

Versorgungssicherheit

Inhalt

3	1 Einleitung	
5	2 Technisch wirtschaftliche Grundlagen	
2.1	Versorgungssicherheit in einer Inselversorgung	5
2.2	Versorgungssicherheit im Verbundnetz	7
2.2.1	Versorgungssicherheit der Erzeugung	10
2.2.2	Versorgungssicherheit im Netz	13
2.3	Versorgungssicherheit bei fluktuierender Erzeugung	14
2.4	Der rechtliche Rahmen für Versorgungssicherheit	17
20	3 Versorgungssicherheit, Energiewende und Kernenergieausstieg	
	Literaturverzeichnis	23

1 Einleitung

Wer morgens im Badezimmer die Dusche aufdreht, erwartet unabhängig davon, wie viele andere Menschen gleichzeitig duschen wollen, dass die Dusche wie gewohnt funktioniert. Man erwartet **Versorgungssicherheit**, das heißt, dass jederzeit die gewünschte Menge von Wasser verfügbar ist. Diese Versorgungssicherheit erzielt das Wasserwerk dadurch, dass es einen Vorrat anlegt, damit Versorgungsspitzen jederzeit abgedeckt werden können. Früher gab es in vielen Städten Wassertürme, in denen diese Vorräte gelagert wurden.

Wer den Fernseher einschaltet, möchte unabhängig davon wie viel andere Leute gleichzeitig fernsehen oder andere Elektrogeräte nutzen wollen, dass dieser Fernsehapparat den Strom bekommt, den er braucht, um in der gewohnten Qualität den Fernsehempfang zu ermöglichen. Im Unterschied zur Wasserversorgung kann Strom jedoch nicht in hinreichendem Umfang gespeichert werden, vielmehr muss der Strom entsprechend der Nachfrage erzeugt werden, da Stromspeicher bisher nur in geringem Umfang zur Verfügung stehen. Versorgungssicherheit bei Elektrizität ist daher eine schwierigere Aufgabe als bei anderen Produkten, denn es muss jederzeit sichergestellt werden, dass unabhängig von der Höhe der Nachfrage immer die gewünschte Menge bereitgestellt und durch das Netz transportiert werden kann.

Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass dieser Strom von gleichbleibender Qualität (gemessen an Spannung und Frequenz) ist. Was würde passieren, wenn zu einem Zeitpunkt mehr Elektrogeräte eingeschaltet werden, als von den verfügbaren Kraftwerken mit Strom versorgt werden können? Wenn zum Beispiel bei der Wasserversorgung mehr verlangt wird als verfügbar ist, würde der Druck in den Wasserrohren nachlassen und es würde weniger oder im Extremfall auch gar kein Wasser aus dem Rohr fließen. Wenn dies in der Stromversorgung passiert, so führt dies zu einer Überlastung der Anlagen und Netze. Werden sie nicht abgeschaltet, kann die Überlastung zu erheblichen Schäden führen. Eine überlastete Stromleitung kann zum Beispiel schmelzen und würde damit den Stromfluss komplett unterbrechen. Kraftwerke können ihr Produkt nicht mehr weitergeben und würden geschädigt, wenn sie nicht abgeschaltet werden. Nach einer Abschaltung kann es aber länger dauern, bis sie wieder im gewünschten Umfang produzieren können. Die Überlastung und der Schutz der Infrastruktur würden lokal, regional oder großflächig Stromausfälle bewirken. Solche Situationen sollen also unbedingt vermieden werden (siehe Beispiel).

► Der Ausfall am Samstag 4.11.2006, 22:09h

Um eine gefahrlose Ausschiffung eines großen Schiffes von der Werft in Papenburg zu ermöglichen, wurde die den Fluss Ems kreuzende Hochspannungsleitung abgeschaltet. Dadurch kam es – auch aufgrund von Koordinierungsmängeln – zu einer Überlastung des Netzes und einer Abschaltung, die in vielen europäischen Ländern zu bis zu zwei-stündigem Stromausfall führte.

Im Folgenden zeigen wir das Problem der Versorgungssicherheit zunächst abstrakt am einfachen Stromversorgungssystem einer Insel und gehen dann auf die Stromversorgung in einem verbundenen Netz ein, wie wir es in Deutschland und im europäischen Verbund haben. Da heute Strom in immer größerem Umfang von erneuerbaren Energien produziert wird, die aber aufgrund ihrer Quellen (Wind und Sonne) je nach Windstärke oder Sonneneinstrahlung nur sehr unregelmäßig zur Verfügung stehen, betrachten wir dann das Problem der Versorgungssicherheit bei einem größeren Anteil solcher so genannter fluktuierender Energiequellen.

Die politische Gestaltung des Energiemix der Stromerzeugung hat großen Einfluss auf die Versorgungssicherheit. Im Jahr 2011 hat der Gesetzgeber die gesetzlichen Grundlagen für den Kernenergieausstieg festgelegt und auf Basis der im Januar 2019 vorgelegten Empfehlungen der Kommission "Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung" soll ein schrittweiser

Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2038 erfolgen. Daher stellt sich heute die Frage, wie beides in Verbindung mit einem stetig steigenden Anteil erneuerbare Energiequellen die Versorgungssicherheit beeinflusst.

Bevor wir in die Betrachtungen einsteigen, empfiehlt es sich, Versorgungssicherheit etwas genauer zu betrachten. Mögliche Wege zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit hängen sehr stark davon ab, von welcher Zeitperspektive wir ausgehen.

1. Ganz kurzfristig betrachtet kann man Versorgungssicherheit als die Fähigkeit des Stromsystems definieren, unerwartete Störungen wie zum Beispiel den plötzlichen Ausfall einzelner Erzeugungs- oder Netzanlagen zu kompensieren.
2. Auf mittlere Sicht kann man fragen, ob die vorhandenen Kraftwerks- und Netzstrukturen in der Lage sind, die jeweilige Nachfragesituation regelmäßig zu bewältigen. Dies hängt von ihren technischen Eigenschaften ebenso ab wie von der Frage, wie sie eingesetzt werden (Management).
3. Auf längere Sicht hängt Versorgungssicherheit davon ab, ob genügend steuerbare Erzeugungsleistung und/oder Speicherkapazitäten sowie Netzkapazitäten vorhanden sind oder neue Kapazitäten in Vorbereitung sind, sodass auch auf längere Sicht die Nachfrage jeweils bedient werden kann.

4. Noch langfristiger stellt sich die Frage, ob die vorhandenen Anlagen im Hinblick auf ihre Brennstoffversorgung gesichert sind und ob hinreichende Netzkapazitäten bereitgestellt werden können. Diese Frage der strategischen Planung der notwendigen Infrastrukturen stellt sich zum Beispiel im Rahmen der Energiewende im Hinblick auf den Ausbau der Netze

und die Verfügbarkeit der einzusetzenden Energieträger. Ebenso spielt für die Zukunft die Frage eine Rolle, ob die geplanten Anlagen den für die Zukunft erwarteten Anforderungen an die Flexibilität und Umweltfreundlichkeit (insbesondere Reduktion von Treibhausgasen) entsprechen können.

2 Technisch wirtschaftliche Grundlagen

2.1 Versorgungssicherheit in einer Inselversorgung

Die Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau einer Inselversorgung für Strom. Eine Erzeugungseinheit produziert Elektrizität, diese wird über das Netz an die Verbraucher verteilt. Eine solche Versorgung war zum Beispiel bis zum Jahr 2009 auf Helgoland realisiert worden. Wie steht es bei einer solchen Inselversorgung mit der Versorgungssicherheit? Die Verbraucher beziehen Strom entsprechend ihren Lebens- und Produktionsbedingungen. Daraus ergeben sich unterschiedliche Anforderungen je nach Tages- Wochen- und Jahresverlauf (siehe Beispiel in Abbildung 2). Die Erzeugungseinheit muss in der Lage sein, die Stromerzeugung entsprechend diesen schwankenden Verbraucherwünschen anzubieten. Es ist leicht zu verstehen, dass eine sichere Stromversorgung in dieser Inselversorgung nur möglich ist, wenn mehr als eine

Erzeugungseinheit verfügbar ist. Denn einmal müssen alle Erzeugungseinheiten ab und zu planmäßig für Wartungszwecke abgeschaltet werden und zum anderen können Einheiten auch ungeplant ausfallen.

Eine einfache Lösung für eine sichere Inselversorgung könnte dann folgendermaßen aussehen: es wird eine Erzeugungseinheit angeschafft, die in der Lage ist, den maximalen Strombedarf zu decken. Aus Gründen der

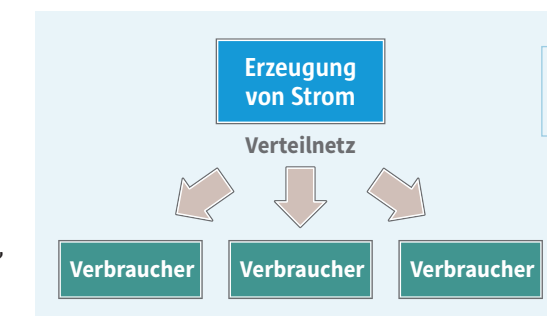


Abb. 1
Inselversorgung

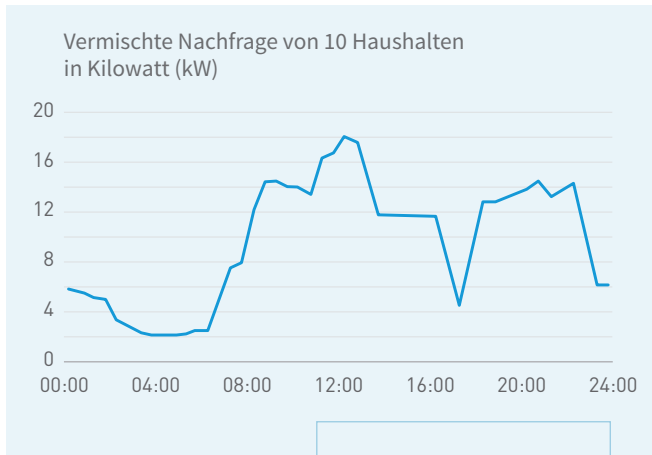


Abb. 2
Stromnachfrage von Haushalten im Laufe eines Tages

ausgedrückt: Versorgungssicherheit erfordert zusätzlich zum für die Bedarfsdeckung notwendigen Kraftwerk noch eine Reserve. Diese Reserve ist im Fall der Inselversorgung aufwändig, da zwei Kraftwerke vorgehalten werden müssen, auch wenn nur eines davon jeweils für die Bedarfsdeckung erforderlich ist.

► **Versorgungssicherheit der Erzeugung (n-1 Kriterium)**
Die Versorgungssicherheit gilt dann als gewährleistet, wenn der Ausfall der größten Erzeugungseinheit durch die vorhandenen Anlagen ausgeglichen werden kann, ohne dass es zu Verbrauchseinschränkungen kommt.

Versorgungssicherheit wird eine zweite Anlage mit gleicher Kapazität errichtet, damit für den Fall des Ausfalls einer Anlage die andere Anlage die Erzeugung übernehmen kann. Auch damit ist allerdings keine 100-prozentige Versorgungssicherheit zu gewährleisten, da bei einem plötzlichen Ausfall einer Anlage etwas Zeit erforderlich ist, bis die zweite Anlage die gewünschte Leistung bereitstellen kann. Dieser Zeitbedarf hängt vom jeweiligen Anlagentyp ab.

Versorgungssicherheit gibt es somit nicht zum Nulltarif. Denn es müssen mehr Erzeugungsanlagen zur Verfügung gestellt werden als eigentlich für die Deckung des maximalen Strombedarfs erforderlich. Anders

Die Versorgungssicherheit hängt aber weiterhin auch von dem Netz ab, das für den Transport des Stroms vom Erzeuger zu den Verbrauchern notwendig ist. In dem einfachen Schema in der Abbildung wird jeder einzelne Verbraucher durch eine eigene Zuleitung versorgt. Eine relative Versorgungssicherheit kann hier nur dadurch gewährleistet werden, dass ausfallende Leitungen sehr zügig repariert werden. Insbesondere bei Freileitungen, die zum Beispiel durch Wind und Wetter gefährdet sind, kann es leicht zu Störungen kommen. Eine Reserve ist in diesem Beispiel allerdings unmöglich. Anders ist dies in umfangreicheren Netzen, auf die wir im nächsten Abschnitt eingehen werden. Für eine Inselversorgung besteht die Möglichkeit, die Versorgungssicherheit dadurch zu erhöhen, dass die Insel mit einem größeren

Stromsystem verbunden wird. (Siehe dazu das Beispiel Helgoland im Kasten)

► **Versorgungssicherheit auf der Insel Helgoland**
Die Insel Helgoland wurde in den 1990er Jahren mit Windenergie versorgt. Aufgrund der häufigeren Ausfälle wurde später eine Versorgung mit Dieselmotoren eingeführt. Seit 2009 ist die Insel mit einem Seekabel an das Festlandnetz angeschlossen und die bereits vorhandenen Dieselmotoren dienen als Reserve.

2.2 Versorgungssicherheit im Verbundnetz

Die Abbildung 3 beschreibt schematisch ein Verbundnetz. Mehrere Kraftwerke sind miteinander über das Netz verbunden und speisen ihre erzeugte Energie in das Netz ein. An verschiedenen Stellen entnehmen Verbraucher aus diesem Netz den von ihnen benötigten Strom. Unter Verbrauchern muss man sich hier nicht nur kleine einzelne Verbraucher vorstellen, sondern zum Beispiel auch große Unternehmen oder Stromverteiler wie etwa Stadtwerke, die den Strom für die Gesamtheit ihrer Kunden aus dem Verbundnetz entnehmen.

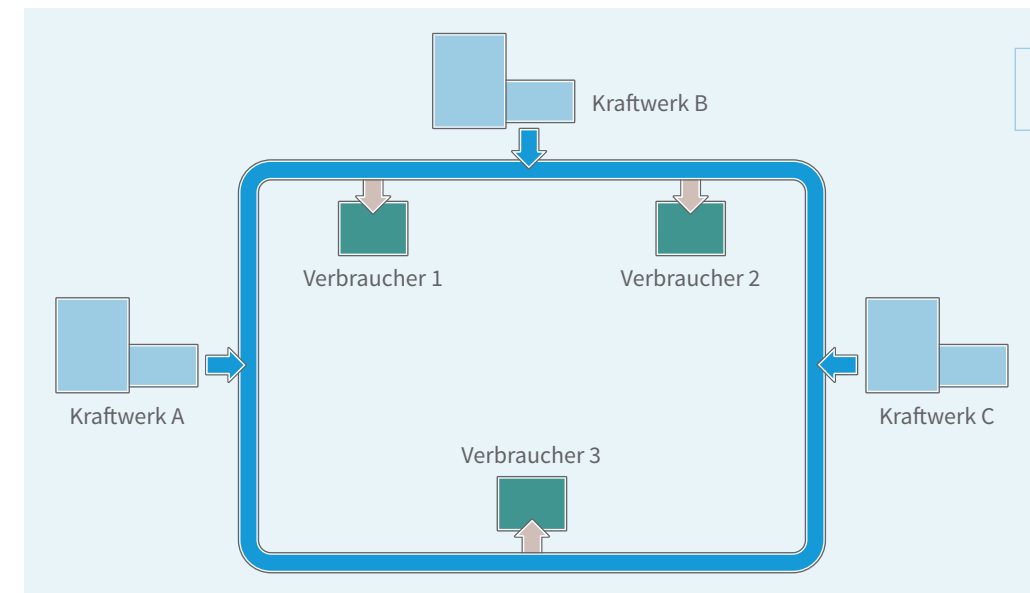


Abb. 3
Verbundnetz

Die Bedingung für Versorgungssicherheit lautet hier: es muss jederzeit genauso viel Strom erzeugt und in das Netz eingespeist werden, wie zu diesem Zeitpunkt von den Verbrauchern entnommen wird. Damit dies möglich ist, bedarf es einer Abstimmung zwischen den Erzeugern und den Verbrauchern.

► Versorgungssicherheit im Netz (n-1 Kriterium)

Versorgungssicherheit im Netz gilt dann als gewährleistet, wenn der Ausfall der größten Leitung im vorhandenen Netz von den vorhandenen Leitungen ausgeglichen werden kann, ohne dass es zu Einschränkungen für die Verbraucher kommt.

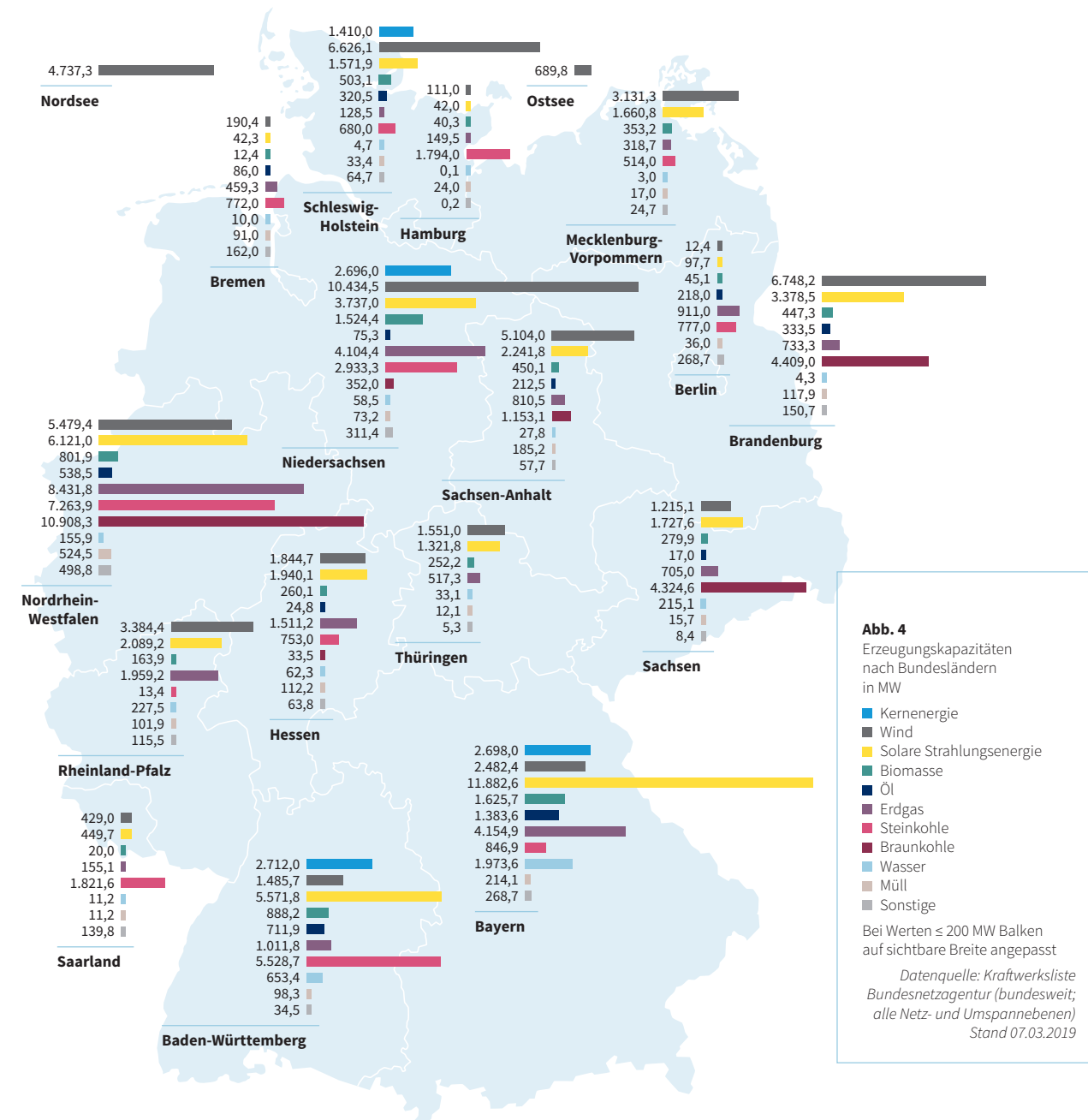
Unter den Bedingungen eines liberalisierten Marktes orientieren sich die Erzeuger bei ihrer Produktionsplanung nur an der erwarteten Nachfrage ihrer Kunden. Beispielsweise kauft das Stadtwerk „Meine Stadt“ Strom vom Kraftwerk A. Es hat eine Vereinbarung mit dem Kraftwerk geschlossen, wie viel Strom es abnehmen möchte. Allerdings kann das Stadtwerk nicht garantieren, dass seine Kunden tatsächlich in der erwarteten Höhe auch Strom haben wollen. Tritt zum Beispiel der Fall ein, dass die Kunden weniger Strom verlangen als erwartet wurde, so muss das Kraftwerk seine Produktion entsprechend drosseln. Andererseits zeigt das Schema, dass auch andere Kraftwerke in das Netz einspeisen und andere Verbraucher aus dem Netz entnehmen. Kraftwerk A kann also gar nicht sicher sein, dass eine reduzierte Nachfrage von seinem Kunden ausgegangen ist. Damit

eine Koordination zwischen Erzeugern und Verbrauchern besser möglich ist, hat man deshalb im Verbundsystem heute so genannte Bilanzkreise geschaffen, in denen Verbraucher und Erzeuger zusammengefasst werden. Innerhalb der Bilanzkreise soll dafür gesorgt werden, dass ein Gleichgewicht zwischen Einspeisung und Entnahme besteht (siehe Abbildung 4 für eine Karte der Kraftwerksstandorte).

Kommt es dennoch zu Differenzen, so müssen diese im Gesamtverbund ausgeglichen werden. Dazu verfügen alle im Verbundnetz beteiligten Kraftwerke über eine bestimmte Produktionsreserve, die sie zur Ausregelung von kleinen Differenzen unmittelbar und automatisch gesteuert einsetzen können.

Es stellt sich nun die Frage, welche Vorteile mit dem Verbundsystem für die Versorgungssicherheit verbunden sind. Den ersten Vorteil haben wir bereits genannt: kleine Abweichungen zwischen Entnahme und Erzeugung können im gesamten System leicht kompensiert werden, da das Gesamtsystem im Verhältnis zu den einzelnen Einheiten relativ groß ist. Störungen rufen dadurch nur kleine Schwankungen hervor, die so klein sein sollen, dass sie innerhalb der vorgegebenen Qualitätsparameter für Spannung und Frequenz bleiben.

Betrachten wir nun das Verbundsystem unter den in der Einleitung genannten vier zeitlichen Perspektiven.



2.2.1 Versorgungssicherheit der Erzeugung

1. Versorgungssicherheit kurzfristiger Art erfordert, dass das System in der Lage ist, den Ausfall von Komponenten zu kompensieren. Fällt zum Beispiel ein Kraftwerk ungeplant aus, so müssen die anderen beteiligten Kraftwerke diesen Ausfall durch mehr Produktion ausgleichen. In der Inselfituation hatten wir gesehen, dass eine hohe Reservehaltung notwendig ist, um jederzeit die volle Produktion zu garantieren. Im Verbundsystem ist auch eine Reservehaltung erforderlich, aber diese kann relativ bezogen auf die gesamte vorhandene Kapazität wesentlich kleiner sein. Im Allgemeinen geht man davon aus, dass eine Reservekapazität in Höhe von 15-20 % zur Absicherung der Versorgungssicherheit ausreicht. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass nicht alle Anlagen für eine Reservehaltung beliebig einsetzbar sind. Die Reserve wird heute vom Netzbetreiber vorgehalten, der dafür Kraftwerksleistung von den Erzeugern kauft und sie dann einsetzt, wenn sie erforderlich ist.
2. Mittelfristig müssen die vorhandenen Kapazitäten ausreichen, um geplante Stillstände von Anlagen für Wartungszwecke zu ermöglichen. Erzeuger müssen ihre Wartung so planen, dass sie in Zeiten geringerer Nachfrage stattfindet und die Versorgungssicherheit nicht in Frage stellt.

3. Auf längere Sicht gesehen hängt Versorgungssicherheit auch davon ab, ob rechtzeitig Vorsorge getroffen werden kann, um für einen wachsenden Bedarf zusätzliche Kapazitäten bereitzustellen bzw. den altersbedingten Wegfall von Kapazitäten auszugleichen. Der Bau von Kraftwerken und Netzen erfordert aber Zeit. Versorgungssicherheit fordert also eine auf längere Sicht bezogene Kompensation des Zubaus und Rückbaus von Anlagen. Hier stellt sich die Frage, wie in einem offenen Marktsystem, bei dem jeder Erzeuger primär für seinen eigenen Bereich verantwortlich ist, der für die Versorgungssicherheit notwendige Zubau von Kapazitäten erfolgen kann, wenn diese Kapazitäten zwar für die Sicherheit der Versorgung notwendig, aber wirtschaftlich nicht rentabel sind.

Dieses Problem hat sich dadurch verschärft, dass Anlagen auf Basis erneuerbarer Energie gesetzlichen Vorrang vor den anderen Kraftwerken haben und damit die anderen Kraftwerke Schritt für Schritt verdrängen. Dennoch bleiben die konventionellen Kraftwerke notwendig, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Aufgrund der fehlenden Wirtschaftlichkeit besteht aber die zunehmende Gefahr, dass der Neubau für die Versorgungssicherheit notwendiger Anlagen unterbleibt oder vorhandene Anlagen stillgelegt werden, wenn für die Reservehaltung notwendige Anlagen sich am Markt nicht finanzieren können.

Angesichts der Zunahme fluktuierender erneuerbarer Energie stellt sich zunehmend die Frage, wie die zu bestimmten Zeiten auftretende Überschussproduktion und die zu anderen Zeiten auftretenden Defizite ausgeglichen werden können. Hierzu werden heute verschiedene Konzepte diskutiert:

- Ausgleich durch Speicher
- Verwendung von Überschüssen zur Erzeugung von Wärme („Power to Heat“)
- Verwendung von Überschüssen zur Erzeugung von Gas und Rückführung des Gases in die Stromproduktion bei Defiziten („Power to Gas“)
- Stärkere Einbeziehung dezentraler Anlagen in den Lastausgleich

All diesen Konzepten ist gemeinsam, dass die institutionellen Rahmenbedingungen des Strommarktes so verändert werden müssen, dass Anreize für die Marktteilnehmer bestehen, entsprechende Anlagen vorzuhalten und zu betreiben.

4. Zukünftiger Brennstoff – und Flächenbedarf

Kernenergie kWh/kg *)	Kohle kWh/kg ¹	Erdgas kWh/cbm
360.000,0	3,5	5,4
Brennstoffbedarf bei 1.200 MW und 7200h/Jahr		
t/Jahr	Mio t/Jahr	Mio cbm/Jahr
27,0	2,4	1,6

Tab. 1

Stromausbeute von Kraftwerken
*) Bezogen auf angereichertes Uran.

Wind GWh/km ²	Photovoltaik GWh/km ²
15	10

Tab. 2

Flächenbedarf von erneuerbarer Energie²

Noch weiter in die Zukunft gerichtet stellt sich dann die Frage, ob für die vorhandenen oder neu zu bauenden Anlagen eine gesicherte Brennstoffversorgung verfügbar ist.

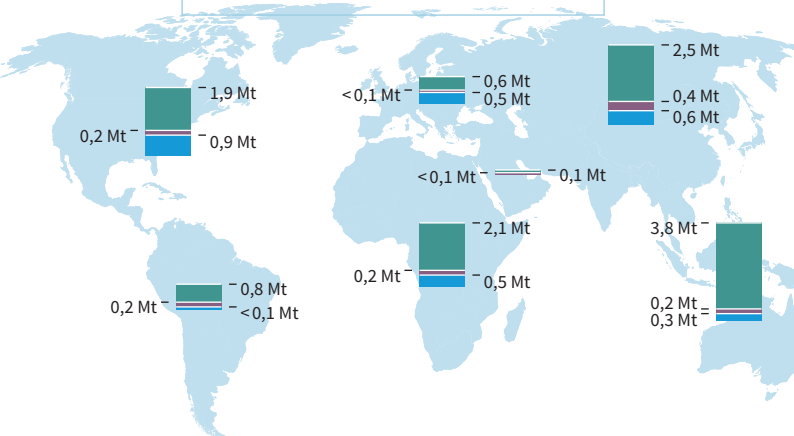
Für den Brennstoffbedarf spielt die unterschiedliche Materialintensität der jeweiligen Energieträger eine Rolle. Bei erneuerbarer Energie, die keine Brennstoffe

1 Dies gilt für moderne Kraftwerke mit hohem Wirkungsgrad.
2 Die Tabelle gibt Anhaltspunkte, je nach örtlichen Bedingungen und Anlagentyp können die Werte nach oben oder unten abweichen. Der hohe Flächenbedarf hat zur Folge, dass nur Teile des gegenwärtigen Strombedarfs durch erneuerbare Energie gedeckt werden können. Vgl. (Smil, 2015)

nutzt (Wind, Sonne und Wasserkraft), ist dagegen der Flächenbedarf von Bedeutung.

Tabelle 1 zeigt den Brennstoffbedarf von Kraftwerken. Bei fossilen Kraftwerken können pro kg Kohle etwa 3,5 kWh erzeugt werden, bei Erdgas pro Kubikmeter Erdgas etwa 5,4 kWh. Aufgrund der geringen Mengenintensität ist der Brennstoffbedarf bei Kernkraftwerken dagegen um ein Vielfaches kleiner. Mit einem kg angereichertem Uran können etwa 360.000 kWh erzeugt werden. Damit ist der Gesichtspunkt der Brennstoffversorgung insbesondere bei fossilen

Abb. 5
Gesamtpotenzial Uran 2017: Regionale Verteilung
■ Ressourcen: 11,0 Mt
■ Reserven: 1,2 Mt
■ kumulierte Förderung | Förderung 2017: 0,06 Mt
Quelle: BGR, Datenstand 2017



Kraftwerken und wesentlich weniger bei Kernenergie von Bedeutung. Angesichts von reichlich und international gut verteilten Kohlereserven, ist dies bei Kohle wiederum weniger relevant als bei Erdgas, wo weniger Reserven zur Verfügung stehen.³ Auch die Uranvorkommen sind in großem Umfang in vielen Regionen der Welt verfügbar. (hier wird es auch eine Grafik geben)

Bei erneuerbaren Energien ohne Brennstoffe müssen jedoch Flächen für die Anlagen freigehalten werden. Anhaltspunkte für den Flächenbedarf gibt Tabelle 2. Bei Windenergieanlagen sind Abstände einzuhalten, damit sich die Anlagen nicht wechselseitig behindern. So können pro Quadratkilometer für Wind geeigneter Fläche etwa 15 GWh erzeugt werden, bei Fotovoltaik-Freiflächenanlagen liegt dieser Wert bei etwa 10 GWh. Für Biomassekraftwerke muss die Fläche für die Produktion der Biomasse einbezogen werden, während die Anlagen selbst nur geringe Flächen benötigen. Aufgrund der Nutzungskonkurrenz der landwirtschaftlichen Flächen für die Nahrungsmittelproduktion, können die Flächen für die Produktion von Biomasse für die energetische Nutzung in Deutschland in etwa als gegeben und nicht ausweitbar angesehen werden.

³ Ausführliche Informationen zur Verfügbarkeit von Energieträgern finden sich in den Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). (BGR, 2018)

Langfristig kann der Ausstieg aus der Kernenergie die Versorgungssicherheit für die Stromerzeugung erschweren: Wird in zunehmendem Maße auf Erdgas als umweltfreundliche Energiequelle als Ergänzung zum wachsenden Angebot von erneuerbarer Energie gesetzt, so sind Versorgungsengpässe und Preisrisiken möglich. Die mögliche Standortkonkurrenz bei den erneuerbaren Energien kann allerdings teilweise durch offshore Windenergie kompensiert werden.

2.2.2 Versorgungssicherheit im Netz

Strom sucht sich im Netz jeweils den Weg des geringsten Widerstandes. In Deutschland als einem dicht besiedelten Land mit vielen Kraftwerksstandorten und vielen Netzverbindungen gibt es daher anders als in der Schemazeichnung viele Umwege, sodass auch im Netzsystem jederzeit eine gewisse Reserve vorhanden ist. Betrachten wir auch hier die verschiedenen zeitlichen Dimensionen.

1. Kommt es kurzfristig zu einem ungeplanten Ausfall einer Leitung (Beispiel bei einem Sturm kommt es zum Fall eines Baumes auf eine Freileitung), so müssen die Strommengen, die über diese Leitung liefen, umgeleitet werden. Dies geschieht so lange automatisch, wie andere Leitungen entsprechende Reserven haben. In dem Zusammenhang kann es aber auch notwendig sein, die Einspeisung verschiedener Kraftwerke auf die veränderte Netzsituation anzupassen. Dies ist dann Aufgabe des Netzbetreibers.

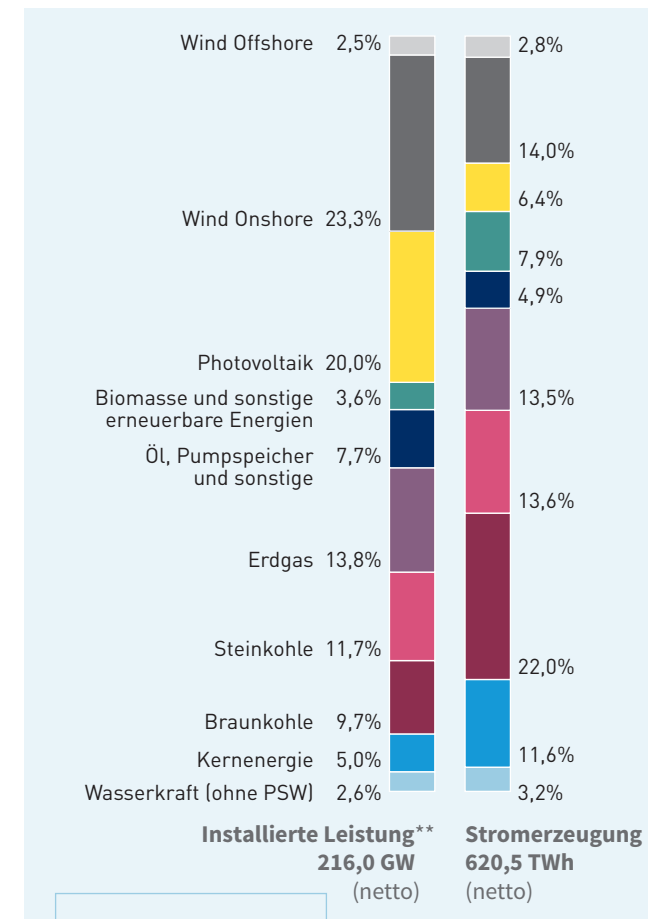


Abb. 6
Installierte Leistung und Erzeugung 2017*
*vorläufig
**zum 31.12.2017
Quelle: BDEW, Stand 04/2018

2. Auf mittlere Sicht kommt es darauf an, die Wartung von Leitungen so vorzunehmen, dass dadurch keine Netzengpässe entstehen können
3. Auf längere Sicht muss die Netzausbauplanung mit der Entwicklung des Strombedarfs und der Stromerzeugung Schritt halten. Dies ist eine wichtige Frage im Rahmen der Energiewende, auf die wir weiter unten eingehen werden

2.3 Versorgungssicherheit bei fluktuierender Erzeugung

Der Beitrag der von Sonne- und Windkraftwerken ist jahreszeit- und wetterabhängig. Der Stromverbrauch selbst ergibt sich jedoch aus den Lebensgewohnheiten der Bevölkerung und dem Strombedarf von Industrie, Gewerbe und Handel. Stromnachfrage und Stromangebot von Sonne und Wind (als fluktuierend bezeichnet) können sehr weit auseinanderfallen, so dass Kraftwerke mit planbarem Einsatz den Unterschied zwischen Stromnachfrage und diesem Angebot ausgleichen müssen. (Abbildung 6 zeigt die in Deutschland verfügbaren Kraftwerke und deren Erzeugung im Jahre 2017). Sonne, Wind und Biomasse haben einen Anteil von 49,4% an der Erzeugungskapazität, tragen aber nur in wesentlich geringerem Umfang zur Erzeugung bei (31,1%). Bei den konventionellen Anlagen (Kernenergie,

Kohle, Erdgas) beträgt der Anteil an der Erzeugungskapazität 40,2%, aber sie produzieren 60,7%.⁴

Die Bedeutung der Fluktuation und der daraus folgenden geringeren Auslastung der Kraftwerke zeigen wir an den Abbildungen 8 bis 10. Sie zeigen Stromerzeugung und Stromverbrauch an einigen Tagen im Jahr 2018. Zusätzlich zeigen sie den Beitrag der erneuerbaren Energieträger zur Deckung des Verbrauchs. Am 1. Januar 2018 war die Nachfrage aufgrund des Feiertags relativ gering. Die Windverhältnisse waren an diesem Tag sehr günstig. Entsprechend konnten erneuerbare Energien einen großen Teil der Nachfrage decken (siehe Abbildung 8).

Am 1. und 2. Juli 2018 war der Beitrag der Sonnenenergie sehr groß (siehe Abbildung 9). Deshalb konnten – vor allem am späten Vormittag und am Nachmittag große Teile der Nachfrage durch die Einspeisung der Photovoltaik-Anlagen gedeckt werden. Am 1. Juli, einem Sonntag, kam hinzu, dass die Nachfrage deutlich niedriger war als an Werktagen. Die konventionellen Kraftwerke (Kohle, Kernenergie, Erdgas) brauchten deshalb zeitweise nur einen relativ geringen Beitrag zur Stromversorgung zu leisten.

Die konventionellen Kraftwerke müssen also die naturbedingten Schwankungen bei Sonne und Wind ausgleichen. Dazu sind sie unterschiedlich geeignet. Besonders Kernkraftwerke bieten hier ein hohes

⁴ Der Anteil von Erdgas an der Stromerzeugung liegt ebenfalls unter seinem Anteil an der installierten Leistung. Das liegt an der Wirtschaftlichkeit, da Erdgas teurer ist als Kohle.

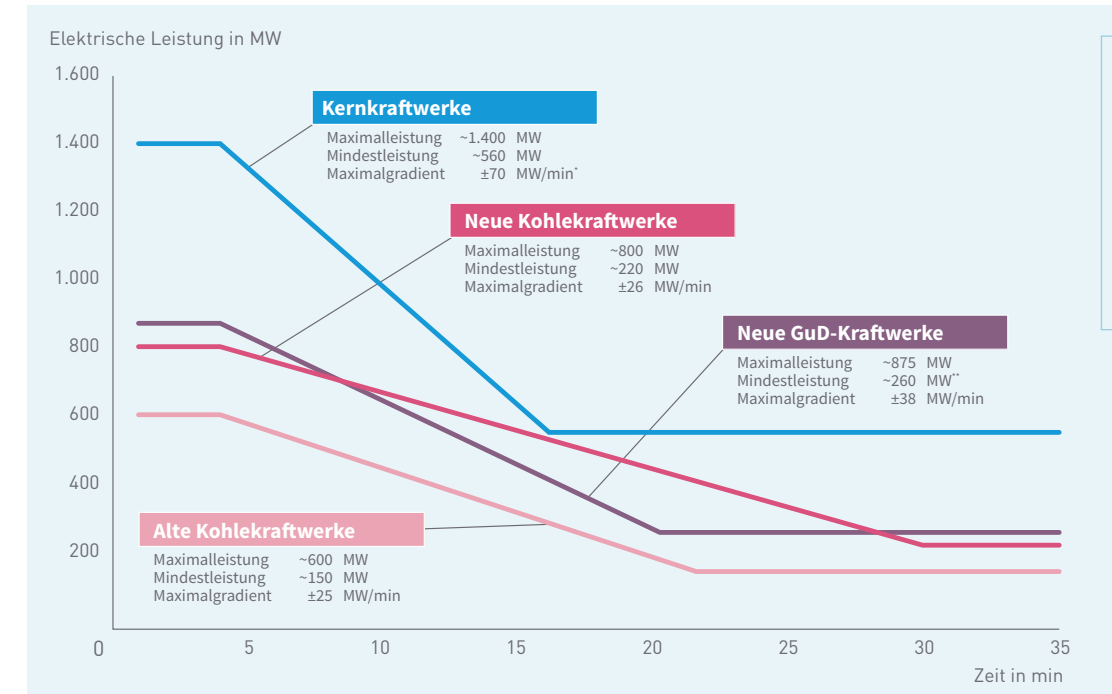


Abb. 7
Lastwechselfähigkeit der Kraftwerke
*Für Leistungsänderungen zwischen 80 und 100 % sind Leistungsgradienten bis 130 MW/min möglich
**Eine von zwei Turbinen abgeschaltet
Quelle: VGB PowerTech e. V.

Potenzial an Flexibilität und Regelleistung. Fossil befeuerte Kohle- und Gaskraftwerke können – nach den inzwischen erfolgten Nachrüstungen – ebenfalls gut mit den Erneuerbaren zusammenwirken.

Die Abbildung 7 zeigt die unterschiedliche Lastwechselfähigkeit der Kraftwerke. Mit dem Ausstieg aus der Kernenergie verringert sich die Anpassungsflexibilität der insgesamt vorhandenen und für eine sichere Versorgung weiterhin notwendigen Anlagen. Dies gilt

verstärkt bei Umsetzung des angestrebten Ausstiegs aus der Kohleverstromung.

Dies geht allerdings zulasten ihrer Effizienz (Stromausbeute bezogen auf die eingesetzte Energie) und ihrer Wirtschaftlichkeit, da ihre Einsatzzeit insgesamt reduziert wird. Abbildung 10 zeigt die Stromsituation im am 14. Dezember 2018. Die Nachfrage war an diesem Tag, einem Werktag, relativ hoch – zeitweise über 80 GW. Der Wind hatte kaum geweht und die Sonneneinstrahlung

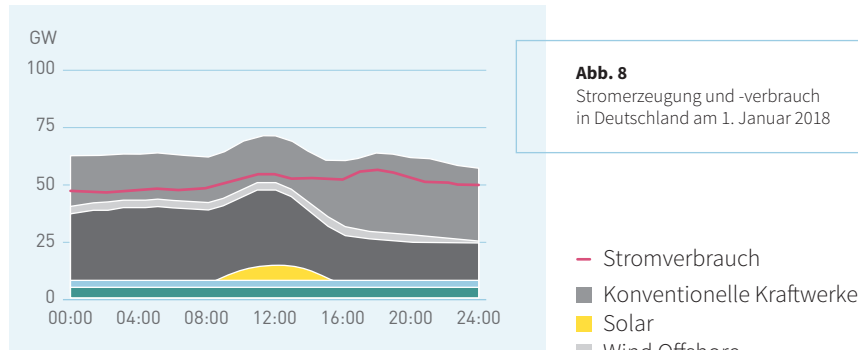


Abb. 8
Stromezeugung und -verbrauch in Deutschland am 1. Januar 2018

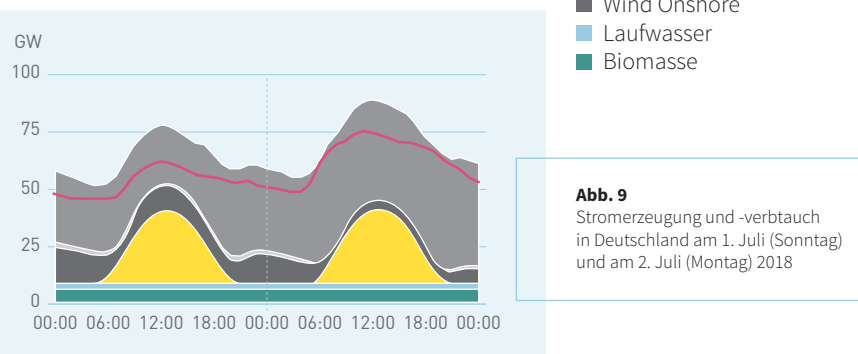


Abb. 9
Stromezeugung und -verbrauch in Deutschland am 1. Juli (Sonntag) und am 2. Juli (Montag) 2018

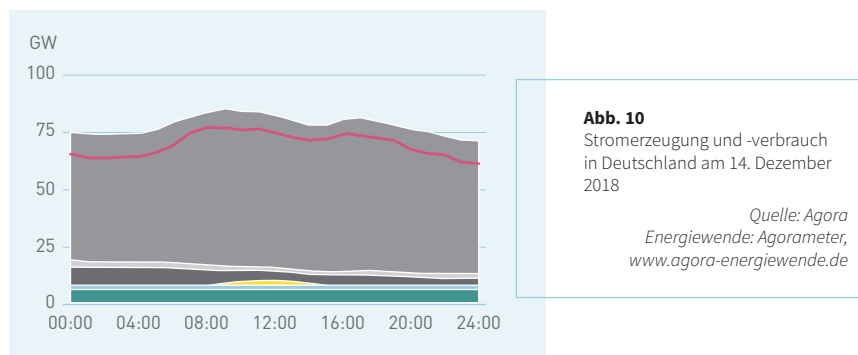


Abb. 10
Stromezeugung und -verbrauch in Deutschland am 14. Dezember 2018
Quelle: Agora Energiewende: Agorameter, www.agora-energiewende.de

war minimal. Entsprechend musste der ganz überwiegende Teil des Strombedarfs durch konventionelle Kraftwerke gedeckt werden.

Bei der konventionellen Erzeugung ist der Beitrag der Kernenergie nahezu konstant, die Kohlekraftwerke, vor allem Steinkohlekraftwerke, müssen sich an den Fluss der Erneuerbaren anpassen. Dass in dem genannten Zeitraum die Erzeugung exportbedingt höher war als der Verbrauch, kann verschiedene Gründe haben. Einer der möglichen Gründe ist, dass die konventionelle Erzeugung aufgrund der Situation in Deutschland (die erneuerbaren Anlagen sind nicht regional da, wo der Strom gebraucht wird) mehr produzieren musste als eigentlich erforderlich, um die Stabilität des Netzes aufrecht zu erhalten. Da Strom aus Erneuerbaren entsprechend dem Erneuerbare-Energien-Gesetz mit Vorrang eingespeist werden muss, muss beim Einsatz der konventionellen Anlagen nicht nur die Nachfrage, sondern auch die gesamte Stabilität des Systems zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit beachtet werden.

2.4 Der rechtliche Rahmen für Versorgungssicherheit

Wie gezeigt, müssen in einem Verbundnetz die Entscheidungen der Produzenten so aufeinander abgestimmt werden, dass ein hohes Maß von Versorgungssicherheit entsteht. Die europäische Union hat mit der Stromrichtlinie einen Rahmen für die Pflichten der Übertragungsnetzbetreiber geschaffen, der im Energiewirtschaftsgesetz umgesetzt wurde. Das Gesetz verpflichtet die Betreiber von Energieversorgungsnetzen dazu, „ein sicheres, zuverlässiges und leistungsfähiges Energieversorgungsnetz... zu betreiben, zu warten und bedarfsgerecht zu optimieren, zu verstärken und

auszubauen.“ (§ 11 EnWG) Dazu sind dem Übertragungsnetzbetreiber Möglichkeiten eingeräumt worden, auch in die Entscheidungen von Produzenten einzugreifen, soweit dies für die Systemstabilität erforderlich ist.

In diesem Zusammenhang stellen die Netzbetreiber regelmäßig eine Leistungsbilanz auf (Abbildung 11), in der sie Verbrauch und Kapazität gegenüberstellen. Sofern die gesicherte Leistung größer ist als die Last (verbleibende Leistung), ist die Versorgungssicherheit auf der Erzeugungsseite gewährleistet. Deutschland ist mit vielen angrenzenden Ländern verbunden, jedoch wird die Leistungsbilanz bisher nur auf die nationalen Grenzen bezogen. Für die Zukunft sollen dabei stärker

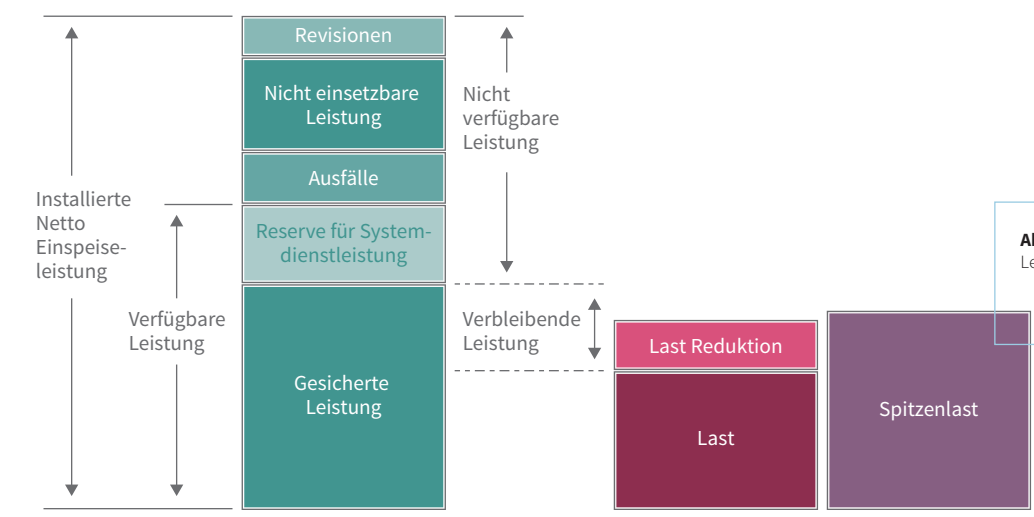


Abb. 11
Leistungsbilanz
Quelle: BMWi

die stochastische Einspeisung von Wind und Sonne sowie der europäische Verbund berücksichtigt werden.

Das deutsche Netz ist mit anderen europäischen Ländern verbunden (siehe Abbildung 12). Damit ist ein Austausch von Strom zwischen den Ländern des Verbundes möglich (zum Austausch siehe Abbildung 13). Versorgungssicherheit ist nur möglich, wenn eine enge Kooperation der Übertragungsnetzbetreiber stattfindet.

Eines der wesentlichen Ziele der Europäischen Union bei der Einführung des europäischen Binnenmarkts für Elektrizität war, einen Stromhandel zwischen den Ländern zu ermöglichen und weiterzuentwickeln. Strom kann in einem direkten Austausch zwischen einem Erzeuger und einem Abnehmer gehandelt werden, ebenso wie über einen Großhandelsmarktplatz wie die EEX (European Energy Exchange). Auf der Basis geplanten Stromhandels zwischen Ländern müssen laufend Stromflüsse, verfügbare Netzkapazität und die Einspeisung der Kraftwerke abgestimmt werden. Kommt es jedoch zu Differenzen zwischen dem geplanten und dem tatsächlichen Stromfluss, so müssen Anpassungen vorgenommen

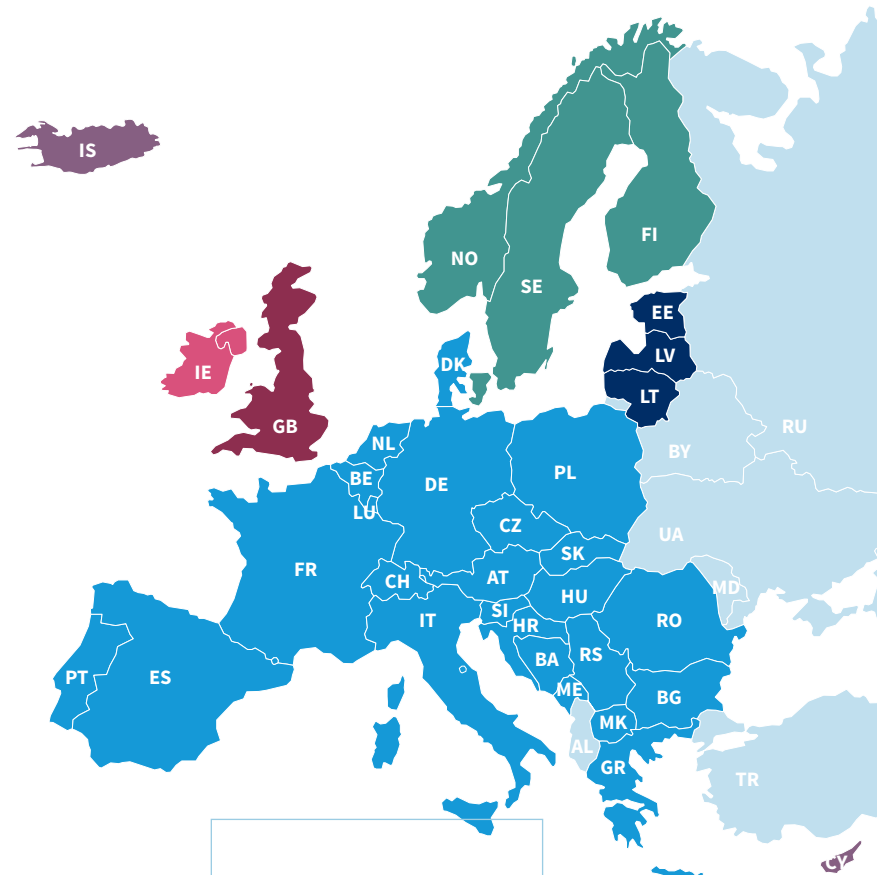


Abb. 12
Europäisches Verbundnetz
 ■ UCTE – europäisches Verbundnetz
 ■ NORDEL – Verbundnetz der nordeuropäischen Staaten
 ■ BALTSO – baltisches Verbundnetz
 ■ Inselnetz in Island und Zypern
 ■ UKTSOA – britisches Verbundnetz
 ■ ATSOI – irisches Verbundnetz

werden. Dadurch können sich unerwartete Lastflüsse ergeben, die auch auf Kraftwerke in anderen Ländern ausstrahlen. Der europäische Verbund erfordert also ein Netzmanagement, das die Stromflüsse zwischen Deutschland und den verbundenen Ländern einbezieht. Die Übertragungskapazität zwischen einzelnen Ländern (Grenzkupplstellen) ist begrenzt. Daraus können sich ungeplante Stromflüsse ergeben, zum Beispiel von Norddeutschland über Polen und/oder Tschechien nach Süddeutschland, statt einer direkten Übertragung.

In die Netze in Deutschlands Nachbarländern fließen ab und zu unerwartete Überschüsse von Strom aus deutschen Windkraftwerken, sodass die Betreiber der Kraftwerke die Produktionspläne spontan anpassen müssen. Um dieser Situation zu begegnen, sind die Netze teilweise durch Phasenschieber gegen das deutsche Netz abgeschottet worden, um die eigene Versorgungssicherheit nicht zu gefährden.

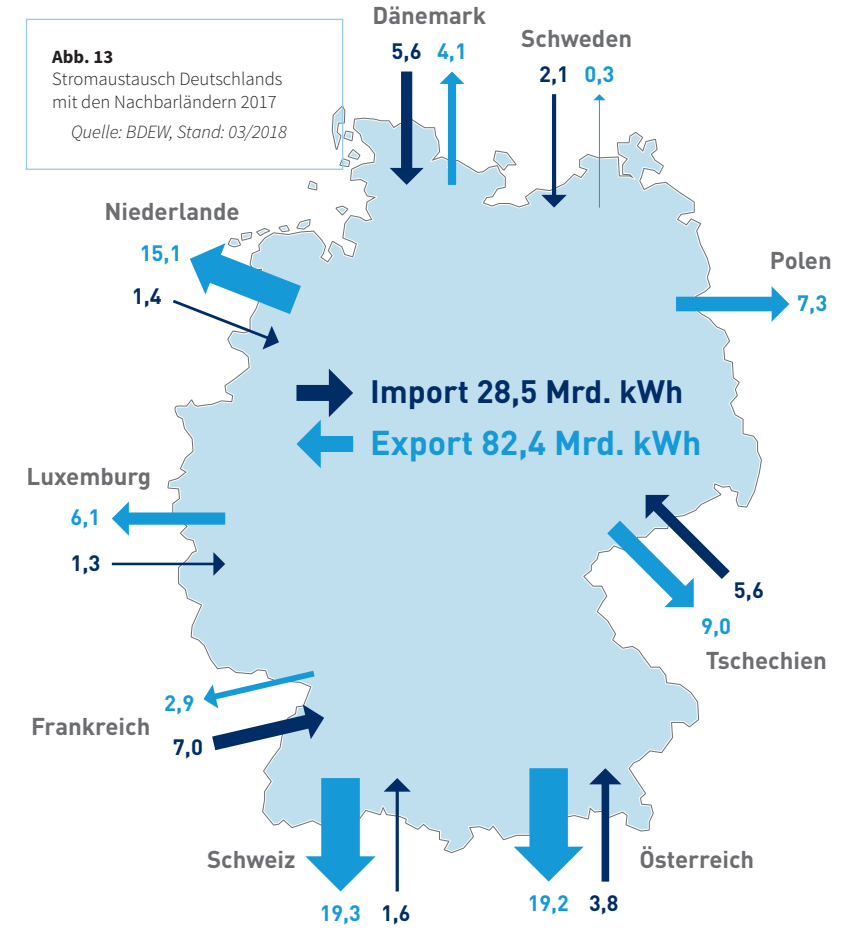


Abb. 13
Stromaustausch Deutschlands mit den Nachbarländern 2017
 Quelle: BDEW, Stand: 03/2018

Die Bundesnetzagentur hat die Aufgabe, die Netzbetreiber zu überwachen. Dies bezieht sich zunächst auf die Zugangsbedingungen zu den Netzen zur Sicherstellung eines fairen Wettbewerbs. Bedingt durch die Energiewende wurden die Aufgaben der Bundesnetzagentur erweitert mit Hinblick auf die Stilllegung von Kraftwerken und den Ausbau der Netze. Die Bundesnetzagentur hat nun auch die Aufgabe, darauf zu achten, dass systemnotwendige Kraftwerke in hinreichendem Umfang

zur Verfügung stehen, um die Versorgungssicherheit der Erzeugung zu gewährleisten. In den kommenden Jahren ist aufgrund des fortgesetzten Abschaltens von Kernkraftwerken insbesondere in Süddeutschland mit Engpässen zu rechnen. Die Bundesnetzagentur überprüft den Reservebedarf und achtet darauf, dass notwendige Reserveleistung beschafft wird. Diese zum Teil im Ausland zu beschaffende Reserveleistung wird in den nächsten Jahren stark zunehmen.

3 Versorgungssicherheit, Energiewende und Kernenergieausstieg

20

Energiewende und Kernenergieausstieg wirken in fünf verschiedenen Dimensionen auf die Versorgungssicherheit ein:

1. Regionale Verteilung von Erzeugung und Verbrauch
2. Kompensation der Fluktuation der Einspeisung aus Sonne und Wind
3. Umweltfreundlichkeit der Stromerzeugung
4. Verfügbarkeit von Energieträgern
5. Systemstabilität und Netzengpässe.

In Deutschland sind derzeit reichlich Kapazitäten zur Stromerzeugung vorhanden. Stromerzeugung und Stromverbrauch werden jedoch durch die Energiewende räumlich weiter voneinander getrennt. Dadurch können Netzengpässe entstehen, solange das Übertragungsnetz nicht weiter ausgebaut ist. Da der Netzausbau wegen der umfangreichen Bürgerbeteiligung sehr zeitaufwendig ist, sind schon jetzt häufiger kritische Situationen hinsichtlich der Versorgungssicherheit zu beobachten: „Es fällt den Netzbetreibern zunehmend schwer, eine ausgeglichene Systembilanz beizubehalten, das heißt ein Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Last unter Berücksichtigung der bestehenden Netzstruktur sicherzustellen.“ (Sechster Monitoring-Bericht, BMWi, 2018)

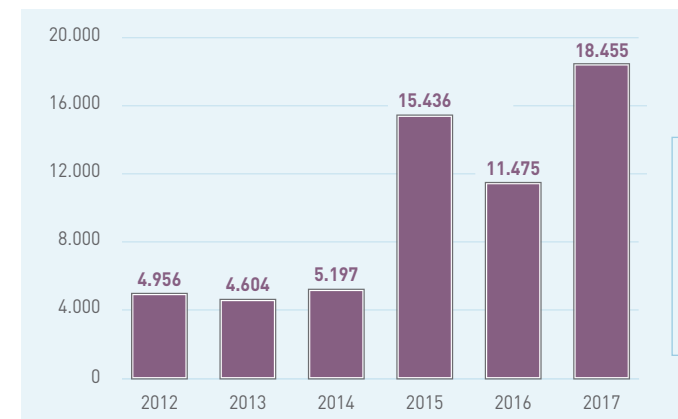


Abb. 14
Entwicklung der Redispatchmaßnahmen im deutschen Übertragungsnetz (Gesamtvolumen in GWh)
Quelle: Monitoringberichte der Bundesnetzagentur

Die wachsende Einspeisung von erneuerbaren Energieträgern in das Stromsystem und die damit verbundene Fluktuation der Einspeisung erfordert zur Aufrechterhaltung der Systemstabilität und damit der Versorgungssicherheit eine Mindesteinspeisung aus konventionellen Kraftwerken. Mit dem für die Zukunft fortgesetzten schrittweisen Abschalten der Kernkraftwerke und der geplanten vorzeitigen Stilllegung von Kohle-Kraftwerkskapazitäten verringert sich die vorhandene konventionelle, flexibel für die Gegensteuerung einsetzbare Kraftwerksleistung und es wird in den jeweils betroffenen Regionen schwieriger, die erforderliche Mindestleistung der konventionellen Anlagen aufrecht zu erhalten, wenn nicht andere Anlagen an die Stelle treten.

Damit verbunden ist die Frage, welche Energieträger dafür eingesetzt werden sollen. Wenn Kernenergie als klimaneutrale Energie durch fossile Energieträger (Kohle/Erdgas) ersetzt wird, so wird damit die Reduktion von Treibhausgasen erschwert. Soweit aber Erdgas – wie häufig gefordert – zukünftig in verstärktem Umfang für die Stromerzeugung eingesetzt wird, so stellt sich die Frage der Versorgungssicherheit auch im Hinblick auf die Verfügbarkeit entsprechender Erdgas-mengen.

21

Eine besondere Gefährdung der Versorgungssicherheit ergibt sich aus der Situation der Übertragungs- und Verteilnetze, die noch nicht an die veränderte Situation der Erzeugung angepasst sind „Der Systembetrieb befindet sich an einer wachsenden Zahl von Tagen in einem angespannten Zustand, der für das operative Handeln zunehmend eine Herausforderung darstellt“ (Sechster Monitoring-Bericht, BMWi, 2018). Die Übertragungsnetze müssen ausgebaut werden, damit Strom aus erneuerbaren Quellen überall in Deutschland verfügbar wird und gleichzeitig müssen auch die Verteilnetze erweitert werden, in die große Teile der Energie aus Windkraft und Sonne eingespeist werden. Die Versorgungssicherheit ist in Frage gestellt, wenn Umbau der Erzeugung und Ausbau der Netze nicht synchronisiert erfolgen.

Literaturverzeichnis

- BGR. (2018). Energiestudie – Daten und Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung. Hannover.
- BMWi. (2018). Monitoring Bericht Versorgungssicherheit im Bereich der leitungsgebundenen Versorgung mit Elektrizität. Berlin.
- Bundesnetzagentur.
- Perez-Arriaga, I. (2013). Regulation of the Power sector. Berlin: Springer.
- Smil, V. (2015). Power Density. Cambridge Mass.
- Timpf, W., & Fuchs, M. (2012). Lastwechselfähigkeiten von Kernkraftwerken – Erfahrungen und Ausblick. Atomwirtschaft, S. 313 ff.
- UCTE. (2007). Final Report: System Disturbance on 4 November 2006.
- VGB PowerTech.

Herausgeber:



Kerntechnik Deutschland e.V.

Robert-Koch-Platz 4
10115 Berlin

T +49 30 498555-0

F +49 30 498555-19

M info@KernD.eu

Mai 2019

Alle Rechte vorbehalten.

www.KernD.eu