

VERSORGUNGSSICHERHEIT BRAUCHT DIVERSIFIZIERUNG

DOMINIK MÖST / LISA LORENZ / DIMITRIOS GLYNOS

Die Versorgungssicherheit in Deutschland muss als komplexes System betrachtet werden, das einer umfassenden Quantifizierung bedarf und durchaus Zielkonflikte hervorrufen kann.

Im Rahmen der Vorstellung des im Januar veröffentlichten Berichts der Bundesnetzagentur - spricht Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck von einer sicheren Stromversorgung bis zum Jahre 2031. [1]

Dabei sei diese auch unter verschiedenen Zukunftsszenarien, wie etwa dem Kohleausstieg bis zum Jahre 2030 und einem signifikanten Anstieg des Stromverbrauchs, zum Beispiel durch den Ausbau der Elektromobilität und dem Einsatz von Wärmepumpen, nicht gefährdet. [2]

► INFO

DEFINITION: VERSORGUNGSSICHERHEIT

Was wird unter dem Begriff Versorgungssicherheit verstanden? Die Definitionen zur Versorgungssicherheit Strom ähneln sich zumindest im Kern und können wie folgt knapp in Anlehnung an die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2000) und das Bundesamt für Energie (2003) zusammengefasst werden: „Die Versorgungssicherheit ist gewährleistet, wenn jederzeit die gewünschte Menge an Energie mit der erforderlichen Qualität im gesamten Energienetzwerk zu angemessenen Preisen erhältlich ist.“

Diverse Vorgaben verpflichten unterschiedliche Akteure zur Analyse der Versorgungssicherheit, wie z.B. das Energiewirtschaftsgesetz zur Sicherung der leistungsgebundenen Versorgung für Strom und Gas durch die Bundesnetzagentur oder das Short-term Adequacy Assessment und die Seasonal Outlook Reports.

Diversifikation ist als Strategie grundsätzlich geeignet, um Risiken zu reduzieren und Einzelrisiken zu minimieren.

Welche Indikatoren zur Bewertung der Versorgungssicherheit für Strom existieren und unter welchen Annahmen kann diese bis 2030 als gesichert angenommen werden?

In diesem Beitrag werden verschiedenen Betrachtungsweisen der Versorgungssicherheit diskutiert und in einen übergeordneten Kontext gesetzt. Hierfür wird eine separate Betrachtung der kurzfristigen und langfristigen Herausforderungen der Versorgungssicherheit für Strom vorgenommen.

Risiken für die Versorgungssicherheit

Dieser sehr umfassenden Definition (s. INFO) von Versorgungssicherheit stehen auf der Kehrseite zahlreiche Risiken entgegen, die die Versorgungssicherheit gefährden. Dabei lassen sich die Risiken entlang der energetischen Wertschöpfungskette und anhand möglicher Ursachen systematisieren (vgl. Tab. 1). Die Ursachen einer Versorgungsunterbrechung können in technische, wirtschaftliche, gesellschaftliche, politische und ökologische Ursachen sowie nach der Vorlaufzeit unterschieden werden. Die in Tab.1 aufgezeigten Ursachen sind in der Regel nicht unabhängig voneinander, so können als Beispiele ein Pipelineausfall zu höhe-

► **Tab. 1** / Ursachen zur Bedrohung der Versorgungssicherheit entlang der Wertschöpfungskette, in Anlehnung an Bundesamt für Energie (2003)

URSACHEN		WERTSCHÖPFUNGSKETTE			
		EXPLORATION ROHSTOFFE	WANDLUNG (PRODUKTION)	ÜBERTRAGUNG	VERTEILUNG
KURZFRISTIG (PANNEN/ STÖRFÄLLE)	technisch/physisch	Pipelinebruch	Kraftwerksausfall	Netzausfall (bspw. Schneelasten)	Trafoausfälle
	wirtschaftlich	Lieferung platzt	Mangelnder Anreiz für Unterhalt/neue Kapazitäten		
	gesellschaftlich/politisch	Streik/Embargo	Terror Sabotage		
	ökologisch	Trockenheit	Naturkatastrophen		
LANGFRISTIG	technisch/physisch	begrenzte Ressourcen		nicht ausreichende Leitungskapazitäten	
	wirtschaftlich	Preisgestaltung (Marktmacht)	mangelnder Anreiz für Investitionen/Preisgestaltung (Marktmacht)		
	gesellschaftlich/politisch	politische Entscheide (Förderung EE)	politische Entscheide (KKW-Ausstieg)	politische Entscheide (NIMBY)	
	ökologisch	ökologische Restriktionen (CO ₂)	Extreme Klimabedingungen		

ren Preisen oder extremere Klimabedingungen zu Nicht-Verfügbarkeiten von Kapazitäten führen.

In der jüngsten Vergangenheit war Deutschland mit unterschiedlichen Situationen konfrontiert, die die kurzfristige Versorgungssicherheit gefährdeten. So löste der Angriff Russlands auf die Ukraine eine Gaskrise aus, die mit der Lieferknappheit des Rohstoffs und entsprechend steigenden Preisen einherging. Vor diesem Hintergrund schien die Versorgungssicherheit mit Gas im vergangenen Winter vor allem in Deutschland, aufgrund seiner prägnanten Abhängigkeit von russischem Gas mit 55 % am gesamten Gasimport, gefährdet. [3] Rückblickend konnte diese Extremsituation durch ein frühzeitiges Auffüllen der inländischen Gasspeicher in Kombination mit der nachfragesenkenden Wirkung der extrem gestiegenen Preise abgewendet werden. Diese enormen Preissteigerungen haben sich auch auf den Strommarkt ausgewirkt, der zusätzlich weiteren Schocks wie dem Ausfall konventioneller thermischer Kraftwerke durch Niedrigwasser und Ausfällen französischer Kernkraftwerke infolge von Wartungen unterworfen war. Die Gefährdung der heimischen Versorgungssicherheit lag dabei jedoch nicht in technischen Ursachen, wie der Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Energie, begründet. Vielmehr sorgten die der Knappheit geschuldeten, extremen Preise und das Platzen von Lieferverträgen für massive Auswirkungen auf Industrie und Wirtschaft. Als Reaktion darauf wurde die Diversifikation der Gasimporte vorangetrieben, um die geopolitischen Herausforderungen zu meistern und die unilaterale Abhängigkeit Deutschlands bei der Rohstoffversorgung zu

reduzieren. Festzuhalten ist, dass Diversifikation als Strategie grundsätzlich geeignet ist, um Risiken zu reduzieren und Einzelrisiken zu minimieren. Zur zusätzlichen Verringerung der Gasverstromung hat die Bundesregierung einen befristeten Weiterbetrieb der letzten drei deutschen Kernkraftwerke bis Mitte April 2023 sowie mit dem Gesetz zur Bereithaltung von Ersatzkraftwerken eine Notfallbereitschaft der Kohle- und Ölkraftwerke bis Ende März 2024 beschlossen. [4]

Neben diesen krisenbedingten Bedrohungen, sind Naturkatastrophen, wie zuletzt im Ahrtal zu beobachten, ein wichtiges Thema im Rahmen der Versorgungssicherheit. In diesen Fällen sind Maßnahmen, wie die Vorbereitung der Infrastruktur durch Vorhaltung von technischem Gerät und Notstromaggregaten sowie die Einsatzbereitschaft des Technischen Hilfswerks, zur Wahrung der Versorgungssicherheit unverzichtbar, was die notwendige Bandbreite an Maßnahmen im Zusammenhang mit einer hohen Versorgungssicherheit illustriert.

Festzuhalten ist, dass die Versorgungssicherheit als komplexes System betrachtet werden muss, die einer umfassenden Quantifizierung aus verschiedenen Perspektiven bedarf, welche durchaus Zielkonflikte hervorrufen können. So wurden im vergangenen Winter zahlreiche Kohlekraftwerke reaktiviert, die eine Kompromissbereitschaft beim Klimaschutz erforderten. Diese Maßnahme zielte darauf ab, ausreichend (steuerbare) Kraftwerkskapazität zur Verfügung zu haben.

Vor dem Hintergrund des Ausbaus erneuerbarer Energien und deren wetterabhängiger Verfügbarkeit stellt sich zunehmend

die Frage, wie viel Erzeugungs- und Netzkapazität ausreichend ist. Im Folgenden wird insbesondere auf den Teilaspekt angemessener bzw. ausreichender Kapazität eingegangen, die im Englischen treffender als „adequate capacity“ bezeichnet wird.

Sie stellt eine zentrale Bedingung für Versorgungssicherheit dar und kann (angelehnt an Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (2009)) nach der Angemessenheit der Kraftwerkskapazität, der Übertragung (und Verteilung) und des Gesamtsystems unterschieden werden. Während die Angemessenheit der Erzeugung auf ausreichende Kapazität zur Deckung der Nachfrage abzielt, beschreibt die Angemessenheit der Netze (bzw. der Übertragung) die Fähigkeit, den Strom ausreichend von der Erzeugungs- zur Verbrauchsstelle transportieren zu können. Die Angemessenheit des Gesamtsystems erfordert sowohl ausreichend Kraftwerks- als auch Netzkapazitäten.

Messung von Versorgungssicherheit

Die Versorgungssicherheit kann hinsichtlich der zeitlichen Perspektive sowie in Bezug auf verschiedene Anwendungsfelder bewertet werden. So lässt sich die Versorgungssicherheit für die Vergangenheit (ex-post), die Gegenwart sowie für die Zukunft (ex-ante) analysieren, während als Anwendungsfelder die Primärenergieverfügbarkeit, (Strom-)Erzeugung, das Netz sowie die Endverbraucher identifiziert werden können. Für jede zeitliche Perspektive in Kombination mit einem Anwendungsfeld können entsprechende Indikatoren zur quantitativen Bewertung der Versorgungssicherheit herangezogen werden, wobei in diesem Beitrag die Primärenergieverfügbarkeit nicht betrachtet wird. Eine Übersicht verschiedener Bewertungsindikatoren (nur für den Energieträger Strom) kann **Tab. 2** entnommen werden.

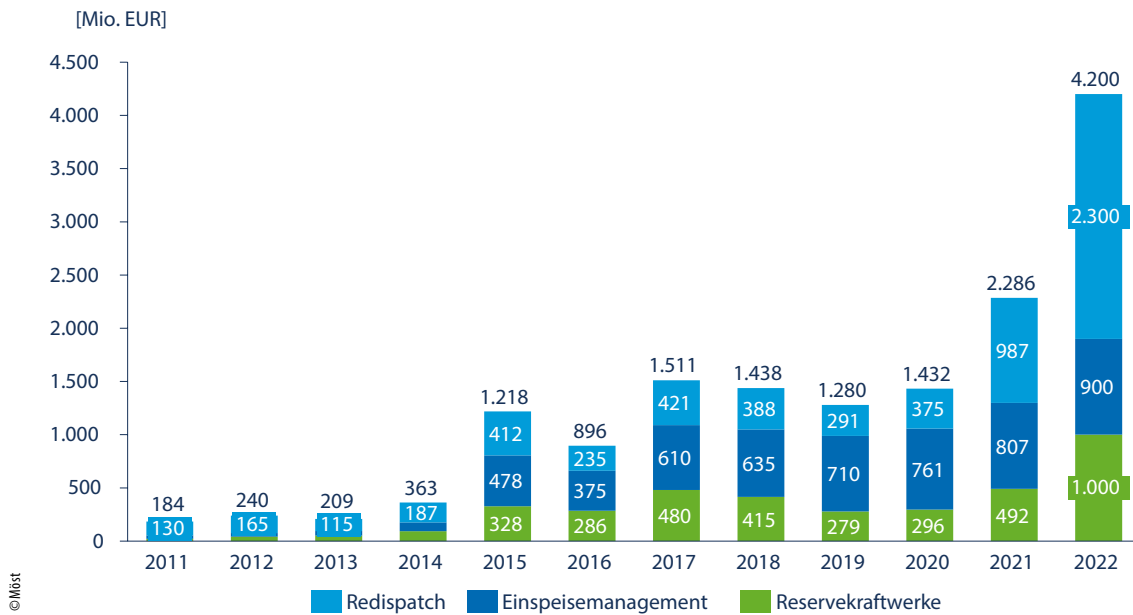
Bezugnehmend auf die Tabelle und den Energieträger Strom, ist bei der ex-post Bewertung insbesondere relevant, wie sicher die Übertragung im Stromnetz sowie die Versorgung aus Endkundensicht in der Vergangenheit war. Zu deren Messung existieren verschiedene Kenngrößen, wie der System Average Interruption Duration Index (SAIDI) oder der Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI), welche die Häufigkeit, respektive Dauer von Stromausfällen beziffern. In beiden Kategorien liegen die Indikatoren in Deutschland und auch Europa auf sehr niedrigen durchschnittlichen Ausfallwerten pro Kunde, d.h. wenige Minuten pro Jahr. So reicht die Spannbreite des SAIDI in Europa von unter zehn Minuten in Luxemburg, über zehn Minuten in Deutschland bis hin zu ca. 400 Minuten in Rumänien. [5, 6] Im Gegensatz zu anderen Regionen der Welt, wie beispielsweise Indien, wo eine unterbrechungsfreie Stromversorgung je nach Region keine Selbstverständlichkeit ist. [7] Ursachen für Stromausfälle können sehr vielfältig sein und sowohl geplant als auch ungeplant auftreten. Häufige ungeplante Ursachen sind Naturereignisse (Blitzeinschlag, Stürme, Überschwemmungen, extremer Schneefall etc.), Bagger Schäden in Erdkabeln und Überlast sowie Auslösen von Schutzrichtungen. [7] Aus den oben genannten ex-post Indikatoren lassen sich allerdings nur bedingt Aussagen für die Zukunft ableiten.

Dies wirft die Frage auf, welche Indikatoren für die Versorgungssicherheit im „Jetzt“ herangezogen werden können. Hier spielen vor allem die Stromnetze eine zentrale Rolle, da diese die Fähigkeit besitzen müssen, die Stromflüsse von der Erzeugung zur Verbrauchsstelle transportieren zu können.

Das Stromnetz muss nach dem n-1-Prinzip jederzeit den Ausfall einer Leitung verkraften können, ohne dass es zu einem Stromausfall kommt. Aufgrund der physikalischen Gegebenheiten gelingt ein Abfangen von Ausfällen von Komponenten grundsätzlich einfacher, wenn Leitungen des Übertragungsnetzes nicht

► **Tab. 2 /** Indikatoren zur Bewertung der Versorgungssicherheit in verschiedenen Dimensionen, eigene Darstellung

	ERZEUGUNG	NETZ	ENDVERBRAUCH
VERGANGENHEIT		System Average Interruption Duration Index (SAIDI)	Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)
GEGENWART	Schwarzstartfähigkeit, n-1-Kriterium		Nachfragesättigungsrate
	Zur Verfügung stehende Reserve	Engpassmanagement, Frequenz-Spannungsstabilität	
ZUKUNFT	Angemessenheit der Erzeugung (generation adequacy), verbleibende Kapazität, Loss of Load expectation (LOLE), Expected Energy not served (EENS)	Angemessenheit der Übertragung (transmission adequacy)	Lastverschiebungspotential



► **Abb. 1** / Entwicklung der Engpassmanagementkosten (basierend auf Daten der BNetzA-Monitoringberichte bzw. Netzengpassmanagement-Bericht 2022)

übermäßig stark belastet sind, da diese die durch den Ausfall auftretende Mehrlast einfacher übernehmen können. In Konsequenz können Häufigkeit und Menge von Netzengpässen als zumindest ein indirekter Indikator für einen sicheren Netzbetrieb herangezogen werden. Die Entwicklung der Engpassmanagementkosten (**Abb. 1**) zeigt, dass sich die Aufwendungen für das Netzengpassmanagement seit 2011 deutlich erhöht haben.

Die Netzengpassmanagementkosten setzen sich aus den Aufwendungen für Reservekraftwerke, für Redispatch und für Einspeisemanagement zusammen.

Auch wenn die Engpassmanagementkosten kein unmittelbarer Indikator für Versorgungssicherheit sind, so zeigen diese doch, dass die Aufwendungen für das Beheben von Engpässen im Stromnetz deutlich zugenommen haben und die Situation im Stromnetz damit gegenüber den Vorjahren als angespannter bezeichnet werden kann. Außerdem ist dies ein Indiz für die Notwendigkeit des weiteren Netzausbaus in den nächsten Jahren. Rein auf die historische Entwicklung bezogen folgt der Netzausbau Erzeugung und Verbrauch. Daher wird mit weiterem Ausbau von Windenergie der Transport elektrischer Energie von windreichen Regionen zu den Lastzentren erforderlich sein. Neben den Engpassmanagementkosten bzw. -volumen, ist auch die Entwicklung der Frequenz-Spannungsstabilität ein weiterer Indikator für einen sicheren Netzbetrieb, auf den hier aber ebenso wie auf Maßnahmen zur Reduzierung der Engpassmanagementkosten nicht weiter eingegangen wird.

Die Frage, wie sich die Versorgungssicherheit in der Zukunft entwickeln wird, hängt mit den getroffenen Maßnahmen und Entwicklungen zusammen. Dabei spielt die Angemessen-

heit der Erzeugung, der Netze und des Gesamtsystems eine wesentliche Rolle und die ex-ante Bewertung erfordert eine Analyse der erwarteten Verfügbarkeiten von Kapazitäten, Rohstoffen und Lasten unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und Risiken. Im Folgenden wird nur auf die Angemessenheit der Erzeugung eingegangen, wobei sich die Überlegungen auf die Netze und das Gesamtsystem übertragen lassen. Zukünftige Entwicklungen unterliegen Unsicherheiten und lassen sich in der Regel durch „wenn-dann-Aussagen“ beschreiben. Wenn beispielsweise bis 2030 die Kohlekapazität stillgelegt sein soll, dann müssen die Maßnahmen XYZ umgesetzt werden. Entsprechend kommen hierfür Szenarien-, Sensitivitäts- oder Fallanalysen zum Einsatz, die eine Konstruktion von Zukunftserwartungen erfordern. Dabei lassen sich die Annahmen zu den Erwartun-

► INFO

REDISPATCH UND EINSPEISEMANAGEMENT

Redispatch bezeichnet einen Eingriff des Übertragungsnetzbetreibers (zeitlich nach dem Ergebnis des Strommarktes) zur Anpassung der Leistungseinspeisung von Kraftwerken, um auftretende regionale Überlastungen einzelner Betriebsmittel im Übertragungsnetz zu vermeiden.

Einspeisemanagement bezeichnet die vom Übertragungsnetzbetreiber vorgenommene Abregelung der Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien sowie KWK- und Grubengasanlagen, um auftretende Überlastungen im Übertragungsnetz zu vermeiden.

gen in gegenwärtiges Wissen (z.B. eine Technologie mit einem Wirkungsgrad steht zur Verfügung), Einschätzungen (z.B. demografische Entwicklung zur Abschätzung der Nachfrage) und gesetzte Hypothesen (z.B. Gültigkeit des Kohleausstiegs, Ununterbrochenheit der Gasversorgung, Ausbleiben eines Kometeneinschlags usw.) unterteilen. Zur Abschätzung der erwarteten Verfügbarkeiten und der Bewertung der Versorgungssicherheit, sind Parameter wie die (erwartete) verbleibende Kapazität (Remaining Capacity), erwarteter Lastverlust (loss of load expectation, kurz: LOLE) und erwartete nicht gedeckte Lasten (Expected Energy Not Served, kurz: EENS) relevant. [9]

Herausforderungen im Stromsystem

Die Transformation des Stromsystems hin zu erneuerbaren Energien beeinflusst die Versorgungssicherheit systemisch. Nicht nur die Wetterabhängigkeit der Stromerzeugung, sondern auch Themen wie die Bereitstellung von Momentanreserve (bisher durch rotierende Massen der Synchrongeneratoren), die stärkere Dezentralität und Akteursvielfalt erfordern neue Ansätze und Methoden. Auch die zeitliche und räumliche Diskrepanz bei der Stromerzeugung wird Anpassungen im Stromnetz und -system erfordern. Wie auch im aktuellen Netzentwicklungsplan ersichtlich, wird der weitere Ausbau von erneuerbaren Energien einen Netzausbau nach sich ziehen, der einen zuverlässigen Abtransport des erzeugten Stroms zum Endverbraucher sicherstellt. Bezüglich der Angemessenheit der Ressourcen sind perspektivisch neue Verbraucher, wie Wärmepumpen, Elektromobilität und Elektrolyseure, zu berücksichtigen. Diese werden voraussichtlich flexibel (und preisgesteuert) eingesetzt, dennoch lässt sich aufgrund der Gleichzeitigkeit der Nachfrage, gerade in Wintermonaten, eine zusätzliche Last erwarten, die auch einen Anstieg der Spitzenlast impliziert. Trotz weiteren Ausbaus erneuerbarer Energien wird die Residuallast in einzelnen Stunden des Jahres zunehmen. [10] Die Erzeugung aus wetterabhängigen erneuerbaren Energien verdrängt zwar fossile Energieträger, ist aber in der Charakteristik nicht gleichzusetzen mit Kohle-, Erdgas- und Kernenergieerzeugung. Es geht um versorgungssichere, stets zur Verfügung stehende Leistung. Der Kohleberg vor dem Kraftwerk ist sinnbildlich der Energiespeicher, der bei den wetterabhängigen erneuerbaren Energien fehlt. Entsprechend wird ein Zusammenspiel der verschiedenen Flexibilitätsoptionen, d.h. Kraftwerke, Speicher, Netze, Lastflexibilität und Abregelung, zur Deckung der Residuallast beitragen.

Aus Kernenergie und Kohle auszusteigen, bedeutete bisher, auf Erdgas als Brückenenergieträger im Stromsystem zurückzu-

greifen und damit bei den (konventionellen) Energieträgern weniger diversifiziert zu sein. Erdgaskraftwerke sind in allen Zukunftsszenarien als „Brücke“ für die gesicherte Leistung vorgesehen, welche durch die Vision von „grünem“ Wasserstoff abgelöst werden soll. Selbst bei einem extrem rasanten Ausbau von erneuerbaren Energien, ist die Lücke ohne konventionelle Energieträger nicht zu schließen. Der wahre Kern der Kritik, dass die Fluktuationen bei erneuerbaren Energien weiterhin konventionelle gesicherte Leistung erfordern, offenbarte sich in der Energiekrise im vergangenen Jahr durch die pragmatischen Entscheidungen zur Wiedernutzung bereits abgeschalteter Kohlekraftwerke. Perspektivisch wird der Kohleausstieg unter der Restriktion stehen, inwieweit (wasserstofffähige) Gaskraftwerke in ausreichendem Umfang zugebaut werden. Die Bundesregierung rechnet aktuell mit einem Bedarf von bis zu 25 GW Gaskraftwerkskapazität bis 2030. Offenkundig scheinen die wirtschaftlichen Bedingungen für einen rein marktbasierten Zubau allerdings nicht auszureichen, insbesondere vor dem Hintergrund der erforderlichen Geschwindigkeit des Zubaus und der mit dem Ausbau erneuerbarer Energien weiter abnehmenden Volllaststunden der dann neuen Kapazitäten. Die Politik wird für diese Kapazitäten perspektivisch finanzielle Mittel in die Hand nehmen müssen, sofern der Kohleausstieg gelingen soll. Entsprechend werden sich auch hier wieder Zielkonflikte im Spannungsfeld des energiewirtschaftlichen Zieldreiecks zeigen.

Ausblick

Bezug nehmend auf die Aussage Habecks scheint die Stromversorgung in Deutschland deshalb sicher, weil im Zweifelsfall die Kohlekraftwerke einfach länger am Netz bleiben (werden). Mit den kürzlich verabschiedeten Gesetzen hat sich gezeigt, dass der Klimaschutz der Gewährleistung der Versorgungssicherheit untergeordnet wurde. Auch wenn sich manche Indikatoren wie das Netzengpassmanagementvolumen deutlich erhöht haben, ist die Gefährdung der Versorgungssicherheit aus technischer Sicht zwar höher als vor einigen Jahren aber weiterhin als gering einzustufen, während Einzelereignisse und Naturkatastrophen, die zu einem Ausfall führen, nie ausgeschlossen werden können.

Mit der weiteren Transformation der Energieversorgung sind allerdings an verschiedenen Stellen neue Ansätze erforderlich. Verschiedene Alternativen stehen zur Verfügung, um die unvermeidlichen, aber erwartbaren und quantifizierbaren Schwankungen und Abweichungen im künftigen Energiesystem mit einem sehr hohen Anteil an erneuerbaren Energien auf-

zufangen. Zwar besteht keine Notwendigkeit, sich auf eine einzige Option zu verlassen, doch müssen jederzeit genügend Optionen – Stichwort Diversifikation – bereitstehen, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Insbesondere ist ein hohes Maß an Flexibilität in erzeugungsschwachen und lastintensiven Phasen erforderlich, beispielsweise im Winter, wenn durch den zusätzlichen Verbrauch von Wärmepumpen systembelastende Gleichzeitigkeitseffekte auftreten. Die erfolgreiche Integration der systemdienlichen Flexibilitäten wird nur durch Anpassungen im Marktdesign gelingen.

Als allerletzte Bemerkung lässt sich festhalten: Bei der Beschaffung der notwendigen Ressourcen für die Energiewende, insbesondere Erdgas als Brückentechnologie und Wasserstoff als wichtiger Rohstoff im dekarbonisierten Energiesystem, gewinnt die Diversifizierung der Lieferanten an entscheidender Bedeutung. Nur so kann das Wiederholen von Fehlern der Vergangenheit vermieden und neue Importabhängigkeiten in Zukunft verhindert werden. ↩

Literatur:

- [1] Agora Energiewende (2022) Energiesicherheit und Klimaschutz vereinigen Maßnahmen für den Weg aus der fossilen Energiekrise
- [2] Bundesamt für Energie (2003) Versorgungssicherheit im Bereich der Elektrizität. URL <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRtaW4uY2gvZGUvcHVibGJjYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvNDk0.html>
- [3] Bundesministerium für Wirtschaft, Energie und Klimaschutz (2023) BMWK
- [4] Sichere Versorgung mit Strom bis Ende des Jahrzehnts gewährleistet. URL <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/02/20230201-sichere-versorgung-mit-strom-bis-ende-des-jahrzehnts-gewaehrleistet.html>
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Verbraucherschutz und Reaktorsicherheit (2022) Kabinett beschließt Novelle des Atomgesetzes | Pressemitteilung | BMUV. URL <https://www.bmu.de/pressemitteilung/kabinett-beschliesst-novelle-des-atomgesetzes>
- [6] Bundesnetzagentur (2023) Bericht zu Stand und Entwicklung der Versorgungssicherheit im Bereich der Versorgung mit Elektrizität Bundesregierung (2022) Im Notfall: Kohle und Öl als Gasersatz | Bundesregierung. URL <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/gasersatz-reserve-2048304>
- [7] Weber C, Möst D, Fichtner W (2022) Economics of Power Systems - Fundamentals for Sustainable Energy. Springer Texts in Business and Economics, Springer, URL <https://link.springer.com/book/9783030977696>
- [8] Bundesnetzagentur (2023) Bericht zu Stand und Entwicklung der Versorgungssicherheit im Bereich der Versorgung mit Elektrizität
- [9] The World Bank 2023 Kommission der europäischen Gemeinschaften (2000) Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52000DC0769>
- [10] Kumar S, Hladik D, Hauser P (2018) Challenges in measuring security of supply in changing electricity and natural gas systems. IAEE Energy Forum First Quarter p 15
- [11] Schönheit D, Hladik D, Dierstein C, Zöphel C, Möst D, Jessen-Thiesen P (2019) Dauer und Häufigkeit von Dunkelflauten in Deutschland. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 69:62–65
- [12] The World Bank (2023) Doing business | databank. URL <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=3001&series=IC.ELC.SAID.XD.DB1619>
- [13] Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (2009) System Adequacy Methodology. URL https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/pre2015/publications/ce/UCTE_System_Adequacy_Methodology.pdf
- [14] Weber C, Möst D, Fichtner W (2022) Economics of Power Systems. Springer



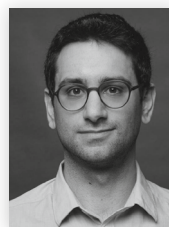
DOMINIK MÖST

ist Professor für Energiewirtschaft an der TU Dresden. In seiner Forschung beschäftigt er sich u.a. mit der Integration erneuerbarer Energien und der langfristigen Entwicklung von Energiemärkten und -preisen.



LISA LORENZ

ist Doktorandin an der TU Dresden. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen bei der Analyse des Einflusses steigender Anteile erneuerbarer Energien am Strommix auf die Versorgungssicherheit auf deutscher und europäischer Ebene.



DIMITRIOS GLYNOS

ist Doktorand an der TU Dresden. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Versorgungssicherheit in einem integrierten Elektrizitätssystem unter Berücksichtigung von Kapazitätsmechanismen.

DOI <https://doi.org/10.1007/s12398-023-0928-y>



Versorgungssicherheit



Berit Hanna Czock, Hendrik Diers, Philip Schnaars: Versorgungssicherheit mit Strom in einer kalten Dunkelflaute - Szenarien für 2030
<https://sn.pub/7VC72B>