

Mehr Resilienz für die Strom- und Kommunikationsnetze in Deutschland

Wie gehen wir mit den zunehmenden gegenseitigen Abhängigkeiten um?

by VDE ETG ITG

Empfohlene Zitierweise:

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: Mehr Resilienz für die Strom- und Kommunikationsnetze in Deutschland, VDE Impulspapier, Offenbach am Main, Januar 2024

Dieses VDE Impulspapier ist das Arbeitsergebnis der gemeinsamen VDE ETG und VDE ITG Arbeitsgruppe „Resiliente Netze“.

Autorinnen und Autoren:

Sigurd Schuster, Nokia/Sigurd Schuster Management Consulting, Koordination
Michael Düser, Deutsche Telekom
Christine Herr, Westenergie
Manuel Ostertag, Westenergie
Florian Steinke, TU Darmstadt
Jürgen Tusch, Dr. Tusch Consulting

Review-Team:

Jochen Apel, Nokia
Thomas Benz, VDE ETG
Damian Dudek, VDE ITG
Ronald Freund, Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut
Thomas Lehmann, Westenergie
Christian Rehtanz, TU Dortmund
Johannes Stürmer, Westnetz
Christian Wietfeld, TU Dortmund
Frank Wirtz, Bayernwerk
Markus Zdrallek, Universität Wuppertal
Volker Ziegler, Nokia

Die Autorinnen und Autoren bedanken sich bei den Expertinnen und Experten des Review-Teams und bei den Experten des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) für ihre Beiträge zur Betrachtung von Katastrophenfällen.

Vorbemerkung:

VDE Studien geben – entsprechend der Positionierung des VDE als neutraler, technisch-wissenschaftlicher Verband – gemeinsame Erkenntnisse der Mitglieder der jeweiligen Arbeitsgruppen wieder. Die Gemeinschaftsergebnisse werden im konstruktiven Dialog aus häufig unterschiedlichen Positionen erarbeitet. Die Studien spiegeln daher nicht unbedingt die Meinung der durch ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vertretenen Unternehmen und Institutionen wider.

Herausgeber:

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.
Energietechnische Gesellschaft (ETG)
Informationstechnische Gesellschaft (ITG)
Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel. +49 69 6308-0
etg@vde.com
itg@vde.com
www.vde.com/etg
www.vde.com/itg

Titelbild: © Metamorworks / stock.adobe.com

Design: Schaper Kommunikation, Bad Nauheim

Januar 2024

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	4
2. Einführung	8
3. Technische Entwicklung der Stromnetze	13
3.1 Stromnetze – Struktur und Entwicklung	13
3.2 Kommunikationsnetze in der Energieversorgung	17
4. Technische Entwicklung der Kommunikationsnetze	20
4.1 Telekommunikationsnetze – Struktur und Entwicklung	20
4.2 Stromversorgung in TK-Netzen	23
5. Analyse von beispielhaften Betriebsszenarien	25
5.1 Betriebsszenario Stromnetze: Normalbetrieb inklusive möglicher technischer Störungen in heutigen und in zukünftigen Netzen	25
5.2 Betriebsszenario Stromnetze: Stromnetzbetrieb in Katastrophenfällen	26
5.3 Betriebsszenario Öffentliche Kommunikationsnetze: Stromversorgung von TK-Netzen im Normalbetrieb und technische Störungen durch Ausfall der Energieversorgung	26
5.4 Betriebsszenario Öffentliche Kommunikationsnetze: Katastrophenfälle und massive Zerstörungen der physischen Infrastruktur	27
5.5 Betriebsszenario Katastrophe: großangelegter Cyberangriff auf Stromnetze	28
5.6 Betriebsszenario Katastrophe: große physische Zerstörungen	29
6. Schlussfolgerungen: Fragestellungen, Lösungsansätze und Hypothesen	32
6.1 Fragestellungen	32
6.2 Lösungsansätze	35
6.3 Hypothesen	38
7. Ausblick und Empfehlungen des VDE	40
Literaturverzeichnis	42

1. Kurzfassung

Elektrischer Strom und digitale Kommunikation sind bekanntermaßen unabdingbare Voraussetzungen für unser heutiges Leben. Nahezu permanent verfügbare Strom- und Kommunikationsnetze sind zwingend notwendig für die „all electric society“, und ihre Bedeutung wird in den nächsten Jahren weiter steigen. Deshalb gilt es festzulegen, welches Niveau an Resilienz¹ gegen Störungen und Ausfälle wir uns als Gesellschaft in Bezug auf diese kritischen Infrastrukturen leisten können und wollen. Das vorliegende Papier befasst sich dabei speziell mit den gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Strom- und Kommunikationsnetzen, die mit dem Voranschreiten der Energiewende zunehmen werden, und gibt gezielte Handlungsempfehlungen.

Herausforderung

Der Klimawandel erzwingt einen umfassenden Einsatz volatiler erneuerbarer Energien und damit zugleich die Dezentralisierung unserer elektrischen Energieversorgung, die nur mittels weitgehender Digitalisierung der Erzeuger, Speicher und Verbraucher gelingen kann. Die Digitalisierung wiederum ist – wie auch in allen anderen Bereichen unserer Wirtschaft und Gesellschaft – auf stabile Kommunikationsverbindungen angewiesen, die ihrerseits eine stabile Stromversorgung benötigen. Für den Betrieb der Stromnetze wird neben die Stromnetz-spezifischen Kommunikationsnetze² zunehmend der Einsatz öffentlicher Netze³ treten, um z. B. Haushalte und kleinere Unternehmen anzubinden und Photovoltaikanlagen, Speicher und große Verbraucher (wie etwa Ladestationen oder Wärmepumpen) im Bedarfsfall netzdienlich steuern zu können. Ebenfalls müssen wir als Folge des Klimawandels mit einer Zunahme extremer Wetterereignisse rechnen, die eine Gefahr für die Strom- und Kommunikationsnetze darstellen können. Zudem bringt die Digitalisierung eigene Risiken wie beispielsweise massive Cyberangriffe mit sich.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie resilient unsere Strom- und Kommunikationsnetze in ihrer zunehmenden wechselseitigen Abhängigkeit gegen die heutigen und vor allem künftigen Gefahren sind. Können sie Veränderungen und Störungen auch in der jeweils anderen Infrastruktur angemessen auffangen und sich erholen, oder müssen wir im Gegenteil mit einer Fehlerfortpflanzung vom Stromnetz ins Kommunikationsnetz und umgekehrt rechnen?

Vorgehensweise

Der VDE ist dieser Frage mit einer sektorübergreifenden Arbeitsgruppe aus Expertinnen und Experten seiner energietechnischen und informationstechnischen Fachgesellschaften (ETG und ITG) nachgegangen. Dazu wurden die aktuelle und erwartete technische Entwicklung der Strom- und Kommunikationsnetze zugrunde gelegt und typische Betriebsszenarien im Normalbetrieb und in Katastrophenfällen analysiert. Daraus wurden Gefährdungen für die Resilienz der Netze sowie weitere Fragestellungen abgeleitet und erste Lösungsansätze skizziert. Die Ergebnisse und Empfehlungen richten sich an Fachleute in Industrie, Behörden und Politik, um zum Verständnis der sektorenübergreifenden Zusammenhänge und damit zur Resilienz unserer zukünftigen Strom- und Kommunikationsnetze im Normalbetrieb und bei Katastrophenfällen beizutragen.

¹ Unter Resilienz verstehen wir die Fähigkeit eines Systems, Veränderungen und Störungen zu bewältigen, mit ihnen umzugehen, sich anzupassen, und sich zu erholen.

² Stromnetzbetreiber verfügen seit jeher über hochverfügbare eigene Glasfasernetze für die systeminterne Kommunikation zum Betrieb der Stromnetze. Ergänzend wird derzeit ein bundesweites versorger-spezifisches LTE-Funknetz im Frequenzbereich 450 MHz aufgebaut.

³ Öffentliche Netze werden von den bundesweit oder regional aktiven Netzbetreibern betrieben, ihre Dienste können von allen Verbrauchern und Unternehmen subskribiert werden. Im Gegensatz dazu stellen Sonder- und Privatnetze und ihre Dienste nur spezifischen Nutzergruppen zur Verfügung.

Ergebnisse

Es wurden sechs Betriebsszenarien entwickelt:

- Stromnetze: Normalbetrieb inklusive möglicher technischer Störungen in heutigen und in zukünftigen Netzen,
- Stromnetze: Netzbetrieb in Katastrophenfällen,
- Telekommunikationsnetze: Stromversorgung von öffentlichen Telekommunikations(TK)-Netzen im Normalbetrieb und bei technischen Störungen durch Ausfall der Stromversorgung,
- Telekommunikationsnetze: Katastrophenfälle und massive Zerstörungen der TK-Infrastruktur,
- Katastrophe: großangelegter Cyberangriff auf Stromnetze (mit in der Folge eintretendem weitgehendem Ausfall der öffentlichen TK-Netze),
- Katastrophe: große physische Zerstörungen der Infrastruktur (wie z. B. im Ahrtal 2021).

Aus der Analyse der Betriebsszenarien lässt sich eine Reihe von Hypothesen aufstellen, die zeigen, wie ein hohes Maß an Resilienz in unseren künftigen Strom- und öffentlichen Kommunikationsnetzen gewährleistet werden kann. Vorausgesetzt wird dafür, dass relevante Fragestellungen beantwortet und zielführende Lösungsansätze implementiert werden. Speziell im Telekommunikationsmarkt mit seinem intensiven Infrastrukturwettbewerb müssen dazu Verantwortlichkeiten und Finanzierung geklärt sowie erforderlichenfalls auch die rechtlichen bzw. regulatorischen Rahmenbedingungen angepasst werden.

- Im Stromnetz bringt die Energiewende einen Wandel der elektrischen Energieversorgung vom Synchrongenerator- zum Umrichter-dominierten Netz mit sich. Dieser Übergang hat Herausforderungen, etwa den Wegfall von Generatoren mit großen rotierenden Schwungmassen und ihrem Beitrag zur Systemstabilität, eröffnet aber auch neue Chancen zur Erhöhung der Verfügbarkeit der Stromversorgung. Langfristig wird es möglich, mittels netzbildender Umrichter in Fehlerfällen zu einem kontrollierten Inselnetzbetrieb überzugehen. Dies wird auch der Verfügbarkeit der Zugangsnetze der öffentlichen Telekommunikation zu Gute kommen.
- Die Stromversorger können durch die eigenen Kommunikationsnetze, das 450-MHz-LTE-Netz und ggf. angemietete schwarzfallfeste Kommunikationsverbindungen den stabilen Stromnetzbetrieb auch bei Störungen in den öffentlichen TK-Netzen aufrechterhalten.
- Für den mit steigender Anzahl erneuerbarer fluktuierender Erzeuger und steuerbarer Lasten zunehmenden Kommunikationsbedarf der Verteilnetze werden zunehmend auch öffentliche TK-Netze für nicht zeitkritische Management-Funktionen und in Einzelfällen auch für stabilitätsrelevante Funktionen eingesetzt. Hierfür wird ggf. in den Zugangsnetzen punktuell eine Erhöhung der Verfügbarkeit nötig sein.
- Die Resilienz öffentlicher Kommunikationsdienste im Falle von Ausfällen der Energieversorgung wird gestärkt durch weiterentwickelte Netztopologien, lokal eigene erneuerbare Energieerzeugung und bedarfsweise mehr Power Backup in den Zugangsnetzen, sowie durch das systematische Einbeziehen aller Teilnehmer im Wertschöpfungsprozess für Telekommunikationsdienste. Die Nutzer der Dienste müssen dabei eine ausreichend gesicherte Stromversorgung ihrer Endgeräte beisteuern.
- Die genannten Maßnahmen zur Verbesserung der Verfügbarkeit von Stromversorgung und öffentlichen Telekommunikationsdiensten eröffnen Synergiepotentiale für eine Verbesserung der Resilienz von Strom und Kommunikation für andere Kritische Infrastrukturen und für die Bevölkerung. Diese Möglichkeit ist besonders im Fall von Katastrophen von hohem gesellschaftlichem Wert. Daher liegt im zweiten Schritt ein umfassender Ansatz unter Einbeziehung weiterer Stakeholder nahe.

Im Einzelnen ist eine ganze Reihe von Fragestellungen zu betrachten. Diese umfassen z. B. die von der systematische Analyse künftiger Anforderungen des Stromnetzbetriebs an die Kommunikation, die standortspezifischen Erfordernisse von TK-Netzen an die Versorgung mit Elektrizität und die Auswirkungen eventueller Stromausfälle bei allen Beteiligten in der Bereitstellung von TK-Diensten. Auch die mögliche Fehlerfortpflanzung über Sektorengrenzen hinweg oder die künftigen Erfordernisse für

eine sektorenübergreifende Kommunikation im Regelbetrieb müssen untersucht werden. Weitere Fragestellungen ergeben sich aus der Betrachtung möglicher Katastrophenfälle. Hier sollten nicht nur die Strom- und TK-Netzbetreiber, sondern auch andere Stakeholder wie z. B. öffentliche Stellen oder andere Kritische Infrastrukturen einbezogen werden. Letztlich geht es dabei um die Frage, welches Niveau an Resilienz wir uns als Gesellschaft leisten können und wollen.

Handlungsfelder mit Lösungsansätzen können in Technik und Infrastruktur, Prozesse und Vorgehen, sowie Personal und Information kategorisiert werden. Der Schwerpunkt dieses Impulspapiers liegt dabei auf der künftigen Auslegung von Technik und Infrastruktur. Seitens der öffentlichen Kommunikationsnetze kommen z. B. gezielte Erweiterungen netzunabhängiger Stromversorgung im Zugangsnetz (beispielsweise regenerative Energien mit Batteriepufferung), Virtualisierung von Netzfunktionen, oder Nutzung netzimmanenter Redundanzen infrage. In den Stromnetzen ermöglichen langfristig netz-bildende Umrichter in Verbindung mit dezentralen Speichern und Erzeugern die Bildung temporärer Inselnetze bei großflächigen Ausfällen. Bei Prozessen und Vorgehen sollte insbesondere ein strukturierter wechselseitiger Informationsaustausch und ggf. gemeinsame Planung im Betrieb von Strom- und TK-Netzen etabliert werden, um bei Störungen eine gegenseitige Beeinflussung soweit wie möglich zu vermeiden oder zügig überwinden zu können. Ein koordiniert strukturiertes Vorgehen ist besonders bei Großstörungen, z. B. bei großflächigen Cyberangriffen oder Naturkatastrophen wichtig. Voraussetzung ist, dass die Fachleute aller beteiligten Sektoren ein Verständnis der künftigen Zusammenhänge zwischen den beteiligten Netzen haben und ihre jeweiligen Planungen dementsprechend gestalten können.

Der VDE empfiehlt daher, in vier Dimensionen aktiv zu werden:

- Awareness

Im Rahmen des in jüngster Zeit allgemein gewachsenen Bewusstseins für Resilienz müssen besonders unsere Strom- und Kommunikationsnetze ausreichend Beachtung finden. Dem Stromnetz einschließlich der zu seinem zuverlässigen Betrieb nötigen Kommunikationsdienste kommt dabei als Grundlage für andere Infrastrukturen eine besondere Bedeutung zu. Für die Umsetzung konkreter Maßnahmen muss das Bewusstsein dafür geweckt werden, dass Resilienz zunächst Kosten verursacht, sich durch vermiedene Schäden aber wirtschaftlich rechnen kann.

- Sektoren- und industrieübergreifendes Denken und Handeln

Ähnlich wie im Kontext der Sektorenkopplung bereits seit langem über verschiedene Energienetze hinweg gedacht wird, muss man auch zu einer systemisch gemeinsamen Betrachtung von Stromnetzen und öffentlichen Kommunikationsdiensten kommen. Sektorenübergreifendes Denken und Handeln setzt entsprechende Kenntnisse und Fähigkeiten der beteiligten Fachleute bei Betreibern, Herstellern und Behörden und dafür eine geeignete Aus- und Weiterbildung voraus.

- Berücksichtigung der Möglichkeit von Katastrophen

Vor dem Hintergrund möglicher Katastrophen durch den Klimawandel sowie andere Ereignisse müssen verstärkt Maßnahmen ergriffen werden, die die Resilienz unserer Strom- und Kommunikationsnetze angesichts der technischen Entwicklung und der zukünftig zu erwartenden Risiken angemessen und abgestuft sicherstellen. Hierbei sollten Strom- und öffentliche TK-Netze und auch andere kritische Infrastrukturen weiträumig „gemeinsam gedacht“ werden.

- Systematische Planung und Umsetzung von Maßnahmen

Resultierend aus einer systemischen Betrachtung sollten mögliche Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Dringlichkeit und technischen wie wirtschaftlichen Machbarkeit beurteilt, priorisiert und anschließend geplant und umgesetzt werden. Dazu gehören:

- Kurzfristig: Erfassen des Bedarfs der Kommunikationsinfrastruktur an eine gesicherte Stromversorgung sowie des zusätzlichen Bedarfs für eine stromausfallresiliente Kommunikation, punktuelles Erweitern der Unabhängigkeit der öffentlichen Kommunikationsnetze von der öffentlichen Stromversorgung (setzt Klärung der Finanzierung und Verantwortlichkeiten voraus), Etablieren standardisierter Schnittstellen und Betriebsprozesse zwischen Stromnetz- und öffentlichem TK-Netzbetrieb.

- Mittelfristig: Planung der künftig erforderlichen Kommunikationsdienste für die Stromnetze bzw. der Stromversorgung für die öffentlichen Kommunikationsnetze gemeinsam durch Stromversorger und Telekommunikationsnetzbetreiber zur Sicherung der Resilienz des Gesamtsystems, dabei gezielt synergetischen Nutzen für andere kritische Infrastrukturen und die Bevölkerung schaffen, Entwickeln von Szenarien für sowie Etablieren von sektorübergreifenden Verfahren und Übungen für Katastrophenfälle mit Beteiligung aller relevanten Stakeholder auch über Ländergrenzen hinweg.
- Langfristig: Vorbereitungen für temporären Inselnetzbetrieb im Störfall durch Einsatz netzbildender Umrichter verbunden mit dezentralen Speichern und Erzeugern. Forschungsprojekte zur Analyse der künftigen Zusammenhänge im Gesamtsystem und Herausarbeiten von Risiken und Handlungsbedarf sowie Chancen und Handlungsempfehlungen (technisch, wirtschaftlich, regulatorisch), Etablieren von Mechanismen zur sektorübergreifenden Optimierung, und Umsetzen infrastruktureller Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz.

Wir haben heute in Deutschland hoch zuverlässige Strom- und öffentliche Kommunikationsnetze, auf deren Verfügbarkeit und weitgehende Resilienz gegenüber Störungen wir uns verlassen können. Die Zuverlässigkeit unserer Netze muss ständig weiterentwickelt und gesichert werden. Dabei ist sicherzustellen, dass alle Netzbetreiber entsprechende Mindeststandards einhalten – das gilt beispielsweise für große und kleine Betreiber elektrischer Verteilnetze ebenso wie für miteinander im Wettbewerb stehende Betreiber öffentlicher Kommunikationsnetze. Nur wenn wir die erkennbaren und kommenden Herausforderungen zusammen mit der technologischen Weiterentwicklung unserer Netze bewusst und sektorenübergreifend angehen, werden wir auch künftig eine verlässliche Stromversorgung und stabile Kommunikationsdienste haben.

Der VDE als Technologieorganisation mit profunder Kenntnis von sowohl elektrischer Energie- als auch Informations- und Kommunikationstechnik steht als Partner für Fachleute in Industrie und Behörden zur Verfügung, um bei der Aus- und Weiterbildung, dem sektorenübergreifenden Dialog, der Standardisierung von Schnittstellen und der Festlegung geeigneter Betriebsverfahren aktiv gestaltend mitzuwirken. Ebenso unterstützt der VDE gerne mit neutraler Fachinformation den politischen Dialog.

2. Einführung

Die 2020er Jahre sind insbesondere durch die Chancen aus der Digitalisierung und gleichzeitig durch die enormen Herausforderungen des Klimawandels geprägt. Die Lösung dieser Herausforderung bedeutet für die Stromnetze einen fundamentalen Umbruch in Erzeugung, Verteilung und Verbrauch elektrischer Energie⁴. Parallel dazu prägen zunehmende Digitalisierung und Vernetzung die Wertschöpfung in der Wirtschaft sowie in nahezu sämtlichen Lebensbereichen. Dadurch erhöht sich die Abhängigkeit eines geordneten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens von der Verfügbarkeit der öffentlichen Telekommunikationsdienste⁵ massiv.

Sowohl für die Energiewende als auch die Digitalisierung sind zuverlässige und resiliente Telekommunikationsnetze sowie eine zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie zwingend erforderlich. Um beides krisenfest zu realisieren, sind erweiterte Anstrengungen und Konzepte notwendig, die auch eine zunehmende wechselseitige Abhängigkeit berücksichtigen.

Aktuelle Beispiele von Zusammenhängen zwischen Strom- und öffentlichen Telekommunikationsnetzen

Beispiel 1: Eine Gruppe Windkraftanlagen ist über ein öffentliches Mobilfunknetz mit der Leitstelle verbunden. Eine spezielle Vereinbarung über gegenseitige Information bei Wartung und Störungen existiert in der Regel nicht. Eine geplante Wartung und damit temporäre Außerbetriebsetzung von Mobilfunkstationen in der Region führt zum Verlust der Konnektivität. Dadurch wäre die in Starkwindsituationen nötige gezielte Abregelung der Windkraftanlagen nicht mehr möglich. In der Folge kann bei Energie-Überangebot keine Regelung erfolgen, oder es kann in Extremfällen sogar eine regionale Netzüberlastung im Verteilnetz auftreten. In diesen Fällen wäre ein alternativer Kommunikationspfad zu den Windrädern erforderlich, der dann zur Regelung eingesetzt werden kann. Dies könnte im Notfall auch der Wartungszugang der Windradhersteller sein.

Beispiel 2: Ein Verteilnetzbetreiber benötigt zuverlässige Sprachverbindungen zu seinem Betriebspersonal im Feld. Er vereinbart mit einem Mobilnetzbetreiber die Ausrüstung bestimmter Basisstationen mit erweitertem Batterie-Backup, muss sich dafür allerdings mit einem nennenswerten Betrag an den Investitionen beteiligen. So bleibt die Sprachkommunikation auch bei einem Ausfall des Stromnetzes für eine bestimmte Zeit gesichert.

Beispiel 3: Durch die Flutwellen beim Hochwasser im Rheinland und an der Ahr 2021 werden die Infrastruktur und die Netztechnik von Strom- und Kommunikationsnetzen massiv zerstört. Stromversorgung und öffentliche Telekommunikationsdienste fallen großräumig aus. Auch das Sondernetz der Behörden und Rettungsdienste ist außer Betrieb.

⁴ Die Energiewende erfordert auch einen Umbruch im Bereich der Gasversorgung, in der Wärmeerzeugung, in der Mobilität, und in vielen anderen Bereichen. In diesem Papier wird fokussiert der elektrische Strom betrachtet.

⁵ Öffentliche Telekommunikationsdienste werden von den Netzen der bundesweit oder regional aktiven Netzbetreiber bereitgestellt, wie etwa O2, Telekom, Vodafone oder die zahlreichen Stadtnetze. Ihre Dienste können von der Bevölkerung und Unternehmen subskribiert werden. Im Gegensatz dazu stehen Sonder- und Privatnetze. Sie sind nicht öffentlich, und ihre Dienste stehen nur spezifischen Nutzergruppen zur Verfügung, wie beispielsweise das BOS-Netz für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben oder die Glasfasernetze der Stromnetzbetreiber.

Beispiel 4: Ein kleiner Verteilnetzbetreiber in Nordrhein-Westfalen ist vom Hochwasser im Juli 2021 betroffen. In der Leitstelle fallen die Kommunikation und die IT-gestützte Leitstandtechnik aus. Durch Verwendung von ausgedruckten Karten des letzten Netzzustands und mit profunder Ortskenntnis sowie jahrzehntelanger Erfahrung des Betriebspersonals gelingt es, einen Teil des Versorgungsgebietes am Netz zu halten. Nach einigen Stunden entsteht durch mangelnde Kommunikationsfähigkeit das Gerücht, ein Damm am Oberlauf des hochwasserführenden Flusses sei gebrochen. Falls dies zutrifft droht eine massive Flutwelle, es müssten weitgehende Stromabschaltungen im Versorgungsgebiet erfolgen. Das Betriebspersonal wird an höhere Standorte evakuiert. Zum Glück ist der Damm nicht gebrochen, und weitergehende Stromabschaltungen können vermieden werden.

Beispiel 5: In Berlin werden bei Bauarbeiten zwei parallel verlegte Hochspannungskabel gleichzeitig durchtrennt. Daraufhin fällt in einem Stadtbezirk für über 30 Stunden der Strom aus. In der Folge sind auch die Mobilfunknetze teilweise nicht mehr in Betrieb. Aus einem Krankenhaus müssen Intensivpatienten evakuiert werden, da das Notstromaggregat nicht zuverlässig funktioniert. Der Katastrophenschutz bietet den Bürgern Strom aus Notstromaggregaten zum Aufladen von Mobiltelefonen an.

Wie man aus diesen Beispielen sieht, ist der Blick auf zwei unterschiedliche Fälle zu richten: Normalbetrieb und Katastrophenfälle.

Normalbetrieb

Normalbetrieb ist der zuverlässige Betrieb von Telekommunikationsnetzen sowie von Stromnetzen mit dem gesetzlich verankerten Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien mit ihrer inhärenten Volatilität. Aus letzterem ergibt sich die zwingende Notwendigkeit für eine zuverlässige und flächendeckende Kommunikation zur Steuerung der Energienetze, sowie der digitalen Koordination der Energieflüsse⁶. Insbesondere gilt dies in der diesbezüglich bislang weitestgehend unerschlossenen Mittel- und Niederspannungsebene der Stromnetze.

Störungen, wie sie im Betrieb komplexer Strom- bzw. Kommunikationsnetze auftreten können (beispielsweise technische Ausfälle, menschliche Fehler beim Betriebspersonal, Fremdeinwirkung wie Schäden durch Bauarbeiten, lokal begrenzte Cyberattacken oder Vandalismus, etc.), bleiben durch vielfältige technische und betriebliche Maßnahmen in vielen Fällen ohne Auswirkungen für den Kunden oder haben nur eine begrenzte Störwirkbreite (z. B. lokale Stromausfälle, Ausfälle einzelner Funkstationen, etc.).

Ein großer Teil der elektrischen Energieversorger betreiben seit langem eigene Telekommunikationsnetze, die sie von der Nutzung öffentlicher Kommunikationsdienste weitgehend unabhängig machen und zukunftsorientiert ausbauen. Mit dem Voranschreiten der Energiewende und der damit einhergehenden massiven Zunahme an Erzeugern, Speichern und Verbrauchern elektrischer Energie werden zusätzlich vermehrt öffentliche Kommunikationsdienste zum Einsatz kommen. Aufgrund der daraus resultierenden gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Strom- und öffentlichen Telekommunikationsnetzen muss sichergestellt sein, dass Störungen nicht zu Fehlerfortpflanzungen und in der Folge großflächigen Ausfällen der Strom- und/oder Kommunikationsversorgung führen. Hierbei spielt insbesondere auch die Systemwiederherstellung bei Stromausfällen eine entscheidende Rolle.

⁶ Die Stromnetze werden durch Sensorik und Aktorik merklich aktiver, was einen deutlich komplexeren Betrieb zur Folge hat.

Abbildung 1 stellt den Normalbetrieb und seine wesentlichen Veränderungen in den kommenden Jahren summarisch dar.

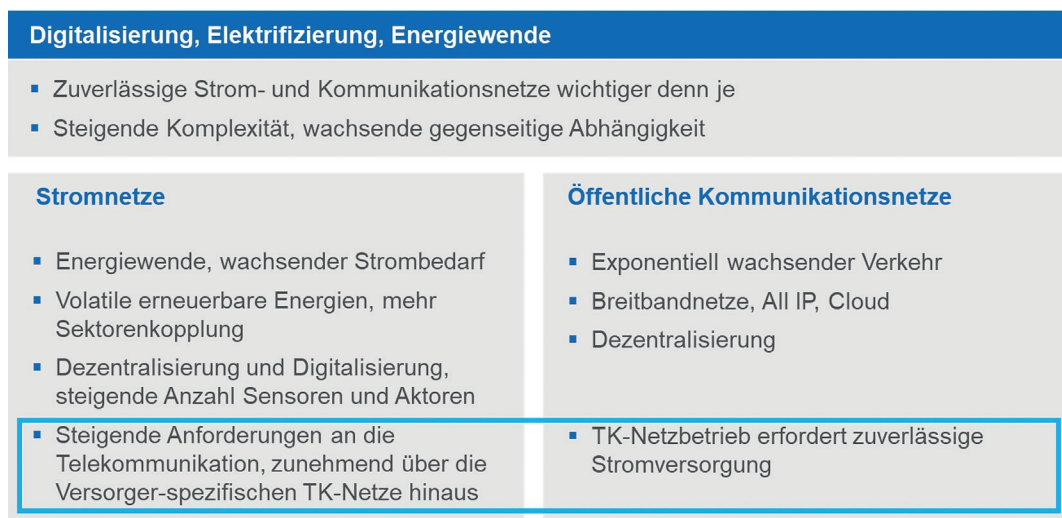


Abbildung 1: Veränderungen im Normalbetrieb

Katastrophenfälle

Der zweite Fall umfasst Großstörungen wie beispielsweise die Zerstörung aktiver und passiver Infrastruktur durch Naturereignisse (wie 2021 im Ahrtal), massive Cyberangriffe, Sabotage, oder technische Ausfälle essentieller zentraler Komponenten der Strom- oder Kommunikationsversorgung, welche die Versorgung mit Strom und Telekommunikation massiv und langanhaltend unterbrechen⁷. Er unterscheidet sich damit fundamental vom ersten Fall, und es sind neben der Prävention neue Ansätze zur temporären Versorgung und raschen Systemwiederherstellung erforderlich.

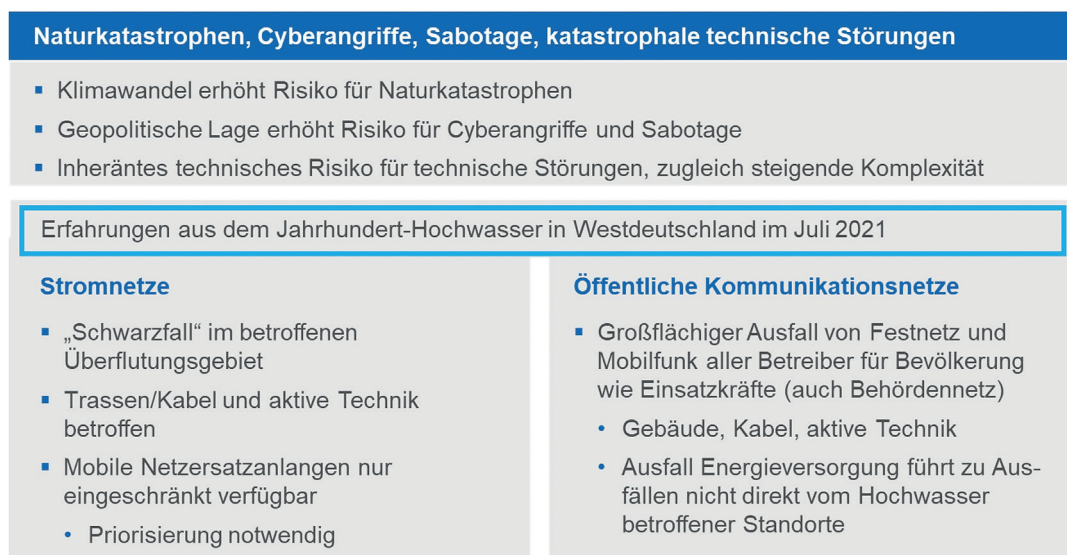


Abbildung 2: Herausforderungen in Katastrophenfällen

⁷ Physische Zerstörungen durch kriegerische Ereignisse werden nicht betrachtet.

Zielsetzung

Insgesamt muss eine hohe Resilienz⁸ von Energie- und Telekommunikationsnetzen erreicht werden. Dieses Papier befasst sich in diesem Zusammenhang mit den Wechselwirkungen zwischen öffentlichen Telekommunikationsnetzen (die für ihren Betrieb auf eine stabile Stromversorgung angewiesen sind) und Stromnetzen (die neben versorgerspezifischen Kommunikationsnetzen⁹ in zunehmendem Maß auch Dienste öffentlicher Telekommunikationsnetze¹⁰ nutzen). Andere Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz sowohl in Kommunikations- wie auch in Stromnetzen, beispielsweise geeignete Trassenführung, redundante Leitungen, fehlertolerante Systeme, etc. werden an dieser Stelle nicht betrachtet.

Die bewährte Praxis, ausreichende Resilienz jeweils isoliert innerhalb der Energie- bzw. öffentlichen Telekommunikationsnetzinfrastrukturen sicherzustellen, muss wegen der zunehmenden gegenseitigen Abhängigkeiten um sektorübergreifend koordinierte Maßnahmen erweitert werden, damit auch im Schadens- oder Katastrophenfall die Versorgung von Bevölkerung und Wirtschaft mit Elektrizität und Kommunikationsdiensten soweit irgend möglich sichergestellt bleibt oder rasch wiederhergestellt wird. Dies erfordert das konsequente Zusammenwirken aller Beteiligten im Markt. Der Erfolg wird auch bestimmt durch geeignete politische Maßnahmen und Rahmenbedingungen für Unternehmen, die zu großen Teilen einem regulierten Wettbewerb unterliegen.

Ziel des VDE ist es, mit diesem Impulspapier die Frage heutiger und künftiger gegenseitiger Abhängigkeiten zwischen Strom- und öffentlichen Telekommunikationsnetzen zu durchdringen und damit

- zum Verständnis für die Thematik „Resilienz von Netzen“ beizutragen,
- Beiträge zur langfristigen Sicherstellung ihrer Resilienz zu machen,
- zu klärende Fragen technischer und nicht-technischer Natur als Basis für die Erarbeitung konkreter Maßnahmen zusammenzustellen,
- Vorschläge für Handlungsfelder mit beispielhaften Lösungsansätzen zur Verbesserung der Resilienz zu machen,
- Chancen aufzuzeigen, die sich aus der gemeinsamen Betrachtung von Strom- und öffentlichen Kommunikationsnetzen ergeben, und
- dabei Synergiepotentiale aufzuzeigen, die eine Nutzung der Resilienz von öffentlichen Kommunikationsnetzen gegen Stromausfälle auch für andere Kritische Infrastrukturen und für die Bevölkerung eröffnen.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass es die Steigerung der Resilienz der Infrastruktur nicht zum Nulltarif gibt. Oft sind die Kosten für die Schäden, die durch geringe Resilienz entstehen, nur schwer vorstellbar. Ein Mehr an Resilienz ist durch unterschiedliche Ansätze erreichbar und verursacht Aufwand und Kosten, die abhängig von der Gestaltung von Einzelmaßnahmen unterschiedlich hoch ausfallen werden. Wie diese Kosten minimiert werden und von wem sie getragen werden sollten, ist nicht Bestandteil dieses Papiers. Auch die vermiedenen Opportunitätskosten, die durch höhere Resilienz erreicht werden, sind hier nicht betrachtet.

Dabei unterliegen die Stromnetze und die öffentlichen Telekommunikationsnetze fundamental unterschiedlichen wettbewerbsrechtlichen Bedingungen: Stromnetze werden in einem regulierten Markt, aber ohne Infrastrukturwettbewerb betrieben. Öffentliche Telekommunikationsnetze arbeiten ebenfalls in regulierten Märkten, aber hier ist Infrastrukturwettbewerb seit Jahrzehnten Bestandteil der regulatorischen Rahmenbedingungen, insbesondere in der Mobilkommunikation. Diese Tatsache spielt bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz von öffentlichen Kommunikationsnetzen eine wichtige Rolle.

⁸ Resilienz wird verstanden als die Fähigkeit eines Systems, Veränderungen und Störungen zu bewältigen, mit ihnen umzugehen, sich anzupassen, und sich zu erholen. Im Englischen wird dies mit den Begriffen „Resistance“ und „Recovery“ beschrieben. Vgl. dazu VDE-Impuls „Resilienz der Strom- und Gas-Versorgungsnetze im Rahmen der Energiewende“, November 2020

⁹ Elektrische Energieversorger betreiben seit Jahrzehnten eigene Glasfasernetze zur gesicherten schwarzfallfesten Kommunikation zwischen Leitstellen, Kraftwerken, Umspannwerken und anderen zentralen Einrichtungen der Stromnetze. Im Jahr 2021 wurde von der BNetzA der 450connect GmbH ein schmalbandiger Bereich des 450-MHz-Spektrums zugewiesen, in dem derzeit ein versorgerspezifisches 450-MHz-LTE-Mobilfunknetz errichtet wird, das schmalbandige Daten- und Sprachdienste in gesicherter Qualität schwarzfallfest zur Verfügung stellt.

¹⁰ Die Digitalisierung im Bereich der Stromnetze erfordert neben der Nutzung der versorgerspezifischen Kommunikationsnetze zunehmend auch die Nutzung öffentlicher Kommunikationsdienste, um besonders im Niederspannungsbereich eine Konnektivität zu erzeugern, Speichern und Verbrauchern herzustellen.

Methodischer Ansatz und Struktur des Impulspapiers

Um diesem Ziel gerecht zu werden, werden im Folgenden wie in Abbildung 3 dargestellt

- die aktuelle und künftige Entwicklung der Stromnetze (Kapitel 3) und der öffentlichen Telekommunikationsnetze (Kapitel 4) beschrieben; es wird dabei mit jeweils einem eigenen Abschnitt auf die Kommunikationsnetze für die elektrische Energieversorgung bzw. auf die elektrische Energieversorgung für die Kommunikationsnetze eingegangen,
- vor diesem Hintergrund sechs Betriebsszenarien betrachtet, in denen die elektrische Energieversorgung und die Kommunikationstechnik zusammenspielen müssen und anhand derer sich relevante Fragestellungen sowie erste Ansätze zur Erhöhung der Resilienz ableiten lassen (Kapitel 5),
- aus der Analyse der Betriebsszenarien resultierende Fragen zusammengestellt, in drei Handlungsfeldern Ansätze für Maßnahmen aufgezeigt sowie vorläufige Hypothesen entwickelt (Kapitel 6) und
- abschließend konkrete Empfehlungen gegeben (Kapitel 7).

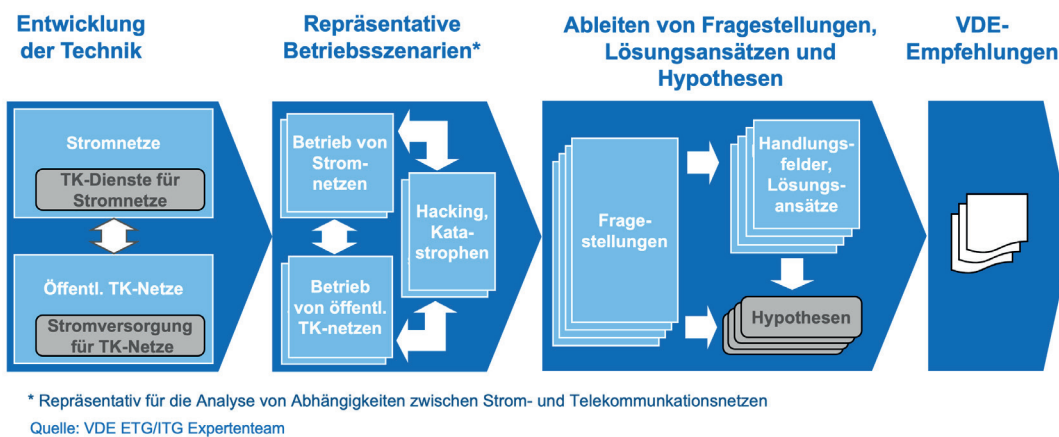


Abbildung 3: Methodische Herangehensweise

Da es sich sowohl bei Stromnetzen als auch bei öffentlichen Kommunikationsnetzen um Kritische Infrastrukturen (KRITIS) handelt¹¹, wurde bewusst auf eine allzu detaillierte Darstellung existierender oder künftig erwartbarer Risiken für den sicheren Netzbetrieb verzichtet. Die im Rahmen der Arbeit an dieser Unterlage gewonnenen Erkenntnisse sind in dem Maße eingeflossen wie es zum Verständnis der Zusammenhänge erforderlich ist¹².

11 Definition BSI: https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/KRITIS-und-regulierte-Unternehmen/Kritische-Infrastrukturen/Allgemeine-Infos-zu-KRITIS/allgemeine-infos-zu-kritis_node.html.

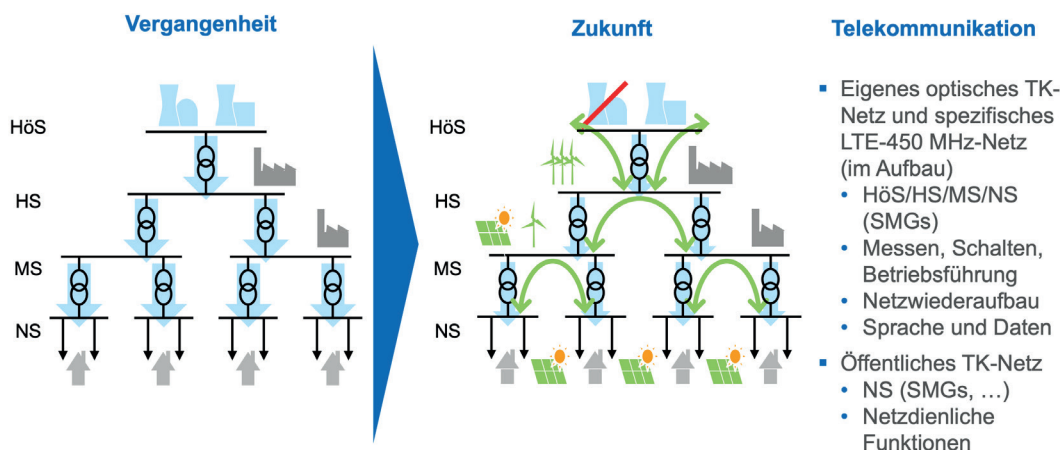
Kleinere Strom- und Kommunikationsnetze fallen formal nicht unter die KRITIS-Gesetzgebung

12 Bei Bedarf sind beim VDE weitere Einzelheiten verfügbar.

3 Technische Entwicklung der Stromnetze

Unsere Stromnetze durchlaufen mit dem Fortschreiten der Energiewende eine umfangreiche und zugleich strukturelle Weiterentwicklung. Dezentralisierung und Digitalisierung spielen dabei eine entscheidende Rolle und führen zu einer erheblich steigenden Bedeutung der Telekommunikation für die stabile Bereitstellung von Elektrizität.

Abbildung 4 zeigt stark vereinfacht diese Zusammenhänge.



Abkürzungen: HöS = Höchstspannung, HS = Hochspannung, MS = Mittelspannung, NS = Niederspannung, SMG = Smart Meter Gateway
Quelle: Westnetz

Abbildung 4: Entwicklung der Stromnetze (schematisch, stark vereinfacht) mit Angaben zur betrieblichen Telekommunikation

3.1 Stromnetze – Struktur und Entwicklung

Stromerzeugung und -verteilung in der Energiewende

Bis in die 2000er Jahre dominierte ein konventioneller Erzeugungsmix aus Braunkohle, Steinkohle, Kernkraft und Erdgas die Energieerzeugungslandschaft in Deutschland. Um den überwiegend zentral in Großkraftwerken erzeugten Strom den dezentral verteilten Bedarfsträgern bereitzustellen, wurde der Strom in einer Flussrichtung über das

- *Übertragungsnetz* (Höchstspannung) in das überregionale
- *Verteilnetz* (Hochspannung), mit daran angeschlossener Großindustrie, in die
- *regionalen Verteilnetze* (Mittelspannung), mit Kleinindustrie und Gewerbe, und in die
- *lokalen Verteilnetze* (Niederspannung) mit Kleingewerbe und Haushalten

geleitet.

Die Struktur der Stromerzeugung und Verteilung befindet sich durch die Dekarbonisierung des Energiesystems vor dem Hintergrund der Energiewende massiv im Wandel. Auf Erzeugerseite wurden sukzessive Erneuerbare-Energien-Anlagen (EE-Anlagen) in Betrieb genommen. Zu Beginn der 2000er Jahre kumulierte sich die ausgebaute Leistung an noch kleinen, an die Niederspannung angeschlossenen Windenergieanlagen (WEA) auf etwa 20 GW und begann damit das traditionelle Bild der Stromflussrichtung zu wandeln. Der Zubau an Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) machte sich mit den Boomjahren 2010-2012 bemerkbar. Mit wachsender Größe der Windenergie- und PV-Anlagen nahm

die Einspeisung auf Nieder- als auch Mittelspannungsebene stetig zu. Der fluktuierende Charakter von PV- und WEA-Einspeisung stellt das Energiesystem, in welchem systembedingt ein Leistungsgleichgewicht zwischen Erzeuger- und Verbraucherseite gelten muss, vor große Herausforderungen.

Durch das Ausscheiden planbarer und regelbarer thermischer Kraftwerke (Kernkraft-Ausstieg 2023, Kohle-Ausstieg voraussichtlich 2030), wird die Aufrechterhaltung der Systemstabilität zunehmend herausfordernd. Dies gilt sowohl für den Normalbetrieb, bei technischen und betrieblichen Störungen, als auch in Katastrophenfällen. Gaskraftwerke galten dabei lange als flexible Brückentechnologie zum Ausgleich volatiler erneuerbarer Energien. Die Auswirkungen des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine und die damit verbundenen Ausfälle der Gaslieferungen haben jedoch die Notwendigkeit für nachhaltige Alternativen aufgezeigt. Entsprechend der aktuellen Zielvorgaben zur Klimaneutralität bis 2045 wird erwartet, dass bis zu diesem Zieljahr eine erneuerbare Anschlussleistung in der Größenordnung zwischen 400 GW bis 650 GW benötigt wird. Dazu kommen 50 GW bis 90 GW regelbare Backupleistung zur Bedarfsdeckung bei Dunkelflaute (keine PV- und keine WEA-Einspeisung). Auch Speichersysteme, die zukünftig stark an Relevanz gewinnen werden, um zeitliche und räumliche Fluktuationen auszugleichen, erhöhen die Komplexität des Systems zusätzlich.

Das Anwendungsverhalten ändert sich

Neben der Einspeisung ändert sich insbesondere im Niederspannungsnetz auch das Anwendungsverhalten. Von recht gut prognostizierbaren Verbrauchsmustern für private Haushalte (Lastprofile) kommen ändern sich Verbrauchs- und Einspeisemuster abhängig von

- installierten *PV-Anlagen*,
- *Batteriespeichern*,
- *flexiblen Lasten*,
- der *Elektrifizierung der Fahrzeuge* (bereits über 1 Million elektrische PKW 2021 in Deutschland, voraussichtlich 15 Millionen bis 2030), und
- der *elektrischen Wärmeerzeugung* (mindestens 500.000 neu installierte Wärmepumpen pro Jahr, bzw. 6 Millionen bis 2030).

Die Gesamtnachfrage wird individueller, Bedarfs- und Einspeisespitzen mit hohem Gleichzeitigkeitsfaktor und die Lastprofile prägen sich im Tages- und Jahresverlauf neu aus.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch auf der Niederspannungsebene die Weiterentwicklung von dezentraler Erzeugung, Speicherung und Verbrauchern.

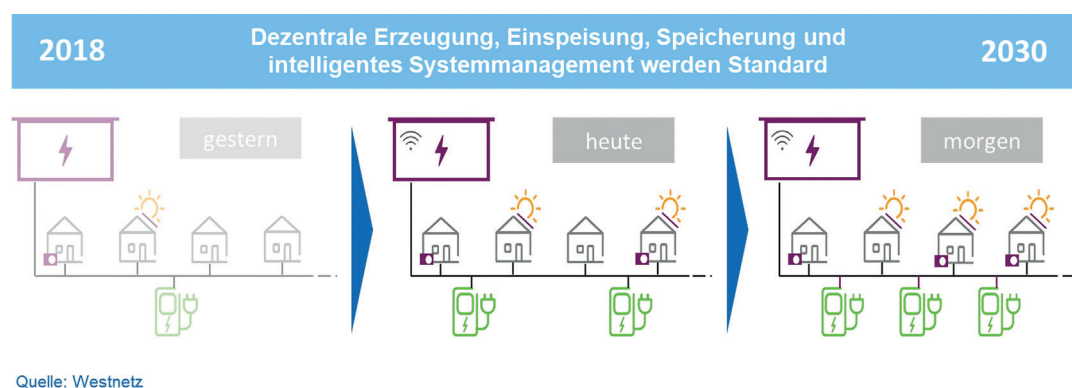


Abbildung 5: Entwicklung der Niederspannungsnetze (stark vereinfacht)

Über die Energieträger als auch Bedarfswelder ist übergreifend eine zunehmende Sektorenkopplung zu beobachten. Interdependenzen zwischen

- Stromnetzen,
- Gasnetzen,
- Batteriespeichern,
- Wärmeerzeugung und
- dem Verkehrssektor

müssen berücksichtigt werden.

Erhaltung der Versorgungssicherheit

Es wird deutlich, dass die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit ein außerordentlich komplexes Problem darstellt, welches ein hohes Maß an Beobachtung, Koordination und Steuerung von mittlerweile bereits über 2,6¹³ Million Erzeugungsanlagen benötigt. Bis 2030 soll der Bruttostromverbrauch zu mindestens 80 Prozent aus Erneuerbaren Energien gedeckt werden. Der Großteil der hierzu notwendigen EE-Anlagen wird an die Verteilnetze angeschlossen.

Die Installation von Erzeugungskapazitäten der EE-Anlagen oberhalb der horizontalen und vertikalen Transportfähigkeit der elektrischen Netze macht bei Überangebot eine kommunikativ unterstützte Steuerbarkeit (Abregelung) erforderlich. Bevorzugt sollte durch eine kommunikative Einbindung von Verbrauch und Speicherung elektrischer Energie in den aktiv gesteuerten Betrieb der Stromnetze eine möglichst erzeugungsnahe Nutzung des Dargebots¹⁴ erfolgen. Mindestens aber in Situationen ohne Dargebotsüberschuss müssen aufgrund der naturgegebenen Volatilität des Primärenergiedargebots der erneuerbaren Energieträger zur Erhaltung der Versorgungssicherheit auch Verbrauch und Speicherung elektrischer Energie in den aktiv gesteuerten Betrieb der Stromnetze einbezogen werden. Auch dabei müssen wir Mitte des Jahrhunderts von Millionen anzubindender Anlagen ausgehen.

Die bisherigen Verbraucher im Energienetz werden sich im Laufe der nächsten 20-30 Jahre also zu einem erheblichen Teil von Consumern zu Prosumern entwickeln, deren dezentrale Anlagen wesentlich zur Netzstabilität beitragen müssen und können, vorausgesetzt sie sind mit zuverlässigen Kommunikationsdiensten eingebunden.

Zur Bewältigung einer Herausforderung dieser Dimension muss das Verteilnetz durch Automatisierung und Digitalisierung intelligenter werden. Eine Schlüsselrolle dabei spielt die Weiterentwicklung der Kommunikationsinfrastruktur, die den neuen Anforderungen gewachsen sein muss.

Die folgenden Beispiele mögen dies illustrieren:

- In der Systemführung werden viele Informationen benötigt, die von außerhalb der Leitstellen bereitgestellt bzw. nach außen übermittelt werden müssen. So erfordert beispielsweise die Steuerung von Windenergieanlagen oder Solarparks eine bidirektionale Kommunikation: Steuerbefehle etwa zur Reduzierung der Einspeiseleistung gehen von der Netzleitstelle zur WEA. Die aktuell eingespeiste Leistung wird im Gegenzug als Messwert zum Leitsystem geschickt.
- Bei Engpässen in der Erzeugung müssen dezentrale Speicher zu- und wieder abgeschaltet oder auch definierte Verbraucher netzdienlich temporär vom Netz genommen werden.
- Überdies erfolgt eine rege Kommunikation zwischen den Energieversorgern zur Steuerung des Gesamtnetzverbundes in Deutschland und Europa.
- Darüber hinaus sind beispielsweise für die Folgetagsprognose (Day-ahead-Forecast) der Einspeisung der EE-Anlagen Wetterdaten erforderlich, die von außerhalb der Leitstellen geliefert werden.

¹³ Statistisches Bundesamt, Juni 2023: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/_inhalt.html

¹⁴ Das Dargebot sind in diesem Fall die erneuerbaren Primärenergien, also im Wesentlichen Sonne und Wind.

Systemstabilitätsmanagement im Wandel

Auf dem Weg hin zu einem 100 % klimaneutralen Energiesystem steigt der Anteil Umrichter-basierter Einspeisung (Windenergieanlagen, PV, Batteriespeicher, etc.) ins Stromnetz massiv an, während gleichzeitig immer mehr Großkraftwerke vom Netz gehen. Es ist davon auszugehen, dass bereits in wenigen Jahren Zeitpunkte ohne konventionelle Erzeugung deutlich überwiegen werden. Dieser Sachverhalt wirft nicht zuletzt im Themenbereich Systemstabilität wichtige Fragen auf. Es herrscht inzwischen Konsens darüber, dass auch Umrichter-basierte Einspeisung Momentanreserve (Inertia) bereitstellen muss, da das zukünftige System nicht mehr über genug rotierende Masse verfügen wird, um die Änderungsrate der Systemfrequenz ausreichend zu begrenzen. Umrichter, die dazu in der Lage sind, heißen netzbildende Umrichter (Grid Forming Converter, GFC). Das Verhalten netzbildender Umrichter im Systemverbund ist bislang nicht hinreichend erforscht. Jedoch zeichnet sich auch hier ab, dass Kommunikationssysteme ein zentraler Baustein für ein funktionierendes Energiesystem auf Basis tausender netzbildender Einheiten darstellen.

Auch bei den nicht instantanen Regelungsverfahren (Primärregelung, Sekundärregelung, etc.) gibt es Umbrüche. Nicht nur wird zukünftig Regelleistung zum überwiegenden Teil durch dezentrale Erzeugungs- und Speicheranlagen erbracht werden müssen, sondern auch gänzlich neue Verfahren, wie zum Beispiel die schnelle Primärregelung, eröffnen sich durch die inhärenten Eigenschaften Umrichter-basierter Anlagen.

Insgesamt zeichnet sich ab, dass die Regelungen schneller und durch mehr Stellglieder umgesetzt werden. Die Basis dafür werden zuverlässige, schnelle und durchgängig verwendete Kommunikationsnetze bilden.

Entwicklung der Anforderungen an die Kommunikationsdienste für den Stromnetzbetrieb

All dies zeigt die grundlegende Bedeutung von sicheren digitalen Plattformen für Prozessnetze zur Steuerung moderner Energiesysteme. Eine Schlüsselrolle dabei spielt die Weiterentwicklung der Kommunikationsinfrastruktur, die den neuen Anforderungen gewachsen sein muss. Dabei wird zukünftig auch ein heute noch nicht bekannter Anteil der dezentralen, teils von Prosumern betriebenen Anlagen an die Leitstände angebunden sein.

Auch für dezentrale Anlagen, die netzgeführt arbeiten und keine Verbindung zum Leitstand haben, spielt die Kommunikation eine wichtige Rolle, zum Beispiel für die Übertragung erfasster Betriebsdaten oder für ein ferngesteuertes Zu- und Abschalten. Für Updates der installierten Software und möglicherweise für erforderliche Patches mit Sicherheits-Updates wird ebenfalls eine ausreichend performante und sichere Kommunikation erforderlich.

Auch wenn die genaue Ausgestaltung des zukünftigen Energiesystems noch nicht bekannt ist, so lassen sich doch schon einige Anforderungen an die für seinen Betrieb notwendigen Kommunikationsdienste erkennen:

- Die Anzahl der mittels Kommunikationstechnik anzubindenden Anlagen und damit der Kapazitätsbedarf für Kommunikationsdienste werden massiv zunehmen.¹⁵
- Das Dienste-Spektrum wird von niedrig-bitratigen aber echtzeitfähigen, hochverfügbaren Datenverbindungen für Messung und Steuerung über nicht echtzeitkritische, aber dennoch zuverlässige Breitbandverbindungen z. B. für Software-Verteilung im Prosumer-Bereich bis hin zu hochzuverlässiger, insbesondere auch schwarzfallfester mobiler Sprach- und Datenkommunikation für das Betriebspersonal der Stromnetz- und Kraftwerksbetreiber reichen.
- Die unterschiedlich hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit bedingen darauf abgestimmte Redundanzen in der Netzinfrastruktur der Kommunikationsnetze.
- Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit wird eine nach Diensten und angebundene Anlagen differenzierte Schwarzfallfestigkeit nötig sein.
- Essenziell ist ein starker und nach Störwirkbreite gestaffelter Schutz gegen Cyberangriffe.

¹⁵ Mit Beschluss vom 27.11.2023 hat die Bundesnetzagentur Regelungen zur Integration von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen und steuerbaren Netzanschlüssen erlassen, die Ladeeinrichtungen für E-Autos, Wärmepumpen, und Stromspeicher umfassen.

3.2 Kommunikationsnetze in der Energieversorgung

Die Kommunikationsinfrastruktur der Netzbetreiber

Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben sind die verlässliche Steuerung der erneuerbaren Erzeuger, aber auch die sichere Netzsteuerung und die Beobachtung anhand von Messwerten für die Netzstabilität unerlässlich. Die von den Stromnetzbetreibern dazu verwendete Kommunikationsinfrastruktur unterscheidet sich je nach Spannungsebene im

- Übertragungsnetz mit der Höchstspannungsebene
- Verteilnetz mit
 - Hochspannungsebene,
 - Mittelspannungsebene und
 - Niederspannungsebene.

In der Höchstspannungsebene betreiben die Übertragungsnetzbetreiber ihre eigenen, schwarzfallfesten Glasfasernetze zur sicheren Steuerung des Netzes. Ähnlich sieht es in der Hochspannungsebene aus. Die Verteilnetzbetreiber betreiben, auf eigener Glasfaser- oder Kupferinfrastruktur basierend, größtenteils schwarzfallfeste Telekommunikationsdienste zur sicheren Steuerung der Stromnetze und der großen erneuerbaren Einspeiser wie z. B. große Windparks oder Solarparks mit einer Nennleistung größer 10 MW.

Anders verhält es sich in der Mittel- und Niederspannungsebene: Hier werden zurzeit überwiegend Telekommunikationsdienste öffentlicher Kommunikationsnetzbetreiber genutzt, typischerweise Mobilfunkdienste wie 4G, DSL-Verbindungen oder vereinzelt auch Powerline. Im Schwarzfall stehen diese Dienste für die systemkritische Steuerung der Erneuerbaren Energien beim Netzwiederanlauf nach heutigem Stand nicht gesichert zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund kommt der heutigen und besonders der künftigen Versorgung der Mittel- und Niederspannungsebene mit schwarzfallfesten Kommunikationsdiensten hohe Dringlichkeit zu. Dies gilt umso mehr, seitdem das Verfahren Re-Dispatch 2.0¹⁶ zur Vermeidung von regionaler Netzüberlastung durch den Re-Dispatch von Erneuerbaren Einspeisern anstelle thermischer Kraftwerke in Betrieb ist.

Darüber hinaus ist im Schwarzfall für alle Netzbetreiber – Übertragungsnetzbetreiber und Verteilnetzbetreiber gleichermaßen – zur Koordination von Netztechnikern und Netzführern neben der stationären auch eine mobile Sprachkommunikation erforderlich. Öffentliche Mobilfunknetze sind in ihrer heutigen Auslegung dafür oft nicht geeignet, da bei Stromausfall an den Funkstationen die öffentlichen Mobilfunkdienste in der Regel nicht oder nur mehr begrenzt zur Verfügung stehen. Auch Satellitenkommunikation ist für diese Anwendung nur eingeschränkt geeignet, z. B. ist innerhalb von Gebäuden meist keine Funkabdeckung vorhanden und im Krisenfall ergibt sich möglicherweise eine Überbuchung der Funkzellen.

Technische Umsetzung mit dem Internet-Protokoll (IP)

Zur technischen Umsetzung kommt als Übertragungstechnik zu den Automatisierungsgeräten die Ethernet-Technologie zum Einsatz. Ethernet hat im Ursprung keine intrinsische Echtzeitfähigkeit wie die seit Jahrzehnten eingesetzten Zeitmultiplexverfahren. Hier wird auf der IP-Ebene mit Hilfe von Traffic-Engineering-Mechanismen jedoch eine Echtzeitfähigkeit erzielt. Dadurch lassen sich dann unter anderem auch die hohen Anforderungen für den zukünftigen Anschluss von Schutzrelais erfüllen, welche sehr hohe Anforderungen an die Paketverzögerung haben.

Für gute Sprachübertragung gelten ähnliche, jedoch weniger strenge Echtzeitbedingungen. Hinzu kommt die Forderung nach garantierter Übermittlung beispielsweise von Schaltbefehlen, die durch Quittierungsmechanismen erreicht wird. Diese Maßnahmen sind allerdings für hochverfügbare Kom-

¹⁶ Unter Re-Dispatch versteht man die regional gezielte Änderung der Einspeiseleistung elektrischen Stroms durch Kraftwerke gegenüber der ursprünglichen marktorientierten Planung, die als Dispatch bezeichnet wird. Ziel ist es, regionale Netzüberlastungen unter Beibehaltung des Gleichgewichtes zwischen Einspeisung und Verbrauch zu vermeiden.

munikation in der Energieversorgung immer noch nicht ausreichend. Um die Verbindungen bei möglichen Unterbrechungen von Kommunikationsleitungen trotzdem nutzen zu können, ist eine Redundanz in der Topologie erforderlich. In den versorgereigenen Glasfasernetzen erfolgt sie – ähnlich wie im Stromnetz – durch die Bildung von Ringen, die zu kritischen Stationen immer zwei Kommunikationspfade bereitstellen, die alternativ genutzt werden können. Zudem wird dort in besonders kritischen Bereichen die aktive Kommunikationstechnik Ende-zu-Ende mit Batterien und Netzersatzanlagen ausgerüstet, um im möglichen Schwarzfall unabhängig von der öffentlichen Stromversorgung zu sein. Mit den beschriebenen Maßnahmen wird auf den Versorger-eigenen Festnetzen höchste Verfügbarkeit der Kommunikationsdienste sichergestellt, auch im Schwarzfall.

Durch die perspektivisch hohe Anzahl erneuerbarer Einspeiser aber auch durch die Vielzahl an anderen steuerbaren Elementen des modernen Energienetzes ist eine Kommunikationsinfrastruktur mit hoher Skalierung erforderlich. Diese Skalierung ist bei den bisherigen, vornehmlich auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen basierenden Kommunikationsprotokollen nicht gegeben. Es sind vielmehr moderne Kommunikationstechnologien wie z. B. IP-basierte Kommunikationssysteme erforderlich.

Kommunikationsdienste für den Stromnetzbetrieb durch Kombination von Kommunikationsnetzen

Aus der Betrachtung der beschriebenen künftigen Anforderungen des Energiesystems an seine Kommunikationsdienste und der dafür existierenden Kommunikationsinfrastruktur wird klar, dass die Lösung nicht aus einer einzigen Kommunikationstechnologie bestehen wird, sondern dass vielmehr eine anforderungsgerechte Kombination von Netzen und den dazugehörigen Kommunikationstechnologien zum Einsatz kommen wird. Dazu gehören:

- In systemkritischen Bereichen
 - die schwarzfallfesten Glasfasernetze der Übertragungsnetzbetreiber und Verteilnetzbetreiber sowie
 - das im Aufbau befindliche und schwarzfallfest ausgelegte 450-MHz-LTE-Mobilfunknetz.
- In weniger kritischen Bereichen
 - die öffentlichen Kommunikationsnetze (Festnetz und Mobilfunk),
 - Satellitennetze und
 - weitere Kommunikationstechnologien.

Effektiver Schutz durch OT-Cyber-Security

Der im Internet bewiesenen Skalierbarkeit von IP-Technologie steht jedoch ihre Offenheit gegenüber. Diese bietet zwar den Vorteil, dass die Netztechnik herstellerübergreifend eingesetzt werden kann, macht das System aber auch vulnerabel für Angriffe durch Hacker, welche für die Versorgungssicherheit ein unkalkulierbares Schadenspotenzial bergen. Folglich macht der Übergang zu einer offenen Kommunikationsinfrastruktur erhebliche Anstrengungen im Bereich Cyber-Security erforderlich.

Der erste Schritt in Sachen Cyber-Security ist der Schutz des sogenannten Perimeters, also der Übergänge des Prozessnetzes zur Außenwelt. Die offensichtliche Lösung ist hier der Einsatz von Firewalls, die in der Regel aus der Bürokommunikationswelt stammen. Hier kommt die erste Herausforderung. Die in Energienetzen eingesetzten Kommunikationsprotokolle unterscheiden sich deutlich von den im Bürobereich eingesetzten Protokollen. Gleich ist lediglich die Basis des Internet-Protokolls auf der Ebene 3 des OSI-Schichtenmodells. Die sogenannte Anwendungsebene (Ebene 7) basiert in den Energiesystemen in Deutschland auf den von der International Electrotechnical Commission (IEC) entwickelten Protokollen. Der Einsatz von IEC-Protokoll-spezifischen Firewalls sorgt hier für eine sichere Integration von an die Mittelspannungsebene angebundene EE-Anlagen, digitalen Ortsnetzstationen und auch steuerbaren Lasten.

Nach diesen Basisschutzmaßnahmen folgt im nächsten Schritt der Einsatz von Prozessnetz-Monitoring-Systemen. Sie überwachen den Datenverkehr im Prozessnetz und untersuchen ihn auf ungewöhnliche Vorgänge. Diese Systeme müssen nicht nur das IP-Protokoll beherrschen, sondern auch die in der Energieinfrastruktur eingesetzten IEC-Anwendungsprotokolle analysieren können. Beispielfür hierfür geeignet sind die Anwendungsprotokolle

- IEC 60870-5-104 zur Anlagenkommunikation heute,
- IEC 61850 zur zukünftigen Anlagenkommunikation und
- TASE.2 zur Kopplung von Netzleitsystemen.

Die Monitorsysteme überwachen nicht nur Datenströme, sondern erkennen auch mögliche Angriffsmuster in der Umgebung des jeweiligen Anwendungsprotokolls. Zum effektiven Schutz der Kommunikationsinfrastruktur lassen sich Konzepte, die im IT-Bereich zum Schutz der Infrastruktur bereits lange erfolgreich im Einsatz sind auf die energiespezifischen Anforderungen übertragen und entsprechende Lösungen entwickeln. Dadurch wird ein hohes Maß an Cyber-Security in den Kommunikationsnetzen für das Energiesystem erreicht.

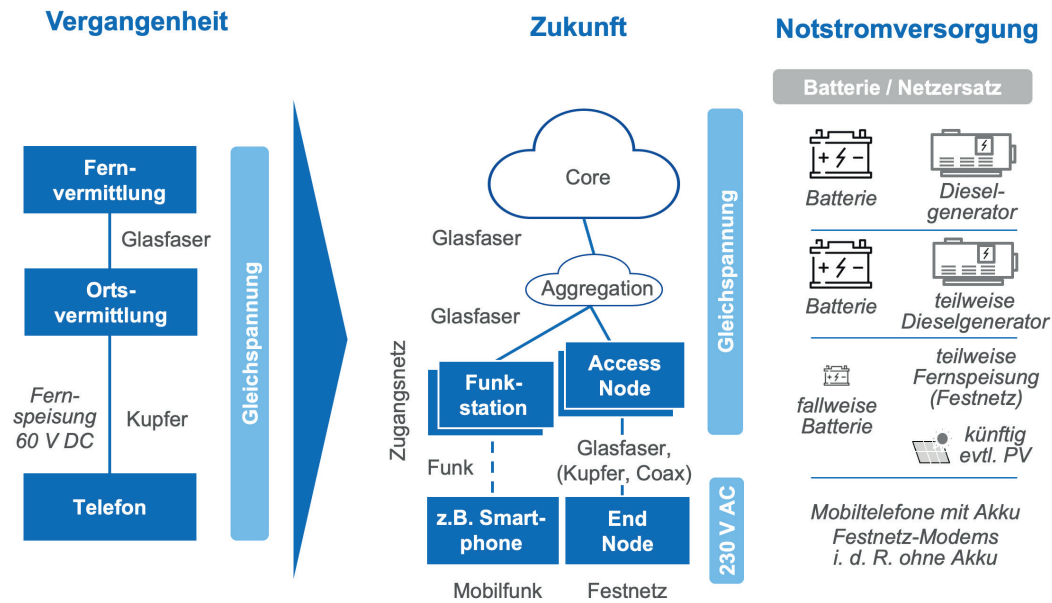
Zuverlässige Telekommunikation ist essenziell für die Energiewende

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Kommunikationstechnik unabdingbare Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist. Gleichzeitig hängt die Versorgungssicherheit moderner Energiesysteme unmittelbar von der Verfügbarkeit der zur Steuerung der Energienetze eingesetzten Kommunikationsdienste ab, die neben den versorgerspezifischen Netzen zunehmend auch von öffentlichen Kommunikationsnetzen erbracht werden müssen. Ein höchst effektiver Schutz in Form von Cyber-Security für die Prozessnetze ist ebenfalls essentielle Voraussetzung für einen sicheren Stromnetzbetrieb.

4. Technische Entwicklung der Kommunikationsnetze

Wie die Stromnetze unterliegen auch die Telekommunikationsnetze einem raschen technologischen Wandel, z. B. mit dem Übergang zu All-IP-Netzen, dem Ausbau von Glasfasernetzen im Teilnehmeranschluss oder Mobilfunkdiensten in immer höheren Frequenzbereichen. Es liegt auf der Hand, dass zuverlässige Telekommunikationsnetze (TK-Netze) auf eine zuverlässige Stromversorgung angewiesen sind, die – je nach Komponente im Netz – auch eine eigene Notstromversorgung einschließt.

Abbildung 6 zeigt schematisch und stark vereinfacht die technische Entwicklung der öffentlichen TK-Netze.



Quelle: Deutsche Telekom, Nokia

Abbildung 6: Entwicklung der Kommunikationsnetze (schematisch, stark vereinfacht) mit Angaben zur Stromversorgung

4.1 Telekommunikationsnetze – Struktur und Entwicklung

Dynamischer Wandel der öffentlichen Telekommunikationsnetze

Öffentliche Telekommunikationsnetze haben in den vergangenen 20 Jahren einen dynamischen Wandel erlebt. Dieser wurde von folgenden Faktoren geprägt:

- Umstellung des Fokus von der Provisionierung dedizierter Dienste (z. B. analoger und digitaler Telefondienst, Fax, verschiedene Datendienste, Fernsehsignalverteilung) mit entsprechenden spezifischen Verbindungen hin zu einheitlicher IP-Konnektivität. Dienste werden dann über die IP-Schicht realisiert. Dadurch wurde es machbar, auf einfachem Wege globale Erreichbarkeit zu ermöglichen und sogenannte Over-the-top-Dienste zu realisieren (z. B. Voice-over-IP, WhatsApp, Video-Streaming). Dies hat das Wachstum der heute bekannten Social-Media-Plattformen und Internet-Riesen begünstigt. Diese haben heute eigene globale Infrastrukturen aus großen Datacentern, die breitbandig mittels eigener optischer IP-Transportnetze miteinander verknüpft sind.
- In Kern- und Aggregationsnetzen wird verstärkt optische Kommunikationstechnik eingesetzt, um exponentiell wachsende Verkehrsmengen wirtschaftlich zu transportieren. Ein dramatischer Preisverfall bei den optischen Ports ermöglicht es bis heute, stetig wachsende Verkehrsmengen zu gleichbleibenden oder sogar niedrigeren Kosten zu transportieren.

- Der Fiber-to-the-Home (FTTH) Ausbau im Zugangsnetz basiert auf der Nutzung optischer Nachrichtentechnik für breitbandige Angebote mit Spitzengeschwindigkeiten > 1 Gbps pro Verbindung.
- Im Mobilfunk werden die Systeme der 5. Generation (5G) weiter ausgebaut und dadurch die Systemkapazitäten und die Echtzeitfähigkeit massiv erweitert, und ab ca. 2030 wird mit dem Beginn der Einführung von Systemen der 6. Generation (6G) gerechnet. 6G ist durch eine Hinzunahme weiterer Spektralbereiche gekennzeichnet, die allesamt oberhalb von 3.5 GHz liegen werden. Dies schränkt die Reichweite ein und erfordert den Aufbau einer Vielzahl von sehr dezentralen Funkstationen im Mobilfunknetz.
- Ergänzend zu terrestrischen Funksystemen gewinnen nicht-terrestrische Netze, also im Wesentlichen satellitengestützte Systeme an Bedeutung, da Satelliten in niedrigen Umlaufbahnen¹⁷ relativ kostengünstig im All stationiert werden können und der Aufwand für die Satelliten-Endgeräte mit abnehmender Flughöhe ebenfalls abnimmt. Besonders für den temporären Einsatz werden auch High Altitude Platform Stations¹⁸ (HAPS) als „fliegende Mobilfunkstationen“ untersucht.
- Durch die Over-the-top-Bereitstellung von Diensten wie Sprache, Fernsehen, Social Media, Gaming ergeben sich neue Herausforderungen bzgl. der sicheren Bereitstellung dieser Dienste. Da diese nicht mehr einzeln abgesichert werden, wie dies z. B. beim analogen und digitalen Telefondienst (POTS, ISDN)¹⁹ noch der Fall war, besteht hier das Risiko, dass durch Wegfall der Konnektivität mehrere Dienste gleichzeitig unterbrochen werden.
- Im Bereich von Business-Anwendungen gewinnen hoch verfügbare Glasfasernetze aktuell eine zunehmend hohe Bedeutung für die Transportnetzinfrastruktur. Da vermehrt business-kritische Anwendungen über firmeneigene und/oder Cloud-Infrastrukturen von Dritten laufen, ist die hochverfügbare und redundante Anbindung mit hohen Bandbreiten und niedrigen Laufzeiten essenziell. Diese Anforderungen finden ihren Niederschlag auch in adaptierten Topologien, so wird der bislang häufig verwendete N+1 Schutz in Ringnetzen nach und nach durch einen N+2/+3 Schutz in Mesh-Netzen erweitert.

Neben den technischen Aspekten spielt in der Telekommunikationsbranche auch die Wettbewerbsstruktur eine entscheidende Rolle. Die öffentlichen Netzbetreiber stehen miteinander in einem intensiven Wettbewerb, der neben Diensten und Preisen auch die Netzinfrastruktur einschließt.

- Aus Kosten- und Effizienzgründen wurde und wird bei der Netzinfrastruktur die Wertschöpfungstiefe der Netzbetreiber reduziert. Beispiele sind im Festnetz die gemeinsame Nutzung von Teilnehmeranschlussleitungen (Kupfer und Glasfaser) durch mehrere Netzbetreiber und im Mobilfunk das Auslagern der Funktürme und ihres Betriebs an eigenständige Unternehmen, die dann wiederum ihre Standorte mehreren Netzbetreibern zur gleichzeitigen Nutzung anbieten.
- Für eine gesicherte Ende-zu-Ende-Bereitstellung von Telekommunikationsdiensten sind also nicht nur die Betreiber der öffentlichen Kommunikationsnetze zu betrachten, sondern auch die vorgelagerten Stufen der Wertschöpfung.

Erweiterter Einsatz von IT-Technologien in der Telekommunikation und Over-the-top-Dienste

Aktuell und absehbar in den nächsten 5-10 Jahren werden Telekommunikationsnetze von folgenden Trends geprägt:

- Cloudifizierung:

Die Telekommunikationsindustrie adaptiert Bauweisen und Grundkonzepte aus dem Umfeld von Cloud-Infrastruktur für IT- und Webdienste. Diese sind aufgrund ihrer universellen Zugänglichkeit auch als Public Cloud bekannt. Ihr Grundkonzept verteilter Rechenleistung und deren Steuerung wird damit auch für kommunikationsnetznahe Dienste und Funktionen der TK-Netze im Rahmen einer privaten Cloud übernommen, deren Zugang stark reglementiert ist. Der Aufbau der Rechenleistung erfolgt i. d. R. an bereits vorhandenen Standorten. Es ist aber auch die Nutzung der Cloud-Infrastruktur Dritter denkbar, z. B. von Amazon Web Services (AWS) oder Microsoft, die damit im Sinne einer hybriden Cloud den Aufbau von Telekommunikationsinfrastruktur ermöglichen.

¹⁷ LEO, Low Earth Orbit Satelliten, etwa 100 bis 2.000 km Flughöhe über der Erdoberfläche

¹⁸ HAPS sollen in 20-40 km Höhe quasi-stationär über der Erdoberfläche fliegen und das darunterliegende Gebiet mit Mobilkommunikationsdiensten versorgen, ohne dass dazu spezielle Endgeräte erforderlich sind.

¹⁹ POTS: Plain Old Telephone Service, ISDN: Integrated Services Digital Network.

- Virtualisierung

Die Virtualisierung von Netzfunktionen (Network Function Virtualization, NFV) erlaubt das Verschieben von (virtualisierbaren) Funktionen der TK-Netze (z. B. Authentisierung, Steuerung von Verbindungen).

- Disaggregation und Modularisierung der Netztechnik

- Dies umfasst die Möglichkeit, Systemtechnik aus Hard- und Softwareelementen verschiedener Hersteller aufzubauen.
- Die Disaggregation erfordert die Konzentration auf Schnittstellen und die stärkere Nutzung von IT-Technologien und -Betriebsmodellen in der Telekommunikationsinfrastruktur.

- Konvergenz auf verschiedenen technischen Ebenen der Telekommunikationsnetze

- Festnetz und Mobilfunk
 - Strukturelle Konvergenz in Bezug auf gemeinsame Nutzung von passiver (z. B. Trassen/Kabel, Gebäude) und aktiver (Elektronik) Infrastruktur.
 - Funktionale Konvergenz in Bezug auf eine vereinheitlichte Nutzung von Funktionen (insbesondere netznahen Funktionen) im Festnetz und Mobilfunk.
 - Network Sharing.
- Netztechnik, Dienste und Cloud
 - Hier erfolgt die Konvergenz zwischen Telekommunikationsunternehmen und Cloud-Dienstleistern / „Hyperscalern“ (Google, AWS, Microsoft). Neben der privaten und öffentlichen Cloud werden zunehmend auch hybride Modelle für die Bereitstellung von TK-Diensten betrachtet.

Mit dem Trend zu weiter verstärktem Einsatz von IT-Technologien und der Cloud werden Telekommunikationsdienste zunehmend „Over-the-top“ erbracht. Dies spiegelt sich in einem dramatischen Umbau des klassischen Telekommunikationsgeschäfts wider. Das Geschäft mit „Sprachminuten“ in der Telefonie ist seit vielen Jahren rückläufig; In 2019 wurden erstmals mehr Sprachminuten über Hyperscaler (Skype, WhatsApp etc.) als über Telekommunikationsbetreiber abgewickelt. Gleichzeitig ist das klassische Geschäft mit SMS rückläufig. Zugleich sind die Dienste für Privatkunden im Mobilfunk stark gekoppelt an die großen Betriebssystemhersteller (iOS, Android) bzw. Hyperscaler. Im Kontext dieses Papiers bedeutet dies, dass beispielsweise auch Warn-Apps wie NINA oder KATWARN über die jeweiligen Ökosysteme für bestimmte Betriebssysteme (iOS, Android etc.) bereitgestellt werden müssen und vor allem deren Verfügbarkeitsgrenzen unterliegen.

Entwicklung des Strombedarfs für öffentliche Telekommunikationsnetze

Der Energieverbrauch im Festnetz ist wesentlich durch den starken Zuwachs bei Glasfaser / FTTH geprägt, denn der Einsatz von optischer Technik bedeutet eine wesentliche Verringerung der Anzahl der aktiven Komponenten im Zugangnetz und damit einhergehend erheblich weniger Energiebedarf. Strom ist dann immer noch an den Netzknoten erforderlich, aber nicht mehr so weit in der Fläche verteilt wie bei der heutigen DSL-Technik.

Im Mobilfunk werden bei der zusätzlichen Nutzung höherer Frequenzen zunehmend kleine Zellen notwendig, daher werden zusätzliche Standorte erforderlich, die mit Elektrizität zu versorgen sind. Der Leistungsbedarf je Zelle nimmt dabei ab.

Neben den beschriebenen grundlegenden technischen und wirtschaftlichen Änderungen in den kommenden Jahren werden sich einige Randbedingungen nur geringfügig verändern.

Bezüglich des Energieverbrauchs der Netztechnik besteht seit vielen Jahren die Möglichkeit einer zumindest teilweisen Kompensation des exponentiellen Verkehrswachstums durch Fortschritte bei Übertragungsraten und Energieverbrauch. In den letzten Jahren ist trotz Steigerungsraten im Verkehr von 15-30 Prozent p. a. der Energieverbrauch in Telekommunikationsnetz in Summe gesunken²⁰.

4.2 Stromversorgung in TK-Netzen

Stromversorgung durch das öffentliche Stromnetz im Normalbetrieb

Telekommunikationsnetze werden im Normalbetrieb durch das öffentliche Stromnetz versorgt. Telekommunikationsdienstleister betreiben eine verteilte Infrastruktur. Bei summarischer Betrachtung des Verbrauchs zählen sie zu den größeren Energie-/Elektrizitätsverbrauchern. So lag der Anteil des Bedarfs an elektrischer Energie der öffentlichen TK-Netzbetreiber in Deutschland 2019 bei ca. 7,1 TWh²¹. Bis heute wird Telekommunikationstechnik in der Regel mit Gleichspannung bei 48 V oder 60 V versorgt. Dies erfordert eine Leistungselektronik zur Umwandlung von Wechsel- in Gleichspannung. Der Einsatz von Leistungselektronik mit verbesserten Wirkungsgraden hat in den vergangenen Jahren zu einer deutlichen Reduzierung des Elektrizitätsbedarfs beigetragen.

Notstromversorgung bei Ausfall des Stromnetzes

Beim Ausfall des öffentlichen Elektrizitätsnetzes wird an wichtigen Standorten eine temporäre oder dauerhafte Überbrückung mittels Batterien und Netzersatzanlagen (NEA) vorgehalten.

Bis heute finden überwiegend Blei-Akkumulatoren für die kurzfristige Überbrückung von Netzausfällen Anwendung. Diese sind in der Anschaffung preiswert, einfach zu warten und weisen mit >20 Jahren bei guter Pflege eine hohe Lebensdauer auf. Sie können ohne eine zwischengeschaltete Leistungselektronik an die Gleichspannungsebene angeschlossen werden. Lithium-Ionen-Akkus finden zunehmend Anwendung, die installierte Leistung hängt maßgeblich von den Gegebenheiten eines Standorts ab.

NEA werden bis heute überwiegend als Dieselaggregate ausgeführt. Es handelt sich hierbei um eine etablierte Technik mit definierten Wartungszyklen. Dieselaggregate können Netzausfälle über mehrere Tage bis teilweise Wochen überbrücken. Die Verwendung von „Bio-Diesel“ ermöglicht einen quasi CO₂-neutralen Betrieb. Im Rahmen der Energiewende werden zunehmend Alternativen zu Dieselaggregaten betrachtet. Bei näherer Betrachtung dieser Technologien ist ein fließender Übergang zwischen temporärem und dauerhaftem Betrieb möglich. Hierbei handelt es sich z. B. um Blockheizkraftwerke und Brennstoffzellen.

Die Notstromversorgung ermöglicht regelmäßig einen temporär autarken Betrieb der zentralen Netztechnik sowie teilweise wichtiger Knoten im Zugangnetz. Allerdings verfügt derzeit aus Kosten- und Machbarkeitsgründen²² im Zugangnetz nur eine Minderheit der Netzknoten über eine Pufferung. Während ein Teil der Anlagen im Festnetz mittels Fernspeisung von den zentralen Knoten und ihrer

²⁰ Am Beispiel Deutsche Telekom, Nachhaltigkeitstag 2022: <https://www.telekom.com/de/konzern/themenspecials/special-nachhaltigkeitstag-2022>

²¹ Deutscher Bundestag, Büro für Technikfolgenabschätzung, Drucksache 20/3650, 26.09.2022

²² Z.B. Dieselgeneratoren bei Dachstandorten

Notstromversorgung in Betrieb gehalten werden kann, sind Mobilfunkstationen in den meisten Fällen nicht mit Notstrombatterien oder NEA ausgestattet, was technisch bei vielen Standorten (z. B. auf Hausdächern) auch gar nicht möglich ist.

Eine weitere Voraussetzung für die Verfügbarkeit von TK-Diensten im Festnetz ist, dass die IKT-Ausrüstung der Kunden (Router mit Network Termination/Modem plus WiFi, DECT-Telefonie) ebenfalls mit einer autarken Stromversorgung ausgestattet ist, denn die früher in der Festnetz-Telefonie systembedingt übliche Fernspeisung der Endgeräte von der Vermittlungsstelle aus gibt es seit der Abschaltung von POTS und ISDN nicht mehr²³.

Mobilfunk-Endgeräte, Tablets etc. sind solange betriebsfähig wie ihre Akkus ausreichenden Ladestand aufweisen.

Bei den preissensitiven Kommunikationsdiensten für Privat- und Unternehmenskunden in Festnetz und Mobilfunk wird deshalb ein Ausfall der Stromversorgung meist auch eine Unterbrechung der Dienste zur Folge haben. Diese Unterbrechung ist in der Regel lokal begrenzt, würde aber bei großflächigen Stromausfällen auch entsprechend große Gebiete umfassen. TK-Netzbetreiber verfügen i. d. R. über vertraglich vereinbarte Ausfall- und Reparaturzeiten mit den Stromversorgern.

Für Kunden wie beispielsweise Unternehmen oder Behörden mit besonderen Verfügbarkeitsanforderungen sind über das Festnetz Dienste verfügbar, die trotz Stromausfällen weiterhin funktionieren. Dass dieser Service nicht kostenfrei angeboten werden kann liegt auf der Hand. Die Dauer der Pufferung hängt dabei von der Größe der installierten Batteriesätze bzw. von der Treibstoffversorgung und den Wartungsintervallen der NEA ab.

Künftige Energieversorgung für Telekommunikationsnetze

Telekommunikationsdienstleister prognostizieren für die kommenden Jahre einen gleichbleibenden Bedarf an elektrischer Energie (z. B. DTAG²⁴). Sie wird für den Betrieb der Netze und die Bereitstellung der Dienste und auch für die Abführung von Abwärme mittels entsprechender Kühl- und Lüftungstechnik benötigt. Die anteilige Nutzung der elektrischen Energie verschiebt sich vom Festnetz zum Mobilfunk. Die Abschaltung der ursprünglich für POTS und ISDN aufgebauten Netztechnik hat in den vergangenen Jahren eine massive Reduktion des Bedarfs an elektrischer Energie ermöglicht. Der forcierte Ausbau von Fiber-to-the-Home (FTTH) ermöglicht den Einsatz energiesparender optischer Nachrichtentechnik. Der Rückbau der bisherigen auf Kupferdoppelader basierenden Infrastruktur erlaubt perspektivisch Energieeinsparungen im Betrieb der festen Telekommunikationsnetze. Zugleich nehmen mit der Nutzung hoher Frequenzbereiche in neuen Mobilfunktechnologien wie 5G und 6G die Reichweiten der einzelnen Funkstationen erheblich ab, und es steigen daher die Anforderungen an eine verlässliche Stromversorgung in der Fläche. Die Nutzung drahtloser Konnektivität auf den letzten Metern (WiFi im Festnetz, Mobilfunk) ist heute der Standard für die Anbindung von Endgeräten.

Im Zuge der Energiewende betrachten Telekommunikationsnetzbetreiber intensiv den Einsatz von regenerativen Energien in ihren Netzen inklusive der Nutzung von Abwärme. Die zum Einsatz kommenden Technologien hängen dabei von den Gegebenheiten des jeweiligen Standorts ab. Die Motivation liegt dabei in einer Absenkung der Kosten für den Verbrauch elektrischer Energie wie auch in der forcierten Umstellung der gesamten Dienste-Produktion auf einen CO₂-neutralen Betrieb.

²³ Bei der analogen und digitalen Telefonie wurden die Endgeräte von der Vermittlungsstelle aus mit Gleichstrom versorgt. Dies war aus technischen Gründen erforderlich und machte die Telefonie – abhängig von der Batteriekapazität in den Vermittlungsstellen – von der öffentlichen Elektrizitätsversorgung unabhängig.

²⁴ Z. B. Deutsche Telekom AG (DTAG), Kapitalmarkttag, Präsentation S. 188 <https://www.telekom.com/resource/blob/629058/85901a531642a2d00d615e424620e2cc/dl-presentation-ai0-2021-data.pdf>

5. Analyse von beispielhaften Betriebsszenarien

Um die gegenseitigen Abhängigkeiten von Strom- und Kommunikationsnetzen in ihren Zusammenhängen und deren Auswirkung konkret zu erfassen sowie Fragestellungen und Lösungsansätze abzuleiten, wurden sechs Betriebsszenarien in kurzen Analysen betrachtet.

- Stromnetze: Normalbetrieb inklusive möglicher technischer Störungen in heutigen und in zukünftigen Netzen
- Stromnetze: Netzbetrieb in Katastrophenfällen
- Telekommunikationsnetze: Stromversorgung von öffentlichen TK-Netzen im Normalbetrieb und bei technischen Störungen durch Ausfall der Stromversorgung
- Telekommunikationsnetze: massive Zerstörungen der TK-Infrastruktur
- Katastrophe: großangelegter Cyberangriff auf Stromnetze (mit in der Folge eintretendem weitgehendem Ausfall der öffentlichen TK-Netze)
- Katastrophe: große physische Zerstörungen der Infrastruktur (wie z. B. im Ahrtal 2021).

Diese Szenarien werden im Folgenden kurz skizziert.

5.1 Betriebsszenario Stromnetze: Normalbetrieb inklusive möglicher technischer Störungen in heutigen und in zukünftigen Netzen

Der sichere und stabile Betrieb von Stromnetzen wird durch eine Vielzahl von tagtäglich ablaufenden Regelprozessen ermöglicht, die vielfach eine zuverlässige Kommunikation voraussetzen. Exemplarisch werden hier drei Fälle vorgestellt.

Steuerung erneuerbarer Erzeuger und variabler Lasten

Um den Ausgleich zwischen Last und Einspeisung mit steigendem Anteil fluktuierender Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie steuerbarer Lasten (z. B. Wärmepumpen) sicherzustellen, ist für die Stromnetzbetreiber eine zuverlässige Kommunikationstechnik wichtig. Dabei müssen Kommunikationsausfälle in Echtzeit systematisch erfasst werden. Insbesondere vor dem Hintergrund stark verteilter Erzeugungsanlagen werden öffentliche TK-Netze dabei ein wichtiger, aber auch sicherheitskritischer Baustein.

Das Risiko bei einem Ausfall der Kommunikationsnetze zur Steuerung dieser Netzakteure besteht darin, dass im Fehlerfall ein signifikanter Anteil der steuerbaren Last- und Erzeugungsleistung nicht mehr beobachtbar bzw. kontrollierbar ist und somit die Systemstabilität nicht mehr gewährleistet werden kann. Dies kann einen Dominoeffekt nach sich ziehen und zu großflächigen Stromausfällen führen.

Anbindung digitaler Ortsnetzstationen

Ortsnetzstationen (ONS), die Bindeglieder zwischen Mittelspannungs- und Niederspannungsnetz, sind von strategischer Wichtigkeit für die Sicherstellung der Versorgungsqualität für die Netzkunden. Weniger und kürzere Ausfälle im Mittelspannungsnetz wirken sich dabei in höchstem Maße positiv aus. Daher werden zunehmend Digitale Ortsnetzstationen (DigiONS) verbaut. Diese enthalten Messeinrichtungen und sind zusätzlich zur Übertragung von Messwerten und Steuersignalen über Kommunikationsverbindungen mit der Leitstelle verbunden.

Im Normalbetrieb erfolgt die Messung betriebsrelevanter Größen wie Strom, Spannung und ggf. Phasenwinkel im Nieder- und Mittelspannungsnetz. Diese Messwerte werden an eine zentrale Stelle zur Auswertung übermittelt. Hieraus lassen sich u. a. der Netzbetrieb optimieren und auch Daten für einen bedarfsgerechten Netzausbau gewinnen. Ebenfalls kann durch Einsatz von Sensorik eine Online-Fehlerlokalisierung realisiert werden und so eine schnelle Fehlerbehebung, insbesondere im Niederspannungsnetz, erreicht werden.

Zur Steuerung von digitalen Ortnetzstationen ist daher eine schwarzfallfeste TK-Infrastruktur erforderlich. Diese ließe sich durch einen synergetischen Einsatz von schwarzfallfester Kommunikationsinfrastruktur des 450-MHz-Netzes und öffentlicher Telekommunikationsnetze erzielen.

Kommunikation zwischen Systemführung und Netztechnikern im Feld

Aus heutiger Sicht ist die Sprachkommunikation zwischen Systemführer und Netztechnikern für die Aufrechterhaltung des Stromnetzbetriebes von höchster Bedeutung. Dies gilt insbesondere im Störfall. Im normalen Betriebsfall erfolgt die Kommunikation zwischen Systemführung und dem Technikpersonal im Feld per Mobiltelefon unter Nutzung öffentlichen Mobilfunkdienste. Je mehr digitale fernsteuerbare DigiONS zukünftig im Einsatz sind, desto mehr verliert die Sprachkommunikation an Bedeutung. Bei Nutzung von Schalt-Apps zur Anmeldung und Genehmigung von Schaltungen kann auf Schaltgespräche verzichtet werden.

Trotzdem wird die Sprachkommunikation auch langfristig nicht gänzlich verschwinden – allein schon als Backup. Daher ist der Aufbau und Einsatz der schwarzfallfesten 450-MHz-Kommunikationsinfrastruktur auch in diesem Punkt von zentraler Bedeutung.

5.2 Betriebsszenario Stromnetze: Stromnetzbetrieb in Katastrophenfällen

Eine Nichtbeherrschung von Störungsereignissen in Stromnetzen kann in ungünstigen Fällen großflächige (regionale oder landesweite) Netzausfälle auslösen. Darüber hinaus können auch Ereignisse aufgrund von höherer Gewalt, wie z. B. Naturkatastrophen oder auch Cyberattacken oder Sabotage zu Ausfällen führen.

Für derartige Brown Outs (regional eingegrenzte Netzausfälle) steht – vorausgesetzt die Infrastruktur ist noch existent – die gleiche Funktionalität wie im Normalbetrieb und bei technischen Störungen zur Verfügung. Stehen die Kommunikationsverbindungen zu den Erneuerbaren-Energien-Anlagen nicht zur Verfügung, so ist ein stufenweiser Wiederaufbau, mit Last und Erzeugung im Gleichgewicht, kaum möglich. Somit ist eine entsprechend hohe Resilienz der Kommunikationssysteme auch für den Netzwiederaufbau nach einem Brown Out essenziell.

Um auf Krisenszenarien vorbereitet zu sein und den Netzwiederaufbau auch unter Einbeziehung der Erneuerbaren sicherstellen zu können, kommt also zuverlässigen und abgestuft schwarzfallfesten Kommunikationsdiensten eine Schlüsselrolle zu. Für welche Anlagen dies in welchen konkreten Szenarien erforderlich ist und welche Kommunikationsnetze dann eingesetzt bzw. regional differenziert schwarzfallfest sein müssen, bedarf einer genaueren Prüfung und Planung.

Neben der Technik spielen auch definierte Schnittstellen und Prozesse für das Betriebspersonal der Strom- und der genutzten TK-Netze eine Rolle, wobei die mögliche Bewältigung von Katastrophenfällen regelmäßig geübt werden muss.

5.3 Betriebsszenario Öffentliche Kommunikationsnetze: Stromversorgung von TK-Netzen im Normalbetrieb und technische Störungen durch Ausfall der Energieversorgung

Das öffentliche Telekommunikationsnetz stellt im Normalbetrieb für die angeschlossenen Kunden die vertraglich vereinbarten Dienste und Verbindungen zur Verfügung. Dies schließt auch Dienste jeder Art für die Nutzung durch Energieversorger ein, die z. B. Standleitungen und öffentliche Mobilfunkdienste nutzen oder Smart Meter Gateways anbinden können. Auch Kommunikationsverbindungen zu Anlagen privater Nutzer im Energienetz, z. B. zu Photovoltaikanlagen oder zu Ladesäulen sind heute i. d. R.

über öffentliche Kommunikationsnetze realisiert. Hierüber werden Anlagen gesteuert, Betriebsdaten erfasst oder Software-Updates in die Anlagen eingebracht.

Der Normalbetrieb ist der Regelfall. Ein zeitlich und räumlich begrenzter Ausfall der Stromversorgung ist in der Planung und im Betriebsablauf berücksichtigt und gut beherrschbar.

Man kann die Auswirkungen von Störungen der öffentlichen TK-Dienste durch den Ausfall der Stromversorgung unterscheiden in

- **Niedrig:** Der Ausfall kann durch eine Batterie / NEA kompensiert oder in kurzer Zeit repariert werden.
- **Hoch:** Der Ausfall von Diensten und Infrastruktur über einen undefinierten Zeitraum, sobald die Batterie / NEA die Energieversorgung nicht mehr sicherstellen kann.

Anders als bei den Stromnetzen gibt es in der TK-Branche nicht nur konkurrierende Angebote an Diensten im Markt, sondern in weitem Umfang auch parallele Infrastrukturen. Aus historischen und wirtschaftlichen Gründen ist zugleich auch die gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen (z. B. Kabelnetze, Gebäude) weit verbreitet. Je nach konkreter lokaler Situation kann daher der Ausfall von Netzkomponenten eines TK-Netzbetreibers auch Dienste eines anderen TK-Netzbetreibers stören.

Die Ansätze zur Verbesserung der Resilienz von TK-Anlagen gegenüber Stromausfällen sind seit langem bekannt, z. B. Überbrückung durch Batterie und / oder NEA, oder zunehmend der ergänzende Einsatz von regenerativer Stromerzeugung, der die autarke Energieversorgung eines TK-Standorts stützen oder verlängern kann, sofern im Störfall auf nicht netzgeführte Stromerzeugung umgeschaltet wird. Voraussetzung ist, dass derartige Maßnahmen rechtlich und praktisch realisierbar und auch wirtschaftlich tragfähig sind.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben kann ein Ausfall von Kommunikationsdiensten Rückwirkungen auf den Betrieb von Stromnetzen haben. Sofern die Kommunikation zur Messung/Steuerung/Regelung des Stromnetzes ausschließlich über das Kommunikationsnetz eines öffentlichen TK-Betreibers geführt wird, kann bei dessen Ausfall infolge eines undefiniert lange andauernden Ausfalls der Stromversorgung die Möglichkeit eines „Deadlock“ nicht ausgeschlossen werden. Daher liegt es auf der Hand, dass der Informationsaustausch zwischen den Betriebszentren der Netzbetreiber und der öffentlichen TK-Netze sichergestellt werden muss.

5.4 Betriebsszenario Öffentliche Kommunikationsnetze: Katastrophenfälle und massive Zerstörungen der physischen Infrastruktur

Bei massiven physischen Zerstörungen von TK-Infrastruktur, beispielsweise durch große Unfälle oder Naturkatastrophen oder auch bei großflächigen Ausfällen der Stromnetze, sind erhebliche Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von TK-Diensten in der betroffenen Region und teilweise darüber hinaus zu erwarten. Der Betrieb der Netze ist dann möglicherweise nur eingeschränkt oder gar nicht möglich und Fehler können nicht mehr kurzfristig durch Schutz oder Wiederherstellung behoben werden. Ggf. sind auch mehrere TK-Netzbetreiber zugleich betroffen, sofern dieselbe Infrastruktur benutzt wird (z. B. Mobilfunktürme samt Stromversorgung).

Derartige Fälle sind besonders deswegen kritisch, weil zahlreiche Nutzer betroffen sind, die tlw. gerade wegen des zugrundeliegenden Katastrophenereignisses Kommunikationsbedarf haben. Falls Stromnetzbetreiber betrieblich relevante Kommunikation über betroffene TK-Netzabschnitte fahren, dann könnten sich Rückwirkungen auf die öffentliche Stromversorgung bis hin zu Stromausfällen ergeben.

Sofern die Zerstörungen im Wesentlichen auf die TK-Infrastruktur beschränkt sind, gibt es eine Reihe von Lösungskomponenten, die oft schon seit langem etabliert sind.

- Die öffentlichen TK-Netze weisen bei allen zentralen Komponenten auf der Geräte- und auf Netzebene umfangreiche Redundanzen auf, beispielsweise durch Nutzung mehrfacher und geografisch verteilter Datacenter, Hot Standby für essentielle Funktionen oder ringförmige Strukturen von Glasfaser-basierten Transportwegen. Für Stromausfälle sind die großen Netzknoten regelmäßig mit

Puffer-/Notstrombatterien und Netzersatzanlagen ausgestattet, mit denen sich der Betrieb für etliche Stunden aufrechterhalten lässt.

- Im Bereich der öffentlichen Zugangsnetze ist die Störwirkbreite geringer, allerdings gibt es aus Kosten- und Machbarkeitsgründen nicht durchgängig Redundanzen. Im Festnetz gibt es für spezielle Nutzer mit erhöhten Zuverlässigkeitsanforderungen redundant ausgelegte Netzzugänge. Im Mobilfunk bietet die Netzstruktur in vielen Fällen inhärent eine Redundanz, sofern sich der Teilnehmer im Abdeckungsbereich mehrerer Funkstationen befindet und diese nicht gleichzeitig ausfallen. Allerdings ist in diesen Fällen mit Einschränkungen der Verfügbarkeit der Dienste zu rechnen, da die Kapazität je Funkstation begrenzt ist und gerade bei Katastrophen oft ein hoher Bedarf an Kommunikationsdiensten besteht.
- Im Ergebnis können – sofern die genannten Redundanzen nicht ebenfalls zerstört sind – auch in Katastrophenfällen öffentliche TK-Dienste ähnlich wie im Normalbetrieb zur Verfügung gestellt werden. Allerdings ist je nach konkreter Schadenssituation mit spürbaren Kapazitätseinschränkungen zu rechnen. Sofern es keine nutzbaren Redundanzen gibt – wie es oftmals im Zugangsnetz der Fall sein wird – sind beispielsweise das Aufstellen temporärer TK-Infrastruktur (z. B. mobiler Funkstationen) oder bei großflächigen Stromausfällen der Einsatz mobiler Netzersatzanlagen denkbar, um die Dienste rasch wiederherzustellen. Nutzer von BOS-Diensten erhalten in der Regel einen priorisierten Zugang zu diesen Infrastrukturen²⁵.
- Aufgrund der Struktur der Telekommunikationsbranche mit mehreren Netzbetreibern und Infrastrukturwettbewerb existieren in der Regel parallele Netzinfrastrukturen, die je nach Ausprägung der Katastrophenereignisse prinzipiell eine Redundanz bei der Versorgung mit TK-Diensten ermöglichen können. Im Bereich der Zugangsnetze werden Teile der Infrastrukturen aufgrund der besseren Wirtschaftlichkeit gemeinsam genutzt (z. B. Kupferkabel, oder das genannte Tower Sharing im Mobilfunk). Mögliche Ausfälle sind in der Regel lokal begrenzt.

Neben der Technik spielen, wie schon bei der Betrachtung der Stromnetze festgestellt, auch definierte Schnittstellen und Prozesse für das Betriebspersonal der Strom- und der genutzten TK-Netze eine Rolle, wobei die Bewältigung von Katastrophenfällen regelmäßig geübt werden müssen. Aufgrund der zahlreichen Stakeholder in der Wertschöpfungskette der öffentlichen TK-Dienste (neben den TK-Netzbetreibern z. B. die Betreiber passiver Infrastrukturen, Tower-Companies, Anbieter von genutzten Cloud-Infrastrukturen) ist eine sorgfältige Analyse erforderlich, welche Ebene der Wertschöpfung durch Stromausfälle wie beeinträchtigt wird und welche Schutzmaßnahmen technischer wie betrieblicher Art zweckmäßig sind.

5.5 Betriebsszenario Katastrophe: großangelegter Cyberangriff auf Stromnetze

Ein immer wieder beschriebenes und real ernstzunehmendes Risiko ist eine großangelegte Cyberattacke auf die elektrische Energieversorgung. Verschiedene Vorkommnisse können zu einem großflächigen, langanhaltenden Stromausfall in Folge von Cyberattacken führen:

- Der Hack einer Leitstelle eines Übertragungsnetzbetreibers (inklusive dessen Backup-Leitstelle).
- Die (cybertechnische) Sabotage des 450-MHz-Funknetzes der Energieversorger.
- Die (cybertechnische) Sabotage der öffentlichen TK-Infrastruktur mit resultierendem Ausfall von TK-Diensten, mit denen zahlreiche verteilte kleine erneuerbare Erzeuger im Verteilnetz angebunden sind.
- Der Hack von zentralen Einrichtungen kleinerer verteilter elektrischer Anlagen (z. B. Ladesäulen, Speicher), deren gleichzeitiges Zu- und Abschalten die Stabilität der jeweiligen Verteilnetze gefährden würde.

In all diesen Fällen kann die beschriebene Attacke mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem längerfristigen, ggf. großflächigeren Stromausfall führen.

²⁵ Auch im Normalbetrieb genießen Nutzer von BOS-Diensten Priorität bei TK-Diensten.

In der Folge ist mit dem Ausfall der öffentlichen Telekommunikationsnetze zu rechnen, da die zentralen Netzknoten mit Batterien und Netzersatzanlagen eine Zeitlang ohne Stromversorgung betrieben werden können, jedoch der Energieinhalt der Notstrombatterien und die Tankkapazität der Netzersatzanlagen begrenzt sind. Die nicht gepufferten Teile der Zugangsnetze werden mit dem Ausfall der Energieversorgung sofort außer Betrieb gehen, ebenso wie die meisten Festnetz-Endgeräte bei den Anwendern. Mobilfunk-Endgeräte bleiben so lange betriebsfähig, bis ihre Akkus leer sind, was allerdings nur bei noch betriebsfähigen Funkstationen eine Kommunikation ermöglicht.

Die Gesamtkapazität aller mobilen Notstromaggregate des Technischen Hilfswerkes (THW) deckt nur einen kleinen Teil der deutschen Last ab. Sie sind also nur für lokal begrenzte Notsituationen hilfreich. Des Weiteren decken die vorhandenen, stationären Notstromgeneratoren ebenfalls nur einen kleinen Teil der Anwendungen ab (z. B. Krankenhäuser, bestimmte Abwassersysteme). Alle Notstromaggregate, egal ob mobil oder stationär, benötigen für den dauerhaften Betrieb über einige wenige Stunden hinaus eine gut funktionierende Nachschubversorgung mit Treibstoff.

Verteilte (erneuerbare) Erzeugungsanlagen schalten sich nach heutigem Stand der Implementierung bei Ausfall des überlagerten Stromnetzes meist ab, da Umrichter-basierte Anlagen heute fast ausschließlich netzgeführt betrieben werden. Eine lokale Notversorgung mit vorhandener Sonnen- oder Windenergie ist also – Stand heute – höchstens in einzelnen speziell ausgerüsteten Fällen (Photovoltaik mit Stromspeicher, Inselbetriebsfähig) möglich. Das Erreichen eines angemessenen Niveaus an Resilienz gegenüber solch großangelegten Hackerangriffen erfordert die systematische Klärung einer Reihe von Fragen, die von einer Betrachtung der Annahmen im Detail und möglichen Cyber-Erkennungs- und Gegenmaßnahmen über die Gestaltung notfallspezifischer Planungen für den Betrieb der Stromnetze sowie den Einsatz von erneuerbaren und konventionellen Stromerzeugern bis hin zu den künftigen Anforderungen an die Kommunikationsdienste für den Betrieb des Energienetzes reichen.

Basierend darauf lassen sich dann Lösungsansätze ableiten, wie beispielsweise die Ertüchtigung der Stromnetze zu weitgehendem temporären Inselbetrieb in zahlreichen Inselnetzen, dazu u. U. massiver Erweiterung von Reservekapazitäten für die Stromerzeugung innerhalb bestimmter Inseln, oder auch regelmäßige Tests der eingangs genannten Komponenten im Stromnetz auf ihre Anfälligkeit gegen Hacking im Zusammenspiel der relevanten Akteure über die beteiligten Infrastrukturen hinweg. In jedem Fall ist eine gute Vorbereitung essentiell, die neben der Technik (die vielfach schon existiert) auch das Prozedurale und das unternehmens- und branchenübergreifende Zusammenwirken und damit das proaktive Einbinden von Fachleuten in bisher oft parallel geführten Organisationen umfasst.

5.6 Betriebsszenario Katastrophe: große physische Zerstörungen

Mit dem Fortschreiten des Klimawandels wird mit zunehmender Häufigkeit mit Naturkatastrophen gerechnet. Eine derartige Katastrophe ereignete sich 2021 nach regional ausgeprägten Starkregenfällen im Westen Deutschlands u. a. im Bereich der Eifel und des Ahrtales. Flüsse traten über die Ufer, es kam zu meterhohen Überflutungen und Hochwasserwellen, die Pegel in manchen Tälern erreichten Höhen, wie sie in der Vergangenheit noch nicht aufgetreten waren. Dabei ertranken zahlreiche Menschen, Häuser und Infrastrukturen wurden weggespült oder stark, oft irreparabel beschädigt.

Es gibt eine Reihe von Naturgefahren, die Katastrophen auslösen können, wie beispielsweise

- Hochwasser, mit langsamem Anstieg oder als Flutwellen, regional eng begrenzt oder in größeren Regionen,
- Starkregenereignisse mit Fließerosion oder Überflutung auch flacher Geländetopografien,
- Sturmfluten an den deutschen Küsten,
- Sturm- und Orkanereignisse,
- Waldbrände, die regional außer Kontrolle geraten (vgl. Niedersachsen 1976, sächsische Schweiz 2022),
- Erdbeben (in Deutschland geringe Wahrscheinlichkeit).

Ebenfalls katastrophale Folgen könnten große Unfälle in Industrieanlagen (z. B. Chemie, Nuklear), oder vorsätzlich angelegte Angriffe (z. B. zeitlich und räumlich koordinierte Sabotageakte, militärische Angriffe) haben.

Nach dem Eintritt derartiger Katastrophen ist mit dem Ausfall der Strom- und Telekommunikationsversorgung im betroffenen Gebiet und je nach konkreter Situation auch weit darüber hinaus zu rechnen, auch das BOS-Netz kann ausfallen.

Damit ist auch die Fähigkeit zu einer angemessenen Lagebeurteilung nicht mehr gegeben: in verschiedenen Katastrophen, u. a. zuletzt der Hochwasserkatastrophe in Westdeutschland, hat sich gezeigt, dass die Verfügbarkeit von Kommunikationsmitteln eine grundlegende Voraussetzung zur Lagebeurteilung ist.

Als weitere Folge ist möglicherweise eine Warnung der Bevölkerung vor Folge-Ereignissen mittels öffentlicher Mobilfunknetze (z. B. über Warn-App oder Cell Broadcast) nicht mehr möglich, die Kommunikation der Einsatzkräfte untereinander sowie mit den regionalen Behörden (Bürgermeister, Krisenstäbe, ...) ist gestört, zumindest erschwert oder gar unmöglich. Unmittelbar betroffene Menschen die Hilfe benötigen können sich nicht mehr über öffentlichen Mobilfunk bemerkbar machen, auch die Kommunikation mit Dritten über öffentliche TK-Netze ist nicht möglich.

Je nach Schadenslage sind passive und aktive Infrastruktur der Technik von Stromversorgung und Telekommunikation durch physische Zerstörung betroffen wie z. B.

- Bauwerke, Kabelanlagen, Strommasten, Funkmasten,
- Vermittlungsstellen, DSL-Knoten, Mobilfunkstationen, Richtfunk-Einrichtungen,
- Umspannstationen, Transformatoren, Schalt-/ Schutzeinrichtungen, Kraftwerke.

Der Ausfall an von der Katastrophe direkt betroffenen Standorten kann den Ausfall von TK-Diensten bzw. der öffentlichen Stromversorgung in anderen (umliegenden oder auch weiter entfernten) Regionen zur Folge haben. Dies hängt von der Topologie der beteiligten Netze, der Verteilung zentral erforderlicher Funktionen, und den vorhandenen bzw. erforderlichen Verbindungen (meist Kabel, im TK-Bereich gelegentlich auch Richtfunk) ab.

Der Ausfall der Stromversorgung zieht meist auch den Ausfall der öffentlichen Kommunikationsdienste nach sich. Die zentralen Knoten sind zwar regelmäßig für einige Stunden mit netzunabhängiger Stromversorgung (Batteriebanken, Netzersatzanlagen/Dieselgeneratoren) gepuffert und müssen lediglich mit neuem Brennstoff versorgt werden, aber die Teilnehmeranschlussnetze verfügen – wenn überhaupt – nur über eine zeitlich begrenzte netzunabhängige Stromversorgung, und die Geräte der Nutzer im Festnetz (z. B. Modems, Basisstationen von DECT-Telefonen) sind in aller Regel direkt vom Strom aus der Steckdose abhängig.

Kritisch in dieser Situation sind besonders

- der unmittelbare Ausfall von Kommunikationswegen zur Alarmierung/Koordination und zum Herbeirufen von Hilfe und
- der Ausfall von Hilfsmitteln zur Gefahrenabwehr (z. B. Pumpen) sofern auf Elektrizität angewiesen und nicht mittels Notstromaggregaten versorgbar²⁶.

In der Folge ist mit lange andauernder Nichtverfügbarkeit von sowohl Stromversorgung als auch Kommunikationsdiensten zu rechnen, was ggf. Rettungs- und Aufräumarbeiten erschwert bzw. verlangsamt.

Daneben sind wie oben erwähnt Folgewirkungen längerer Ausfälle in indirekt betroffenen Regionen zu erwarten.

²⁶ Einheiten des Katastrophenschutzes bzw. der allgemeinen Gefahrenabwehr führen immer eigene Aggregate mit. Selten wird auf die öffentliche Stromversorgung gesetzt. Bei privat vorgehaltenen Hilfsmitteln ist das nicht gewährleistet.

Um die Resilienz der Strom- und Kommunikationsnetze gegen derartige Katastrophen gezielt und dabei nach Prioritäten verbessern zu können, bedarf es der systematischen Klärung einer Reihe von Fragen. Diese reichen von Basisinformationen (z. B. ortsspezifisch zu erwartende Häufigkeit und Auswirkungen von Naturereignissen) über technische Fragen und Gegebenheiten (Korrelationen von Infrastrukturen, Single-points-of-Failure, vorhandene Redundanzen) bis hin zur Betrachtung vorhandener und ggf. Einführung neuer Vorkehrungen²⁷ für den Katastrophenfall in den beteiligten Unternehmen sowie in Verwaltung und Politik.

Basierend auf der Klärung dieser Fragen sind eine Reihe von Ansätzen zur Verbesserung vorstellbar. Sie reichen bei Technik und Infrastruktur z. B. von Planung und Implementierung der Netztechnik in hochwassersicheren Lagen und mit redundanter Wegeführung über die Verfügbarkeit einer ausreichenden Anzahl an Netzersatzanlagen, bis hin zur präventiven Vorbereitung von regional begrenztem Roaming in Mobilfunknetzen, und umfassen im betrieblich-prozeduralen Bereich vor allem das gemeinsame Planen und Vorbereiten auf mögliche Katastrophen über alle Stakeholder in Energie- und TK-Wirtschaft hinweg.

Eine wichtige Rolle zur Verbesserung der Resilienz spielt auch eine gezielte Kommunikation mit allen Stakeholdern, um das Bewusstsein aller Beteiligten nicht nur für die spezifische regionale Situation, sondern auch für die Risiken für Stromversorgung und TK-Netze und deren gegenseitige Abhängigkeiten zu stärken:

- Bevölkerung (Verständnis für die Zusammenhänge und die Tatsache, dass Schutzmaßnahmen Geld kosten)
- Fachstellen in Behörden und bei den Betreibern der Netze von Strom und Telekommunikation (Awareness, Zusammenhänge, Lösungsansätze, „Mitnehmen“ auf dem Weg zu Lösungen)
- Politik (regional/Land/Bund) und Gesetzgeber/Regulatoren (Awareness, Zusammenhänge, Lösungsansätze, Bereitschaft gesetzl. Regelungen voranzubringen sowie die erforderlichen Mittel bereitzustellen)
- Betreiber alternativer und TK-ähnlicher Infrastrukturen, z. B. Hyperscaler, Betreiber von Mobilfunktürmen und Betreiber von Satellitennetzen.

²⁷ Je nach angestrebtem Resilienzniveau sind entsprechende Prinzipien, Bauweisen, Auslegungen von Strom- bzw. TK-Netzen, mobile Reserven, u. v. m. zweckmäßig.

6. Schlussfolgerungen: Fragestellungen, Lösungsansätze und Hypothesen

Aus den Betriebsszenarien wird deutlich, dass es bezüglich der künftig stärker zu erwartenden gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Strom- und öffentlichen Telekommunikationsnetzen eine Reihe offener Fragestellungen gibt. Bei gemeinsamer Betrachtung von Anforderungen an die Resilienz der Strom- und TK-Netze, liegen in der Weiterentwicklung beider Netze zugleich auch Potenziale für eine höhere Zuverlässigkeit, und es werden Ansätze erkennbar, wie trotz zunehmender Abhängigkeiten für den Fall von Störungen und in Krisenszenarien ein hohes Maß an Resilienz erreicht werden kann. Die essenzielle Bedeutung von verlässlicher elektrischer Energie und von hoch verfügbaren Kommunikationsdiensten für unsere Gesellschaft und ihre verschiedenen Kritischen Infrastrukturen verstärkt die Notwendigkeit eines hohen Resilienznieaus²⁸.

Im Folgenden werden zunächst offene Fragestellungen aufgeführt, die sich aus der Betrachtung der Betriebsszenarien ergeben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf in die Zukunft gerichtete Fragen, die system- und branchenübergreifend betrachtet werden müssen.

Im Anschluss werden – gruppiert in drei Handlungsfelder - erste Lösungsansätze skizziert, wie man speziell im Hinblick auf die zunehmenden gegenseitigen Abhängigkeiten für mehr Resilienz sorgen kann.

Abschließend werden aufsetzend auf den Fragen und Lösungsansätzen erste Hypothesen aufgestellt, wie ein Mehr an Resilienz erreicht werden kann.

Abbildung 7 zeigt schematisch die Vorgehensweise.



Quelle: VDE ETG/ITG Expertenteam

Abbildung 7: Vorgehen zur Ableitung von Schlussfolgerungen aus den Anwendungsfällen

6.1 Fragestellungen

An dieser Stelle betrachten wir ausgewählte wichtige Fragestellungen, die sich aufgrund der Entwicklung von Strom- und TK-Netzen einzeln und besonders in der Zusammenschau auf beide Netze ergeben. Wir greifen Fragestellungen aus den Risiken durch Cyberangriffe auf und stellen Punkte zusammen, die bezüglich der Resilienz der Netze im Fall von Katastrophen unterschiedlicher Art geklärt werden sollten.

²⁸ Ein Resilienznieaus legt fest, gegen welche Ereignisse welche Art von Widerstandsfähigkeit aufgebaut wird und wie nach einem Ereignis die Wiederherstellung erfolgt.

Künftige Anforderungen der Stromnetze an die Kommunikationsdienste

Im Bereich der Stromnetze zeigen die untersuchten Anwendungsfälle die Notwendigkeit stabiler Kommunikationsverbindungen auf, insbesondere auch zur Anbindung und damit zur Mess- und Steuer-/Regelbarkeit einer rasch zunehmenden Zahl²⁹ erneuerbarer Erzeuger, aber auch von Speichern und flexiblen Lasten. Das im Aufbau befindliche 450-MHz-Netz der Energieversorger wird hierbei eine entscheidende Rolle spielen, aber es werden weiterhin und in zunehmendem Maß zusätzliche TK-Verbindungen über öffentliche Netze erforderlich sein.

Da könnten konkrete Fragen z. B. lauten

- Welches Maß an Redundanz und Schwarzfallfestigkeit ist für welche Kommunikationsdienste und für welche Nutzer zur Erhaltung der Netzstabilität und für den Netzwiederaufbau erforderlich?
- Zu welchen Anlagen und Personengruppen (z. B. DigiONS, Windenergieanlagen, Solarparks, Leitstellen, Service- und Wartungstrupps, ...) und daraus folgend geografisch an welchen Orten bzw. in welchen Gebieten ist eine gesicherte Kommunikation erforderlich? Bis wann sind diese Regionen mit ausreichender Kapazität über das 450-MHz-LTE-Netz oder andere Netze abgedeckt? Bietet der Einsatz hochverfügbarer Glasfaseranschlüsse öffentlicher Netzbetreiber Chancen für die Kommunikation im Verteilnetz, können Sie z. B. sinnvoll als Redundanz verwendet werden?
- Können technische Lösungen innerhalb der Energienetze (z. B. inhärent netzdienliches Verhalten von erneuerbaren Erzeugern und steuerbaren Verbrauchern) den Ausfall von TK-Netzen temporär vollständig kompensieren – und wenn ja, wie lange?

Eine systematische Zusammenstellung der künftigen Anforderungen und ihrer Entwicklung im Zeitverlauf ermöglicht es, die spezifischen Anforderungen der elektrischen Energiewirtschaft an die eigenen³⁰ und die öffentlichen Kommunikationsnetze zu erfassen und evtl. erforderliche Maßnahmen zur Sicherung ausreichender Resilienz zu treffen.

Künftige Anforderungen der öffentlichen TK-Netze an die Verfügbarkeit der Stromversorgung

Eine zuverlässige Stromversorgung der öffentlichen TK-Netze ist naturgemäß unabdingbar. Sollen Telekommunikationsdienste auch bei Ausfall der Versorgung durch die Stromnetze verfügbar sein, so erfordert dies eine systematische Analyse der Anforderungen vor dem Hintergrund der konkreten Auslegung der Netze. Hierzu gehören auch die zuvor betrachteten Anforderungen an die TK-Dienste für die Stromnetzbetreiber³¹.

Konkrete Fragestellungen könnten z. B. lauten

- Wie wirkt sich die absehbare Evolution der TK-Netze auf die Anforderungen an eine verlässliche Energieversorgung aus? An welchen Standorten ist zukünftig eine besonders hohe Verfügbarkeit erforderlich?
- An welchen Standorten (insbesondere der Zugangsnetze) ist oder wird insbesondere vor dem Hintergrund möglicher Katastrophenfälle eine Pufferung auch an heute ohne Power Backup betriebenen Standorten erforderlich? Welcher Art und Zeitdauer? Welchen Einfluss haben dabei der fortschreitende Glasfaserausbau einerseits und die steigende Anzahl dezentraler kleiner Mobilfunkstationen andererseits? Dies schließt eine enge Abstimmung mit den von Energieversorgern gewährleisteten Verfügbarkeiten ein.

²⁹ Es wird im Niederspannungsnetz auch weiterhin Erzeuger, Speicher und Verbraucher geben, die nicht per Kommunikationsverbindung netzdienlich gesteuert werden können, sondern die sich bei Anliegen der Netzspannung inhärent netzdienlich verhalten.

³⁰ Bezüglich des versorgerspezifischen 450-MHz-Funknetzes gehen diese Anforderungen – soweit bereits bekannt – im aktuellen Planungsprozess in die Netzplanung ein.

³¹ Neben den Stromnetzbetreibern gibt es eine Vielzahl anderer Anwender aus dem Bereich der kritischen Infrastrukturen, die teilweise Anforderungen an die Verfügbarkeit von öffentlichen TK-Diensten auch bei Stromausfällen haben. Es ist davon auszugehen, dass sie von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz der Kommunikationsdienste für Stromnetzbetreiber ebenfalls profitieren.

- Welche Chancen und Risiken ergeben sich aus der gemeinsamen Nutzung von TK-Infrastruktur-Komponenten durch mehrere Netzbetreiber³²?
 - Gibt es Vorteile beim Infrastructure Sharing, z. B. durch synergetische "Härtung" und Pufferung bestimmter Standorte?
 - Gibt es Risiken z. B. über Tower Sharing, die durch Verzicht auf Infrastructure Sharing vermieden werden könnten?
- Sind alle Zulieferer in der TK-Service-Produktion bekannt, und ist sichergestellt, dass sie auch im Fall von Stromausfällen die Verfügbarkeit ihrer Dienstleistungen (z. B. Datentransport über Glasfaserleitungen, Kapazität in Datacentern) sicherstellen?

Auch hier sieht man aus dem Umfang der Fragestellungen, dass eine systematische Zusammenstellung der Antworten rasch eine hohe Komplexität erreichen kann, und daher auf eine zweckmäßige Priorisierung Wert gelegt werden muss.

Fragestellungen aus der gemeinsamen Betrachtung von Strom- und TK-Netzen

Da die Energiewende die Dezentralisierung und Digitalisierung des Energiesystems voraussetzt, ist eine gemeinsame Betrachtung von Stromnetzen und den für die Digitalisierung nötigen Kommunikationsdiensten und -netzen notwendig. Eine Reihe von Fragen ergibt sich, wenn man den künftig erwarteten Aufbau und Betrieb von Strom- und TK-Netzen zusammen betrachtet. Bei dieser Gesamtsystem-Betrachtung müssen alle für die Leistungserstellung wesentlichen Akteure betrachtet werden.

Konkrete Fragen sind zum Beispiel:

- Welche Risiken für eine Fehlerfortpflanzung und -ausweitung durch Ausfälle in Strom- und/oder TK-Netzen bestehen?³³
- Gibt es für den Fall von Störungen vorgeplante, vereinbarte Meldungen und Kommunikationswege?
 - Wie wird den Stromnetzbetreibern effizient und schnell die Information über Ausfälle von genutzten TK-Diensten bereitgestellt?
 - Wie wird den TK-Netzbetreibern effizient und schnell die Information über Ausfälle der Stromversorgung bereitgestellt?
 - Wie kann die Information zu geplanten und ungeplanten Nichtverfügbarkeiten zwischen TK- und Stromnetzbetreibern fließen? Ist dies generell notwendig?
- Werden die Verfahren zur Bewältigung von Störungen (und Katastrophen) regelmäßig geübt?

Von Bedeutung sind hier vor allem Aspekte, bei denen eine koordinierte Sicht zur Vermeidung möglicher Störungen zwingend erforderlich ist oder zu ihrer leichteren und schnelleren Behebung beiträgt.

Auch aus diesen Fragestellungen wird eine hohe Komplexität sichtbar, die insbesondere durch die große Zahl an beteiligten Stakeholdern verschiedener Industrien, aber auch durch die historisch gewachsen unterschiedlichen Strukturen der Netze sowie die ebenfalls unterschiedlichen Prozesse und Herangehensweisen in den beteiligten Industrien bedingt ist.

³² Die Möglichkeiten sind sehr sorgfältig im Sinne einer zukünftig möglichen Differenzierung zwischen Netzbetreibern abzuwägen.

³³ Beispiel: Führt ein längerer Stromausfall in einer Region aufgrund des nach einiger Zeit eintretenden Ausfalls zentraler TK-Netzelemente zu Ausfällen des TK-Netzes in anderen, nicht vom Stromausfall betroffenen Regionen, ggf. mit Folgewirkung auf die von den Stromversorgern genutzten Dienste und damit zu Risiken für die Stromversorgung auch außerhalb der vom Stromausfall betroffenen Region?

Fragestellungen aus den Risiken durch Cyberangriffe und Klärungsbedarf bezüglich der Resilienz der Netze im Fall von Katastrophen

Im Fall von großangelegten Cyberangriffen auf das Energiesystem ist nach kurzer Zeit auch mit Ausfällen von TK-Diensten zu rechnen. Ähnliches gilt bei großen Katastrophenereignissen³⁴ unterschiedlicher Art mit physischen Zerstörungen.

Um ein klareres Bild zu den Risiken und darauf aufsetzend zu Ansätzen zur Verbesserung der Resilienz zu gelangen, sind – über die bei der Betrachtung von Strom- und Kommunikationsnetzen und ihrem Zusammenwirken hinaus beschriebenen Aspekte – eine Reihe von Fragestellungen zu untersuchen.

Konkrete Fragen könnten z. B. sein:

- Welches sind die Maßnahmen zur Cybersicherheit bei den Betreibern von zentral gesteuerter Ladeinfrastruktur? Ist ihre Anbindung an die Leitstellen der jeweiligen Verteilnetze sichergestellt, z. B. um mit gezieltem Lastabwurf die Netzstabilität aufrecht erhalten zu können?
- In welchen Regionen Deutschlands ist mit welcher Art von Naturereignissen zu rechnen? Beispiele: Art der Ereignisse (z. B. Charakter der Überflutung), Plausibilität, HQ-Werte³⁵, ggf. mit Häufigkeit „10-jährige/50-jährige/100-jährige Ereignisse“, Bevölkerungsdichte- und Struktur, besonders kritische Einrichtungen (z. B. Krankenhäuser), etc.
- Wie ausfallsicher ist in den gefährdeten Regionen bzw. an den besonders schützenswerten Einrichtungen die Energie- und TK-Infrastruktur?
- Gibt es nutzbare Redundanzen durch die im Wettbewerb aufgebauten TK-Netze? Gibt es dabei spezifische Single Points of Failure?
- Gibt es Redundanzen mit anderen Unternehmen, Kommunen oder Organisationen, z. B. BOS-Dienste?
- Welche Notfallmaßnahmen sind planerisch durchdacht und werden, unter Einbeziehung aller Stakeholder, regelmäßig geübt?
- Inwieweit ist es sinnvoll und machbar, weitere Kritische Infrastrukturen in die Betrachtung einzubeziehen und dadurch Synergiepotentiale zu heben?

Auch wenn die Ursachen für Katastrophen durch Cyberangriffe, Naturereignisse oder andere Gründe sehr unterschiedlich sind, weisen die Folgen eine Reihe von Gemeinsamkeiten auf. Die Maßnahmen gegen die Auswirkungen von Katastrophen werden daher oft ähnlich sein und können deshalb gegen verschiedene Arten von Katastrophen wirken. Bei Analysen, Planungen und Vorbereitungen für Katastrophenfälle müssen die Kritischen Infrastrukturen gemeinsam, mit ihren heutigen und zukünftigen gegenseitigen Abhängigkeiten, betrachtet werden. Im TK-Sektor sind dabei die Infrastrukturen aller öffentlichen TK-Netzbetreiber einzubeziehen.

6.2 Lösungsansätze

Die Fallstudien haben eine Reihe von Handlungsfeldern aufgezeigt, mit denen sich die Resilienz der Strom- und Kommunikationsnetze aus dem Blickwinkel ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten stärken lässt. Besondere Bedeutung haben dabei ein branchenübergreifender, integraler 360-Grad-Blick sowie die Betrachtung der Zusammenhänge über Branchen- und Funktions-/Stakeholder-Grenzen hinweg.

³⁴ Der Begriff der „Katastrophe“ ist nicht einheitlich definiert. Ab wann ist eine große Störung eine Katastrophe, da die Ausrufung des Katastrophenfalls die Handlungsfähigkeit ja deutlich verbessert?

³⁵ HQ-Werte definieren Schwellen für Extremereignisse innerhalb bestimmter Zeiträume, in der Regel definiert in 10-, 50- und 100-Jahresschritten. HQ_{extrem} beschreibt den Extremwert für ein Ereignis, z. B. den Wert für ein extremes Hochwasser

Die Ansätze lassen sich in drei Bereiche mit zugehörigen Handlungsfeldern einteilen:

- Technik und Infrastruktur,
- Prozesse und Vorgehen,
- Personal und Information.

Im Folgenden werden diese Bereiche kurz charakterisiert, und es werden aus den Fallstudien abgeleitete Beispiele für Handlungsfelder genannt.

Technik und Infrastruktur

Die Auslegung von Technik und der aktiven und passiven technischen Infrastruktur spielen bei der Erhöhung der Resilienz von Strom- und TK-Netzen naturgemäß eine zentrale Rolle.

Für die praktische Umsetzbarkeit und die mit der Umsetzung technischer Maßnahmen verbundenen Wirtschaftlichkeit sind die jeweiligen Innovationszyklen zu beachten.

- Um die hohe Verfügbarkeit der Stromnetze aufrecht erhalten zu können, spielt der rasche Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze eine entscheidende Rolle, wofür die Beschleunigung der Genehmigungsverfahren essentiell ist. Die Digitalisierung der Stromnetze und damit einhergehend eine Erweiterung der Beobacht- und Steuerbarkeit der Verteilnetze, insbesondere im Niederspannungsbereich, sind für die Stabilität der Stromnetze beim Fortschreiten der Energiewende ebenfalls unabdingbar. Dass Digitalisierung zuverlässige Kommunikationsdienste voraussetzt versteht sich von selbst.
- Für öffentliche TK-Netze sind praktisch einsetzbare technische Lösungen zur Erhöhung der Unabhängigkeit von Stromausfällen in manchen Fällen verfügbar, sie müssen soweit erforderlich geplant und im Feld aufgebaut werden. Die kritischen Fragestellungen sind dann wirtschaftlicher und organisatorischer Natur. Ein Investment in lokale Erzeugung und Speicherung regenerativer Energie an TK-Netz-Standorten wird begünstigt, wenn neben dem Eigenverbrauch wirtschaftlich attraktive Konditionen für eine Einspeisung gegeben sind. Es gibt allerdings auch eine Reihe von Fällen wie z. B. die Indoor-Abdeckung³⁶ großer Gebäude und Verkehrsflächen, in denen eine gemeinsame Betrachtung zuverlässiger Stromversorgung für Kommunikations-, Informations- und andere Technik zielführender ist als die isolierte Betrachtung der öffentlichen Kommunikationsnetze.
- Durch eine Kombination von verschiedenen TK-Diensten (z. B. der versorgerspezifischen 450-MHz-Infrastruktur, öffentlichen Telekommunikationsdiensten einschließlich hochverfügbarer Glasfaseranschlüsse, satellitengestützten Diensten) lässt sich eine redundante schwarzfallfeste TK-Infrastruktur für die Stromversorger erreichen, die auch eine große Zahl netzdienlich gesteuerter Erzeuger/Speicher/Verbraucher umfassen kann. Dies hätte den Vorteil des schwarzfallfesten Betriebs im Katastrophenfall und damit eines Bausteins für einen sicheren Wiederanlauf der Stromnetze. Im normalen Betriebsfall wäre eine redundante Anbindung gegeben und ein Single-Point-of-Failure vermieden. Für den Re-Dispatch-Prozess bedeutet dies eine sichere Betriebsumgebung hinsichtlich der Steuerung des Portfolios über die redundant eingesetzten Kommunikationsverbindungen. Hierbei sind Fragestellungen wie das Vermeiden von Single-Point-of-Failure-Situationen und versteckte Abhängigkeiten zu berücksichtigen und zugleich die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit im Auge zu behalten³⁷.

³⁶ Speziell die Versorgung von Gebäuden, Sportstätten, öffentlichen Verkehrsflächen etc. mit Mobilfunkdiensten erfordert eine große Zahl kleiner Funkstationen, um die nachgefragte Kapazität und Qualität der Abdeckung realisieren zu können.

³⁷ Beispiel Tower Sharing durch zwei Mobilfunknetzbetreiber: Eine Störung der Stromversorgung zum Mast betrifft mit hoher Wahrscheinlichkeit beide Netze, macht andererseits Maßnahmen zur Sicherstellung der Stromversorgung wirtschaftlicher.

- Für den Katastrophenfall wäre vorab die Festlegung einer angestrebten „Minimalversorgung“ für die Bevölkerung sinnvoll, die z. B. im Mobilfunk die gesicherte Alarmierung per Cell Broadcast einschließen muss, oder die Möglichkeit, in Notsituationen mit schmalbandigen Diensten um Hilfe zu bitten. Darauf aufsetzend lassen sich spezifische Maßnahmen treffen, wie die erweiterte Notstromversorgung von bestimmten Funkstationen³⁸, aber auch die bauliche Härtung gegen Hochwasser, redundant ausgeführtes Backhauling³⁹, Vorbereiten temporärer Versorgung mit TK-Diensten, etc. Um die „kritische Minimalversorgung“ mit resilienten Kommunikationsdiensten in Katastrophenfällen umsetzen zu können, sind technische Fragen, Verantwortlichkeiten und Finanzierung sowie auch rechtliche und prozessurale Aspekte zu klären.
- Daneben könnte die zunehmende Virtualisierung von TK-Netzfunktionen Möglichkeiten bieten, die Redundanz im Katastrophenfall zu steigern, bis hin zum Aufbau temporär eigenständiger TK-Inselnetze. Dies setzt allerdings entsprechende Forschung und Entwicklung sowie nachfolgend Planung und Vorbereitung voraus, die beträchtlichen Aufwand bedeuten.

Neben der Sicherstellung der künftig für die Stromnetze nötigen Kommunikationsdienste bieten sich unter Nutzung von Energiewende, Dezentralisierung und Digitalisierung der Stromnetze weitere Ansätze an, die bei Stromausfällen durch Cyberangriffe oder Katastrophen die Resilienz erhöhen können.

- Hierzu zählt insbesondere die Möglichkeit temporärer Inselnetzbildung im Stromnetz mit Einbindung aller in der Insel verfügbaren, insbesondere erneuerbaren Erzeuger und geeigneter Speicher. In Städten kann aufgrund der hohen Lastdichte und vergleichsweise geringen Dichte regenerativer Erzeugung eine Vollversorgung im Notfall nur mit massiven zusätzlichen Investitionen in konventionelle Netzersatzanlagen (d. h. im allgemeinen Dieselgeneratoren) gelingen. Aber auch eine teilweise, nicht perfekte Versorgung wäre besser als gar keine Versorgung.
- In Notfällen wäre auch die Möglichkeit einer Priorisierung von Verbrauchern hilfreich, etwa dass öffentliche TK-Netze und andere kritische Infrastrukturen bei erforderlichen Lastabwürfen als letztes abgeschaltet werden, sofern dies mit vertretbarem Aufwand realisierbar ist.

Damit deutschlandweit unabhängig vom Betreiber der jeweiligen Verteil- bzw. öffentlichen Telekommunikationsnetze ein vergleichbares Maß an Resilienz gewährleistet werden kann, gilt es entsprechende Mindeststandards auszuarbeiten und sicherzustellen, dass diese von allen Betreibern umgesetzt werden. Das gilt beispielsweise für große und kleine Betreiber elektrischer Verteilnetze ebenso wie für miteinander im Wettbewerb stehende Betreiber öffentlicher Kommunikationsnetze.

Prozesse und Vorgehen

In der Praxis spielen neben Technik und Infrastruktur die Betriebsverfahren eine Rolle, sowie die Fähigkeit aller Beteiligten, auch in Katastrophenfällen angemessen handeln zu können. Beides umfasst beispielsweise

- eine sektorübergreifend angelegte Gestaltung von Prozessen und Schnittstellen, soweit es künftig zwischen Stromnetz und Telekommunikationsnetzen für einen störungsfreien Betrieb bzw. für seine Wiederherstellung Abhängigkeiten gibt,
- den erforderlichen Informationsaustausch in der Praxis,
- die für beides erforderliche Gestaltung von Normen und Betriebsverfahren,
- die entsprechende Ausbildung, und
- im Hinblick auf mögliche Cyberangriffe und Katastrophenfälle auch gemeinsame Simulationen und gemeinsames Üben.

³⁸ Um verschiedenen Bedrohungsszenarien möglichst umfassend zu entsprechen, sollten Batterien und NEA möglichst hoch, d. h. insbesondere bei Dachstandorten unter bzw. auf dem Dach installiert werden. Bei Installation im Keller bzw. in Nebengebäuden ist beispielsweise bei Hochwasser die Funktion der Ersatzversorgung ebenfalls gefährdet. Bei Unterdach- bzw. Aufdach-Installation ist jeder Standort einzeln zu beurteilen z. B. hinsichtlich des verfügbaren Raums und den zusätzlichen statischen Lasten. Die möglichst ausfallsichere Versorgung kleiner Funkzellen im Gebäudeinneren ist aufgrund ihrer Vielzahl und Charakteristika eine besondere Herausforderung.

³⁹ Unter Backhauling versteht man die Verbindung zwischen den Funkstationen und dem Aggregations- und Kernnetz. Hier werden entweder Glasfaserleitungen oder Richtfunk eingesetzt.

Eine dauerhafte, verlässliche Abstimmung der Anforderungen von TK-Netzen und Stromnetzen erfordert eine enge Abstimmung der technischen wie prozessualen Schnittpunkte beider Infrastrukturen auf nationaler bis auf lokaler Ebene. Dazu zählen auch ein ausreichend tiefes Verständnis der Anforderungen an die jeweils andere Infrastruktur sowie der Vorlaufzeiten, der notwendigen Investitionen in den Auf-/Ausbau der Technik sowie notwendiger Betriebskosten. In diesem Zusammenhang sollte sorgfältig geprüft werden, welche der Maßnahmen sich möglicherweise bereits in der Umsetzung befinden.

Personal und Information

Wie allgemein üblich spielt die fachliche Kompetenz aller Beteiligten und die Kommunikation untereinander eine entscheidende Rolle. Hierzu sind u. a. wichtig

- ein sektorübergreifendes Systemverständnis der eingesetzten Fachleute für Planung und Betrieb in der Energie- und der Telekommunikationsbranche,
- die Weiterbildung dieses Personals über die Veränderungen der gegenseitigen Abhängigkeiten mit dem Voranschreiten der Energiewende,
- die Ableitung einer gemeinsamen Strategie und die Vereinbarung eines gemeinsamen Vorgehens zwischen TK-Unternehmen und Energieversorgern, und
- das Etablieren eines Grundverständnisses über die Zusammenhänge auch bei anderen Stakeholdern in den beteiligten Unternehmen, der Verwaltung und der Politik.

Für die Verbesserung der Resilienz in Katastrophenfällen – seien sie durch massive Cyberangriffe oder durch große physische Zerstörungen ausgelöst – kommt es vor allem an auf

- die Awareness aller Stakeholder, was passieren könnte und welche technischen Zusammenhänge bestehen, um daraus angemessene Szenarien zu entwickeln, Planungen „für den Fall der Fälle“ aufsetzen sowie vorbereitende Maßnahmen treffen zu können, und
- das frühzeitige und nachhaltige Etablieren von Kontakten zwischen Verantwortlichen und Fachleuten über alle beteiligten Institutionen hinweg, damit im Katastrophenfall ohne Zeitverzug auf bestehende Kommunikationskanäle zurückgegriffen werden kann („in der Krise Köpfe kennen“).

Außerdem sollte, speziell für Katastrophenfälle, in der Bevölkerung ein Grundwissen über die Zusammenhänge vorhanden sein, vor allem um die Wichtigkeit gesicherter Stromversorgung für die jeweiligen Endgeräte in den Köpfen zu verankern.

6.3 Hypothesen

Die Analyse der Anwendungsfälle bestätigt, dass die technische Entwicklung von Strom- und Kommunikationsnetzen mit dem Voranschreiten der Energiewende eine zunehmende gegenseitige Abhängigkeit beider Infrastrukturen mit sich bringt. Gleichzeitig steigt im Zuge der Energiewende unsere Abhängigkeit von einer stabilen Stromversorgung und mit der zunehmenden Digitalisierung die Abhängigkeit von stets verfügbaren öffentlichen Kommunikationsdiensten.

Aus den erfassten Fragestellungen und den skizzierten Handlungsansätzen lassen sich fünf Hypothesen ableiten, wie diese Abhängigkeit aufgefangen und die Resilienz der Strom- als auch öffentlichen Kommunikationsnetze auch für Katastrophenfälle erhöht werden kann.

Vorausgesetzt wird dafür, dass die relevanten Fragestellungen geklärt und zielführende Lösungsansätze implementiert werden. Speziell im Telekommunikationsmarkt mit seinem intensiven Infrastrukturrewettbewerb müssen dazu Verantwortlichkeiten und Finanzierung geklärt und erforderlichenfalls auch die rechtlichen bzw. regulatorischen Rahmenbedingungen angepasst werden.

Hypothese 1:

Im Stromnetz bringt die Energiewende einen Wandel der elektrischen Energieversorgung vom Synchrongenerator- zum Umrichter-dominierten Netz mit sich. Dieser Übergang hat Herausforderungen, etwa den Wegfall von Generatoren mit großen rotierenden Schwungmassen und ihrem Beitrag zur Systemstabilität, eröffnet aber auch neue Chancen zur Erhöhung der Verfügbarkeit der Stromversorgung. Einspeisung auf allen Spannungsebenen macht es langfristig möglich, in Fehlerfällen in einen kontrollierten Inselnetzbetrieb überzugehen. Technologisch ermöglicht wird dies durch den zukünftigen Einsatz netzbildender Wechselrichter. Dies wird helfen, auch die Verfügbarkeit der öffentlichen Telekommunikationsnetze zu erhöhen, insbesondere im Bereich der Zugangsnetze.

Hypothese 2:

Die Stromversorger können durch die eigenen Kommunikationsnetze, das 450-MHz-LTE-Netz und ggf. angemietete schwarzfallfeste Kommunikationsverbindungen den stabilen Stromnetzbetrieb auch bei Störungen in den öffentlichen TK-Netzen aufrechterhalten. In der Mittelspannungsebene können zusätzlich zum 450-MHz-LTE-Netz öffentliche Mobilfunknetze als Zusatzkapazität oder Redundanz genutzt und dazu bedarfsorientiert lokal schwarzfallfest realisiert werden.

Hypothese 3:

Für den mit steigender Anzahl erneuerbarer fluktuierender Erzeuger und steuerbarer Lasten zunehmenden Kommunikationsbedarf für die Verteilnetze besonders im Niederspannungsbereich werden zunehmend auch öffentliche TK-Netze für nicht zeitkritische Management-Funktionen und auch für stabilitätsrelevante Funktionen eingesetzt, soweit das 450-MHz-LTE-Netz noch keine Funkabdeckung bietet. Hochverfügbare Glasfaser-Anschlüsse für Unternehmensanwendungen können je nach Bedarf und Verfügbarkeit ebenfalls in die Kommunikationstechnik der Verteilnetze integriert werden. Auch in diesen Fällen kann punktuell Schwarzfallfestigkeit erforderlich sein.

Hypothese 4:

Die Resilienz der öffentlichen Telekommunikationsdienste gegen Ausfälle der Energieversorgung wird gestärkt durch weiterentwickelte Netztopologien, lokal eigene erneuerbare Energieerzeugung und bedarfsweise mehr Backup in den Zugangsnetzen, sowie durch das systematische Einbeziehen aller Teilnehmer im Wertschöpfungsprozess für Telekommunikationsdienste, um die Verfügbarkeit der Dienste Ende-zu-Ende sicherzustellen.

Die Nutzer der Dienste müssen dazu eine ausreichend gesicherte Stromversorgung ihrer Endgeräte beisteuern.

Hypothese 5:

Die genannten Maßnahmen zur Verbesserung der Verfügbarkeit von Stromversorgung und öffentlichen Telekommunikationsdiensten eröffnen Synergiepotentiale für eine Verbesserung der Resilienz von Strom und Kommunikation für andere Kritische Infrastrukturen und für die Bevölkerung. Diese Möglichkeit ist besonders im Fall von Katastrophen von hohem gesellschaftlichem Wert. Daher liegt ein umfassender Ansatz unter Einbeziehung weiterer Stakeholder nahe⁴⁰.

⁴⁰ Bei einer erweiterten Betrachtung der Kommunikationsdienste für Kritische Infrastrukturen und Einsatz- und Rettungskräfte ist auch ein Vergleich mit den Lösungen in anderen hochentwickelten Industrieländern sinnvoll, wie z. B. Firstnet in den USA.

7. Ausblick und Empfehlungen des VDE

Die Betrachtung der Entwicklung von elektrischen Energienetzen und öffentlichen Kommunikationsnetzen hat gezeigt, dass Planung und Betrieb stärker gemeinsam gedacht werden sollten. Die zunehmende Anzahl an systemrelevanten Anlagen und Beteiligten in den Wertschöpfungsketten sowie die wachsende Komplexität bei Technik, Systemen, Prozessen und Geschäftstätigkeiten müssen dabei berücksichtigt werden.

Der VDE empfiehlt deshalb, in den im Folgenden beschriebenen Dimensionen aktiv zu werden.

Awareness

Die Zuverlässigkeit unserer Netze ist kein Naturgesetz. Im Rahmen des in letzter Zeit aufgrund von Naturkatastrophen und geopolitischen Veränderungen gewachsenen Bewusstseins für Resilienz in unterschiedlichen Bereichen unseres Lebens (z. B. Energiesicherheit, Lieferketten) müssen besonders unsere Strom- und Kommunikationsnetze ausreichend Beachtung finden: sie sind auch künftig resilient auszulegen, wobei die zunehmenden gegenseitigen Abhängigkeiten sowie die Möglichkeit von Naturkatastrophen, Cyberattacken und anderen Sabotageakten zu berücksichtigen sind. Wir müssen verstehen, wie Ausfälle in der Zukunft auftreten können, um uns gezielt auf diese Szenarien einstellen zu können. Für die Umsetzung konkreter Maßnahmen muss das Bewusstsein dafür geweckt werden, dass Resilienz zunächst Kosten verursacht, sich durch vermiedene Schäden aber wirtschaftlich rechnen kann.

Sektoren- und industrieübergreifendes Denken und Handeln

Ähnlich wie im Kontext der Sektorenkopplung bereits seit langem über verschiedene Energienetze hinweg gedacht wird und so z. B. die Abhängigkeit der Stromversorgung von der Verfügbarkeit von Gas betrachtet wird, muss man auch zu einer systemisch gemeinsamen Betrachtung von Stromnetzen und öffentlichen Kommunikationsdiensten kommen. Zwar kann die Stabilität der Stromnetze durch das System selbst und die versorgereigene Kommunikationstechnik gewährleistet werden; die Energiewende wird jedoch zwingend wesentlich mehr Digitalisierung und damit auch einen wesentlich stärkeren Einsatz öffentlicher TK-Dienste für den Betrieb des elektrischen Energiesystems erfordern.

Sektorenübergreifendes Denken und Handeln setzt entsprechende Kenntnisse und Fähigkeiten der beteiligten Fachleute bei Betreibern, Herstellern und Behörden und dafür eine geeignete Aus- und Weiterbildung voraus.

In diesem Zusammenhang ist auch zu prüfen, inwieweit sich Erkenntnisse und ggf. bereits eingeleitete Maßnahmen in anderen Ländern auf die Situation in Deutschland übertragen lassen.

Berücksichtigung der Möglichkeit von Katastrophen

Vor dem Hintergrund möglicher Katastrophen durch den Klimawandel sowie andere Ereignisse müssen verstärkt Maßnahmen ergriffen werden, die die Resilienz unserer Strom- und Kommunikationsnetze angesichts der technischen Entwicklung und der zukünftig zu erwartenden Risiken angemessen und abgestuft sicherstellen. Gerade für diese Fälle sollten Strom- und öffentliche TK-Netze und auch andere Kritische Infrastrukturen geografisch weiträumig gemeinsam gedacht werden.

Systematische Planung und Umsetzung von Maßnahmen

In der Umsetzung der systemischen Betrachtung gibt es eine Reihe von Maßnahmen, die hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Dringlichkeit und technischen wie wirtschaftlichen Machbarkeit beurteilt, priorisiert und anschließend geplant und umgesetzt werden müssen. Dies setzt eine sektorübergreifende Zusammenarbeit voraus und schließt die Klärung von Finanzierung und Verantwortlichkeiten ein.

- Kurzfristig:
 - Aufsetzen gezielter Aus- und Weiterbildung zu den sektorenübergreifenden Aspekten von elektrischem Energiesystem und öffentlichen TK-Netzen.
 - Erfassen des zusätzlichen Bedarfs für eine resilientere Kommunikation: Wo gibt es spezifische Anforderungen aus den Stromnetzen bezüglich der Verfügbarkeit von öffentlichen TK-Diensten bei Stromausfall? Wer muss mit im Krisen- oder Katastrophenfall in welcher Form über das bereits existierende Maß hinaus kommunizieren können?
 - Punktueller Erweiterung der Unabhängigkeit der öffentlichen Kommunikationsnetze von der öffentlichen Stromversorgung im Bereich des Teilnehmerzugangs, dazu Überprüfen und – wo erforderlich – Ergänzen der Notstromversorgung mit existierender Technologie.
 - Etablieren standardisierter Schnittstellen und Betriebsprozesse zur gegenseitigen Information und Abstimmung zwischen Strom- und Kommunikationsnetzen für den Fall von Störungen.
- Mittelfristig:
 - Gemeinsame Planung der künftig erforderlichen Kommunikationsdienste für die Stromnetze bzw. der Stromversorgung für die öffentlichen Kommunikationsnetze durch Stromversorger und Telekommunikations-netzbetreiber mit dem Ziel der Sicherstellung ausreichender Resilienz des Gesamtsystems. Hierzu gehören eine Analyse der Wirksamkeit der heute üblichen Service Level Agreements (SLAs) bei Großstörungen und in Katastrophenfällen vor dem Hintergrund der zukünftig erwarteten Verfügbarkeit der Stromversorgung sowie das Einbeziehen der essenziellen Teilnehmer in den jeweiligen Wertschöpfungsketten. Dabei sollte gezielt synergetischer Nutzen für andere Kritische Infrastrukturen und die Bevölkerung geschaffen werden, die ja ebenfalls auf Strom und Kommunikationsdienste angewiesen sind.
 - Vorbereiten der Möglichkeit zu zeitlich und örtlich begrenzter, bandbreitenreduzierter Nutzung aller noch funktionierenden Mobilfunk-Netzinfrastrukturen durch alle Mobilfunknutzer als Katastrophenschutzmaßnahme im Bereich der öffentlichen Kommunikationsnetze.
 - Entwickeln von Szenarien für sowie Etablieren von sektorübergreifenden Verfahren und Übungen für Katastrophenfälle mit Beteiligung aller relevanten Stakeholder auch über Ländergrenzen hinweg.
- Langfristig:
 - Einsatz netzbildender Umrichter in Verbindung mit dezentralen Speichern und Erzeugern im elektrischen Energiesystem und damit verbunden Vorbereitung von kontrolliertem Inselnetzbetrieb in Störungsfällen.
 - Forschung zur Analyse der künftigen Zusammenhänge im Gesamtsystem und Herausarbeiten von Risiken und Handlungsbedarf sowie Chancen und Handlungsempfehlungen. Hierbei müssen sowohl technische wie wirtschaftliche und regulatorische Aspekte eine Rolle spielen.
 - Etablieren von Mechanismen zur sektorübergreifenden Optimierung.
 - Umsetzen infrastruktureller Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz.
 - Anpassung von rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen.

Der VDE als Technologieorganisation mit profunder Kenntnis von sowohl elektrischer Energie- als auch Informations- und Kommunikationstechnik steht als Partner für Fachleute in Industrie und Behörden zur Verfügung, um bei der Aus- und Weiterbildung, dem sektorenübergreifenden Dialog, der Standardisierung von Schnittstellen und der Festlegung geeigneter Betriebsverfahren aktiv gestaltend mitzuwirken. Außerdem unterstützt der VDE gerne den politischen Dialog mit neutralen Fachinformationen.

Literaturverzeichnis

- [1] „Kommunikationsnetz für das Smart Grid“ (VDE-Positionspapier, März 2015)
- [2] „Der Zellulare Ansatz – Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende“ (VDE-Studie, Juni 2015)
- [3] „Resiliente Netze mit Funkzugang“ (VDE Positionspapier, März 2017)
- [4] „Vulnerabilität und Resilienz des digitalen Stromsystems“ (Endbericht des Projekts „Strom-Resilienz“, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und Universität Bremen, Fachgebiet Resiliente Energiesysteme, Juni 2018)
- [5] „450 MHz Frequenznutzung für die Energiewirtschaft“, Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE|FNN), Februar 2019
- [6] „Resilienz der Strom- und Gas-Versorgungsnetze im Rahmen der Energiewende“ (VDE Impuls, November 2020)
- [7] „Analyse: Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Blackout-Risiken verstehen, Stromversorgung sicher gestalten“ (Schriftenreihe Energiesystem der Zukunft, Leopoldina, acatech, und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, Februar 2021)
- [8] „Stellungnahme: Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden?“ (Schriftenreihe Energiesystem der Zukunft, Leopoldina, acatech, und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, Februar 2021)
- [9] „Resiliente Strom- und Kommunikationsnetze – Sicherheit und Zuverlässigkeit für Bevölkerung und Wirtschaft“ (VDE Empfehlung, November 2021)
- [10] „Resilienz der Telekommunikationsnetze“ (Strategiepapier der BNetzA, August 2022)
- [11] „Resilienz der Telekommunikationsnetze stärken. Herausforderungen & Handlungsempfehlungen.“ (Bitkom-Positionspapier, 2022)
<https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Resilienz-Telekommunikationsnetze-staerken>
- [12] „Zukunftsbild Energie.“ (VDE Studie, November 2022)
- [13] „Kritische Infrastrukturen. Informationstechnik und Telekommunikation“ (Website des BBK, abgerufen November 2022)
https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Kritische-Infrastrukturen/Sektoren-Branchen/Informationstechnik-Telekommunikation/informationstechnik-telekommunikation_node.html#vt-sprg-6
- [14] „Beschleunigung mit angezogener Handbremse – Potenziale besser nutzen“ (VDE Positionspapier, Dezember 2022)
- [15] „Systemstabilität in der Stromversorgung“ (Unterlagen zum VDE ETG Webinar vom 17.10.2023)
- [16] „Festlegungsverfahren zur Integration von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen und steuerbaren Netzanschlüssen nach § 14a Energiewirtschaftsgesetz“, Beschluss der Beschlusskammer 6 der Bundesnetzagentur vom 27.11.2023, Az.: BK6-22-300

Über die Energietechnische Gesellschaft im VDE (VDE ETG)

Die Energietechnische Gesellschaft im VDE (VDE ETG) bündelt mit über 9.000 Mitglieder die Fachkompetenz der Energietechnik von der Erzeugung, Übertragung, Verteilung bis hin zu den vielfältigen Anwendungsfeldern. Das umfangreiche Expert*innenwissen der rund 300 ehrenamtlichen Mitarbeiter*innen aus Industrie, Forschung, Versorgungsunternehmen, Hochschulen und Behörden, die in Fachbereichen, Fachausschüssen und Arbeitskreisen mitwirken, bildet die technisch-wissenschaftliche Basis für Veranstaltungen und Publikationen der Energietechnischen Gesellschaft im VDE.

Mehr Informationen unter <https://www.vde.com/etg>

Über die Informationstechnische Gesellschaft im VDE (VDE ITG)

Die Informationstechnische Gesellschaft im VDE (VDE ITG) ist die nationale Vereinigung aller auf dem Gebiet der Informationstechnik Tätigen in Wirtschaft, Verwaltung, Lehre sowie Forschung und Wissenschaft. Ihre Ziele sind Förderung der wissenschaftlichen und technischen Weiterentwicklung und Bewertung der Informationstechnik in Theorie und Praxis. 1954 als Nachrichtentechnische Gesellschaft gegründet, ist sie die älteste Fachgesellschaft im VDE. Die neun Fachbereiche, denen über 80 Fachgremien zugeordnet sind, decken das gesamte Spektrum der Informationstechnik ab. Etwa 10.000 VDE Mitglieder haben sich der ITG zugeordnet und über 1.000 Expert*innen arbeiten ehrenamtlich in den Gremien mit.

Mehr Informationen unter <https://www.vde.com/de/itg>

Über den VDE

Der VDE, eine der größten Technologie-Organisationen Europas, steht seit mehr als 130 Jahren für Innovation und technologischen Fortschritt. Als einzige Organisation weltweit vereint der VDE dabei Wissenschaft, Standardisierung, Prüfung, Zertifizierung und Anwendungsberatung unter einem Dach. Das VDE Zeichen gilt seit mehr als 100 Jahren als Synonym für höchste Sicherheitsstandards und Verbraucherschutz.

Wir setzen uns ein für die Forschungs- und Nachwuchsförderung und für das lebenslange Lernen mit Weiterbildungsangeboten „on the job“. Im VDE Netzwerk engagieren sich über 2.000 Mitarbeiter*innen an über 60 Standorten weltweit, mehr als 100.000 ehrenamtliche Expert*innen und rund 1.500 Unternehmen gestalten im Netzwerk VDE eine lebenswerte Zukunft: vernetzt, digital, elektrisch.

Wir gestalten die e-diale Zukunft.

Sitz des VDE (VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik e.V.) ist Frankfurt am Main. Mehr Informationen unter www.vde.com

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.

Merianstraße 28
63069 Offenbach am Main
Tel. +49 69 6308-0
service@vde.com

VDE