Stand: 10/2023

Peter Erlhofer, Herbert Saurugg

# Das europäische Stromversorgungssystem im Umbruch

Mögliche Konsequenzen einer europäischen Großstörung („Blackout“)

**Zusammenfassung:** Das europäische Stromversorgungssystem befindet sich in einem fundamentalen Umbruch. Viele Schritte verlaufen parallel und scheinbar wenig koordiniert und aufeinander abgestimmt. Ein System ist jedoch stets mehr als die Summe seiner Teile. Durch die zahlreichen Änderungen und ihre Abhängigkeiten steigt mit diesen Veränderungsprozessen auch die Gefahr von Großstörungen bis hin zu einem möglichen überregionalen Stromausfall („Blackout“). Die Folge wäre jedoch nicht nur ein großflächiger Stromausfall. Durch ihn ausgelöst käme es unweigerlich zu kaum abschätzbaren Kettenreaktionen in der gesamten Versorgungslogistik, auf die weder die Menschen noch die Unternehmen noch der Staat und seine Organe vorbereitet sind. Dieser Beitrag beleuchtet die weitreichenden Umwälzungen im europäischen Stromversorgungssystem sowie die möglichen Folgen eines Blackouts.

## Inhalt

**1 Aktuelle Herausforderungen im europäischen Verbundsystem 2**
1.1 Permanente Balance 2
1.1.1 Reduktion der systemkritischen Momentanreserve 2
1.2 Unzureichende systemische Umsetzungen 3
1.2.1 Die Marktliberalisierung 3
1.3 Stromhandel 4
1.3.1 Merit-Order-Prinzip 5
1.3.2 Fehlendes Stromabkommen mit der Schweiz 5
1.4 Unzureichende systemische Umsetzungen 6
1.4.1 Verlässlich verfügbare Kraftwerkskapazitäten 6
1.4.2 Unzureichende Leitungsinfrastrukturen 8
1.4.3 Alternde Infrastrukturen 8
1.4.4 Wenig beachtete Resonanzeffekte 8
1.4.5 Zunehmende Ausgleichsmaßnahmen 9
1.4.6 Fehlende Speicher und Puffer 9
1.4.7 Power-to-X 10
1.4.8 Größenordnungen 11
1.4.9 Falsche Dezentralisierungsbehauptungen 12
1.4.10 Dezentrale funktionale Einheiten („Energiezellen“) 12
1.4.11 Senkung des Energiebedarfs versus Anstieg des Stromverbrauchs 13
1.4.12 Digitalisierung des Energiesystems 13
1.4.13 Ressourcenbedarf 15
1.5 Weitere Problemfelder 15
1.5.1 Extremwetterereignisse 16
1.5.2 Sabotage, Terror, Cyber-Angriffe 16
1.6 Risikobeurteilung 16
1.6.1 Truthahn-Illusion 17
1.6.2 Großstörungen als mögliche Warnsignale 17
1.7 Zusammenfassung 18
**2 Ein überregionaler Stromausfall („Blackout“) 20**
2.1 Definition Blackout 21
2.1.1 Strommangellage 22
2.2 Folgen und Dauer eines Blackouts 23
2.2.1 Phase 1 – totaler Strom- und Infrastrukturausfall 23
2.2.2 Phase 2 25
2.2.3 Phase 3 26
2.3 Was kann getan werden? 27
2.3.1 Organisatorische Maßnahmen 27
2.4 Zusammenfassung 28
**Literaturverzeichnis 29**
**Autoren 31**



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
www.gfkv.org kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
+43 660 3633896 herbert.saurugg@gfkv.org

# 1 Aktuelle Herausforderungen im europäischen Verbundsystem

Das europäische Übertragungsnetz der Regionalgruppe Mitteleuropa (ENTSO-E/RG CE) umfasst 29 Länder und erstreckt sich von Portugal bis in den Osten der Türkei, von Sizilien bis Dänemark und seit März 2022 auch bis in die Ostukraine. Es stellt eine funktionale Einheit dar, die nur als Ganzes funktioniert. Störungen in diesem System können sich potenziell über ein großes Gebiet ausbreiten, auch wenn entsprechende Sicherheitsmechanismen dies verhindern sollen. Ferner besteht eine Vernetzung mit den benachbarten Netzregionen. Der europäische Verbund der Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) hat 39 Mitglieder aus 35 Ländern.[1]

Das europäische Stromversorgungssystem befindet sich durch die Energiewende in einem grundlegenden Wandel. Viele Schritte finden parallel statt und scheinen nicht ausreichend koordiniert und harmonisiert zu sein. Der vorliegende Beitrag versucht, diese komplexen Zusammenhänge aufzuzeigen und miteinander zu verknüpfen. Ganz im Sinne von: „Das Verständnis für die Systemkomponenten ergibt sich stets aus der Kenntnis des Ganzen, nicht umgekehrt.“ [Meadows et al. (1973) S. 168]

Auch wenn es sich hier bereits um eine recht umfassende Betrachtung handelt, so ist sie doch nicht vollständig. Und wie so oft in komplexen Umgebungen ergeben sich Widersprüche und Zielkonflikte, die hier jedoch nicht alle behandelt werden können. Es geht vor allem darum, jene Aspekte und Zusammenhänge aufzuzeigen, die eine Bedrohung für die System- und Versorgungssicherheit und damit auch für die gesamte Gesellschaft darstellen. Damit soll auch die zunehmende Fragilität des europäischen Verbundsystems aufgezeigt werden. Die unterschätzten Folgen einer möglichen europäischen Großstörung in Form eines Blackouts werden im zweiten Teil behandelt.

## 1.1 Permanente Balance

In einem Wechselstromsystem muss das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch kontinuierlich, während 31,5 Millionen Sekunden pro Jahr mit einer relativ geringen Toleranz ausgeglichen gehalten werden. Kann dieses Gleichgewicht nicht aufrechterhalten werden, droht das System zu kollabieren. Es handelt sich also um ein sehr empfindliches Gleichgewicht, dessen wir uns oft nicht bewusst sind.

Problematisch ist dabei, dass in vielen aktuellen Betrachtungen zur Energiewende häufig nur Jahresbilanzen und Mittelwerte betrachtet und dargestellt werden, was für die unmittelbare Systemsicherheit deutlich zu kurz greift und gefährlich ist.

Dieser Balanceakt war im bisherigen großtechnischen System mit einigen tausend gut steuerbaren Großkraftwerken vergleichsweise einfach zu halten. Der ständig schwankende Verbrauch konnte gut ausgeglichen werden. Mit der Energiewende steigt jedoch die Zahl der volatilen, kaum steuerbaren Erzeugungsanlagen drastisch an, während gleichzeitig die Verfügbarkeit steuerbarer Kraftwerke sinkt. Statt einiger tausend Kraftwerke gibt es nun Millionen von Anlagen, was zusätzlich die Komplexität des Gesamtsystems deutlich erhöht und das Systemverhalten verändert [vgl. Erlhofer (2023). Kapitel 6].

### *1.1.1 Reduktion der systemkritischen Momentanreserve*

Ein wesentlicher Garant für die sehr hohe Systemstabilität im europäischen Verbundsystem waren bisher die Synchrongeneratoren der stromerzeugenden Großkraftwerke. Deren rotierende Massen („Momentanreserve“)[2] stellen einen inhärenten Energiespeicher dar, der kurzfristig auftretende Energieüberschüsse oder -defizite ausgleichen kann. Sie sind eine Art „Stoßdämpfer“.

Die Synchrongeneratoren erzeugen die Frequenz des Wechselstroms, die wiederum ausdrückt, ob im Gesamtsystem ein Leistungsmangel oder ein Leistungsüberschuss vorliegt. Über die Frequenz erfolgen vollautomatisch und rein den physikalischen Gesetzen folgend Regeleingriffe, die das Gesamtsystem permanent ausbalancieren und stabil halten. Wie bei einem Drahtseilakt, bei dem durch kaum sichtbare Ausgleichsmaßnahmen ständig die Balance gehalten werden muss. Jedes hektische Reagieren kann gefährlich werden und zum Absturz führen.

Mit der Energiewende und der damit verbundenen Abschaltung konventioneller Kraftwerke kommt es auch zu einer starken Reduktion dieser systemrelevanten Stoßdämpfer. Photovoltaik- (PV) und Windkraftanlagen (WKA) verfügen nicht über diese zentrale Systemfunktion. Bei Windkraftanlagen gibt es zwar rotierende Elemente, aber keine direkte Kopplung, da Windkraftanlagen aufgrund der wechselnden Windgeschwindigkeiten über einen Gleichstromgenerator verfügen. Der erzeugte Gleichstrom wird durch nachgeschaltete Wechselrichter umgewandelt und erst dann ins Wechselstromnetz eingespeist.

Es gibt zwar Überlegungen, die vorhandenen Generatoren als Schwungmasse zu verwenden, dies erfordert aber oft umfangreiche Umbaumaßnahmen und verursacht zusätzliche Kosten, für die es bisher keine Regelungen gibt. Ersatzlösungen

1 Vgl. https://www.entsoe.eu/about/inside-entsoe/members. Zugriff am 21.10.2023.
2 Vgl. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/#momentanreserve. Zugriff am 21.10.2023.


Gesellschaft für Krisenvorsorge
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org
Herbert Saurugg, MSc
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

mit großen Batteriespeichern und Leistungselektronik müssen noch in größerem Umfang realisiert werden. Aber auch sie werden aus heutiger Sicht die Synchrongeneratoren nicht vollständig ersetzen können.

Zum anderen spielen auch die regionale Verteilung der Momentanreserve sowie die individuelle Größe der jeweiligen Anlagen eine Rolle. So gibt es in Norddeutschland und Dänemark kaum konventionelle Kraftwerke und damit auch wenig Momentanreserve. Bei einem ungünstigen Netzausfall mit einer Auftrennung in Teilnetze oder einer Großstörung könnte ein weitreichender Dominoeffekt ausgelöst werden. Auch ein Netzwiederaufbau wird mit wenig oder unzureichender Momentanreserve sehr problematisch [vgl. Reichl et al. (2015)], da die zu erwartenden Lastspitzen nur schwer ausgeglichen werden können, was wiederum zu erheblichen Schäden an (IT-)Infrastrukturen führen kann, wenn große Spannungs- und Stromschwankungen auftreten. Zum anderen wirkt sich auch die physikalische Größe der jeweiligen Momentanreserve auf die Fehlertoleranz des Gesamtsystems aus [vgl. Qvist et al. (2023)].

Daher werden in Zukunft immer weniger Anlagen einen Beitrag zur Systemstabilität leisten. Damit steigen die Fragilität und Störanfälligkeit des Verbundsystems. Rein technisch könnte durchaus deutlich mehr erreicht werden, als heute angestrebt und umgesetzt wird. Die Gründe dafür sind vielschichtig und reichen vom fehlenden systemischen Gesamtverständnis bis hin zu rein betriebswirtschaftlichen Betrachtungen.

## 1.2 Unzureichende systemische Umsetzungen

Außerdem gibt es eine Reihe von Einzelthemen, die oft nur isoliert betrachtet werden. Eine Systemtransformation erfordert jedoch eine ganzheitliche, systemische und abgestimmte Umsetzung der notwendigen Maßnahmen, wenn sie erfolgreich sein soll.

Viele Einzelbaustellen ohne ausreichende Abschätzungen der Neben- und Folgewirkungen bilden die Grundlage für gescheiterte Projekte, von denen es gerade in Deutschland nicht zu wenige gibt. Der Umbau der Energieversorgung hat jedoch eine ganz andere Größenordnung als etwa der Bau eines Großflughafens oder die Instandhaltung der Straßen- oder Schieneninfrastruktur. Ganz zu schweigen davon, dass der Umbau im laufenden Betrieb zu erfolgen hat, was auch gerne mit einer Operation am offenen Herzen verglichen wird.

### *1.2.1 Die Marktliberalisierung*

Eine zentrale Ursache für viele unsystemische Handlungen und für das mangelnde Systemverständnis ist wohl auf die EU-Marktliberalisierung („Unbundling“) zurückzuführen. Dabei wurde die bis dahin gepflegte ganzheitliche Betrachtung in Form von Energieversorgungsunternehmen in mehrere Teilbereiche zerschlagen: die Kraftwerksbetreiber, die nun gewinnorientiert arbeiten müssen, die Netze, die aufgrund ihrer natürlichen Monopolstellung reguliert sind und der Strommarkt und -vertrieb, der den Strom formal an die Kunden liefert. Handel und Vertrieb sollten nichts mehr mit der physikalischen Realität und Infrastruktur zu tun haben. Daher ist jeder Bereich aufgefordert, für seine eigene Optimierung zu sorgen. Das bringt zwar einige Effizienzsteigerungen mit sich, hat aber auch gravierende Nebenwirkungen. Denn wenn jeder nur auf seine technische und finanzielle Eigenoptimierung achtet bzw. achten muss, geht das Gemeinsame verloren und sonst mögliche Synergien und Kompensationsmöglichkeiten müssen immer wieder teuer erkauft werden. Wie so oft treten die Nebenwirkungen auch hier erst zeitverzögert auf [vgl. Erlhofer (2023). Kapitel 6].

Die Marktliberalisierung wurde vor über 20 Jahren mit den besten Absichten gestartet, um die alten und recht unflexiblen Monopole der großen Energieversorgungsunternehmen aufzubrechen, die Preise zu senken und den Service zu verbessern. Das ist seitdem mehr oder weniger gelungen. Ob dies wirklich nachhaltig war, wird erst die Zukunft zeigen. Derzeit gibt es jedenfalls berechtigte Zweifel, wie etwa die Strompreisexplosion in den vergangenen Jahren gezeigt hat. Innerhalb kurzer Zeit wurde ein großer Teil der Einsparungen, die zuvor für die Kunden erzielt worden waren, wieder aufgezehrt. Die Ursachen waren aber nicht alleine, wie gerne behauptet wird, der Krieg in der Ukraine und die gestiegenen Gaspreise, sondern eine Verknappung der verlässlich verfügbaren Ressourcen, die sich bereits mit den Preissteigerungen ab dem Frühjahr 2021 ankündigte.3

Kontinuierlich wurde in den vergangenen 20 Jahren im Rahmen der Marktliberalisierung ein Großteil der zuvor vorhandenen Überschüsse bei den Kraftwerkskapazitäten abgebaut. Die regulatorisch geforderten Einsparungen im Netzbetrieb haben dazu geführt, dass auch hier kaum mehr Reserven zur Verfügung stehen und parallel zum notwendigen weiteren Ausbau auch die Erneuerung der bestehenden Infrastruktur immer dringlicher wird.

Diese betriebswirtschaftlichen Optimierungen haben zusätzlich dazu geführt, dass inzwischen viele Betriebsmittel wie Kraftwerke oder auch neue Batteriespeicher primär auf die Erzielung maximaler Erträge optimiert wurden und sich daher nicht mehr per se systemdienlich verhalten können.

3 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-blackouts/aktuelle-situation/#strompreise. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Hinzu kommt, dass immer mehr Nischenanbieter auf den Markt drängen, die einzelne, lukrative Aufgaben übernehmen. Grundsätzlich kann ein gewisser Wettbewerb ein Innovationsmotor sein. Was aber auch hier gerne übersehen wird, ist, dass damit andere Probleme und Nebenfolgen geschaffen werden. Denn wenn die bisherigen Akteure kannibalisiert werden, stellt sich die Frage, wer die nicht profitablen Bereiche übernimmt. Beispielsweise kann heute und in Zukunft mit großen Batteriespeichern in der Regelenergiebereitstellung sehr viel Geld verdient werden, da hier auch hohe Zyklen erforderlich sind. Damit werden Anlagen, die bisher nicht nur Regelenergie zum Ausgleich unvorhergesehener Leistungsschwankungen, sondern auch kontinuierlich Energie zur Sicherung der Grundlast bereitstellen konnten, zunehmend unwirtschaftlich und damit unattraktiver. Beide Systeme werden unbedingt benötigt, um die Systemsicherheit jederzeit gewährleisten zu können. Es ist daher absehbar, dass ohne eine ausgleichende Regulierung am Ende die Allgemeinheit auf den hohen Kosten der unwirtschaftlichen, aber dennoch erforderlichen Anlagen sitzen bleiben wird. Diese Kosten werden gerne hinter den Netzentgelten versteckt. Hier zeigt sich einmal mehr, dass ein Entweder-oder-Denken nicht zur Lösung der anstehenden Probleme beiträgt. Vielmehr ist Kooperation eine zwingende Voraussetzung für eine funktionierende und bezahlbare Energieversorgung.

Eine einfache, aber vermutlich sehr wirksame Regulierung könnte darin bestehen, dass Marktteilnehmer ab einer gewissen Größe bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllen müssen, z.B. eine zu definierende Anzahl von Stunden im Jahr zuverlässig Strom liefern können müssen (Bandenergie oder Grundlast), andernfalls erhebliche Ausgleichszahlungen fällig werden. Das Ganze kann durchaus mit einem bestimmten $CO_2$-Budget gekoppelt werden. Dies würde absehbar Kooperationen erzwingen und die finanzielle Kompensation wäre vermutlich deutlich günstiger als heute, wo die Allgemeinheit für die teuren Ausgleichsmaßnahmen aufkommen muss.

## 1.3 Stromhandel

Auch der Stromhandel spielt eine zunehmend kritische Rolle. So haben deutsche Stromhändler im Juni 2019 das Stromversorgungssystem in eine prekäre Lage gebracht, indem sie eine Regulierungslücke ausnutzten. Trotz Abmahnungen und nun drohender hohen Strafen werden wohl weiterhin Schlupflöcher ausgenutzt.[4]

Im Jahr 2020 waren 141, 2021 248, 2022 210 und 2023 bis September 187 größere Frequenzanomalien insbesondere um den Stundenwechsel zu beobachten,5 welche vorwiegend auf eine betriebswirtschaftlich optimierte Kraftwerkseinsatzplanung zurückzuführen sind.[6] Zum Ausgleich dieser Abweichungen wird regelmäßig die Hälfte bis zu zwei Drittel der für ungeplante Kraftwerksausfälle vorgehaltenen Reserve missbraucht. Obwohl es technische möglich ist, diesen Missstand abzustellen, wurde die dafür erforderliche Regelung bisher nicht umgesetzt. Sollte es in dieser Zeit zu zusätzlichen Kraftwerksausfällen kommen, was beim Fahrplanwechsel[7] durchaus wahrscheinlicher ist, könnte dies einen schwerwiegenden Dominoeffekt auslösen.

Hinzu kommt, dass seit Herbst 2021 die Strompreise in Europa deutlich gestiegen sind. Während der durchschnittliche Preis für eine Megawattstunde (MWh) Strom an der Strombörse im Zeitraum 2015 bis 2020 bei rund 35 Euro lag, stieg dieser im Jahr 2021 auf 97 Euro und 2022 sogar auf 237 Euro pro MWh für den deutschen Strommarkt. Bis September 2023 betrug der Durchschnittspreis 100 Euro pro MWh, mit zwei extremen Ausreißern: Am 2. Juli 2023 wurde erstmals der Extremwert von -500 Euro pro MWh erreicht, was bedeutet, dass Großabnehmer für die Abnahme des Stroms 500 Euro erhalten haben, für den sie sonst rund 100 Euro bezahlen müssen. Am 11. September wurde der bisherige Jahreshöchstwert von 524 Euro pro MWh erreicht, während noch 30 Stunden zuvor der Strom noch für 0 Euro verschenkt wurde.[8] Mit dem weiteren Ausbau der volatilen Erzeugung ohne ausreichende Speichermöglichkeit werden derart hohe Schwankungen innerhalb eines Tages, oder auch über mehrere Tage hinweg, immer häufiger auftreten. Das Grundproblem ist auch hier die Einzelteiloptimierung.[9] Hinzu kommt, dass die dabei zu erwartenden hohen Renditeerwartungen zu zusätzlichen Spekulationen führen können. Dadurch steigen nicht nur die Kosten, sondern es wird auch die Netzstabilität gefährdet.

Gleichzeitig muss der überregionale Stromhandel aufgrund der EU-Verordnung zum Elektrizitätsbinnenmarkt[10] bis 2025 deutlich ausgeweitet werden. Dazu müssen mindestens 70 % der technisch möglichen Übertragungskapazität an den Grenz-

4 Vgl. https://www.saurugg.net/2020/blog/stromversorgung/gier-frisst-hirn-und-kann-in-die-katastrophe-fuehren. Zugriff am 21.10.2023.

5 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-blackouts/aktuelle-situation/#netzfrequenz. Zugriff am 21.10.2023.

6 Vgl. https://www.amprion.net/Netzjournal/Beitr%C3%A4ge-2021/Ph%C3%A4nomen-zur-vollen-Stunde.html. Zugriff am 21.10.2023.

7 Die beim Stromhandel entstehenden Geschäfte zum Kauf und Verkauf von Strommengen, sowohl regelzonenintern als auch -überschreitend, werden über „Fahrpläne“ geregelt, die bei den ÜNB angemeldet werden müssen.

8 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-blackouts/aktuelle-situation/#strompreise. Zugriff am 21.10.2023.

9 Vgl. Die Uhr tickt: Warum es dringend eine Gesetzgebung für Batteriespeicher braucht. https://www.pv-magazine.de/2023/09/11/die-uhr-tickt-warum-es-dringend-eine-gesetzgebung-fuer-batteriespeicher-braucht. Zugriff am 21.10.2023.

10 Vgl. Verordnung (EU) 2019/943 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über den Elektrizitätsbinnenmarkt (28). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R0943&qid=1694768460571. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

kuppelstellen für den Stromhandel zur Verfügung gestellt werden, was eine erhebliche Ausweitung gegenüber der bisherigen Praxis bedeutet. Diese Grenzkuppelstellen wurden nie für einen derart umfassenden Stromhandel und -transport ausgelegt, sondern dienten lediglich als Rückfallebene.

Was im Alltag zu einer effizienteren Nutzung der Betriebsmittel führt, kann im Störungsfall schnell zu großflächigen Stromausfällen führen. Das Fehlen von Substrukturen mit Reserven und Redundanzen erhöht die Fragilität des Systems [vgl. Vester (20118); Taleb 2013; Dueck (2015)]. Siehe dazu auch den Abschnitt „Großstörungen als mögliche Warnsignale weiter unten".

Der Wunsch von Politik und Stromhandel nach einer „europäischen Kupferplatte"[11] ist verständlich, entbehrt aber jeglicher Realität und ignoriert physikalische Rahmenbedingungen und Gesetze.

### 1.3.1 Merit-Order-Prinzip

Der Stromhandel an der Strombörse erfolgt nach dem sogenannten Merit-Order-Prinzip. Dabei wird die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke an einem Stromhandelsplatz so festgelegt, dass der volkswirtschaftlich beste Strompreis erzielt wird. Kraftwerke, die sehr günstig Strom produzieren können, werden zuerst zur Einspeisung zugeschaltet. Danach werden Kraftwerke mit höheren Grenzkosten zugeschaltet, bis die Nachfrage gedeckt ist. Das letzte erforderliche Kraftwerk bestimmt den Preis für alle zum Zug gekommenen Erzeugungsanlagen. Die Merit-Order berücksichtigt also keine Fix- oder Systemkosten, sondern nur die reinen Erzeugungskosten.[12]

Dieses Prinzip hat in den vergangenen 20 Jahren dazu geführt, dass Kraftwerke wesentlich effizienter eingesetzt werden und scheinbar unnötige und tatsächliche Überkapazitäten konsequent abgebaut wurden, was auch zu einer Kostenreduktion geführt hat. Zusätzlich drücken erneuerbare Erzeugungsanlagen (EE) mit sehr niedrigen Grenzkosten den Strompreis. Wobei hier eher eine Verschleierung stattfindet. Dies liegt daran, dass die geförderten EE-Anlagen im Rahmen des Umlageverfahrens eine deutlich höhere Vergütung erhalten, als sie selbst erwirtschaften. Zum anderen werden die erforderlichen Ausgleichsmaßnahmen bei Fahrplanabweichungen in den Netzentgelten versteckt und auf alle Endkunden abgewälzt.

Überdies scheint dieses Modell erhebliche Designfehler aufzuweisen, die im Rahmen der Energiekrise 2022 besonders gravierend zutage getreten sind. Steigen die Grenzkosten des letzten benötigten Kraftwerks massiv an, z.B. durch einen stark gestiegenen Gaspreis, so steigt der gesamte Strompreis massiv an und alle anderen Kraftwerksbetreiber, die mit deutlich niedrigeren Gestehungskosten operieren, fahren enorme Zufallsgewinne ein. Deshalb ist dieses Modell 2022 auch massiv in die Kritik geraten und müsste reformiert werden, wovon bisher nichts zu hören ist. Es ist daher davon auszugehen, dass solche Ausreißer weiterhin möglich, und zu erwarten sind.

Ein weiterer Designfehler dürfte sich bereits ab 2021 in den steigenden Strompreisen niederschlagen. Denn während dieses Modell in Zeiten massiver Überkapazitäten zu deutlichen Effizienzsteigerungen geführt hat, führt es nun bei immer weniger verlässlich verfügbaren Kraftwerkskapazitäten und aufgrund der hohen Volatilität der EE zu einer Knappheitssituation, in der künstlich der Preis in die Höhe getrieben werden kann [vgl. Dueck (2015)]. Dies kann bis zu einer Extremsituation führen, in der nicht verfügbare Energie auch zu einem noch so hohen Preis nicht mehr ersetzt werden kann. In letzter Konsequenz wären großflächige Stromabschaltungen erforderlich, um eine systemgefährdende Unterdeckung zu verhindern.

Die reine Fokussierung auf die Grenzkosten greift daher deutlich zu kurz und wird absehbar immer häufiger zu extremen Ausreißern führen. Verlierer sind wie so häufig die Verbraucherinnen und Verbraucher, die in der einen oder anderen Form immer die Zeche zahlen müssen. Es gilt also einmal mehr: Nur wer das Ganze kennt und versteht, versteht auch die Details und nicht umgekehrt [vgl. Meadows et al. (1973)].

Hinzu kommt, dass sich dieses Marktmodell nicht so einfach ändern lässt, da es mittlerweile eine derart hohe Komplexität erreicht hat, dass niemand wirklich weiß, was passiert, wenn man hier eingreift. Man könnte daher durchaus zum Schluss kommen, dass der Krug so lange zum Brunnen gehen muss, bis er bricht. Genauso gut könnte hier von einem „System too big to fail" gesprochen werden.

### 1.3.2 Fehlendes Stromabkommen mit der Schweiz

Hinzu kommt auch noch eine politische Auseinandersetzung zwischen der Schweiz und der EU.[13] Bei der Ausdehnung des Strommarktes und der Zunahme des internationalen Stromaustausches führt kein Weg an der Schweiz vorbei. Mit 41 Grenz-

11 Ein ideales europäisches Stromsystem, in dem der Strom überall das gleiche kostet und es keine Transportengpässe gibt, in dem Stromproduzenten und Stromabnehmer ohne Einschränkungen Strom erzeugen und verbrauchen können, wird mit einer gigantischen Kupferplatte verglichen. Auf diesem Phantasiegebilde baut das Marktdesign im Stromsektor auf. Dies verursacht einen hohen Bedarf an ständigen Korrekturmaßnahmen (Redispatch).

12 Vgl. Was bedeutet Merit-Order?. https://www.next-kraftwerke.de/wissen/merit-order. Zugriff am 21.10.2023.

13 Vgl. Niederlage vor Gericht für Swissgrid. https://www.srf.ch/audio/info-3/niederlage-vor-gericht-fuer-swissgrid?id=12441910. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

kuppelstellen hat kein anderes Land so viele Stromnetzverbindungen zu den Nachbarländern wie die Schweiz. Damit nimmt die Schweiz eine zentrale Rolle im Stromaustausch in Mitteleuropa ein. Aufgrund des Fehlens eines umfassenden Abkommens zwischen der EU und der Schweiz wird auch ein separates Abkommen über den Strom abgelehnt.

Dies bedeutet, dass die Schweiz künftig von Gremien und dem Informationsaustausch im Stromhandel ausgeschlossen werden soll. Gleichzeitig müsste dann der Schweizer Übertragungsnetzbetreiber Swissgrid die durch den internationalen Stromhandel möglicherweise überraschend auftretende Lastflüsse über die Schweiz ausgleichen.[14]

Das hat bereits 2019 zu einer kritischen Situation geführt.[15] Da der Stromfluss rein physikalischen Gesetzen folgt und den Weg des geringsten Widerstandes nimmt, unabhängig davon, zwischen wem der Strom zuvor gehandelt wurde, kann es zu erheblichen ungeplanten Lastflüssen über die Schweiz kommen. Dies ist ein zusätzlicher Faktor, der das Risiko für eine europaweite Großstörung erhöht.[16]

## 1.4 Unzureichende systemische Umsetzungen

Fehlende systemische Umsetzungen lassen sich aber auch in vielen anderen Bereichen beobachten. Dabei scheitert es nicht am Wissen oder an der erforderlichen Technik, sondern am Verständnis und an der konkreten Umsetzung. Wahrscheinlich spielen auch Zielkonflikte unterschiedlicher Akteure eine Rolle.

Die Probleme sind vielschichtig und beginnen oft schon damit, dass es mit der Installation von Windkraft- und Photovoltaikanlagen allein nicht getan ist, auch wenn dies in vielen Ländern die oberste Priorität hat. Für eine erfolgreiche Energiewende muss die gesamte Infrastruktur angepasst und ausgebaut werden, was bisher nur unzureichend thematisiert, ignoriert oder aufgeschoben wird.[17] [18]

### *1.4.1 Verlässlich verfügbare Kraftwerkskapazitäten*

Vor allem Deutschland hat in den vergangenen Jahren alles darangesetzt, so schnell wie möglich aus der Kohle und der Kernenergie auszusteigen. Dabei wurde der Umsetzung der notwendigen Ersatzmaßnahmen wenig Beachtung geschenkt. Während der Ausstieg aus der Kernenergie inzwischen vollzogen ist, muss nun beim Kohleausstieg zurückgerudert und ein Wiedereinstieg vollzogen werden. Ohne rotierende Massen und schnell einsetzbare Ersatzkraftwerke, wie Gaskraftwerke, wird auch der Kohleausstieg nicht gelingen.

Großbatteriespeicher könnten zwar einen Teil übernehmen, ersetzen aber keine Anlagen, die länger als ein paar Stunden einspringen können. In Deutschland sind zwar derzeit mehrere Großbatteriespeicher in Planung, im Bau oder teilweise in der Fertigstellung. Je nach Betrachtungsweise wären in Deutschland bis 2030 zwischen 23 und 43 GW Leistung aus Gaskraftwerken zuzubauen.[19] Das allein wäre schon eine enorme Herausforderung. Der Krieg in der Ukraine und die Unterbrechung der Gaslieferungen aus Russland stellen diese Projekte jedoch infrage. Ganz abgesehen davon, dass Infrastrukturprojekte dieser Größenordnung nicht von heute auf morgen realisiert werden können, müsste jede Verzögerung und das Nichtvorhandensein eines adäquaten Ersatzes aber alle anderen Planungen über den Haufen werfen, was bisher kaum der Fall ist. Es wird hartnäckig an einseitigen Zielen festgehalten, ohne diese den sich ständig ändernden Rahmenbedingungen anzupassen.

Auch der angekündigte Ausbau der Kernkraft in Frankreich ist vorerst nur eine Absichtserklärung,[20] die sich in den vergangenen Jahren schon mehrfach geändert hat. Das Durchschnittsalter der französischen Kernkraftwerke beträgt 36 Jahre.[21]

---

14 Vgl. Stromabkommen EU-Schweiz. https://www.saurugg.net/2019/blog/stromversorgung/stromabkommen-eu-schweiz. Zugriff am 21.10.2023.

15 Vgl. Netzsicherheitsverletzung vom 20. Mai 2019. https://www.swissgrid.ch/de/home/newsroom/newsfeed/20190524-02.html. Zugriff am 21.10.2023.

16 Vgl. Ungeplantes im Stromnetz – ein Risiko für die Schweiz. https://www.swissgrid.ch/de/home/newsroom/blog/2023/ungeplantes-im-stromnetz.html. Zugriff am 21.10.2023.

17 Vgl. Netzbetreiber Amprion warnt: Rascher Kohleausstieg belastet die Versorgungssicherheit. https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiewende-netzbetreiber-amprion-warnt-rascher-kohleausstieg-belastet-die-versorgungssicherheit/27867444.html. Zugriff am 21.10.2023; oder SuedLink: Der Elbtunnel für die Stromautobahn https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/SuedLink-Der-Elbtunnel-fuer-die-Stromautobahn,suedlink298.html. Zugriff am 21.10.2023.

18 Vgl. Eon-Chef warnt vor kontrollierten Stromabschaltungen. https://deutsche-wirtschafts-nachrichten.de/517630/Eon-Chef-warnt-vor-kontrollierten-Stromabschaltungen. Zugriff am 21.10.2023.

19 Vgl. Ohne Gaskraftwerke kein Kohleausstieg? https://www.tagesschau.de/wirtschaft/deutschland-braucht-neue-gaskraftwerke-101.html. Zugriff am 21.10.2023.

20 Vgl. Macron will bis zu 14 neue Reaktoren bauen. https://www.zdf.de/nachrichten/politik/macron-atomkraftwerke-frankreich-100.html. Zugriff am 21.10.2023.

21 Vgl. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/181801/umfrage/durchschnittsalter-von-atomreaktoren-in-ausgewaehlten-laendern-weltweit. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Bei einer derzeitigen Bauzeit von 10 bis 15 Jahren geht es also nicht um den Ausbau, sondern nur um den Ersatz von Altanlagen, die bereits heute aus Sicherheitsgründen immer häufiger vom Netz genommen werden müssen.

Auch der Ausbau erneuerbarer Erzeugungsanlagen ist in der Regel stark verzögert, wobei hier im Bereich der PV-Anlagen eine deutliche Trendwende bis 2023 zu verzeichnen ist. Doch während PV-Anlagen relativ rasch installiert werden können, scheitert es oft an der notwendigen Netz- und Speicherinfrastruktur.[22] Immer mehr Projekte können nicht mehr ans Netz angeschlossen werden. Überproduktionen müssen zunehmend häufiger abgeregelt werden, um eine Netzüberlastung zu verhindern.[23] Dies alles verursacht immer höhere Kosten, die über die verschiedenen Umlagesysteme von den Endverbrauchern getragen werden müssen.

Hinzu kommt, dass Deutschland immer öfter billigen Überschussstrom ins Ausland verschenken oder sogar für die Abnahme bezahlen und fehlenden Strom zu anderen Zeiten wieder teuer zurückkaufen muss. Das ist nicht nur aus volkswirtschaftlicher Sicht eine verheerende Entwicklung, sondern führt auch zu einer zunehmenden Belastung der Infrastruktur. Derartige Entwicklungen sind mittlerweile in immer mehr Ländern zu beobachten, allen voran in den Niederlanden, Belgien oder Spanien.[24]

Seit Jahren wird zudem darauf hingewiesen, dass ohne neue Subventionen viele deutsche Windkraftanlagen nicht mehr wirtschaftlich weiter betrieben werden können oder wegen des Auslaufens der befristeten Betriebsgenehmigungen zurückgebaut werden müssen. Eine Ertüchtigung („Repowering“) ist wiederum nicht an allen Standorten sinnvoll oder möglich.[25] Hinzu kommen steigende Rohstoffkosten, welche vor allem den ressourcenaufwendigen Windkraftausbau immer unwirtschaftlicher machen. Dies gilt insbesondere im Offshore-Bereich.[26]

Daher wurden bereits Ersatzmaßnahmen eingeleitet: Zur Stilllegung vorgesehene Kohlekraftwerke werden wieder reaktiviert und in Betrieb genommen,[27] was eigentlich dem übergeordneten Ziel der $CO_2$-Reduktion widerspricht. Einige Kohlekraftwerke wurden in die Netzreserve überführt, um bei längerfristig absehbaren Engpässen zusätzlich hochgefahren zu werden. Bei kurzfristigen Ereignissen oder Störungen können diese jedoch nicht eingesetzt werden. Zudem werden diese Kosten wiederum in den Netzentgelten „versteckt“ und auf alle Kunden abgewälzt.

Ob es vorausschauend war, die deutschen Kernkraftwerke abzuschalten, bevor adäquater Ersatz zur Verfügung steht, muss bezweifelt werden. Trotz der enormen Aufwendungen für die Energiewende bleibt Deutschland bei der Stromerzeugung einer der größten $CO_2$-Emittenten in Europa. Zudem sind die deutschen Stromimporte deutlich gestiegen. Im Spätsommer 2023 wird noch damit argumentiert, dass es billiger und umweltfreundlicher sei, Strom zu importieren, als ihn in eigenen Gas- oder Kohlekraftwerken zu erzeugen. Ob dies auch für die Wintermonate gilt, bleibt abzuwarten, zumal schon bisher viele Nachbarländer im Winterhalbjahr große Strommengen aus Deutschland importiert haben.[28] Allen voran auch Österreich.

Immer mehr Länder wollen in Zukunft Strom aus den Nachbarregionen importieren und nicht mehr selbst produzieren. Solange in den Nachbarregionen noch ausreichend Erzeugungskapazitäten zur Verfügung stehen, ist dies ein betriebswirtschaftlich sinnvoller Weg. Er belastet jedoch das gesamteuropäische Netz und besonders die Grenzkuppelstellen. Aber auch in den Nachbarländern gibt es mit dem Umstieg auf PV- und Windkraftanlagen immer mehr Zeiten, in denen zu viel und andere Zeiten, in denen dann zu wenig Strom zur Verfügung steht, meist mit sehr ähnlichen Mustern. Es ist auch eine Mär, dass immer irgendwo der Wind weht.[29] Dieses Problem wird sich mit der Zunahme extremer Großwetterlagen noch deutlich verschärfen [vgl. ACPP (2014)].

---

22 Vgl. Die Uhr tickt: Warum es dringend eine Gesetzgebung für Batteriespeicher braucht. https://www.pv-magazine.de/2023/09/11/die-uhr-tickt-warum-es-dringend-eine-gesetzgebung-fuer-batteriespeicher-braucht. Zugriff am 21.10.2023.

23 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-blackouts/aktuelle-situation/#kurzmeldungen. Zugriff am 21.10.2023.

24 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-blackouts/aktuelle-situation/#redispatch. Zugriff am 21.10.2023.

25 Vgl. https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/windkraft-abbau-windraeder-foerderung-ausgelaufen-eeg-101.html. Zugriff am 21.10.2023.

26 Vgl. UK Wind Auction Fails, Deepening Offshore Industry Troubles. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-09-08/uk-fails-to-clear-any-offshore-wind-in-renewable-energy-auction. Zugriff am 21.10.2023.

27 Vgl. Germany examines 1.9GW lignite winter 2023-24 return. https://www.argusmedia.com/en/news/2479617-germany-examines-19gw-lignite-winter-202324-return. Zugriff am 21.10.2023.

28 Vgl. Alle wollen importieren, nur niemand sagt, woher der Strom dann wirklich kommen soll … https://www.saurugg.net/2019/blog/stromversorgung/alle-wollen-importieren-nur-niemand-sagt-woher-der-strom-dann-wirklich-kommen-soll. Zugriff am 21.10.2023.

29 Vgl. Le mythe du foisonnement éolien en Europe. https://participons.debatpublic.fr/uploads/decidim/attachment/file/425/Contribution2-MichelGay.pdf. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

### 1.4.2 Unzureichende Leitungsinfrastrukturen

Erhebliche Herausforderungen ergeben sich weiter im Bereich der Leitungsinfrastruktur, da sich mit der völlig neuen Erzeugungsstruktur die Anforderungen an die Netze in bisher unbekannten Dimensionen verändern. Traditionell lagen Erzeugung und Verbrauch räumlich eng zusammen und waren durch ein als Einbahnstraße konzipiertes, hierarchisch strukturiertes Netz verbunden. Heute liegen Windparks vorwiegend weit entfernt von den Verbrauchszentren. Dadurch werden große Ausbaumaßnahmen auf der Übertragungsnetzebene erforderlich. Anders ist es bei einem Großteil der bisherigen PV-Anlagen. Diese befinden sich zwar auf lokaler Ebene. Sie speisen jedoch im „Gegenverkehr" in die unteren Netzebenen ein und führen immer häufiger zu Überlastungen auf der Verteilnetzebene,[30] die für eine solche Entwicklung nicht ausgelegt ist.[31]

Erschwerend kommt hinzu, dass ein Großteil der Verteilnetze in Mitteleuropa in den vergangenen Jahrzehnten unterirdisch verlegt wurde, um witterungsbedingte Ausfälle zu reduzieren. Eine Nach- und Aufrüstung erfordert daher einen hohen Aufwand bei gleichzeitigem Personal- und Ressourcenmangel (siehe auch Abschnitt Ressourcenbedarf weiter unten).

Ferner stellt der Ausbau von Freileitungen in fast allen Ländern ein massives Problem dar, weil er häufig auf großen Widerstand in der Bevölkerung (NIMBY-Phänomen - not in my backyard) stößt.[32] So war ursprünglich geplant, die deutschen Nord-Süd-Verbindungen, die den Windstrom aus Norddeutschland - soweit verfügbar - in die Verbrauchszonen Süddeutschlands transportieren sollen, bis zum Atomausstieg Ende 2022 fertig zu stellen. Aus heutiger Sicht ist mit der Fertigstellung der ersten Hauptleitung („Suedlink"[33]) frühestens ab 2028 zu rechnen.[34] Der deutsche Atomausstieg wurde zum 15. April 2023 vollzogen. Bisher verlief er reibungslos und ohne Auswirkungen auf die Versorgung. Ob das auch für die Zukunft gilt, wird sich zeigen.

### 1.4.3 Alternde Infrastrukturen

Das Erreichen des Lebens- und Nutzungsendes vieler Infrastrukturen stellt ein weiteres Problem dar. („Aging Infrastructures"). Viele Kraftwerke und Infrastrukturen sind mittlerweile 40 bis 50 Jahre alt, einige sogar noch deutlich älter. Das bedeutet, dass in den kommenden Jahren weitreichende Erneuerungen vorgenommen werden müssten, um den Bestand zu erhalten. Dies ist jedoch unter den derzeitigen betriebswirtschaftlichen Überlegungen und den unsicheren Rahmenbedingungen häufig nicht wirtschaftlich darstellbar. Investitionen werden deshalb bereits seit Jahren aufgeschoben, was absehbar die Störanfälligkeit erhöhen wird. Wenn erst dann investiert wird, wenn es sich rechnet oder bereits Folgeschäden offenkundig werden, ist es zu spät. Gleichzeitig wurden in den vergangenen Jahren viele bislang noch vorhandene Reserven zugunsten betriebswirtschaftlicher Optimierungen aufgebraucht. Dies gilt übrigens nicht nur in der Energiewirtschaft, sondern ganz generell.

Allein in Deutschland soll es mehr als 1.150 Großtransformatoren geben, von denen schätzungsweise mehr als 500 bereits älter als 60 Jahre sind. Aufgrund der steigenden Betriebsbelastungen und irreversibler Alterungsprozesse erreichen diese absehbar das Ende ihrer Nutzungsdauer. Sie müssen daher mittelfristig ersetzt werden.

Die deutsche Produktionskapazität für derartige Anlagen liegt jedoch derzeit bei 2 bis 4 Stück pro Jahr. Hinzu kommt, dass durch den Systemumbau und die erforderliche Digitalisierung viele zusätzliche und neue Anlagen benötigt werden. Eine rasche Hochskalierung der Erzeugungskapazitäten wird aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Ressourcen und Fachkräften zusätzlich erschwert (siehe auch Abschnitt Ressourcenbedarf weiter unten).

### 1.4.4 Wenig beachtete Resonanzeffekte

Ein bisher wenig beachtetes Phänomen sind mögliche Resonanzeffekte und Netzwechselwirkungen zwischen Wechselrichtern und elektronischen Komponenten, die zunehmend zu bisher kaum bekannten Störungen, Netz- und Anlagenbetrieb führen und in Extremfällen sogar Zerstörungen von Betriebsmitteln zur Folge haben können. Diese Effekte werden mit den bisherigen Methoden und Einzelteilbetrachtungen kaum erkannt.[35]

Sollten sich die bisherigen Beobachtungen bestätigen, dass dadurch auch elektronische Bauteile und Isolierungen von Leitungen rascher altern, könnte das in absehbarer Zukunft auch zu erheblichen Störungen im Infrastrukturbereich führen.

---

30 Vgl. Netzampel Übersicht. https://www.netzampel.energy/home. Zugriff am 21.10.2023.

31 Vgl. Photovoltaik: Mindestens 200 Betreiber speisen mehr Strom ein als erlaubt. https://www.nachrichten.at/wirtschaft/photovoltaik-mindestens-200-betreiber-speisen-mehr-strom-ein-als-erlaubt;art15,3880099. Zugriff am 21.10.2023.

32 Vgl. https://www.sn.at/salzburg/chronik/380-kv-urteil-entfacht-neuen-widerstand-67580512. Zugriff am 21.10.2023.

33 https://suedlink.com. Zugriff am 21.10.2023.

34 Vgl. https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/stromversorgung-betreiber-transnet-stromautobahn-suedlink-erst-ende-2028-fertig/28033178.html. Zugriff am 21.10.2023.

35 Vgl. https://www.saurugg.net/2020/blog/stromversorgung/versorgungssicherheit-strom-bedenkliche-ereignisse-2020. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Fachexperten weisen darauf hin, dass die heute verbauten Wechselrichter so schnell wie möglich durch eine neue Generation ersetzt werden sollten, um mögliche Schäden zu begrenzen.[36]

Ein weiteres Phänomen ist das defensive Entscheiden [vgl. Dueck (2015)]. Entscheidungsträger neigen dazu, Dinge, die nicht allgemein üblich sind, lieber nicht anzugehen, um das persönliche Risiko eines möglichen Scheiterns zu vermeiden. Dabei beeinflusst bereits ein vermeintlich geringes Risiko für den Entscheider selbst seine Wahrnehmung. Deshalb wollen sie oft gar nicht so genau wissen, was in ihren Systemen vor sich geht. Denn wenn sie es wüssten, müssten sie auch handeln, was meist mit Investitionen verbunden ist. Solange es alle anderen auch so machen, kann man sich immer damit herausreden, dass es alle anderen auch so gemacht haben. Hier wird wohl ein ordnungspolitisch-regulativer Eingriff erforderlich sein, um diese Haltung zu ändern.

Kurzfristige, einseitige betriebswirtschaftliche Optimierungen machen daher blind für zukünftige Entwicklungen und öffnen den Weg für strategische Überraschungen. Die Geschichte ist voll von solchen Beispielen „schöpferischer Zerstörung".[37] Nokia oder Kodak sind wohl die bekanntesten Beispiele dafür. Was in der Wirtschaft im Allgemeinen vielleicht noch verkraftbar sein mag, ist für unsere überlebenswichtige Infrastruktur der Stromversorgung keinesfalls akzeptabel. Ein Scheitern hätte verheerende gesamtgesellschaftliche Folgen.

### 1.4.5 Zunehmende Ausgleichsmaßnahmen

All diese Faktoren und weitere Aspekte führen zu einem rapiden Anstieg der Kosten und Aufwendungen für Ausgleichsmaßnahmen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien unterliegt naturgemäß ständigen und erheblichen Schwankungen und Prognoseabweichungen. Auch wenn die Wettervorhersagemodelle immer besser werden, kommt es immer wieder zu signifikanten Abweichungen, die dann kurzfristig durch andere Kraftwerke im Rahmen sogenannter Redispatch-Maßnahmen ausgeglichen werden müssen.[38] Diese Ersatzmaßnahmen sind in der Regel kostenintensiv und werden über die Netzentgelte an die Allgemeinheit verrechnet.

Seit Jahren steigen die Aufwendungen im europäischen Verbundsystem zur Aufrechterhaltung der Systemstabilität. Die österreichischen Engpassmanagementkosten, also der Aufwand zur Aufrechterhaltung der Netzstabilität und damit zur akuten Vermeidung eines Blackouts, sind von 1,1 Millionen Euro im Jahr 2012 auf 736 Millionen Euro im Jahr 2022 nahezu exponentiell angestiegen. Statt zwei Eingriffe waren innerhalb weniger Jahre über 300 Eingriffe pro Jahr notwendig. Dieser Aufwand ist zwar durch die Strommarkttrennung zwischen Deutschland und Österreich im Oktober 2018, 2019 und 2020 deutlich zurückgegangen, aber seit 2021 wieder regelrecht explodiert, was zum Teil auch auf die gestiegenen Strompreise zurückzuführen ist.[39]

Auch in Deutschland sind die Eingriffe von 2014 mit 3.427 Eingriffen auf 12.392 Eingriffen im Jahr 2022 und 9.780 Eingriffen bis August 2023 signifikant angestiegen.[40]

Die Frequenz von eigentlich 50 Hertz im europäischen Verbundnetz muss um jeden Preis in dem erlaubten Bereich zwischen 50,2 Hz und 49,8 Hz gehalten werden. Erzeugung und Last müssen immer ausgeglichen sein. Ab einer Überfrequenz von 51,5 Hz erfolgt eine komplette Trennung von Anlagen vom Netz. Ab einer Frequenz von 47,5 Hz werden alle Kraftwerke vom Stromnetz getrennt und die Stromversorgung muss im Anschluss wieder neu aufgebaut werden. Die Ursachen für zunehmende Schwankungen, die kostenintensiv ausglichen werden müssen, liegen vor allem in der mangelnden Anpassung des Systems an die stark veränderten Rahmenbedingungen, z.B. durch die unzureichende Anpassung einer über lange Zeit gewachsenen Leitungsinfrastruktur und fehlenden Speichern. Im laufenden Betrieb sollen unzählige neue Erzeuger integriert, neue Verbraucher angeschlossen und versorgt werden.

### 1.4.6 Fehlende Speicher und Puffer

Ein weiterer zentraler Baustein der zukünftigen Strominfrastruktur und Teil der heutigen Probleme sind Speicher- und Puffersysteme (z.B. Elektrolyseure an den Küsten), um einerseits Überschüsse verarbeiten, andererseits die volatile Erzeugung aus

---

36 Vgl. http://www.fette-competence-in-energy.com. Zugriff am 21.10.2023.
Vgl. https://cdnmedia.eurofins.com/european-west/media/1663280/swissengineering_de.pdf. Zugriff am 21.10.2023.
Vgl. https://publica.fraunhofer.de/bitstreams/bb9783ec-d4c1-460f-98e0-b3f2bd475fd0/download. Zugriff am 21.10.2023.

37 Die Schöpferische Zerstörung (auch kreative Zerstörung) ist ein Begriff aus der Makroökonomie, dessen Kernaussage lautet: Jede ökonomische Entwicklung baut auf dem Prozess der schöpferischen bzw. kreativen Zerstörung auf. Durch eine Neukombination von Produktionsfaktoren, die sich erfolgreich durchsetzt, werden alte Strukturen verdrängt und schließlich zerstört. Die Zerstörung ist also notwendig – und nicht etwa ein Systemfehler –, damit Neuordnung stattfinden kann. https://de.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%B6pferische_Zerst%C3%B6rung. Zugriff am 21.10.2023.

38 Vgl. https://www.apg.at/de/Energiezukunft/Redispatch. Zugriff am 21.10.2023.

39 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-blackouts/aktuelle-situation/#epm. Zugriff am 21.10.2023.

40 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-blackouts/aktuelle-situation/#redispatch. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

erneuerbaren Energien jederzeit ausgleichen und so konventionelle Kraftwerke ersetzen zu können. Dabei geht es nicht nur um die beschriebene Momentanreserve, sondern um einen sehr weiten Zeitbereich: von inhärent über Sekunden, Minuten, Stunden, Tage, Wochen bis hin zur saisonalen Speicherung.[41] Diese Breite an notwendigen Speichern und Technologien wird zwar besonders durch Politiker ständig diskutiert, jedoch über Pilotprojekte hinaus noch lange nicht umgesetzt.

In Europa gibt es immer wieder Zeitfenster von bis zu zwei Wochen, in denen kaum ein Wind weht, noch die Sonne scheint („Dunkelflaute"). Auch solche Zeiten müssen in einem dekarbonisierten System beherrscht werden, selbst wenn sie nur sehr selten auftreten. Dies würde allerdings eine nahezu vollständige Schatteninfrastruktur erfordern, da es bisher dafür und auch in absehbarer Zukunft keine entsprechenden Lösungen geben wird [vgl. Palmer et al. (2020)].

Alternativ wären - bei entsprechendem gesellschaftlichem Konsens - auch geplante räumlich begrenzte Stromabschaltungen durch ein Strommangelmanagement denkbar (sogenannte Brownout). [vgl. Paulitz (2020)]. Diese würden aber, zumindest bis sich dieses Verfahren eingespielt hat, voraussichtlich erheblichen Schäden verursachen. Deshalb ist dies ein Weg, den derzeit kaum jemand ernsthaft in Erwägung zieht. Den Kopf in den Sand zu stecken, hat aber auch noch nie funktioniert.

Es gibt jedoch immer wieder einzelne Tage, an denen kaum Strom aus PV- und Windkraftanlagen erzeugt werden kann. Bisher konnten diese Lücken durch die noch verfügbaren konventionellen Kraftwerke gedeckt werden. Doch mit deren sukzessiven Rückbau werden die verfügbaren Reservekapazitäten immer geringer.

Während in Österreich zumindest theoretisch rund 3.300 GWh und in der Schweiz rund 8.900 GWh an (Pump-)Speicherkapazität zur Verfügung stehen, sind es in ganz Deutschland nur rund 40 GWh, auch wenn 300 GWh der österreichischen Kapazität deutschen Unternehmen gehören. In Deutschland gibt es keine nennenswerten Ausbaupläne oder -möglichkeiten. Mögliche Projekte scheitern zudem häufig am Widerstand der Bürger.[42] In Österreich ist derzeit ein Großspeicher in Planung, der direkt an das deutsche Stromnetz angeschlossen werden soll. Geplante Fertigstellung: 2037[43]

Mit den heutigen Speicherkapazitäten könnte Deutschland nicht einmal eine Stunde des eigenen Stromverbrauchs (zwischen 60 und 80 GW) decken. Hinzu kommt, dass nur rund 11 GW Engpassleistung aus (Pump-)Speicherkraftwerken zur Verfügung stehen, also zeitgleich abgerufen werden können. Europaweit stehen rund 103 GW reine Speicherleistung zur Verfügung, davon 47 GW Pumpspeicherleistung.[44]

Als ergänzende Lösungen werden daher häufig die Batterien von Elektrofahrzeugen oder Heimspeicher genannt. Diese können sicher einen Beitrag leisten. Die zu berücksichtigen Größenordnungen werden aber häufig völlig falsch eingeschätzt. Wenn heute im österreichischen Burgenland, wo mit 445 Windkraftanlagen eine theoretische Spitzenleistung von rund 1,3 GW erzeugt werden kann, der Wind optimal weht, werden an einem Tag rund 18 GWh Überschussstrom produziert. Dieser kann im Burgenland mit seinen rund 300.000 Einwohnern und ohne nennenswerte Großverbraucher nicht selbst verbraucht werden und muss daher anderweitig verbraucht, zwischengespeichert oder im schlimmsten Fall abgeregelt werden.

Wollte man diese Energiemenge in durchschnittlichen E-Fahrzeugbatterien (75 kWh) zwischenspeichern, so bräuchte man rund 240.000 Fahrzeuge, die an einem Tag aus dem vollständig entladenen Zustand wieder komplett aufgeladen werden müssten. Weht der Wind am nächsten Tag nicht mehr, was immer wieder der Fall ist, würden allein für die Versorgung des Burgenlandes rund 80.000 E-Fahrzeuge benötigt werden, die dann wiederum vollständig entladen werden müssten. Würde man dafür Heimspeicher nutzen wollen, bräuchte man etwa mit der heute eingesetzten Kapazität von rund 10 kWh die 7,5-fache Menge. Rein rechnerisch, denn in der Realität kann man solche Speicher weder vollständig entladen, noch würde hier die technische Infrastruktur mitspielen. Und die Besitzer der Speicher wohl auch nicht.

Bei der bisherigen Energiewende wurde vernachlässigt, dass konventionelle Kraftwerke einerseits die Speicher in der Primärenergie (Kernbrennstäbe, Gas, Kohle, Öl) integriert haben, andererseits durch die vorhandenen Schwungmassen ausgleichend die Frequenzhaltung unterstützen. In Zukunft werden wir einen steigenden und immer schwieriger zu prognostizierenden Verbrauch bei gleichzeitig zunehmender volatiler Stromerzeugung haben. Beides ist ohne entsprechende Systemanpassungen nicht in Einklang zu bringen.

### *1.4.7 Power-to-X*

Für die saisonale Speicherung gilt mittlerweile „Power-to-X" als großer Hoffnungsträger, insbesondere die Nutzung von Wasserstoff ($H_2$). Dies klingt auch sehr verlockend, da mit der bestehenden Gasinfrastruktur angeblich bereits eine dafür nutzbare

41 Vgl. https://www.saurugg.net/energiezellensystem/die-zeit-in-der-elektrischen-energieversorgung. Zugriff am 21.10.2023.

42 Vgl. https://www.suedkurier.de/region/hochrhein/herrischried/einen-gedenkstein-fuer-das-pumpspeicherwerk-atdorf-hat-die-bi-atdorf-gesetzt;art372599,10939259. Zugriff am 21.10.2023.

43 Vgl. Leuchttürme der Energiewende: Österreichs stärkster Pumpspeicher. https://oesterreichsenergie.at/aktuelles/neuigkeiten/detailseite/leuchttuerme-der-energiewende-oesterreichs-staerkster-pumpspeicher. Zugriff am 21.10.2023.

44 Vgl. https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2016/files/kf/Session_A1/KF_Benigni.pdf. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Infrastruktur zur Verfügung stehen würde. Dabei wird aber gerne verschwiegen, dass dazu noch erhebliche Hürden zu überwinden sind. Das beginnt bei den notwendigen Infrastrukturanpassungsmaßnahmen (Rohrdichtheit), der Errichtung entsprechend leistungsfähigen Elektrolyseuren bis hin zur fehlenden, aber zwingend notwendigen und ständig verfügbaren Überschussenergie, um den Wasserstoff überhaupt zu vertretbaren Kosten und Mengen herstellen zu können. Auch die Importvorstellungen sind derzeit mehr Hoffnung als Lösungen in greifbarer Nähe.

Hinzu kommt, dass für die Speicherung und den Transport das dreifache Volumen zur vergleichbaren Erdgasmenge benötigt wird.[45] Gleichzeitig sind die Speicherung und die anschließende Verstromung mit hohen Umwandlungsverlusten verbunden, wodurch zumindest die 3- bis 4-fache Energie für denselben Output benötigt wird. Wasserstoff wird in Zukunft darüber hinaus in vielen industriellen Prozessen im großen Stil benötigt werden, um den $CO_2$-Ausstoß reduzieren zu können. Daraus ergibt sich eine erhebliche Konkurrenzsituation, was sich wohl nochmals auf die Verfügbarkeit und den Preis niederschlagen wird.

Noch ungünstiger ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der als „Goldrandlösung“ des Individualverkehrs gepriesenen Herstellung von E-Fuels (Power to Liquid, Power-to-Fuel, PtF, P2F) [vgl. Erlhofer (2023). S. 417ff]. E-Fuels haben einen schlechten Wirkungsgrad. Mit der gleichen Menge Strom können Batterien von 1.000 Fahrzeuge geladen werden. Durch die Energieverluste bei der Umwandlung von elektrischem Strom könnten nur 375 wasserstoffbetriebene Autos fahren. Mit synthetischem Kraftstoff wären es nur 156.

Die Aussicht einer großen Förderwelle hat eine Goldgräberstimmung ausgelöst, in der sich vielversprechende Ankündigungen überschlagen. Es ist zu erwarten, dass auch der eine oder andere „Goldklumpen“ gefunden wird. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass dies kurzfristig zu einem großen Durchbruch und einer breiten Umsetzung führen wird. Schnell umsetzbare Lösungen werden aber in naher Zukunft und nicht erst in 10 oder 20 Jahren benötigt.

Zum anderen wird wenig über mögliche „Nebenwirkungen“ diskutiert, wie z.B. die Freisetzung von klimawirksamem Wasserdampf bei der großtechnischen Rückverstromung. Ähnliches gilt für die Nebenwirkungen der geplanten Methanisierung. Hier sind die Auswirkungen bereits bekannt: Methan ist deutlich klimaschädlicher als $CO_2$. Dieses Thema betrifft auch Biogasanlagen.

### *1.4.8 Größenordnungen*

In vielen Alltagsdiskussionen zeigt sich zudem, dass die wenigsten Menschen und oft auch viele Fachleute keine Vorstellung von den Größenordnungen unseres Energieverbrauchs haben. Ein einfaches Rechenbeispiel soll dies verdeutlichen.
Eine Million Sekunden (vergleichbar mit einer Megawattstunde (MWh)) sind etwa 12 Tage. Eine Milliarde Sekunden (~ GWh) sind bereits fast 32 Jahre. Bei der Stromspeicherung sprechen wir jedoch von TWh, also rund 32.000 Tagen.

Was im kleinen Maßstab eines Startup-Unternehmens, Pilot- oder Forschungsprojekts gut funktionieren mag, sagt noch lange nichts darüber aus, wie schnell und ob überhaupt eine Skalierung möglich ist. Andererseits müssen auch Finanzierbarkeit und Wirtschaftlichkeit stimmen, was heute kaum der Fall ist. Geht es darum, eine sehr hochwertige Energie in Form von fossilen Energieträgern zu kompensieren, die zudem bisher zu relativ niedrigen Preisen zur Verfügung stand, stößt man rasch an kaum überwindbare Grenzen, auch wenn die Sonne und der Wind keine Rechnung schicken, was nur ein kleiner Teil der Wahrheit ist.

Es werden daher gerne Äpfel mit Birnen verglichen, oder Durchschnittswerte herangezogen, die für die Systemsicherheit kaum von Relevanz sind. So hören sich 143 Gigawatt (GW) an installierter Windkraft- und PV-Leistung in Deutschland bei einem gleichzeitigen Verbrauch von 60 bis 80 GW nach sehr viel an. Wenn man aber weiß, dass bisher nur an wenigen Tagen im Jahr eine tatsächliche Leistung von über 60 GW erzeugt werden konnte, sieht die Situation gleich ganz anders aus. Noch düsterer wird es, wenn man einzelne Ausreißer wie den 16. November 2021 herausnimmt. An diesem Tag wurden im Minimum gerade einmal 0,23 GW von Windkraft- und PV-Anlagen produziert. Über den ganzen Tag gerechnet, wurden bei einem Verbrauch von 1,46 Terawattstunden (TWh) gerade einmal 0,05 TWh durch Wind und Sonne erzeugt. Nimmt man noch Biogas und Wasserkraft dazu, waren es zusammen 0,24 TWh.

Am 10. September 2023 erzeugten 68 GW installierte Windkraftleistung im Minimum 0,1 GW bzw. 143 GW PV- und Windkraftanlagen zusammen 0,5 GW. Allein für solche Tage – auch wenn sie nur selten auftreten – müsste eine fast hundertprozentige Schatteninfrastruktur vorgehalten oder großflächige Abschaltungen vorgenommen werden, um einen System-Kollaps zu verhindern.

Auch der Vergleich der Kosten einer Kilowattstunde (kWh) aus Atom-, Gas-, Kohle-, PV- oder Windkraftanlagen hinkt in der Regel. Man darf nicht nur die reinen Produktionskosten vergleichen. Die meisten Stromträger verursachen auch Folgekosten. Das kann ein einfacher Rückbau eines Windrades sein, aber auch komplexe Kosten wie die Endlagerung von Atom-

45 Vgl. Erneuerbarer Wasserstoff in Österreich. https://www.joanneum.at/fileadmin/user_upload/H2_Broschuere_final_2009.pdf. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

müll. Manche dieser Folgekosten lassen sich nur schätzen. In einen Vergleich müssen auch die jeweiligen Subventionen einbezogen werden. Oft wird der essenzielle Faktor einer verlässlichen Bereitstellung über eine definierte Anzahl von Stunden pro Jahr außer Acht gelassen. Daher gibt es kaum brauchbare und seriöse Vergleichswerte[46], auch wenn das gerne anders dargestellt wird. Denn dazu müsste man eine Vollkostenrechnung mit den erforderlichen Speicherkosten und dem zusätzlichen Infrastrukturbedarf anstellen, um eine Vergleichbarkeit herzustellen. Außerdem gehören die Umweltkosten, die z.B. durch fossile Kraftwerke verursacht werden, oder sonstige Neben- und Folgekosten zu einer ehrlichen Vergleichsberechnung.

### 1.4.9 Falsche Dezentralisierungsbehauptungen

Gerne wird davon gesprochen, dass mit dem Ausbau von Windkraft- und PV-Anlagen eine Dezentralisierung stattfinde, was ein Irrtum ist. Denn so wie die bisherige Energiewende aufgesetzt wurde, werden damit immer mehr zentrale Strukturen erforderlich und die Abhängigkeiten werden nicht reduziert, sondern sogar erhöht.

So befinden sich zwar viele PV-Anlagen auf der Niederspannungsebene, also dezentral, aber die ganze Stromversorgung würde nicht funktionieren, könnte der lokale Überschussstrom nicht abtransportiert werden, was mittlerweile bis in die Höchstspannungsebenen passiert. Zum anderen würde es schnell finster werden, wenn die Sonne untergeht oder Wolken drüberziehen und nicht aus dem zentralen System eine Versorgung erfolgen würde. Auch Windparks können nur mit dem zentralisierten System und den erforderlichen Ausgleichsmaßnahmen betrieben werden. Von einer wirklichen Dezentralisierung – wie sie anzustreben ist – sind wir derzeit weit entfernt.

Ein noch zu bewältigendes Problem ist das Ersetzen der bisherigen Momentanreserve.[47] Sie steht dem Stromsystem bisher inhärent zur Verfügung, und zwar durch die Trägheit der rotierenden Massen der konventionellen Kraftwerke. Mit dem sinkenden Marktanteil konventioneller Kraftwerke stehen deren systemstützende Eigenschaften in bestimmten Stunden nur noch in deutlich reduziertem Umfang zur Verfügung. Hinzu kommt, dass die Großkraftwerke bisher überwiegend im Süden Deutschlands angesiedelt waren, die Masse der Erneuerbaren Energien aber im windreichen Norden oder sogar offshore entstehen. Unabhängig von der Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie der Momentanreserve für die Versorgungssicherheit muss auch zukünftig jedem ÜNB eine ausreichend dimensionierte, gesicherte Erzeugungsleistung zur Deckung der Stromnachfrage bei witterungsbedingt fehlender Erzeugung aus erneuerbaren Energien gewährleistet werden. Dazu wird auch über synthetische Schwungmasse aus Windenergieumwandlungsanlagen diskutiert.

Außerdem kann sich derzeit niemand wirklich vorstellen, wie ein Stromnetz nach einer Großstörung mit nicht steuerbaren Erzeugungsanlagen und fehlender Regelenergie wieder hochgefahren werden soll [vgl. Reichl et al. (2015)]. Lösungsansätze sind vorhanden. Es mangelt jedoch wieder an der Umsetzung.

### 1.4.10 Dezentrale funktionale Einheiten („Energiezellen“)

Damit von einer wirklichen Dezentralisierung gesprochen werden kann, müsste es zur Errichtung von dezentralen funktionalen Einheiten („Energiezellen“) kommen.[48]

In den Verteilnetzen kommen immer mehr neue Anlagen hinzu: Millionen von Kleinkraftwerken, E-Ladesäulen, Wärmepumpen oder Klimaanlagen als Großverbraucher, für die die Infrastruktur nie ausgelegt wurde. Zudem müssen zahlreiche neue Akteure, die den Strommarkt antizipieren oder zur Flexibilisierung des Verbrauchs beitragen wollen, integriert und vernetzt werden, was die Komplexität des Systems weiter erhöht.

Das besondere Problem dabei ist, dass sich ein immer komplexer werdendes System nicht mit der bisher erfolgreichen zentralen Struktur und Logik steuern lässt. Vielmehr bedarf es einer „Orchestrierung“ dieser Vielzahl von Komponenten und Akteuren, damit diese automatisiert zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit beitragen.[49]

Viel erfolgversprechender ist daher ein zellularer Ansatz, da die zunehmende Komplexität anders nicht beherrschbar sein wird.[50] Komplexe Systeme lassen sich nicht zentral steuern, sondern erfordern dezentrale autonome Einheiten,[51] in denen Bedarf, Speicherung und Erzeugung möglichst lokal bzw. regional ausbalanciert werden [vgl. Vester (2011[8])].

---

46 Vgl. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf. Zugriff am 21.10.2023.
Vgl. https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#umweltkosten-der-strom-und-warmeerzeugung. Zugriff am 21.10.2023.

47 Vgl. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9142_Studie_Momentanreserve_2030.pdf. Zugriff am 21.10.2023.

48 Vgl. https://www.saurugg.net/energiezellensystem. Zugriff am 21.10.2023.

49 Vgl. https://www.saurugg.net/2018/blog/stromversorgung/weckruf-orchestrieren-statt-steuern. Zugriff am 21.10.2023.

50 Vgl. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/vernetzung-komplexitaet. Zugriff am 21.10.2023.

51 Vgl. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/vernetzung-komplexitaet/#systemdesign. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Im Energiezellensystem sollen auch systemübergreifende Synergien genutzt werden. Dazu soll die Sektorenkopplung beitragen: Die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr müssen so umgebaut werden, dass sie besonders die volatilen erneuerbaren Energieformen besser nutzen [vgl. Erlhofer (2023). S. 281ff]. Es geht also um eine ganzheitliche Energieversorgung in zellularen Strukturen, die ein umfassendes Umdenken erfordern.[52]

Ein solcher Ansatz steht auch nicht im Widerspruch zum bestehenden großtechnischen System, das weiterhin benötigt wird, um große Industriebetriebe oder Städte versorgen zu können. Mit diesen dezentralen Strukturen und Funktionseinheiten kann jedoch die Robustheit des Gesamtsystems von unten nach oben und im laufenden Betrieb ohne Unterbrechungen erhöht werden.[53] Auch die Grundidee und die Basisinfrastruktur des Internets basieren auf diesen Überlegungen.

Zelluläre Strukturen sind im laufenden Betrieb möglicherweise nicht so effizient wie das bisherige Großsystem. Dies ändert sich radikal, wenn es zu einer Großstörung in Form eines Blackouts kommt. Dann wären mit einem Schlag alle bisherigen Effizienzgewinne zunichtegemacht und unabsehbar enorme gesellschaftliche Schäden zu erwarten. Resilienz und Robustheit stehen im Widerspruch zu unserem rein betriebswirtschaftlich motivierten Effizienzdenken, das gerne auf überlebenswichtige Redundanzen und Reserven verzichtet.[54]

Ein zentralisierter Ansatz, wie er derzeit häufig mit „Smart Grid"-Überlegungen forciert wird, erhöht die zentrale Verwundbarkeit des Systems und sollte daher vermieden werden. Die Idee der Zellstruktur lässt sich auch aus der Evolution ableiten, wo alles Lebendige in Zellstrukturen organisiert ist. Das hat sich offensichtlich bewährt und überlebt. Alles andere wurde ausgeschieden.

### 1.4.11 Senkung des Energiebedarfs versus Anstieg des Stromverbrauchs

Um die Energiewende voranzubringen und gleichzeitig die bestehenden Strukturen nicht zu überlasten, ist eine grundlegende Senkung des Energiebedarfs unumgänglich. Alles, was nicht benötigt, erzeugt und gespeichert werden muss, trägt am schnellsten zur Zielerreichung bei. Es gibt hier auch noch häufig große Potenziale, bevor der oft befürchtete Komfortverlust eintritt. Das hat etwa die Energiekrise 2022 zutage geführt, wo dann auf einmal doch größere Einsparungen möglich waren als bisher angenommen.

Die angestrebte Dekarbonisierung aller Sektoren (Mobilität, Wärme, Industrie etc.) macht es zudem notwendig, fossile Energieträger zunehmend durch Strom zu ersetzen. Gleichzeitig führen Digitalisierung, E-Mobilität, Wärmepumpen oder Klimatisierung zu einem absehbaren weiteren enormen Anstieg des Strombedarfs. Hinzu kommt, dass diese Anwendungen sehr hohe Spitzenlasten aufweisen, für die die bestehenden Infrastrukturen, insbesondere die Verteilnetze, nicht ausgelegt sind. Daher sind massive Verstärkungen und Anpassungen erforderlich. Dies wird jedoch auf absehbare Zeit nur begrenzt möglich sein, sodass sich erhebliche Probleme auf der Verteilnetzebene abzeichnen, wenn etwa zu hohe Einspeiseleistungen oder Lasten zunehmend häufiger zu Netzüberlastungen führen werden.[55]

Ein bewussterer Umgang mit Energie und ein Denken über Systemgrenzen hinweg, um Synergiepotentiale optimal nutzen zu können, sind bislang nicht erreicht. In der Natur haben sich neben der Reduktion des Energie- und Ressourcenbedarfs auch Dezentralität sowie Fehlerfreundlichkeit/-toleranz und Diversität als wesentliche Erfolgskonzepte für (über-)lebensfähige komplexe Systeme herauskristallisiert [vgl. Vester (2011[8])]. Diese Erkenntnisse müssen aber erst in die laufende Transformation einfließen.

### 1.4.12 Digitalisierung des Energiesystems

Digitalisierung ist eines der „Zauberwörter", das alle Teile der Gesellschaft beeinflussen wird. Das Internet der Dinge (englisch Internet of Things, IoT) wird physikalische Objekte (Waschmaschinen, Kühlschränke und vieles mehr), vernetzte Objekte (u. a. Autos, Smartphones, Fitnessarmbänder), konventionelle Maschinen und digitalisierte Anlagen in Fabriken, ganze Industrieprozesse und ständig mehr mit Informations- und Kommunikationstechnik (IKT; auch Informations- und Kommunikationstechnologie), sowie Sensorik und Antriebstechnik (Aktorik) ausstatten und darüber hinaus mit dem Internet verbinden [vgl. Erlhofer (2023). S. 410ff]. Strom, Internet und Digitalisierung lassen sich nicht mehr voneinander losgelöst betrachten.

In der neuen Stromwirklichkeit kann dem Verbraucher nicht mehr garantiert werden, dass er zu jedem Zeitpunkt so viel Strom entnehmen kann, wie er gerne möchte, weil der Strom unter Umständen in dem Augenblick gar nicht zur Verfügung steht.

Für dieses Szenario soll ein „intelligentes Stromnetz" (Smart Grid, Internet der Energie) helfen. Es regelt die Verbraucher so, dass nur so viel Strom entnommen wird, wie momentan zur Verfügung steht: Mittels der Kommunikation (Datenaus-

52 Vgl. https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/vde-zeigt-loesungsansatz-fuer-zellulares-energiesystem. Zugriff am 21.10.2023.
53 Vgl. https://www.saurugg.net/2016/blog/energiezellensystem/spiders. Zugriff am 21.10.2023.
54 Vgl. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/resilienz-und-anpassung. Zugriff am 21.10.2023.
55 Vgl. https://www.netzampel.energy/home. Zugriff am 21.10.2023.


Gesellschaft für Krisenvorsorge
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org
Herbert Saurugg, MSc
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

tausch) in beide Richtungen, die ein Smart Grid ermöglicht, kann und wird in Zeiten eines Energieüberschusses die Stromentnahme begünstigt bzw. gedrosselt werden, wenn weniger Energie zur Verfügung steht [vgl. Erlhofer (2023). S. 293ff].

Auch die propagierten „Smart Grids“ und Flexibilisierungsmaßnahmen sind auf eine umfassende zentrale IT-Vernetzung und damit auf eine steigende Komplexität angewiesen. Daraus ergeben sich neben der Gefahr von Cyber-Angriffen oder Zwischenfällen weitere kaum beachtete Nebeneffekte.

Smart Grid wird alle Netzebenen und Verbrauchergruppen umfassen. Innovative Produkte (z. B. Smart Meter) und Konzepte (z. B. Smarthome) versprechen ein „intelligentes“ System, wobei sich hinter der „Intelligenz“ softwaregestützte, komplexe Kommunikationssysteme verstecken. Zentrale Voraussetzung ist ein Informationsaustausch – tatsächlich eine Verfügbarkeit von Daten von unten nach oben, anders gesagt; ein „gläserner“ Kunde, der seine Daten uneingeschränkte zur Verfügung stellt.

Alles muss nicht nur verfügbar sein, sondern erstens transparent sein, zweitens auch konsequent, d. h. flächendeckend eingesetzt werden. Nur dann werden die Ziele erreichbar.

Dem Kunden wird dann vorgeschrieben, wann er den Kühlschrank abtauen, die Wäsche waschen und trocknen kann. Es geht dann also nicht mehr darum, ob wir durch bessere Technik (Sparlampen) oder angepasstes Verhalten (Ausschalten von Geräten, die sich im Stand-by-Modus befinden) unsere eigene Stromrechnung minimieren. Wir sollen umlernen und für das ganze Stromnetz tätig werden. Wenn wir das nicht richtig machen, werden wir „bestraft“ und über höhere Tarife zur Kasse gebeten.

Mit der zunehmenden Digitalisierung der Stromversorgung steigen auch die gegenseitigen Abhängigkeiten: ohne Strom keine IT. Ohne IT-Infrastruktur, keine Stromversorgung. Experten befürchten, dass schon heute ein möglicher Netzwiederaufbau daran scheitern könnte, weil immer mehr Schutzeinrichtungen automatisiert werden und immer weniger nicht digitale Rückfallebenen vorhanden sind.

Mit den Smart Metern wird ein weiteres Feld mit „big data“ eröffnet, das wiederum nur digital überwacht und ausgewertet werden kann.

In der „smarten Welt“ entstehen immer mehr digitale Anwendungen im Strom- und Flexibilitätsmarkt. Was im Alltag einen Mehrwert schafft, kann sich schnell ins Gegenteil verkehren, wie der schwerwiegende Cyberangriff auf die größte Ölpipeline der USA im Mai 2021[56] oder auf den Tanklogistiker in Deutschland im Februar 2022[57] gezeigt haben. Auch der kriegsbedingte Ausfall von 5.800 Satellitenmodems in deutschen Windkraftanlagen hätte schwere Kaskadeneffekte auslösen können.[58] Vornehmlich regionale Anbieter sind häufig nicht vor Hackern geschützt. Bisher sind wir wohl häufiger mit einem blauen Auge davongekommen, was aber auch zu einer Truthahn-Illusion beiträgt (siehe Abschnitt Truthahn-Illusion weiter unten).

Vier Risikofelder wirken alle auf das sensible „System Strom“ ein: höhere Gewalt, Technik, Organisation und Mensch. Wegen der Vielfalt von Schnittstellen kann es stets nur relativ geschützt werden. Die Verwundbarkeit bleibt und wächst zunehmend. Die Stressoren wirken dabei immer in Kombination.

Es muss auch nicht immer eine Schädigungsabsicht vorliegen. Auch ein unkontrollierter Cyber-Angriff - wie im Fall der Zerstörung der Satellitenmodems - oder selbst eine schwerwiegende Störung kann kaskadenartige Folgen in der physischen Welt auslösen, insbesondere in einem so empfindlichen System wie der Stromversorgung. Siehe dazu etwa auch die Leittechnik-Störung 2013 in Österreich.[59]

Auch hier würde ein Energiezellensystem Abhilfe schaffen, da kleinere Einheiten und Strukturen leichter zu beherrschen und umzubauen sind bzw. Fehler oder Ausfälle leichter zu tolerieren sind und keine großflächigen Auswirkungen auslösen können. Zwar ist auch in den Zellen eine gewisse IT-Unterstützung erforderlich, jedoch mit anderen Anforderungen als in einem zentralisierten System. So können der Kommunikationsbedarf und die Inhalte mit anderen Zellen und damit die Angriffsfläche deutlich reduziert werden. Fehlertoleranz auf dezentraler Ebene erhöht die Robustheit auf zentraler Ebene und ist ein wesentliches Merkmal lebensfähiger Systeme.[60]

56 Vgl. https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/colonial-pipeline-cyberangriff-legt-betrieb-grosser-benzin-pipeline-in-den-usa-lahm-/27173390.html. Zugriff am 21.10.2023.

57 Vgl. https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energieversorgung-cyberangriff-legt-oiltanking-tanklager-deutschlandweit-vollstaendig-lahm-tankwagen-beladung-ausser-betrieb/28023918.html. Zugriff am 21.10.2023.

58 Vgl. https://www.reversemode.com/2022/03/satcom-terminals-under-attack-in-europe.html. Zugriff am 21.10.2023.

59 Vgl. https://www.saurugg.net/blackout/risiko-eines-strom-blackouts/leittechnikstoerung. Zugriff am 21.10.2023.

60 Vgl. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/vernetzung-komplexitaet/#systemdesign. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

### *1.4.13 Ressourcenbedarf*

Die Primärenergien Sonne und Wind sind zwar kostenlos, aber sie stehen auch nicht jederzeit zur Verfügung, wie es unser heutiges Stromversorgungssystem aber zwingend erfordert, und der enorme Ressourcen- und Infrastrukturaufwand ist auch nicht kostenlos.

Um etwa die gleiche Energiemenge wie ein Kohlekraftwerk erzeugen zu können, benötigen PV-Anlagen doppelt so viele Ressourcen, Onshore-Windkraftanlagen fünfmal so viele und Offshore-Windkraftanlagen sogar siebenmal so viele.[61] Dabei ist der zusätzliche Infrastrukturbedarf durch einen wesentlich höheren Bedarf an Leitungen oder Speichern noch gar nicht berücksichtigt.

Digitalisierung und digitale Transformation, Industrie 4.0, Cloud-Computing, Big Data und Analytics, Smarthome und smarte, autonome Maschinen, das Internet der Dinge und das Internet der Werte (Blockchain2, Bitcoin), Computing Power, alles benötigt Energie. Für ihre Erzeugung, Speicherung und Verteilung werden bisher ungeahnte Mengen an Rohstoffen benötigt. Hinzu müssen die Transformationsbestrebungen in vielen Weltregionen betrachtet werden, die mit einem noch größeren Ressourcenbedarf einhergehen. Gleichzeitig wurden in den vergangenen Jahren nur wenige neue Lagerstätten erschlossen. Die Erschließung einer neuen Mine dauert erfahrungsgemäß rund 15 Jahre, sodass in den nächsten Jahren mit erheblichen Engpässen und damit mit enormen Preissteigerungen zu rechnen ist,[62] was die Transformation weiter bremsen würde.

Das US-Energieministerium analysiert in regelmäßigen Studien,[63] wie es um die Versorgung mit kritischen Rohstoffen für die Energiewende bestellt ist. In der jüngsten Ausgabe vom Mai 2023 wird die Verfügbarkeit von 23 für saubere Energietechnologien wichtigen Materialien untersucht. Bei 13 dieser Rohstoffe sieht das Ministerium erhebliche Risiken, dass das Angebot nicht mit der Nachfrage Schritt halten kann: Dazu gehören Nickel, Platin, Magnesium, Siliziumkarbid und Praseodym, vor allem wegen ihrer Rolle in Batterien und beim Leichtbau von Fahrzeugen. Aber auch Neodym, Dysprosium und Terbium, die in Magneten von Elektroautomotoren und Windturbinengeneratoren verwendet werden, sowie natürlicher Grafit, der für Batterien immer wichtiger wird. Durch die steigende Nachfrage nach Solarenergietechnologien, die weltweite Elektrifizierung und den Leichtbau von Fahrzeugen werden mittelfristig auch Aluminium, Kupfer und Silizium knapp. Dabei betrachten die Analysten nur die theoretische Verfügbarkeit der Rohstoffe und nicht die tatsächliche, die sich aus der Position der einzelnen Staaten bei der Förderung und Verarbeitung ergibt.[64]

Bei all dem besteht eine sehr hohe Abhängigkeit von China. Neben vielen wichtigen Rohstoffen findet insbesondere ein Großteil der energieintensiven Aufbereitung der Rohstoffe zu weiterverarbeitbaren Materialien in China statt [vgl. Fremerey et al. (2022)].

Beim Thema Ressourcenbedarf ist auch der Fachkräftemangel zu nennen, der auch vor dem Bereich der Elektrotechnik nicht Halt macht. Dabei geht es nicht nur um genügend Monteure für die Montage von PV-Anlagen, sondern um den gesamten Infrastrukturausbau und -betrieb.[65] Der Fokus darf auch nicht auf die Elektrotechnik alleine beschränkt werden. Denn mit der Energiewende werden auch immer mehr IT-Systeme („Smart“, Flexibilisierung etc.) benötigt. Aber gerade im IT-Sektor besteht schon seit Langem ein eklatanter Fachkräftemangel. Und es handelt sich um ein internationales Problem, das viele Länder in Europa betrifft. Damit wird auch die verfügbare Personalkapazität zu einem limitierenden Faktor für die Energiewende und einen sicheren Systembetrieb.

## 1.5 Weitere Problemfelder

Überdies gibt es weitere externe Faktoren, die die Sicherheit des Systems gefährden können. Diese Liste ist natürlich nicht abschließend.

61 Vgl. The energy transition delusion: inescapable mineral realities. https://www.youtube.com/watch?v=sgOEGKDVvsg. Zugriff am 21.10.2023.

62 Vgl. Critical Materials Assessment. https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-05/2023-critical-materials-assessment.pdf. Zugriff am 21.10.2023.

63 Vgl. Mark Mills: The energy transition delusion: inescapable mineral realities. https://youtu.be/sgOEGKDVvsg. Zugriff am 21.10.2023.

64 Vgl. Rohstoffmangel wird Kernenergie zur Renaissance verhelfen. https://think-beyondtheobvious.com/stelter-in-den-medien/rohstoffmangel-wird-kernenergie-zur-renaissance-verhelfen. Zugriff am 21.10.2023.

65 Vgl. Elektrotechnik-Branche: Studie bestätigt akuten Fachkräftemangel. https://www.ove.at/ove-news/details/elektrotechnik-branche-studie-bestaetigt-akuten-fachkraeftemangel. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

### 1.5.1 Extremwetterereignisse

Mit dem Fortschreiten der Klimakrise ist auch in Europa mit einer Zunahme von Extremwetterereignissen zu rechnen, wie sie etwa bereits in Australien, Kalifornien, Texas oder 2023 in vielen Regionen Europas zu beobachten waren [vgl. APCC (2014)]. Häufig gehen derartige Ereignisse mit gravierenden Infrastrukturschäden und -ausfälle einher.

Extreme Trockenheit sorgt für Kühlprobleme bei konventionellen Kraftwerken. Gleichzeitig sinkt die Leistung von Wasserkraftwerken durch sinkende Pegelstände oder es kann nicht mehr ausreichend Kohle auf den Flüssen zu den Kraftwerken transportiert werden.[66] Auch im anderen Extremfall führen Hochwasser- oder Starkregenereignisse zu Problemen bei der Stromerzeugung, wie im Juni 2020, als ein Starkregenereignis das größte polnische Kohlekraftwerk außer Betrieb setzte und zu einer kritischen Versorgungslücke führte.[67]

Ebenso können Pumpspeicherkraftwerke durch eine verspätete Schneeschmelze wie im Frühjahr 2021 an ihre Grenzen stoßen. Sturm- oder Eisregenereignisse können wie 2005 im Münsterland zu weitreichenden Infrastrukturausfällen führen.68

Von solchen Ereignissen blieben auch Energiezellen nicht verschont. Das Risiko großflächiger Ausfälle könnte jedoch deutlich reduziert werden. Zellen bieten nicht per se eine höhere Versorgungssicherheit oder Robustheit. Sie tragen aber dazu bei, das Schadenspotenzial zu begrenzen, was angesichts der dargestellten Probleme immer wichtiger wird.

### 1.5.2 Sabotage, Terror, Cyber-Angriffe

Ferner gibt es eine Reihe von weiteren potenziellen Störgrößen, die zu großflächigen Stromausfällen führen können und mit einer externen Schädigungsabsicht einhergehen. Die bisher schwersten Sabotageangriffe auf Kritische Infrastrukturen fanden in den Jahren 2022 und 2023 statt.

Die Zerstörung der Gasinfrastruktur Nord Stream 1 und 2 im September 2022 ist in der Geschichte Europas in Nicht-Kriegszeiten ohne Beispiel. Auch die Zerstörung eines wesentlichen Staudamms im Rahmen der Kriegshandlungen in der Ukraine war bisher unvorstellbar. Ganz zu schweigen von den Kämpfen rund um kerntechnische Anlagen.

Vieles, was bis vor Kurzem für unmöglich gehalten wurde, ist plötzlich doch eingetreten. Es gibt auch immer wieder Sabotageangriffe auf die Deutsche Bahn oder auf die Strominfrastruktur.[69] Cyber-Angriffe ohnehin.[70] Daher kann niemand ausschließen, dass es im Rahmen einer weiteren Eskalation auch zu gewollten oder auch ungewollten Kettenreaktionen in der Strom- und Versorgungsinfrastruktur kommen kann, was nicht außer Acht gelassen werden darf.

Aus dem Wissen um komplexe Systeme ergibt sich, dass es nicht ausreicht, sich darauf zu verlassen, dass Unwahrscheinliches nicht eintrifft. Das Zusammenkommen unterschiedlicher, in sich nicht endgültig beherrschbarer Störfaktoren kann und wird zu Störungen führen, die das Risiko eines Versagens des Gesamtsystems in sich tragen: Klima- und Wetterereignisse, technische Mängel, menschliches Verhalten, finanzielle Aspekte, sind nur Beispiele für „Trigger“ solcher Entwicklungen [vgl. Erlhofer (2023). S. 410ff].

## 1.6 Risikobeurteilung

Diese umfassende, wenn auch bei Weitem nicht abschließende systemische Betrachtung der aktuellen Umbrüche im europäischen Stromversorgungssystem hat eine Reihe von Problemfeldern aufgezeigt, die sich in der zunehmenden Häufigkeit und Intensität absehbar negativ auf die bisher sehr hohe Versorgungssicherheit in Europa auswirken dürften.

Auch wenn die unterschiedlichen Akteure ihr Bestes geben, um die Systemstabilität und -sicherheit weiterhin aufrechtzuerhalten, sollte klar sein, dass das Risiko eines großflächigen Ausfalls unter derartigen Rahmenbedingungen zwangsläufig steigt. Einzelereignisse können im Alltag sehr gut und ohne weitere öffentliche Wahrnehmung einschließlich medialer Berichterstattung bewältigt werden. Treten jedoch mehrere Ereignisse gleichzeitig auf, oder gibt es sogar eine externe Intention, Schaden anzurichten, kann es schnell zu einem Phasenübergang und einem großflächigen Systemausfall kommen. Dabei geht es nicht um die Wahrscheinlichkeit, sondern um die erwartbaren Schäden, die eine generelle Blackout-Vorsorge rechtfertigen sollten, was im zweiten Teil dieses Beitrages näher beleuchtet wird.

---

66 Vgl. Niedrigwasser gefährdet Kohlekraftwerke: der bange Blick auf den leeren Rhein. https://www.rnd.de/wirtschaft/trockenheit-in-deutschland-das-niedrigwasser-im-rhein-gefaehrdet-kohlekraftwerke-NSYQHFXV3BE4RM764XV2NWTG5M.html. Zugriff am 21.10.2023.

67 Vgl. http://www.fette-competence-in-energy.com. Zugriff am 21.10.2023.

68 Vgl. https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2020/12/15-jahre-schneekatastrophe-muensterland.html. Zugriff am 21.10.2023.

69 Vgl. Stahlträger durchgesägt – großer Strommast in Grevenbroich umgeknickt. https://rp-online.de/nrw/staedte/grevenbroich/grevenbroich-strommast-umgeknickt-sabotage-nicht-ausgeschlossen_aid-86460965. Zugriff am 21.10.2023.

70 Vgl. US-Energieversorger entdeckt mutmaßlich russischen Computer-Virus. https://www.berliner-zeitung.de/hacker-us-energieversorger-entdeckt-mutmasslich-russischen-computer-virus-li.407499. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Bisherige Methoden zur Risikoabschätzung und Eintrittswahrscheinlichkeitsberechnung sind hier nur bedingt geeignet, da es sich um ein *High Impact Low Probability (HILP)* Ereignis handelt, bei dem aufgrund fehlender Evidenzen eine Wahrscheinlichkeitsberechnung nicht anwendbar ist. So sind Aussagen wie „es besteht keine unmittelbare oder akute Blackout-Gefahr, es ist sehr unwahrscheinlich, dass es zu einem Blackout kommt etc." zwar im Augenblick und mit einem Blick in den Rückspiegel richtig, verkennen aber die aktuellen Umbrüche und systemischen Zusammenhänge.

Sie führen sogar zu einer gefährlichen Scheinsicherheit. Denn warum sollten sich andere Akteure mit dem Thema Vorsorge beschäftigen, wenn es ohnehin unwahrscheinlich ist und gleichzeitig viele akute Herausforderungen im Alltag zu bewältigen sind? Eine Verharmlosung der Gefahr verkennt die Tragweite eines solch möglichen Ereignisses und ist angesichts der zu erwartenden schweren Verwerfungen unverantwortlich und sogar fahrlässig.

HILP-Ereignisse erfordern komplementäre Herangehensweisen, wie etwa nach dem Konzept der Antifragilität [vgl. Taleb (2013)] oder nach den Methoden der Risikoethik, die nicht auf die Wahrscheinlichkeit, sondern auf das potenzielle Schadensausmaß fokussieren [vgl. Mukerji et al. (2020)], um notwendigen Handlungsbedarf abzuleiten. Ein solcher Ansatz fehlt jedoch bisher in vielen Bereichen. Dieses Defizit in der Denkweise wirkt sich unmittelbar auf die dringend notwendige Sicherheitskommunikation aus. Wenn es nicht sein darf, dann braucht man auch nicht darüber zu reden.

Daher konzentrieren sich auch die meisten Vorsorgemaßnahmen auf die Vermeidung eines solchen Ereignisses oder beschränken sich auf die Auswirkungen im Stromversorgungssystem, was jedoch deutlich zu kurz greift [vgl. ITA et al. (2022)]. Verschärfend wirkt, dass die Verantwortung für die Einrichtung und das Vorhalten von Schutz- und Vorsorgemaßnahmen den Fachleuten und Betreibern Kritischer Infrastrukturen zugeordnet und von der eigenen Agenda gestrichen wird.

Das europäische Stromversorgungssystem hat bisher viele, nicht systemische Eingriffe gut verkraftet. Daher besteht durchaus in vielen Bereichen die Überzeugung, dass das auch in Zukunft einfach so weitergehen wird, was sich jedoch als großer und gefährlicher Irrtum erweisen könnte. Dieser potenzielle Irrtum wird in der Risikowissenschaft als Truthahn-Illusion bezeichnet [vgl. Taleb (2013[5])].

### 1.6.1 Truthahn-Illusion

Ein Truthahn, der in seiner sozialen Gemeinschaft lebend täglich von seinem Besitzer gefüttert wird, geht aufgrund seiner täglichen positiven Erfahrungen (Fütterung und Pflege) davon aus, dass der Besitzer es gut mit ihm meint. Er verlässt sich nicht nur darauf, dass die Grundbedürfnisse von externer Seite befriedigt werden. Auch den fundamentalen Schutz vor Gefahren nimmt er als selbstverständlich wahr. Dem Truthahn fehlt die wesentliche Information, dass diese umfassende Fürsorge nur dem Zweck dient, ihn am Ende zu verspeisen. Am Tag vor Thanksgiving, an dem traditionell die Truthähne geschlachtet werden, erlebt er eine böse Überraschung.

Diese Metapher beschreibt den häufigen Umgang mit seltenen Ereignissen, die enorme gesellschaftliche Auswirkungen mit sich bringen, sogenannte High Impact Low Probability (HILP) Events, Extremereignisse („X-Events") oder strategische Schocks [vgl. Casti (2012), Casti et al. (2017), Thurner (2020)]. Die Abwesenheit von Beweisen wird gerne mit der Abwesenheit von Ereignissen verwechselt [vgl. Taleb (2013)].

Deshalb geht es auch bei der ganzen Blackout-Vorsorgebetrachtung nicht um die Wahrscheinlichkeit, sondern um die Frage, ob wir als Gesellschaft mit einem solchen Ereignis umgehen könnten. Die Energiewirtschaft wird alles daransetzen, die Stromversorgung möglichst rasch wiederherzustellen. Ein Blackout stellt jedoch nicht nur einen überregionalen Stromausfall dar, sondern führt zu einem weitreichenden Zusammenbruch fast aller Versorgungsstrukturen und die wirkliche Krise beginnt erst nach dem Stromausfall.

### 1.6.2 Großstörungen als mögliche Warnsignale

Am 8. Januar 2021 und am 24. Juli 2021 kam es zu zwei Großstörungen im ENTSO-E/RG CE Netz, bei denen das zentraleuropäische Netz jeweils in zwei Teilnetze aufgetrennt wurde.[71] Verglichen mit der bisher schwersten Netzauftrennung am 4. November 2006 verliefen diese beiden Ereignisse sehr glimpflich. 2006 mussten rund 10 Millionen Haushalte in Westeuropa innerhalb von 19 Sekunden vom Stromnetz getrennt werden, um ein europaweites Blackout zu verhindern.[72]

Am 8. Januar 2021 waren „nur" große Unternehmenskunden in Frankreich und Italien in der Größenordnung des Stromverbrauchs von Wien betroffen. Diese hatten sich zuvor vertraglich zu solchen Notabschaltungen bereit erklärt und wurden dafür auch entschädigt.

Bei der zweiten Großstörung und Netztrennung am 24. Juli 2021 mussten rund 2 Millionen Kunden auf der iberischen Halbinsel vom Netz genommen werden, um Schlimmeres zu verhindern.

71 Vgl. http://www.fette-competence-in-energy.com. Zugriff am 21.10.2023.

72 Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Stromausfall_in_Europa_im_November_2006. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Dank der seit 2006 kontinuierlich verbesserten Vorsorge- und Kommunikationsmaßnahmen der europäischen Übertragungsnetzbetreiber konnten die Störungen nach jeweils einer Stunde behoben und hervorragend beherrscht werden. Dennoch ist eine solche Resynchronisierung nicht trivial und führt in der Simulation regelmäßig zu Totalausfällen. Zudem gab es in der bisherigen Verbundgeschichte „nur" drei weitere Großstörungen mit Netzauftrennungen: 2003 Blackout in Italien, 2006 europaweit und 2015 Blackout in der Türkei[73].

Niemand kann garantieren, dass die vorgesehenen Sicherheitsmechanismen auch beim nächsten Störfall rechtzeitig und ausreichend greifen. Im schlimmsten Fall könnte es tatsächlich zu einem überregionalen Stromausfall kommen, wie ihn unter anderem das österreichische Bundesheer [vgl. BMLV (2019)] oder der Autor innerhalb der nächsten fünf Jahre, also kurzfristig, erwarten.

Die beiden Großschadensereignisse im Jahr 2021 können auf jeden Fall als ernst zu nehmende Warnungen und „schwache Signale" im Sinne von „Umgang mit dem Unerwarteten" verstanden werden [vgl. Weick et al. (2010[2])].

## 1.7 Zusammenfassung

Bei jeder Transformation kommt es zu Zielkonflikten. Es wäre daher umso wichtiger, diese auch klar anzusprechen und transparent zu machen, um eine möglichst breite Zustimmung zu erhalten. Das passiert aber viel zu wenig, was daher immer häufiger zu Enttäuschungen und einem Vertrauensverlust führt.

Große Infrastrukturprojekte brauchen langfristige Planungssicherheit. Diese kann jedoch aufgrund sich kurzfristig ändernder politischer Rahmenbedingungen, wie z.B. beim deutschen Kohleausstieg, nicht garantiert werden. Bis 2022 wurde ein immer schnellerer Ausstieg gefordert und mit hohen Summen vergütet.[74] Im Herbst 2023 wurde nun aber eine Laufzeitverlängerung für bereits zur Stilllegung vorgesehene Kohlekraftwerke bis mindestens März 2024 beschlossen.[75] Eine Verlängerung der Laufzeiten auch darüber hinaus wird bereits andiskutiert.[76]

Jeder neue Eingriff führt zu verzögerten Wirkungen und zu einer immer geringeren Bereitschaft, in langfristige Infrastrukturprojekte zu investieren. Insbesondere dann, wenn die Entscheidung sachlich nicht mehr nachvollziehbar ist. Ferner verhindert die kurzfristige, betriebswirtschaftlich verengte Sichtweise, dass langfristig tragfähige Lösungen gefunden werden. Vielmehr ist immer häufiger ein gefährlicher Aktionismus zu beobachten, bei dem gerne auf sogenannte Quick-and-Dirty-Lösungen zurückgegriffen wird.

Diese konzentrieren sich auf das Symptom und sind häufig schnell umsetzbar, während eine grundlegende Lösung versucht, die Ursache des Problems zu beseitigen. Quick-and-Dirty-Lösungen verschlimmern langfristig das eigentliche Problem, während fundamentale Lösungen kurzfristig oft deutliche Nachteile mit sich bringen und sich erst langfristig als vorteilhaft erweisen [vgl. Ossimitz (2006)]. Ein Problem, das sich durch die gesamte Energiewende zieht.

Viele Akteure gehen zudem davon aus, dass der Markt das schon regeln wird, wenn man ihn nur lässt. Auch dies ist ein sehr gewagter und gefährlicher Ansatz in einem System, in dem die Verfügbarkeit der notwendigen Ressourcen permanent gewährleistet sein muss. Denn im reinen Markt ist auch das Scheitern und Ausscheiden vorgesehen, was im Stromversorgungssystem einem Selbstmord gleichkommt.

Im schlimmsten Fall muss der Staat, also die Allgemeinheit, einspringen, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Vorausgesetzt, dies geschieht rechtzeitig. Als Beispiel kann hier die Gaskrise 2022 herangezogen werden. Obwohl es bereits Mitte 2021 Warnhinweise aufgrund zu geringer Gasvorräte gab, wurden diese offensichtlich ignoriert. Als die Situation dann Mitte 2022 völlig eskalierte, wurde Gas zu jedem Preis eingekauft, was die Preise zusätzlich in die Höhe trieb. Glücklicherweise war der Winter 2022/23 sehr mild, wodurch erwartete Eskalationen ausblieben.[77] Ob das auch im kommenden Winter so sein wird, wird erst die Zukunft zeigen.[78] 79 Es darf aber bezweifelt werden, dass es klug ist, sich immer häufiger auf glückliche Umstände zu verlassen.

---

73 Vgl. Blackout in der Türkei: War eine Kette von Fehlern verantwortlich?. https://www.saurugg.net/2015/blog/stromversorgung/blackout-in-der-tuerkei-war-eine-kette-von-fehlern-verantwortlich. Zugriff am 21.10.2023.

74 Vgl. Wie die Bundesregierung Milliarden für den Kohleausstieg hochrechnete. https://correctiv.org/aktuelles/2021/05/15/bundesregierung-milliarden-fuer-kohleausstieg. Zugriff am 21.10.2023.

75 Vgl. Bund reaktiviert Reserve von Kohlekraftwerken. https://www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/braunkohle-reserve-winter-100.html. Zugriff am 21.10.2023.

76 Vgl. Laufen Deutschlands Kohlekraftwerke länger als geplant?. https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/energieversorgung-laufen-deutschlands-kohlekraftwerke-laenger-als-geplant/29456270.html. Zugriff am 21.10.2023.

77 Vgl. Katastrophenwinter 2022/23 – Fiktion oder bald Wirklichkeit?. https://www.saurugg.net/wp-content/uploads/2022/07/gfkv-katastrophenwinter-2023.pdf. Zugriff am 21.10.2023.

78 Vgl. Deutschland prüft 1,9 GW Braunkohle Rückkehr für den Winter 2023-24. https://www.argusmedia.com/en/news/2479617-germany-examines-19gw-lignite-winter-202324-return. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Eine der größten Hürden bei der erforderlichen Anpassung scheint unser linearer „Entweder-oder-Denkrahmen“ zu sein. Für den Umgang mit Komplexität ist jedoch ein „Sowohl-als-auch-Denken“[80] zwingend erforderlich, welches auch mit den Widersprüchlichkeiten und Zielkonflikten umgehen kann, da diese unvermeidlich sind [vgl. Erlhofer (2023). Kapitel 4].

Eine funktionierende und bezahlbare Strom- und Energieversorgung im Allgemeinen ist eine wesentliche Voraussetzung für den gesellschaftlichen Wohlstand, sodass Eingriffe in diesen Bereich sehr sorgfältig und überlegt erfolgen sollten, was auch eine laufende Prüfung möglicher Nebenwirkungen bedingt.

Nicht aus den Augen verloren werden darf das „sekundäre Risiko“. Darunter sind unkalkulierbare gesellschaftliche „Nebenwirkungen“ zu verstehen, die sich in politischem Vertrauensverlust, Politikverdrossenheit, Wutbürgertum und Abwendung von konventionellen politischen Strukturen äußern. Diese lassen sich nicht mit den eingespielten Ritualen einer „klassischen Risikoabschätzung“ beruhigen.

79 Vgl. Ungewisse Stromlage für den kommenden Winter. https://www.srf.ch/news/schweiz/energieversorgung-ungewisse-stromlage-fuer-den-kommenden-winter. Zugriff am 21.10.2023.

80 Vgl. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/#sowohl-als-auch. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

## 2 Ein überregionaler Stromausfall („Blackout“)

Eine überregionale Großstörung in Form eines Blackouts ist Folge eines massiven Leistungsungleichgewichts im europäischen Verbundsystem. Grundsätzlich gibt es umfangreiche Sicherheitsmechanismen, um ein solch schwerwiegendes Ereignis zu verhindern. Eine hundertprozentige Sicherheit gibt es jedoch nicht, wie auch die europäischen Übertragungsnetzbetreiber 2015 nach dem Blackout in der Türkei deutlich gemacht haben:

> *“A large electric power system is the most complex existing man-made machine. Although the common expectation of the public in the economically advanced countries is that the electric supply should never be interrupted, there is, unfortunately, no collapse-free power system.”* [ENTSO-E (2015). S. 46.]

Die Folge eines solchen Leistungsungleichwichtes wäre eine großflächige, vollautomatische Abschaltung von Kundenanlagen und Betriebsmitteln innerhalb von Sekunden bis Minuten. Teilen des Übertragungsnetzes oder dem gesamten Verteilernetz fehlt dann die Spannung. Diese Maßnahmen dienen dem Schutz der Betriebsmittel vor physischen Schäden.

Je nach Größe und Ursache des Ausfalls sind dann unterschiedliche „Schwarzfallkonzepte“ für den Netzwiederaufbau erforderlich. Sollte der Ausfall nicht zu großflächig sein und genügend Spannung aus benachbarten Netzregionen zur Verfügung stehen, kann der Netzwiederaufbau wahrscheinlich durch einfache Weiterschaltmaßnahmen relativ rasch erfolgen.

Sollte dies, aus welchen Gründen auch immer, nicht möglich sein, erfolgt ein Schwarzstart mit eigens dafür vorbereiteten und geeigneten schwarzstartfähigen Kraftwerken, von denen es nur wenige gibt. Denn die meisten Kraftwerke können nicht ohne externe Spannung hochfahren.

In Österreich sind es etwa 2, in der Schweiz 4 schwarzstartfähige Kraftwerke. Es gibt zwar in Österreich noch eine Reihe weiterer kleiner Anlagen. Die Anzahl allein sagt jedoch noch nichts über die Geschwindigkeit des Netzwiederaufbaus aus. Denn mehr Anlagen bedeuten in der Regel eher weniger Leistung und mehr Koordinationsaufwand.

Der Netzwiederaufbau wird regelmäßig an Simulatoren geübt. Ob dann in der Realität alles so funktioniert, wie geplant, weiß man vorher nicht. Bei Realübungen treten auf jeden Fall immer wieder kleinere und größere Überraschungen auf.

DUtrain betreibt in Duisburg ein eigenes, unabhängiges Trainingszentrum, in dem Schulungen und Seminare zu den Themen Erzeugung, Transport und Verteilung von elektrischer Energie und Erdgas angeboten werden. Das Betriebspersonal zahlreicher nationaler und internationaler Netz- und Kraftwerksleitstellen hat sich hier auf zu erwartende kritische Ereignisse vorbereitet.

Die Übertragungsnetzbetreiber Amprion und TransnetBW haben am 30. April 2022 gemeinsam mit der Schluchseewerk AG unter realen Bedingungen geübt. Im Gegensatz zu bisherigen virtuellen Simulationen wurde ein Teil des realen Netzes abgekoppelt, abgeschaltet und wieder aufgebaut. Amprion schreibt: „Schwerwiegende Störungen sind rar. Das System ist so ausgelegt, dass auch bei Fehlern keine Einschränkungen bei Endkunden entstehen. Dennoch kann auch das Übertragungsnetz theoretisch an seine technischen Grenzen kommen – es käme im schlimmsten Fall zu einem europäischen Blackout. In diesem unwahrscheinlichen Fall ist das ganze Übertragungsnetz spannungsfrei, es fließt kein Strom. Bevor wieder Endkunden versorgt werden können, muss das Übertragungsnetz Schritt für Schritt unter Spannung gesetzt werden.“[81] Diese Übung wurde über einen Zeitraum von vier Jahren vorbereitet. Unter der Projektleitung von Amprion wurden detaillierte Planungen erarbeitet und abgestimmt. Der Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiemanagement der Technischen Universität Kaiserslautern unterstützte unter anderem beim Aufbau von Messeinrichtungen, mit denen das Netz während des Umbaus in allen Bereichen vermessen werden konnte. „Einen solchen Versuchsaufbau gab es bisher in Deutschland nicht, der Messaufwand war der größte seiner Art.“ Die gewonnenen Daten werden nun gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme der Universität Duisburg-Essen ausgewertet und aufbereitet. Das alles würde nicht gemacht und finanziert, wenn es nicht einen konkreten Bedarf gäbe. Viele Wiederherstellungskonzepte basieren auf Annahmen aus der alten Energiewelt, die mit den zunehmenden Veränderungen und der steigenden Komplexität kaum Schritt halten können. Dies betrifft insbesondere die massiven Kraftwerksstilllegungen in Deutschland, die auch bei einer Netztrennung („System Split“) wie am 8. Januar oder 24. Juli 2021 zu nicht beherrschbaren Systemzuständen führen können, wenn z.B. in einem Teilsegment zu wenig rotierende Masse vorhanden ist, um die auftretenden Lastsprünge beim Ausfall oder auch beim Wiederhochfahren abfangen zu können. Zum anderen werden für den Netzwiederaufbau zwingend verlässlich verfügbare und regelungsfähige Kraftwerke benötigt.

Es mag zwar auch Experten geben, die ein solches Ereignis für völlig unmöglich halten. Und bisher haben Experten für alle erlebten Stromausfälle Ursachen und Erklärungen gefunden: nach dem jeweiligen Vorfall. Dabei waren einige der Ursachen vorher bekannt. Dagegen wurde aber nicht immer etwas unternommen.

81 Vgl. Netzwiederaufbau in Süddeutschland - Hochfahrnetze im Praxistest. https://www.amprion.net/Netzjournal/Beiträge-2022/Hochfahrnetze-im-Praxistest.html. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Im deutschsprachigen Raum sind zwei Vorkommnisse in Erinnerung und beeinflussen die Bilder in unseren Köpfen: Der durch ein Wetterereignis verursachte großflächige Stromausfall im Münsterland am ersten Adventswochenende 2005 und der Stromausfall am Samstag, dem 4. November 2006 gegen 22:10 Uhr, der es dunkel werden ließ in Teilen von Deutschland, Frankreich, Belgien, Italien, Österreich, Spanien, und der sich sogar in Marokko auswirkte.[82]

Im ersten Fall waren es vor allem Naturgewalten, im zweiten eine durch einen menschlichen Irrtum technisch ausgelöste Kettenreaktion, die im Nachgang als Ursache festgestellt wurden [vgl. Innenministerium Baden-Württemberg (2010)].

Experten hatten schon im November 2004 (!) das Thema „Winterliche Extremwetterlage mit großflächigem Stromausfall" untersucht. Bei der ersten dreitägigen länder- und ressortübergreifenden Krisenmanagementübung (LÜKEX) war dies der hauptsächliche Untersuchungsgegenstand. Das Übungsthema „Stromausfall" war in Anlehnung an den Orkan „Lothar" gewählt worden, der 1999 in der Schweiz zu mehrtägigen Stromausfällen geführt hatte.

Im Grünbuch des Zukunftsforums Öffentliche Sicherheit (ZOES) von 2008 werden unterschiedliche Risiken beschrieben, im dritten Kapitel das Szenario „Stromausfall in Deutschland" [vgl. Reichenbach (2008)].

2008 wurde das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) beauftragt, die Folgen eines großflächigen und langandauernden Stromausfalls systematisch zu analysieren. Es sollte beschrieben werden, welche Möglichkeiten und Grenzen das nationale System des Katastrophenmanagements zur Bewältigung einer solchen überregionalen Großschadenslage hat [vgl. Petermann et al. (2010)].

Der im November 2010 vorgelegte Endbericht beschreibt, wie verletzbar Informationstechnik und Telekommunikation, Transport und Verkehr, Energieversorgung und das Gesundheitswesen sind.

2019 veröffentlichte das deutsche Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe Ergebnisse eines Forschungsprojektes mit dem Titel »Szenarienorientierte Grundlagen und innovative Methoden zur Reduzierung des Ausfallrisikos der Stromversorgung unter Berücksichtigung der Auswirkung auf die Bevölkerung« (GRASB).[83] In diesem Projekt war untersucht worden, was über bestehende Maßnahmen der Betreiber kritischer Energie-Infrastruktur und Behörden hinaus getan werden kann, um das Ausfallrisiko der Stromversorgung zu reduzieren. Damit war der Aspekt der Vorbeugung seitens des Bevölkerungsschutzes in den Fokus gerückt. Doch wieder kam dies nahezu ausschließlich auf der Fachebene an.

Weitere Studien haben Stromausfall und die möglichen Folgen in unterschiedlichen Zusammenhängen untersucht, zum Beispiel: TankNotStrom (Betriebsstoffversorgung von Notstromaggregaten und „Leuchtende Inseln")[84], SIMKAS-3D (Kaskadeneffekte zwischen unterschiedlichen Versorgungsinfrastrukturen).[85]

Es sollte also niemand sagen, ein Blackout wäre ein völlig undenkbares Ereignis. Es ist wie mit der Pandemie, die unser Leben innerhalb weniger Tage auf den Kopf stellen konnte. Auch sie war bis März 2020 für Experten keine Unbekannte. Nur für viele Entscheidungsträger und die Bevölkerung schien sie als nicht vorstellbar. Damit reiht sie sich ein in Ereignisse, wie auch den erneuten konventionellen Krieg in Europa oder die Zerstörung einer zentralen Infrastruktur wie Nord Stream 1 und 2. Deshalb sei an dieser Stelle nochmals an die Truthahn-Illusion erinnert [vgl. Erlhofer (2023). Kapitel 2].

## 2.1 Definition Blackout

Da es keine allgemeingültige Definition für den Begriff „Blackout" gibt, ist es wichtig, eine solche für die vorliegende Betrachtung bereitzustellen. In diesem Sinne versteht der Autor unter einem Blackout:

> *Einen plötzlichen, überregionalen, zumindest mehrere Staaten oder größere Staatsgebiete umfassenden und länger andauernden Strom-, Infrastruktur- sowie Versorgungsausfall. Eine Hilfe von außerhalb ist nicht zu erwarten.* [86]

Diese Definition widerspricht der inflationären Verwendung des Begriffs in vielen Medien für nahezu jeden Stromausfall. Dadurch wird eine fundierte Diskussion oft erschwert. Auch in der Energiewirtschaft beschränkt sich die Betrachtung häufig nur auf die Dauer des Stromausfalls, was viel zu kurz greift und damit für die notwendige Krisenvorsorge kontraproduktiv ist. Siehe etwa die Definition des österreichischen Übertragungsnetzbetreibers Austrian Power Grid:[87]

82 Vgl. Historische Stromausfälle. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/#sowohl-als-auch. Zugriff am 21.10.2023.

83 Vgl. https://www.sifo.de/sifo/de/projekte/schutz-kritischer-infrastrukturen/schutz-vor-ausfall-von-versorgungsinfrastrukturen/grasb/grasb-szenarienorientierte-gru-wirkungen-auf-die-bevoelkerung.html. Zugriff am 21.10.2023.

84 Vgl. https://www.sifo.de/sifo/de/projekte/schutz-kritischer-infrastrukturen/schutz-vor-ausfall-von-versorgungsinfrastrukturen/tanknotstrom/tanknotstrom-energie-und-kraft-romaggregaten-bei-stromausfall.html. Zugriff am 21.10.2023.

85 Vgl. https://www.sifo.de/sifo/de/projekte/schutz-kritischer-infrastrukturen/schutz-vor-ausfall-von-versorgungsinfrastrukturen/simkas-3d/simkas-3d_node.html. Zugriff am 21.10.2023.

86 In Anlehnung an den wissenschaftlichen Bericht Energiezelle F. www.saurugg.net/ezf. Zugriff am 21.10.2023.

87 Vgl. Austrian Power Grid: Sichere Stromversorgung, FAQ. https://www.apg.at/stromnetz/sichere-stromversorgung. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

*„Unter einem Blackout versteht man einen unerwarteten, großflächigen, überregionalen Stromausfall – unabhängig von dessen Dauer."*

Großflächige Stromausfälle treten in verschiedenen Regionen der Welt immer wieder auf. Europa ist bisher von solchen Ereignissen weitgehend verschont geblieben, sieht man von den Blackouts in Teilen von Deutschland/Österreich/Schweiz (1976), Italien (2003) oder der Türkei (2015) ab.88 Alle anderen großen Stromausfälle wie im Münsterland (2005), in Slowenien (2014) oder auch der großflächige Lastabwurf in Westeuropa (2006) waren keine wirklichen Blackouts, da es nicht zu einem großflächigen Systemzusammenbruch kam, bei dem die Frequenz im betroffenen Gebiet komplett auf null gefallen wäre.

Die eigentliche Gefahr geht also nicht vom Stromausfall aus, sondern von den daraus resultierenden und länger andauernden Versorgungsunterbrechungen in allen Lebensbereichen, die unsere heutige (unvorbereitete) Gesellschaft innerhalb weniger Tage an den Rand des Zusammenbruchs bringen können. Dies auch deshalb, weil aufgrund des Ausmaßes des Ereignisses kaum mit einer Hilfe von außerhalb des betroffenen Gebietes zu rechnen ist, da jeder selbst betroffen ist und kaum freie Ressourcen zur Verfügung stehen werden.

Bereits ein großflächiger Stromausfall von nur wenigen Stunden, der sich über größere Gebiete oder mehrere Staaten erstreckt, hätte das Potenzial, schwerste Folgeschäden in Produktion und Logistik auszulösen, da weder die Bevölkerung noch die Unternehmen oder der Staat auf solche Ereignisse vorbereitet sind. Dies wurde bereits 2010 in der Studie des Büros für Technikfolgenabschätzung „Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften - am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung" festgestellt:

*„Aufgrund der nahezu vollständigen Durchdringung der Lebens- und Arbeitswelt mit elektrisch betriebenen Geräten würden sich die Folgen eines langandauernden und großflächigen Stromausfalls zu einer Schadenslage von besonderer Qualität summieren. Betroffen wären alle Kritischen Infrastrukturen, und ein Kollaps der gesamten Gesellschaft wäre kaum zu verhindern. Trotz dieses Gefahren- und Katastrophenpotenzials ist ein diesbezügliches gesellschaftliches Risikobewusstsein nur in Ansätzen vorhanden." [Petermann et al. (2010). S. 4.]*
*„Die Folgenanalysen haben gezeigt, dass bereits nach wenigen Tagen im betroffenen Gebiet die flächendeckende und bedarfsgerechte Versorgung der Bevölkerung mit (lebens)notwendigen Gütern und Dienstleistungen nicht mehr sicherzustellen ist."* [Petermann et al. (2010). S. 15.]

Die gesellschaftliche Verwundbarkeit hat in den vergangenen 10 Jahren mit Sicherheit weiter zugenommen. Der Vorsorgegrad ist in dieser Zeit tendenziell gesunken, da auch in vielen Betrieben oder beim Staat selbst aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen Rückfallebenen, Reserven und Vorräte gerne als „totes Kapital" eingespart wurden. Erst dadurch wird ein mögliches Blackout wirklich zu einer realen und unterschätzten Bedrohung für die Gesellschaft.

### 2.1.1 Strommangellage

Was in Expertenkreisen durchaus für wahrscheinlicher gehalten wird, ist eine Strommangellage. Das bedeutet, dass sich eine massive Deckungslücke bereits im Vorhinein abzeichnet. Je nach Region und Problem kann sich dies sehr kurzfristig, Stunden oder Tage im Voraus ankündigen. In der Schweiz rechnet man eher mit einer längeren Vorlaufzeit, aber auch mit einer möglichen Mangelsituation über Wochen.

Sollte der Bedarf nicht ausreichend verringert werden können, muss eine Strommangelbewirtschaftung in Form von präventiven Abschaltungen von Verbrauchern („Brownout") durchgeführt werden, um einen ungeplanten großflächigen Ausfall zu verhindern. Im besten Fall betrifft dies nur Großverbraucher, die sich vertraglich dazu bereit erklärt haben und dafür eine Vergütung erhalten. Sollte dies nicht ausreichen, könnten auch rollierende flächendeckende Abschaltungen notwendig werden, wie z.B. im Winter 2021/22 im Kosovo[89] oder in der Türkei[90].

In den vergangenen Jahren gab es auch in Belgien[91] oder Frankreich[92] entsprechende Vorbereitungen, welche aber bisher nicht eingesetzt werden mussten. Auch in der Schweiz wurden im Winter 2021/22 viele Unternehmen vor möglichen Rationierungen gewarnt.[93]

88 Vgl. Historische Stromausfälle. https://www.saurugg.net/hintergrundthemen/#sowohl-als-auch. Zugriff am 21.10.2023.
89 Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_historischer_Stromausf%C3%A4lle. Zugriff am 21.10.2023.
90 Vgl. https://www.handelsblatt.com/politik/international/erdgasmangel-es-herrscht-panik-tuerkische-regierung-schaltet-der-industrie-im-land-den-strom-ab/28001710.html. Zugriff am 21.10.2023.
91 Vgl. https://www.saurugg.net/?s=belgien. Zugriff am 21.10.2023.
92 Vgl. https://www.saurugg.net/?s=frankreich. Zugriff am 21.10.2023.
93 Vgl. https://www.ostral.ch/de. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org
**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Nur wenige europäische Unternehmen und Infrastrukturbetreiber wären heute auf eine solche Situation vorbereitet. Ähnlich wie bei einem Blackout wäre mit erheblichen Schäden und Störungen in anderen Infrastrukturbereichen und damit in der gesamten Logistik zu rechnen. Auch hier werden die vielschichtigen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten häufig unterschätzt, wie bereits im Rahmen der Schweizer Sicherheitsverbundübung 2014 gewarnt wurde:

> *„Nicht der Stromausfall, sondern die lang andauernde Strommangellage zeichnet sich als grösste Herausforderung im Szenario der SVU 14 ab. Ein Totalausfall gewisser kritischer Infrastrukturen ist sehr wahrscheinlich, denn weniger Strom heisst oft nicht, dass weniger geht, sondern, dass gar nichts geht. Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) steuern wichtige Systeme (Transport, Telefonie, Lagerhaltung, Zahlungsverkehr etc.). Nichts geht heute mehr ohne IKT, aber ohne Strom geht IKT nicht. In dieser Situation sind Diesel oder andere Treibstoffe als Ersatz für lokale Stromproduktion unabdingbar. Die Aufrechterhaltung der Grundversorgung der Bevölkerung mit Gebrauchs- und Verbrauchsgütern wird sehr schnell zentral und sehr schwierig machbar. Da zudem die üblichen Kommunikationswege sehr eingeschränkt sind, ist eine langandauernde Strommangellage nicht zu unterschätzen, sondern eine Herkulesaufgabe für alle Beteiligten.“*[94]

Eine länger andauernde Strommangellage könnte auch durch ein Blackout entstehen, wenn dabei Betriebsmittel beschädigt werden und dadurch über eine längere Zeit keine ausreichenden Erzeugungs- und/oder Übertragungskapazitäten zur Verfügung stehen. In der Schweiz gilt ein solches Szenario bereits seit 2012 als das wahrscheinlichste und gleichzeitig gravierendste Risiko für die Schweiz.[95]

## 2.2 Folgen und Dauer eines Blackouts

Eine europaweite, länderübergreifende Großstörung würde unmittelbar zu einem großflächigen Ausfall der meisten Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) führen [vgl. Petermann et al. (2010), Reichl et al. (2015), Erlhofer (2023)]. Dies würde mit der Telekommunikation (Mobilfunk, Festnetz, Internet) beginnen, womit neben der Elektrizität die beiden wichtigsten Lebensadern unserer modernen Gesellschaft ausfallen würden. In der Folge würden praktisch alle Versorgungsleistungen ausfallen oder nur noch sehr eingeschränkt zur Verfügung stehen: das Finanzsystem (Geldautomaten, Kassen, Geld- und Zahlungsverkehr), der Verkehr (Ampeln, Tunnel, Bahn, Tankstellen) und damit die gesamte Versorgungslogistik (Lebensmittel, Medikamente, Waren aller Art) bis hin zu regionalen oder großflächigen Ausfällen bei der Wasserver- und Abwasserentsorgung. Ganz zu schweigen von zig-Tausenden Menschen, die möglicherweise in Aufzügen, Bahnen oder im Winter in Skiliften festsitzen würden. Nicht voll mobile Bewohner von Hochhäusern könnten ihre Wohnungen nicht mehr erreichen oder verlassen. Das Alltagsleben würde von einem Augenblick auf den anderen zum Stillstand kommen.

Ähnlich weitreichende Folgen könnte auch ein großflächiger Ausfall der Telekommunikationsinfrastruktur haben, etwa durch einen Cyber-Angriff oder durch ein schweres Erdbeben. Auch eine verschärfte Pandemie, bei der deutlich mehr Menschen gleichzeitig erkranken, würde absehbar zu massiven Versorgungsunterbrechungen und -engpässen führen. Unsere hochoptimierte und effizienzsteigernde Just-in-time-Logistik verfügt kaum mehr über entsprechende Reserven oder Rückfallebenen, um die zu erwartenden weitreichenden Infrastruktur- oder Personalausfälle kompensieren zu können.

Die Fragilität der Logistikketten [vgl. CSH (2020)] konnte im Jahr 2021 an mehreren Beispielen beobachtet werden. Bei einem Blackout, bei dem größere Teile Europas gleichzeitig zum Erliegen kommen, wären die Auswirkungen um ein Vielfaches gravierender. Daher ist auch mit einer globalen Schockwirkung und langen Wiederanlaufzeiten zu rechnen.

### *2.2.1 Phase 1 – totaler Strom- und Infrastrukturausfall*

Ein Blackout kann in drei wesentliche Phasen unterteilt werden:

In Österreich wird etwa mit einem rund 24-stündigen Stromausfall gerechnet.[96] Teile der regionalen Stromversorgung können wahrscheinlich deutlich schneller wiederhergestellt werden. In anderen Teilen kann es auch länger dauern. Ballungsräume sollen mit Priorität wieder versorgt werden.

Österreich hat durch zwei große, schwarzstart- und regelfähige Pumpspeicherkraftwerke beim Netzwiederaufbau gegenüber vielen anderen Ländern einen großen Vorteil. Dadurch wäre ein wesentlich rascherer Netzwiederaufbau als in vielen anderen Ländern möglich.

Auf europäischer Ebene wird je nach Ausfallszenario durchaus mit einer Wiederherstellungszeit von bis zu einer Woche gerechnet, bis die Stromversorgung wieder überall stabil funktioniert. Ein großflächiger Stromausfall über mehrere Tage

94 SVU’14 – Newsletter Juni. https://www.saurugg.net/2014/blog/newsletter/svu14-newsletter-juni. Zugriff am 21.10.2023.

95 Vgl. https://www.saurugg.net/?s=risikobericht+schweiz. Zugriff am 21.10.2023.

96 Vgl. „Blackout"-Gefahr: Stromausfall-Vorsorge in Österreich wird verstärkt. https://www.tt.com/artikel/30802053/blackout-gefahr-stromausfall-vorsorge-in-oesterreich-wird-verstaerkt. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

hätte aber für die betroffene Region katastrophale Folgen, wie bereits 2010 das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag gewarnt hat:

> *„Spätestens am Ende der ersten Woche wäre eine Katastrophe zu erwarten, d. h. die gesundheitliche Schädigung bzw. der Tod sehr vieler Menschen sowie eine mit lokal bzw. regional verfügbaren Mitteln und personellen Kapazitäten nicht mehr zu bewältigende Problemlage."* [Petermann (2010). S. 10.]

Die Schätzungen, ob es nur Stunden, Tage oder vielleicht sogar Wochen dauern könnte, gehen dabei weit auseinander und sind auch mit vielen Unsicherheiten verbunden.

In jedem Fall hängt die tatsächliche Dauer wesentlich vom Auslöseereignis und der Größe des ausgefallenen Gebietes ab. Kann ausreichend Spannung aus benachbarten, nicht ausgefallenen Netzbereichen weitergeschaltet werden, kann die Wiederherstellung auch deutlich schneller gehen. Wurde die Infrastruktur während des Ausfalls beschädigt oder gar sabotiert, kann es auch deutlich länger dauern. Steht nach dem Wiederhochfahren nicht genügend Kraftwerksleistung zur Verfügung, kann auch eine Strommangelbewirtschaftung erforderlich werden. Es gibt also viele Unsicherheitsfaktoren.

Viele andere Infrastrukturen sollten erst dann wieder ans Stromnetz gehen, wenn die Stromversorgung ausreichend stabil und zuverlässig funktioniert. Andernfalls können Spannungs-, Strom- und Frequenzschwankungen zu weiteren Schäden an Anlagen und Infrastrukturen führen. Daher sollte mit der Wiederinbetriebnahme möglichst lange zugewartet werden, bis klar kommuniziert wird, dass das europäische Verbundsystem wieder ausreichend stabil funktioniert und kein erneuter unmittelbarer Ausfall droht. Dies auch deshalb, weil es Erfahrungen aus dem simulationsgestützten Netzwiederaufbau-Training gibt, die zeigen, dass es beim Zusammenschalten von Teilnetzen immer wieder zu Totalausfällen kommt.

Für den Fall eines Stromausfalls werden in verschiedenen kritischen Bereichen Notstromaggregate vorgehalten. Aber auch hier zeigt sich, dass die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit häufig überschätzt werden,[97] was sich etwa beim 31-stündigen Stromausfall in Berlin-Köpenick im Februar 2019 gezeigt hat, wo das Notstromaggregat der DRK-Klinik nach 7 Stunden Notstrombetrieb ausgefallen ist. 23 Intensivpatienten mussten evakuiert werden.[98] Bei einem Blackout wäre das nicht möglich.

Im Weißbuch-Netz-und-Versorgungswiederaufbau-2030 beschreiben die deutschen Übertragungsnetzbetreiber, dass

> *„Nach einer Risikobewertung der ÜNB (…) aufgrund der Änderungen im Erzeugungsportfolio, der Dezentralisierung der Erzeugungsleistung und dem Wegfall thermischer Großkraftwerke, der Netzwiederaufbau kleinteiliger und komplexer [wird], was sich negativ auf die zu erwartende Dauer des Netz- und Versorgungswiederaufbaus auswirkt. Daher wurde die im Artikel 41 der ER VO geforderte mindestens 24-stündige Schwarzfallfestigkeit in Deutschland auf 72 h erhöht. Die ÜNB folgen hiermit einer Empfehlung des „Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe" (BBK) für Betreiber kritischer Infrastrukturen."*[99]

Dennoch weisen sie darauf hin, dass es

> *„… mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht möglich sein, einen überwiegenden Anteil der kleinteiligen DEA über 72 h schwarzfallfest anzubinden."*

Die ÜNB sind sich also keineswegs sicher, innerhalb von drei Tagen, das Versorgungsnetz wieder komplett herstellen zu können. Sie beschreiben schon 2020 in ihren „Betrachtungen zum Netz- und Versorgungswiederaufbau":

> *„Für die Zeitdauer des Netzwiederaufbaus bedeutet dies, dass die ÜNB heute wie zukünftig den Abschluss des Maßnahmenpakets „Netzwiederaufbau ÜNB" so schnell wie möglich vorantreiben werden. Es wird jedoch kontinuierlich überprüft werden müssen, ob die Zeitspanne von 24 Stunden bzw. perspektivisch 72 Stunden auch zukünftig im Hinblick auf die sich ändernden Rahmenbedingungen eingehalten werden kann."*[100]

---

97 Vgl. Was so alles schief gehen kann und geht. https://www.saurugg.net/blackout/auswirkungen-eines-blackouts/was-so-alles-schief-gehen-kann-und-geht. Zugriff am 21.10.2023.

98 Vgl. https://www.ostral.ch/de. Zugriff am 21.10.2023.

99 Weißbuch_NWA_VWA_2030. https://www.netztransparenz.de/Weitere-Veroeffentlichungen/Wei%C3%9Fbuch-Netz-und-Versorgungswiederaufbau-2030. Zugriff am 21.10.2023.

100 Betrachtungen zum Netz- und Versorgungswiederaufbau, Teil des Berichts der Deutschen Übertragungsnetzbetreiber gem. § 34 (1) KVBG, Bayreuth, Berlin, Dortmund, Stuttgart 22.12.2020. https://www.netztransparenz.de/portals/1/20201222%204UeNB%20Bericht_%C2%A7%2034%20KVBG.pdf. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Aber nicht jedes Notstromaggregat verhält sich so, wie geplant. Ein häufiges Problem ist die Treibstoffqualität der Notstromaggregate, wie eine deutsche Untersuchung aus dem Jahr 2014 gezeigt hat. Damals waren rund 60 % des untersuchten Treibstoffs defekt oder mangelhaft. Nur 6 % war einwandfrei.[101]

Generell zeigt sich, dass eine Notstromversorgung auch regelmäßig über einen längeren Zeitraum getestet werden sollte, um wirklich davon ausgehen zu können, dass sie im Bedarfsfall reibungslos funktioniert.[102] Es gibt zu viele potenzielle Fehlerquellen.

**Abb. 1:** Phasen eines Blackouts

### *2.2.2 Phase 2*

Bisher konzentrieren sich viele Vorbereitungen ausschließlich auf diese Phase 1 des Stromausfalls, was deutlich zu kurz greift. Völlig unterschätzt wird die Phase 2, bis nach dem Stromausfall die Telekommunikationsversorgung mit Festnetz, Mobilfunk und Internet wieder weitgehend stabil funktionieren sollte. Zu erwartende schwerwiegende Hardwareausfälle und Störungen sowie massive Überlastungen beim Wiederhochfahren führen dazu, dass mit einer Wiederherstellungszeit von mindestens mehreren Tagen zu rechnen ist. Je länger der Stromausfall dauert, desto schwerwiegendere Schäden sind insbesondere in den Backbone-Systemen zu erwarten.

In den Regionen, in denen der Stromausfall länger als 48-72 Stunden dauert, ist die Wiederherstellungszeit dieser Kerninfrastrukturen nur mehr schwer kalkulierbar, da bis dahin in der Regel die meisten Notstromeinrichtungen ausgefallen sein werden. Dann ist mit großen Schäden an IT-Komponenten zu rechnen.

Das Hauptproblem sind ausgetrocknete Elektrolytkondensatoren. Dies macht sich im Betrieb nicht bemerkbar. Fällt jedoch der Strom aus, kommt es beim Wiedereinschalten zur Zerstörung dieses Bauteils, womit die ganze Komponente ausfällt.

Es ist zu erwarten, dass dies zu einem Ersatzteilproblem führen wird, da eine kurzfristige externe Ersatzbeschaffung aufgrund der fehlenden Kommunikationsmöglichkeiten und den hohen Gleichzeitigkeitsanforderungen kaum möglich sein wird.

Derartige Ausfälle und Störungen können in jeder Infrastruktur auftreten, insbesondere wenn diese grundsätzlich nie abgeschaltet wird, was auch die ganze Gebäudeleittechnik betrifft. Würde eine regelmäßige Komplettabschaltung erfolgen, würden diese Defekte regelmäßig auffallen und könnten rechtzeitig behoben werden. In vielen komplexen Anlagen ist jedoch ein Abschalten nicht mehr möglich. Deshalb kumulieren sich hier die vorhersehbaren Probleme und werden dann gleichzeitig wirksam.[103] Eine fatale Entwicklung.

Ohne Telekommunikationsversorgung funktionieren jedoch weder Produktions- noch Logistikketten noch die Treibstofflogistik und damit auch keine Versorgung der Bevölkerung mit lebenswichtigen Gütern und Dienstleistungen.

Auch die Gesundheitsversorgung (Krankenhäuser, niedergelassene Ärzte, Apotheken, Pflege usw.) wird nur eingeschränkt oder gar nicht funktionieren. Krankenhäuser verfügen zwar über eine Notstromversorgung. Diese kann jedoch häu-

101 Vgl. Neue Erkenntnisse zur Lagerfähigkeit von Brennstoffen für Netzersatzanlagen. https://www.saurugg.net/2015/blog/stromversorgung/neue-erkenntnisse-zur-lagerfaehigkeit-von-brennstoffen-fuer-netzersatzanlagen. Zugriff am 21.10.2023.

102 Vgl. Blackout-Vorsorge: Der Teufel steckt im Detail. https://www.saurugg.net/2020/blog/krisenvorsorge/blackout-vorsorge-der-teufel-steckt-im-detail. Zugriff am 21.10.2023.

103 Vgl. Stromausfall im MDR-Funkhaus in Halle. https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen-anhalt/halle/halle/funkhaus-halle-stromausfall-100.html. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org
**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

fig nur die wichtigsten Bereiche versorgen. Zum anderen besteht eine sehr hohe Abhängigkeit von externen Ver- und Entsorgungsleistungen, sodass die medizinische Versorgung schnell nur noch sehr eingeschränkt möglich sein wird. Besonders kritisch wird sich die Personalverfügbarkeit auswirken [vgl. Petermann et al. (2010)].

Gleichzeitig kommen die Studie „Ernährungsvorsorge in Österreich" [vgl. Kleb et al. (2015)] sowie vergleichbare Studien aus Deutschland zu dem Ergebnis, dass sich spätestens am vierten Tag einer blackoutbedingten Versorgungsunterbrechung rund ein Drittel der Bevölkerung nicht mehr in der Lage sieht, sich ausreichend selbst versorgen zu können. Nach sieben Tagen könnten bereits rund zwei Drittel oder rund sechs Millionen Menschen in Österreich davon betroffen sein.

Touristen oder Pendler, die in jedem Fall auf fremde Hilfe angewiesen sein werden, sind dabei noch kaum berücksichtigt. Es gibt keine staatlichen oder sonstigen Vorkehrungen, die ein solches Großereignis auffangen könnten. Auch die Helfer und ihre Familien sind von den Auswirkungen unmittelbar betroffen.

Erst diese Verkettung aller Auswirkungen führt zu einer wirklichen Katastrophe.

Zwar gibt es seit jeher Empfehlungen, dass die Bevölkerung einen persönlichen Notvorrat anlegen sollte, aber spätestens nach dem Ende des Kalten Krieges vor über 30 Jahren wurde diese Praxis in weiten Teilen Mitteleuropas eingestellt. Das ist der Fluch der sehr hohen Versorgungssicherheit in allen Lebensbereichen, ob Strom, Wasser, Lebensmittel oder Gesundheit: Es ist immer etwas da, und wenn es ein Problem gibt, ist schnell jemand zur Stelle und hilft.[104] Bei einem Blackout wird das nicht funktionieren.

Daher sind Vorsorgeempfehlungen wie „Guter Rat – Notvorrat" in der Schweiz[105], die Empfehlungen des deutschen Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)[106] oder des österreichischen Zivilschutzverbandes[107] aktueller denn je. Sie kommen nur selten bei der breiten Bevölkerung an.

Die Gesellschaft für Krisenvorsorge (GfKV)[108] versucht deshalb mit der Initiative „Mach mit! Österreich wird krisenfit!"[109] oder „Schritt für Schritt krisenfit"[110] dieses Thema wieder gesellschaftsfähig zu machen und aus der Nischenecke hervorzuholen.

Ein Grundproblem liegt sicher in der unzureichenden Risiko- und Sicherheitskommunikation, um der Bevölkerung die Notwendigkeit von Vorsorge zu vermitteln. Und zwar nicht erst, wenn eine Krise bereits eingetreten ist, sondern bereits lange vorher. Daher kommt es in tatsächlichen Krisensituationen auch schnell zu Überreaktionen, wie beispielsweise vor dem ersten Lockdown im Jahr 2020 mit dem übermäßigen Einkauf von Toilettenpapier oder Kaliumiodidtabletten im März 2022. Der Gesellschaft fehlt eine allgemeine Risikomündigkeit und Krisenfitness, um mit außergewöhnlichen Ereignissen umgehen zu können.[111] Dies war zum Glück nun jahrzehntelang nicht wirklich notwendig, scheint aber heute mehr und mehr zum Gebot der Stunde zu werden.

### *2.2.3 Phase 3*

Auch wenn der Strom wieder da ist und die Telekommunikation wieder funktioniert, ist die Krise noch länger nicht überwunden. Die anschließende Phase 3 wird je nach betroffenem Bereich Wochen, Monate oder sogar Jahre dauern. Beispielsweise ist in der industrialisierten Landwirtschaft zu erwarten, dass innerhalb weniger Stunden Millionen Tiere in Europa verenden könnten.[112] [113]

---

104 Vgl. Alltagsrisiken: Internationale Studie zeigt geringe Risikokompetenz in der Bevölkerung. https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20230915_OTS0107/alltagsrisiken-internationale-studie-zeigt-geringe-risikokompetenz-in-der-bevoelkerung-bild. Zugriff am 21.10.2023.

105 Vgl. https://blog.alertswiss.ch/de/rubriken/vorsorge/notvorrat/. Zugriff am 21.10.2023.

106 Vgl. https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/warnung-vorsorge_node.html. Zugriff am 21.10.2023.

107 Vgl. http://zivilschutzverband.at/de/aktuelles/33/Bevorratung-Checkliste. Zugriff am 21.10.2023.

108 https://gfkv.org. Zugriff am 21.10.2023.

109 https://www.krisenfit.jetzt. Zugriff am 21.10.2023.

110 https://www.schritt-fuer-schritt-krisenfit.de. Zugriff am 21.10.2023.

111 Vgl. Alltagsrisiken: Internationale Studie zeigt geringe Risikokompetenz in der Bevölkerung. https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20230915_OTS0107/alltagsrisiken-internationale-studie-zeigt-geringe-risikokompetenz-in-der-bevoelkerung-bild. Zugriff am 21.10.2023.

112 Vgl. SRF-Blackout Thementag – Zusammenfassung – Landwirtschaft. https://www.saurugg.net/2017/blog/stromversorgung/srf-blackout-thementag-zusammenfassung. Zugriff am 21.10.2023.

113 Vgl. Auswirkungen eines großflächigen und langandauernden Stromausfalls auf Nutztiere in Stallhaltungen. https://www.saurugg.net/2021/blog/krisenvorsorge/auswirkungen-eines-grossflaechigen-und-langandauernden-stromausfalls-auf-nutztiere-in-stallhaltungen. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Länger anhaltende Versorgungsengpässe sind daher sehr wahrscheinlich, da ein Produktionsausfall, der auch die Gemüseproduktion betreffen kann, für viele Millionen Menschen nicht einfach kompensiert werden kann. Hinzu kommen die vielfältigen transnationalen Abhängigkeiten in der Versorgungslogistik.

Ein besonderer Engpass könnten unter anderem Verpackungsmaterialien darstellen. Stehen diese nicht zur Verfügung, etwa weil es zu gravierenden Produktionsausfällen gekommen ist, können Produkte nicht mehr wie gewohnt verpackt und in Umlauf gebracht werden.

Der zu erwartende großflächige Ausfall von Kühlgeräten in vielen Supermärkten hätte enorme Auswirkungen auf die Versorgung mit zu kühlenden Waren.

In unserer hochoptimierten Just-in-Time-Logistik gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, warum die gesamte Kette ins Stocken geraten oder sogar ausfallen könnte. Davor warnte etwa der österreichische Complexity Science Hub (CSH) Wien zu Beginn der Coronapandemie. Der Zusammenbruch ganzer Branchen sei möglich, wenn einzelne Glieder der Kette ausfallen [vgl. CSH (2020)]. Ähnlich kritisch wurde auch der Krieg in der Ukraine beurteilt [vgl. CSH (2022)], auch wenn bisher schwere Verwerfungen ausgeblieben sind.

Die zu erwartenden Wiederherstellungszeiten werden daher deutlich länger dauern, als das bisher viele erwarten. Damit wird auch ein Wiederanlauf vieler Arbeitsbereiche erst dann wieder möglich sein, wenn die Grundnotversorgung mit Lebensmitteln erneut gesichert ist.

Die zu erwartenden Wiederherstellungszeiten werden daher deutlich länger sein als von vielen bisher angenommen. So wird auch die Wiederaufnahme vieler Arbeitsbereiche erst möglich sein, wenn die Grundversorgung mit Lebensmitteln wieder gesichert ist.

## 2.3 Was kann getan werden?

Kurzfristig scheint nur die Vorbereitung auf ein solch mögliches Ereignis sinnvoll zu sein, was auch generell gilt: Vorbeugung, Schutz und Sicherheit sind wichtig, aber nicht ausreichend. Wir brauchen auch hier ein „Sowohl-als-auch-Denken“: Wir sollten in der Lage sein, mit unerwarteten Ereignissen umzugehen [vgl. Weik (2010[2])] und sie zu bewältigen. Dies betrifft alle Ebenen und Bereiche. Beispielsweise ist die Verhinderung von Cyber-Angriffen enorm wichtig, dennoch ist ein Notfall- und Wiederherstellungsplan unerlässlich, auch wenn immer gehofft wird, dass er nie benötigt wird. So wie im IT-Bereich nur eine gute Backup-Strategie vor Datenverlusten schützt, sind für zu erwartende großflächige Ausfälle durch Blackouts sorgfältig geplante und aufgebaute Reserven auf allen Ebenen unverzichtbar.

Hoffnung allein reicht nicht. Wir betreiben den größten Infrastrukturumbau aller Zeiten am offenen Herzen und ohne Sicherheitsnetz. Das könnte sich als fataler Irrtum herausstellen.

Der wichtigste Schritt beginnt in den eigenen vier Wänden: Sich und die eigene Familie durch Vorratshaltung mindestens 14 Tage autark versorgen zu können. Dazu gehören mindestens zwei Liter Wasser pro Person und Tag für mindestens mehrere Tage (Phase 1 und 2). Nach dem Stromausfall kann wieder gekocht, aber nicht eingekauft werden. Lebensmittel wie Nudeln, Reis oder Konserven werden daher zusätzlich zu den ohnehin vorhandenen Vorräten für 14 Tage benötigt. Dasselbe gilt für wichtige Medikamente, Baby- und Haustiernahrung. Taschenlampen, ein batteriebetriebenes Radio, Müllsäcke und andere wichtige Utensilien. Einfach alles, was man für einen zweiwöchigen Campingurlaub mitnehmen würde [vgl. Erlhofer (2023). S. 657ff].[114]

Diese Basisvorsorge ist von zentraler Bedeutung, damit die Produktion und Logistik möglichst rasch wieder hochgefahren werden kann. Denn wenn die Menschen sich nicht mehr selbst versorgen können, werden sie auch nicht mehr zur Arbeit kommen, um die Produktion und die Systeme wieder in Gang zu bringen. Eine breite Eigenvorsorge in der Bevölkerung (=Personal) ist daher eine wesentliche Voraussetzung, um ein solches Szenario bestmöglich bewältigen zu können. Dies gilt insbesondere auch für jene Organisationen und Unternehmen, die in einem solchen Fall einen Notbetrieb aufrechterhalten müssen, also auch für die Energiewirtschaft. Andererseits kann niemand Millionen von Menschen helfen, wenn er selbst betroffen ist.

### *2.3.1 Organisatorische Maßnahmen*

Aufbauend auf der Eigenvorsorge können die notwendigen organisatorischen Maßnahmen getroffen werden. Der erste Schritt beginnt mit der Sensibilisierung des eigenen Personals, um die Eigenvorsorge zu initiieren. Zum anderen müssen umfassende Überlegungen angestellt werden, wie im Falle eines Blackouts die notwendige Kommunikation sichergestellt wer-

114 Vgl. https://www.saurugg.net/leitfaden oder https://blog.alertswiss.ch/de/rubriken/vorsorge/notvorrat (Schweiz) oder https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/warnung-vorsorge_node.html (Deutschland) oder http://zivilschutzverband.at/de/aktuelles/33/Bevorratung-Checkliste (Österreich). Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

den kann. Dies gelingt häufig nur durch Offline-Pläne, also vorbereitete Absprachen, die in schriftlicher Form vorliegen und in den Köpfen der Mitarbeiter vorhanden sein müssen. Das Schlüsselpersonal muss wissen, was zu tun ist, wenn niemand mehr erreichbar ist oder wie eine Ablöse und Versorgung funktionieren, wenn ein Notbetrieb aufrechterhalten werden muss.

Eine Alarmierung, wie sie sonst üblich ist, wird in der Regel nicht funktionieren, da die meisten Telekommunikationssysteme innerhalb weniger Minuten nach einem Stromausfall ausfallen werden. Bei der Verfügbarkeit des Personals sind insbesondere persönliche Umstände, wie z. B. die Entfernung zum Arbeitsplatz oder andere Verpflichtungen, wie z. B. die Betreuung von pflegebedürftigen Personen, Funktionen in kommunalen Krisenstäben oder Einsatzorganisationen, zu berücksichtigen. Ferner ist zu klären, wie lange die vorhandenen Ressourcen, etwa die Treibstoffmenge für Notstromaggregate oder Wasser und Lebensmittel für einen Notbetrieb reichen, da ohne entsprechende Vorbereitungen kaum mit einer Versorgung von außen zu rechnen ist. Dies geht bis hin zu Wiederanlaufplänen, bei denen zu überlegen ist, welche Voraussetzungen notwendig sind, um überhaupt wieder einen geordneten Betrieb aufnehmen zu können.
Eine Wiederaufnahme des Betriebes ist in der Regel erst in Phase 3 möglich und sinnvoll, wenn die Telekommunikation wieder ausreichend gewährleistet ist. Das heißt, wenn die eigenen Mitarbeiter wieder telefonisch erreicht werden können. Denn ohne Telekommunikation funktioniert ohnehin keine Koordination mit Kunden oder Lieferanten. Zum anderen muss erst die Grundversorgung mit Lebensmitteln wieder sichergestellt sein, bevor andere Dinge erneut benötigt werden.

## 2.4 Zusammenfassung

Ein großflächiger Stromausfall ist für viele Menschen nicht vorstellbar, weil sie ein solches Ereignis bisher nicht erlebt haben. Gleichzeitig gibt es keine hundertprozentige Sicherheit, vor allem nicht, wenn so grundlegende und oft nicht systemische Veränderungen im laufenden Betrieb stattfinden, wie sie im ersten Abschnitt beschrieben wurden.

Eine moderne Gesellschaft sollte daher auch in der Lage sein, die Frage „Was wäre wenn“ zu beantworten. Bisher verlassen sich zu viele Entscheidungsträger und auch die Bevölkerung auf das Prinzip Hoffnung. Das ist zwar wichtig, um nicht in Fatalismus zu verfallen. Aber wenn das alles ist, was man einem möglichen Ereignis entgegensetzen kann, wird es sehr schwierig, mit einer solchen möglichen Überraschung umzugehen.

Die Gründe dafür sind vielschichtig. Zum einen fehlt häufig die notwendige Fehlerkultur, um offen und transparent mit Problemen umzugehen. Zum anderen wird die politische Debatte um die notwendige Energiewende oft ideologisch, mit Scheuklappen und wenig technischem Verständnis geführt. Die zusätzliche Polarisierung (Entweder-oder-Denken) verhindert jegliche konstruktive Diskussion. Von fachlicher Seite wiederum fehlt häufig der Widerspruch. Sei es aus organisatorischen Abhängigkeiten oder weil man sich nicht als „Ewiggestriger“ abstempeln lassen möchte.

Ähnliche Phänomene sind auch bei der Krisenvorsorge zu beobachten. Unzureichende Vorsorge wird meist nur hinter vorgehaltener Hand zugegeben. Zwischen offizieller Darstellung und tatsächlicher Realität klaffen daher häufig große Lücken. Obwohl überall ähnlich gehandelt wird, besteht dennoch oft die Annahme, dass es in anderen Bereichen besser sein müsse und dort sicher alle notwendigen Vorkehrungen getroffen worden seien. So verlassen sich zu viele unbegründet auf andere. Ein großer Teil der Bevölkerung geht von der unrealistischen Annahme aus, dass der Staat in einem solchen Fall schon für sie sorgen werde.[115]

Ein möglicher und sogar sehr realistischer Blackout würde also unsere hoch technisierte und stromabhängige Gesellschaft innerhalb kürzester Zeit auf den Kopf stellen. Während bei der Coronapandemie noch eine gewisse Vorlaufzeit gegeben war und alle infrastrukturellen Leistungen aufrechterhalten werden konnten, tritt bei einem Blackout von einem Moment auf den anderen der totale Stillstand ein. Ein zeitnahes totales Chaos kann nur durch entsprechende individuelle und organisatorische Vorbereitungen abgemildert werden.

Dies erfordert oft nur einen überschaubaren Aufwand: eine persönliche Vorsorge für mindestens 14 Tage und entsprechende organisatorische Ablaufpläne, die auch weitgehend ohne technische Kommunikationsmittel funktionieren. Damit kann in der Regel viel Schaden abgewendet werden. Doch Wissen allein reicht nicht. Wir müssen auch entsprechend rasch handeln.

115 Vgl. Krisenvorsorge: Die österreichische Bevölkerung setzt auf den Staat, weniger auf Eigenvorsorge. https://viecer.univie.ac.at/corona-blog/corona-blog-beitraege/blog114. Zugriff am 21.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

## Literaturverzeichnis

Als Basis für diese umfassende systemische Betrachtung standen zahlreiche Autoren Pate: https://www.saurugg.net/ueber-mich/literaturliste

Zahlreiche Fußnoten verweisen auf Quellen auf der Website des Autors (www.saurugg.net). Hintergrund ist, dass der Autor seit 2011 auf seiner Webseite umfassende Auswertungen und Zusammenfassungen zur Verfügung stellt, die in der Regel auf mehr als eine Quelle verweisen.

ACPP (Austrian Corona Panel Project). 2021. Krisenvorsorge: Die österreichische Bevölkerung setzt auf den Staat, weniger auf Eigenvorsorge. https://viecer.univie.ac.at/corona-blog/corona-blog-beitraege/blog114/. Zugriff am 01.10.2023.

APCC (Austrian Panel on Climate Change). 2014. Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. https://austriaca.at/APCC_AAR2014.pdf. Zugriff am 01.10.2023.

BMLV (Bundesministerium für Landesverteidigung). 2019. Sicher. Und morgen? Sicherheitspolitische Jahresvorschau 2020. BMLV (Wien).

Bundesrechnungshof. 2021. Umsetzung der Energiewende im Hinblick auf die Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit bei Elektrizität. Bundesrechnungshof (Bonn).

Casti, John. 2012. Der plötzliche Kollaps von allem: Wie extreme Ereignisse unsere Zukunft zerstören können. Piper Verlag GmbH (München).

Casti, John and Jones, Roger D. and Pennock, Michael J. 2017. Confronting Complexity - X-Events, Resilience, and Human Progress. The X-Press

CSH (Complexity Science Hub Vienna). 2020. CSH Policy Brief: Wie robust sind die österreichischen Lieferketten?. https://www.csh.ac.at/wp-content/uploads/2020/06/CSH-Policy-Brief-Lieferkette-final.pdf. Zugriff am 01.10.2023.

CSH (Complexity Science Hub Vienna). 2022. CSH Policy Brief: How the war in Ukraine might affect global food supply. https://www.csh.ac.at/wp-content/uploads/2022/03/CSH-Policy-Brief-2-2022-How-the-war-in-Ukraine-might-affect-global-food-supply.pdf. Zugriff am 01.10.2023.

Dueck, Gunter. 2015. Schwarmdumm: So blöd sind wir nur gemeinsam. Campus Verlag (Frankfurt am Main).

ENTSO-E. 2015. Report on Blackout in Turkey on 31st March 2015. https://www.entsoe.eu/Documents/SOC%20documents/Regional_Groups_Continental_Europe/20150921_Black_Out_Report_v10_w.pdf. S 46. Zugriff am 01.10.2023.

Erlhofer, Peter. 2023. Blackbox Blackout – Fragen zur Komplexität von Stromausfällen – Wege zur Resilienz. Geistkirch Verlag (Saarbrücken).

Fremerey, Melinda and Obst, Thomas. 2022. Globalisierungskrise. Welche Abhängigkeiten bestehen bei kritischen Gütern und Rohstoffen aus China?, IW-Kurzbericht, Nr. 48. https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2022/IW-Kurzbericht_2022-Globalisierungskrise.pdf. (Berlin). Zugriff am 01.10.2023.

Grüter, Thomas. 2013. Offline!: Das unvermeidliche Ende des Internets und der Untergang der Informationsgesellschaft. Springer-Verlag (Heidelberg).

Innenministerium Baden-Württemberg. 2010. Krisenhandbuch Stromausfall Baden-Württemberg: Krisenmanagement bei einer großflächigen Unterbrechung der Stromversorgung am Beispiel Baden-Württemberg. Jedermann-Verlag (Heidelberg)

ITA (Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften) und AIT (Austrian Institute of Technology Innovation Systems Department). 2022. Sichere Stromversorgung und Blackout-Vorsorge in Österreich. Entwicklungen, Risiken und mögliche Schutzmaßnahmen. Österreichisches Parlament (Wien).

Kleb, Ulrike and Katz, Nicholas and Schinagl, Clemens and Angermann, Anna. 2015. Risiko- und Krisenmanagement für die Ernährungsvorsorge in Österreich (EV-A). https://www.joanneum.at/fileadmin/user_upload/imported/uploads/tx_publicationlibrary/Risiko-_und_Krisenmanagement_fuer_die_Ernaehrungsvorsorge__EV-A_.pdf. Zugriff am 01.10.2023.



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

Meadows, Dennis and Meadows, Donella and Zahn, Erich and Milling, Peter. 1973. Die Grenzen des Wachstums: Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Rowohlt Taschenbuch Verlag (Hamburg).

Meadows, Donella H. 2010. Die Grenzen des Denkens - Wie wir sie mit System erkennen und überwinden können. oekom verlag (München).

Mukerji, Nikil and Mannino Adriano. 2020. COVID-19: Was in der Krise zählt. Über Philosophie in Echtzeit. Reclam (Ditzingen).

Ossimitz, Günther and Lapp, Christian. 2006. Systeme: Denken und Handeln; Das Metanoia-Prinzip: Eine Einführung in systemisches Denken und Handeln. Franzbecker (Berlin).

Qvist, Staffan and Al Hammadi, Mohamed and Victor, David G. 2023. Meeting the Challenge of Reliability on Today's Electric Grids: The Critical Role of Inertia. https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2023/09/Insight-135-Meeting-the-Challenge-of-Reliability-on-Todays-Electricity-Grids.pdf. Zugriff am 01.10.2023.

Paulitz, Henrik. 2020. Strom-Mangelwirtschaft: Warum eine Korrektur der Energiewende nötig ist. Akademie Bergstraße (Seeheim-Jugenheim).

Palmer, Graham and Floyd, Joshua. 2020. Energy Storage and Civilization - A System Approach. Springer International (E-Book).

Petermann, Thomas and Bradke, Harald and Lüllmann, Arne and Poetzsch, Maik and Riehm, Ulrich. 2010. Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung. Bundestag (Berlin).

Reichenbach, Gerold. 2008. Risiken und Herausforderungen für die öffentliche Sicherheit in Deutschland, Berlin, Grünbuch des ZUKUNFTSFORUMS ÖFFENTLICHE SICHERHEIT. ProPress-Verl.-Ges. (Berlin).

Reichl, Johannes and Schmidthaler, Michael and de Bruyn, Kathrin. 2015. Blackoutprävention und –intervention – Endbericht. KIRAS-Sicherheitsforschung. https://energieinstitut-linz.at/wp-content/uploads/2016/06/BlackO_2_Endbericht_aa0e3.pdf. . Zugriff am 01.10.2023.

Renn, Ortwin. 2014. Das Risikoparadox: Warum wir uns vor dem Falschen fürchten. Fischer Verlag (Frankfurt am Main).

Taleb, Nassim Nicholas. 2012. Der Schwarze Schwan: Konsequenzen aus der Krise. Deutscher Taschenbuch Verlag (München),

Taleb, Nassim Nicholas. 2013. Antifragilität: Anleitung für eine Welt, die wir nicht verstehen. Albrecht Knaus Verlag (München).

Taleb, Nassim Nicholas. 2013[5]. Der Schwarze Schwan: Die Macht höchst unwahrscheinlicher Ereignisse. Deutscher Taschenbuch Verlag (München).

Thurner, Stefan. 2020. Die Zerbrechlichkeit der Welt: Kollaps oder Wende. Wir haben es in der Hand. edition a GmbH (E-Book).

Vester, Frederic. 2011[8]. Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Ein Bericht an den Club of Rome. Deutscher Taschenbuch Verlag (München).

Weick, Karl and Sutcliffe E. and Kathleen M. 2010[2]. Das Unerwartete managen: Wie Unternehmen aus Extremsituationen lernen (Systemisches Management). Schäffer-Poeschel (Stuttgart).



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org

## Autoren

**Peter Erlhofer**

geboren 1955 im Saarland, begann nach dem Abitur eine Offizierslaufbahn bei der Bundeswehr. Nach Abschluss des Studiums (Diplom-Pädagoge) durchlief er Verwendungen auf allen Führungsebenen bis hin zum Ministerium. In zwei Verwendungen war er insgesamt acht Jahre in Frankreich eingesetzt. Zuletzt war er wieder im Saarland im dortigen Landeskommando als Chef des Stabes unter anderem für die Zivil-Militärische Zusammenarbeit zuständig.

Auch nach seiner Pensionierung beschäftigte er sich intensiv mit Krisen- und Katastrophenmanagement. So unterstützte er die saarländische Ausländerbehörde in der Flüchtlingskrise 2015 - 2018.

Stromversorgung, Stromausfall, Blackout und Krisenvorsorge wurden für ihn zu bestimmenden Themen. Sein Wissen brachte er in Vorträgen an der Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein. Darüber hinaus unterstützte er seit 2013 den Saarpfalz-Kreis als ehrenamtlicher Berater im Arbeitskreis Stromausfall. Dort lag sein Schwerpunkt auf dem Themenkomplex „Handlungsempfehlungen und Empfehlungen zur Eigenvorsorge der Bevölkerung“ einschließlich der Information der Bürgermeister und der Bevölkerung. 2023 erschien sein Buch "Blackbox Blackout".

Kontakt: peter.erlhofer@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**

ist internationaler Blackout- und Krisenvorsorgeexperte, Präsident der Gesellschaft für Krisenvorsorge (www.gfkv.org), Autor zahlreicher Fachpublikationen sowie gefragter Keynote-Speaker und Interviewpartner zum Thema „überregionaler Strom-, Infrastruktur- und Versorgungsausfall (‚Blackout‘)“. Der ehemalige Berufsoffizier beschäftigt sich seit 2011 mit der zunehmenden Verwundbarkeit der Gesellschaft und der Frage, wie wir diese wieder reduzieren können. Er betreibt dazu einen umfangreichen Fachblog unter www.saurugg.net und unterstützt Kommunen, Unternehmen und Organisationen bei einer ganzheitlichen Blackout-Vorsorge.

Kontakt: herbert.saurugg@gfkv.org



**Gesellschaft für Krisenvorsorge**
Unterreit 23/5, A-5751 Maishofen
ZVR: 1702112241 | IBAN: AT27 3505 3000 4211 8125
▶ www.gfkv.org ▶ kontakt@gfkv.org

**Herbert Saurugg, MSc**
Präsident der GfKV
▶ +43 660 3633896 ▶ herbert.saurugg@gfkv.org