43 50607 21511

E-mail: peter.bauhofer@tiwag.at

Zusatzinfo 1

Quelle: <https://www.derstandard.de/story/2000123637082/ursache-fuer-beinahe-blackout-in-europa-zu-jahresbeginn-lag-in?ref=rec>

Beinahe Black out durch ein Ereignis am 08. Jänner 2020

Ein Frequenzabfall, der das europäische Stromnetz Anfang Januar an seine Grenzen gebracht hat, ging laut Betreibern von einem Überstromschutz aus. Eine Kaskade von Ausfällen von Betriebsmitteln wie Stromleitungen und Schaltanlagen in Südosteuropa führte am 8. Januar zu massiven Problemen im europäischen Stromnetz. Dies erklärte der Verband der europäischen Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E in einem Zwischenbericht zur Untersuchung der Vorfälle. Auslöser des Beinahe-Blackouts in weiten Teilen Europas war demnach eine Umspannanlage im kroatischen Ernestinovo.

Automatische Abschaltung

In dem Werk sprach laut den ersten Ermittlungen um 14:04 ein Überstromschutz bei einem 400-Kilovolt-Sammelschienenkupppler an, sodass sich dieser automatisch abschaltete. Umspannanlagen sind Knotenpunkte im Stromnetz. An ihnen können mehrere Höchstspannungsleitungen zusammentreffen. Der Strom wird dabei auf kurzen, anlageninternen Höchstspannungsleitungen zusammengeführt, den Sammelschienen.

Diese Instrumente lassen sich mit einer Mehrfachsteckerleiste vergleichen. Sie verbinden verschiedene Schaltfelder miteinander. Die meisten Umspannwerke enthalten mehrere Sammelschienen. So können Stromkreise oder Transformatoren bedarfsgerecht flexibel in getrennten Gruppen zusammengeschaltet und die Leistungsflüsse im Netz besser gesteuert werden.

Das automatische Öffnen einer Kupplung zwischen den beiden Sammelschienen in Ernestinovo trennte diese. Damit wurden auch zwei Höchstspannungsverbindungen unterbrochen, die Strom vom Balkan in andere Teile Europas führen. Dies betraf in nordwestlicher Richtung die Leitungen nach Žerjavinec (Kroatien) und Pecs (Ungarn). In südöstlicher Richtung ging auf den Verbindungen nach Ugljevik (Bosnien-Herzegowina) und Sremska Mitrovica (Serbien) nichts mehr.

Überlastete Alternativen

In der Folge suchte sich der Strom neue Wege. Umliegende Leitungen waren durch den zusätzlichen Transport jedoch überlastet. Zunächst schaltete sich die Verbindung Subotica – Novi Sad (Serbien) ebenfalls durch den Überstromschutz ab. Danach fielen im Umkreis mehrere Leitungen aufgrund des Distanzschutzes aus. Ergebnis war, dass sich das europäische Stromnetz innerhalb von weniger als 50 Sekunden in zwei Gebiete aufteilte: den Nordwesten, dem 6,3 GW Erzeugungsleistung fehlte, und den Südosten, in dem ein entsprechender Überschuss bestand.

Um 14:05 Uhr fiel die Frequenz im nordwestlichen Netzteil so zunächst auf 49,74 Hertz (Hz). Nach rund 15 Sekunden stabilisierte sie sich bei 49,84 Hz, was noch innerhalb des zulässigen Bandes für Abweichungen von Plusminus 0,2 Hz liegt. Gleichzeitig sprang die Frequenz im südöstlichen Bereich auf 50,6 Hertz, bevor sie sich bei einem Wert zwischen 50,2 und 50,3 Hz stabilisierte. Normalerweise wird das europäische Hochspannungsstromnetz auf 50 Hz

synchronisiert. Abweichungen und Abtrennungen können zu Stromausfällen in Teilnetzen führen.

Tatsächlich gab es nach dem Vorfall im Bereich der kritischen Infrastruktur Berichte, wonach es zumindest in Teilen Rumäniens zu lokalen Blackouts kam. Lampen in Haushalten und auf den Straßen sowie elektrische Geräte sollen auch in anderen Bereichen vor allem in Südosteuropa an- und ausgegangen sein. Der österreichische Übertragungsnetzbetreiber APG verwies darauf, dass die Frequenzstörung "das europäische Stromnetz an seine Grenzen gebracht hat".

Gegenmaßnahmen eingeleitet

Angesichts der Unterfrequenz gingen dem Bericht zufolge im nordwestlichen Teilnetz "vertraglich gesicherte Kapazitäten" in Form von Industrieverbrauchern mit einer Leistung von 1,7 GW in Frankreich und Italien vom Netz. Diese hatten zuvor mit den zuständigen Übertragungsnetzbetreibern einschlägige Verträge zum Stützen des Netzes abgeschlossen. Zusätzlich wurden 420 MW unterstützende Leistung aus dem skandinavischen und 60 MW aus dem britischen Synchrongebiet automatisiert eingespeist.

Im südöstlichen Teil des Netzes wurden aufgrund der erhöhten Frequenz ebenfalls automatische und manuelle Gegenmaßnahmen aktiviert, um den Leistungsüberschuss zu reduzieren. So ging etwa eine Erzeugungsanlage mit einer Leistung von 975 MW in der Türkei noch um 14:04 Uhr automatisch vom Netz. Die weiteren Frequenzschwankungen zwischen 14:30 und 15:06 Uhr sollen daran gelegen haben, dass das südöstliche Teilnetz vergleichsweise klein gewesen sei und einige Kraftwerke abgetrennt worden seien. Diese Abweichungen will ENTSO-E noch genauer untersuchen.

Das Gegensteuern sorgte dem Verband zufolge dafür, dass der Normalbetrieb im Netz bald wiederhergestellt werden konnte. Der deutsche Versorger Amprion koordinierte nach eigenen Angaben im Rahmen der Frequenzüberwachung für Kontinentaleuropa das gemeinsame Vorgehen. Um 14:47 Uhr und 14:48 Uhr konnten demnach die Industrieanlagen in Italien und Frankreich wieder ans Netz gehen. Um 15:07 Uhr synchronisierten die Netzbetreiber die beiden Teilnetze wieder.

Auf Basis der vorläufigen Ergebnisse soll eine Expertenkommission nun die Ereignisse entsprechend der gesetzlichen Vorgaben vollständig aufklären. Christian Rehtanz, Leiter des Instituts für Energiesysteme an der TU Dortmund, wertete den Vorfall als "sehr großes Störereignis für die gesamte Netzstruktur" mit weiterem Analysebedarf.

Zusatzinfo 2

Was würde bei einem Blackout geschehen?

Auch wenn Experten das Risiko eines großflächigen und viele Tage oder gar Wochen andauernden Stromausfalls in Deutschland für sehr gering halten, lohnt es sich darüber nachzudenken. Was würde bei einem Blackout geschehen? Für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) haben Forscher das Szenario und seine Auswirkungen untersucht. Sie kamen zu dem Schluss: Ein massiver Blackout wäre eine Katastrophe, die das Leben in Deutschland rasch an seine Grenzen führen würde:

- Unmittelbar nach dem Stromausfall bleiben Züge stehen und Aufzüge stecken.
- Die Beleuchtung fällt aus – ebenso Ampeln, was zum Chaos im Straßenverkehr führt. Wer mit seinem Auto in einer Tiefgarage steht, muss warten, bis die blockierenden Schranken abgebaut werden.
- Elektrisch betriebene Türen hingegen öffnen sich dank automatischer Entriegelung.
- In gesicherten Bereichen, etwa bei Banken, versagen Schleusen und Videoüberwachung.
- Die Bildschirme der Fernsehgeräte bleiben schwarz, nur batteriebetriebene Radios sind noch auf Empfang – solange die Rundfunksender mit Notstrom betrieben werden können.
- Da die für den Datenverkehr nötigen Router ausfallen, lassen sich übers Internet keine Informationen mehr erhalten.
- Auch die meisten Festnetztelefone funktionieren nicht mehr, das Mobilfunknetz dürfte wegen Überlastung rasch ans Limit geraten.

Die unzureichenden Möglichkeiten zur Information und Kommunikation sehen die Fachleute des TAB als eines der größten Probleme bei einem Blackout. Eine Alternative zu TV und Internet bietet zunächst das Radio im Auto. Das wiederum ist nur noch für eine begrenzte Strecke fahrbereit.

- Da die Pumpen an den Tanks der Zapfsäulen streiken, gibt es an der Tankstelle bald keinen Treibstoff mehr.
- Polizei und Feuerwehr sind überlastet, weil sie etwa den Verkehr regeln oder Menschen aus steckengebliebenen Fahrstühlen befreien müssen.
- In Krankenhäusern springen nach dem Stromausfall Dieselaggregate an, die wichtige medizinische Geräte mit Notstrom versorgen. Das funktioniert allerdings nur, solange noch Kraftstoff verfügbar ist. In den Kliniken gibt es einen Vorrat an wichtigen Medikamenten, mit dem sich die Notversorgung der Bevölkerung für eine Weile sicherstellen lässt.
- Weil die Anlagen fürs Be- und Entladen und die Logistik stillstehen, kommt der Warenumsatz in den Häfen rasch zum Erliegen, auch der Betrieb an Flughäfen ruht. Landungen von Flugzeugen sind aber dank Notstrom noch möglich.
- In den meisten Fabriken und Handwerksbetrieben sowie in vielen anderen Unternehmen muss die Arbeit eingestellt werden.

- Schwierig wäre die Situation in landwirtschaftlichen Betrieben, die auf elektrischen Strom für Melkmaschinen, automatische Fütterung oder Lüftung in den Ställen angewiesen sind. Dauert der Blackout mehrere Tage an, drohen viele Tiere zu verenden.
- Da die Kühlung ausfällt und der Nachschub stockt, werden nach einigen Tagen auch die Lebensmittel in den Supermärkten knapp.
- Was es noch zu kaufen gibt, lässt sich nicht mehr bargeldlos bezahlen. Und auch die Scheine gehen allmählich zur Neige, da Bankautomaten keine mehr hergeben.
- Im Winter fallen die meisten Heizungen aus, im Sommer die Klimaanlage. Auch die Versorgung mit Trinkwasser wird ein Problem. Sie basiert vielerorts auf Pumpstationen, die nun nicht mehr laufen.
- Der fehlende Strom lässt zudem Klärwerke versagen. Abwässer fließen deshalb ungereinigt in Bäche und Flüsse. Zusammen mit dem Mangel an frischem Wasser und dem Ausfall der Toilettenspülung führt das nach einiger Zeit zu schlimmen hygienischen Verhältnissen.
- Nach ein bis zwei Wochen ohne elektrische Energie nehmen die Folgen des Blackouts dramatische Dimensionen an:
 - Die meisten Geschäfte müssen schließen, weil sie keine Waren mehr anzubieten haben.
 - Für Trinkwasser, Löschwasser, die Versorgung mit Lebens- und Arzneimitteln sowie den Betrieb medizinischer Geräte muss eine umfassende Notstromversorgung aufgebaut werden. Der Dieselkraftstoff für die dazu genutzten Generatoren und die Transport-Lkw muss teils über weite Strecken herbeigeschafft werden.
 - Auch die Polizei leidet unter Treibstoffmangel und Kommunikationsproblemen – das erleichtert Dieben, Einbrechern und anderen Kriminellen ihr Geschäft.

Ob Vorsorgemaßnahmen für eine solche Notsituation ausreichen, muss sich hoffentlich nie in der Praxis zeigen. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Ernstfall eintritt, ist dank der hohen Ausfallsicherheit des deutschen Stromnetzes sehr gering.