

SICHERHEIT DER STROMVERSORGUNG 2030 OHNE KOHLEKRAFTWERKE

Factsheet von Energy Brainpool im Auftrag der Green Planet Energy eG

AUSGANGSLAGE: STROMERZEUGUNG DEUTSCHER KOHLEKRAFTWERKE IM JAHR 2020

Tabelle 1: Stromerzeugung und -austausch mit Nachbarländern in Deutschland in Terawattstunden (TWh) in 2020
[Datenquelle: BNetzA (2021)]

	BRAUN- KOHLE	STEIN- KOHLE	GAS	KERN- KRAFT	SONST. KONVEN- TIONELLE	ERNEU- ERBARE ENERGIEN	IMPORT	EXPORT
Nettostrom- erzeugung 2020 in TWh	83	35	59	61	21	233	34	53

Im Jahr 2020 haben deutsche Kohlekraftwerke insgesamt rund 118 TWh Strom produziert (vgl. Tab. 1), das entspricht rund einem Viertel der deutschen Nettostromerzeugung. Demgegenüber stellen die erneuerbaren Energien (EE) rund 47 Prozent bereit. Insgesamt wurden in Deutschland 19 TWh mehr Strom exportiert als importiert. Als Netto-Stromexporteur (BNetzA, 2021) kann Deutschland einen Teil des Ersatzes von derzeit 118 TWh Kohlestrom durch einen Ausgleich des Stromaußenhandelsaldos erreichen.

WIE FUNKTIONIERT DIE STROMVERSORGUNG IN 2030 OHNE KOHLE?

Sollte der deutsche Kohleausstieg auf das Jahr 2030 vorgezogen werden, wirft dies die Frage auf, wie die flexible Erzeugungsleistung der Kohlekraftwerke ersetzt werden könnte, um die Versorgungssicherheit in Deutschland aufrecht zu erhalten. Zwei Dinge müssen bedacht werden: Der Ersatz für Kohlestrommengen einerseits und ein Ersatz für die steuerbare Leistung zur lückenlosen Nachfragedeckung andererseits. Mehrere Institute haben sich dieser Fragestellung bereits angenommen und funktionierende Energiesysteme modelliert, in denen die Kohleverstromung nicht mehr benötigt wird (vgl. Agora Energiewende (2021); dena (2018 und 2021); Energy Brainpool (2019); Fraunhofer IEE (2018); Fraunhofer ISE (2020)). Die Kohlekraftwerke werden dabei stets durch einen Mix aus Alternativtechnologien ersetzt, die nachfolgend beschrieben werden. Fraunhofer IEE (2018), Agora Energiewende (2021) und dena (2021) gehen in ihren Studien dabei bereits von einem Kohleausstieg bis 2030 aus, damit die Klimaziele der Bundesregierung erreicht werden können. Um die Gestaltungsoptionen für ein kohlefreies Stromsystem schon um das Jahr 2030 aufzuzeigen, unterziehen wir diese beiden Studien daher einer näheren Betrachtung.

Wind- und Solarenergie: Warum machen wir uns abhängig vom Wetter?

Um den deutschen Strombedarf in 2030 nicht nur möglichst klimafreundlich, sondern auch kostengünstig decken zu können, sieht die Politik einen starken Ausbau derjenigen Erzeugungstechnologien mit den günstigsten Stromgestehungskosten¹, der Wind- und der Solarenergie, vor.

¹ Vgl. Fraunhofer ISE (2021)

Dadurch lässt sich ein Großteil des jährlichen Strombedarfs zu geringen Kosten bereitstellen. **Um die Klimaziele Deutschlands zu erreichen, gehen Agora Energiewende (2021) und Fraunhofer IEE (2018) im Jahr 2030 von 435 bzw. 524 TWh EE-Stromproduktion (70 bzw. 92 Prozent des Bruttostromverbrauchs) aus. Dena (2021) rechnet mit 472 TWh (68 Prozent).**

Aufgrund des wetterabhängigen Einspeiseverhaltens werden weitere Technologien benötigt, um den Strombedarf zu jeder Stunde decken zu können. Dies ist insofern keine Neuheit, dass bereits konventionelle Kraftwerksparks stets aus Kraftwerken mit unterschiedlichen Kostenstrukturen und technischen Flexibilitätsgraden bestanden. Deren Stärken wurden für das Stromsystem insgesamt miteinander kombiniert.

Kurz- und mittelfristige Flexibilitätstechnologien: Lastausgleich über mehrere Stunden bis Tage

Hierzu zählen unter anderem Batterie- und Pumpspeichersysteme, die Energie in wind- und sonnenreichen Stunden einspeichern und nach einigen Stunden (Batterie) bzw. Tagen (Pumpspeicher) zur Deckung eines dann höheren Residualstrombedarfs wieder in das Stromnetz zurückspeisen können. Diese Systeme können nicht nur zu einem stabileren Stromsystem beitragen. Durch die zeitliche Verschiebung von grünen Stromerzeugungsmengen unterstützen sie auch die Verdrängung CO₂-intensiver Stromerzeuger durch erneuerbare Energien. Abbildung 1 stellt dies grafisch dar. **Um die Klimaziele der Bundesregierung erreichen zu können, geht Agora Energiewende (2021) für 2030 bspw. von einer installierten Speicherleistung von 2 (Batterie) bzw. 7 GW aus (Pumpspeicher).**

Auch auf der Nachfrageseite besteht zunehmend das Potenzial, Strom möglichst immer dann zu verbrauchen, wenn ein hohes Wind- und Solarstromdargebot und damit ein niedriger Strompreis auftritt. Beispiele hierfür sind kurzfristige Lastveränderungen in der Industrie (sog. Demand-Side-Management) oder neue, technisch flexible Verbrauchsanwendungen, wie beispielsweise Wärmepumpen, Elektroautos oder Elektrolyseure. Konzentriert sich die Nachfrage dieser Akteure vor allem auf wind- und sonnenreiche Stunden, reduziert dies gleichzeitig ihren (Residual-)Strombedarf in der restlichen Zeit. **Während Fraunhofer IEE (2018) die Nachfrage dieses flexiblen Verbrauchs in 2030 auf 119 TWh beziffert (21 Prozent des gesamten Bruttostromverbrauchs), geht Agora Energiewende (2021) bspw. von 233 TWh aus (36 Prozent des Bruttostromverbrauchs). Wenngleich über das modellierte Maß an Flexibilität dieser Nachfrager keine exakte Aussage gemacht wird, so ist grundsätzlich davon auszugehen, dass auch die flexible Stromnachfrage nur in einem verbrauchsgerechten Zeitfenster verschiebbar ist.**

Über die Reduktion des Strombedarfs in wind- und sonnenarmen Zeiträumen hinaus sind alle vorgenannten Technologien grundsätzlich auch dazu geeignet, Systemdienstleistungen zur kurzfristigen Stabilisierung des Stromsystems bereitzustellen und steuerbare Kohlekraftwerksleistung auch für diese Anwendungsfälle zu ersetzen.

Stromaußenhandel: Flexibilität im europäischen Verbundsystem

Auch der Ausbau der Grenzkuppelkapazitäten zwischen Deutschland und den jeweiligen Nachbarländern spielt eine wichtige Rolle zur Absicherung des gesamteuropäischen Stromsystems. Ist das Stromangebot in einem Land zu einer bestimmten Stunde sehr knapp, kann es bis zu einem gewissen Grad durch ausländische Stromerzeugung versorgt werden. Dies gilt sowohl für kurz- als

auch für langfristige Flexibilitätstechnologien. Da sich zwar nicht alle, aber sehr viele Stromknappheitssituationen durch den gegenseitigen Stromaustausch reduzieren lassen, ist der Ausbau des europäischen Verbundsystems eine der kosteneffizientesten Maßnahmen.

Während Fraunhofer IEE (2018) von einem ausgeglichenen Außenhandelsaldo in 2030 ausgeht, wird Deutschland nach Agora Energiewende (2021) und dena (2021) mit 17 bzw. 49 TWh zum Nettostromimporteur.

Langfristige Flexibilitätstechnologien: Stromversorgung während der „kalten Dunkelflaute“

Treffen Windflaute, geringe Sonneneinstrahlung und kalte Temperaturen über mehrere Wochen hinweg aufeinander, so spricht man von einer „kalten Dunkelflaute“. Dies stellt insofern einen Stresstest für das Stromsystem dar, dass heizbedingt eine besonders hohe Stromnachfrage auf ein sehr geringes Angebot trifft. Da sich derartige Wetterphänomene auch über eine große Fläche erstrecken können, bleibt das innereuropäische Lastausgleichspotenzial zwischen den Ländern in diesen Zeiträumen begrenzt, das Stromangebot ist vielerorts knapp.

Für diese Zeitfenster muss in ausreichendem Maße eine steuerbare Erzeugungsleistung zur Verfügung stehen, um den Strombedarf zu decken. In Zusammenarbeit sorgen die Bundesnetzagentur und Übertragungsnetzbetreiber dafür, dass nur dann Kohlekraftwerke ganz abgeschaltet werden dürfen (vgl. Stilllegungsanzeigeliste), wenn sie nicht für den sicheren Betrieb des Stromnetzes notwendig sind. Das kann dazu führen, dass Kohlekraftwerke zwar den Strommarkt verlassen, aber als Reservekraftwerke für Notfälle solange vorgehalten werden, bis es Ersatz für die steuerbare Leistung gibt. Eine Einschränkung der Versorgungssicherheit ist hingegen nicht zu befürchten. Zwar bleiben Kraftwerksabbrufe und CO₂-Emissionen hier auf das aus Systemsicht notwendige Minimum begrenzt, dennoch bleibt der Einsatz von Kohlekraftwerken abseits des Strommarktes wirtschaftlich und klimapolitisch ineffizient. Ein Zubau von Gaskraftwerken mit geringerem CO₂-Emissionsfaktor² und der Option, künftig mit klimaneutralen Gasen betrieben zu werden, ist daher in den meisten Modellierungen vorgesehen. Sie haben nicht nur eine Reserverolle, sondern die Möglichkeit, sich am Strommarkt zu vermarkten (z. B. über Knappheitspreise oder einen Kapazitätsmarkt). Ein Ersatz des Brennstoffs Kohle durch Gase eignet sich insbesondere auch für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK), die neben der Stromproduktion gleichzeitig Wärme für Industrieparks oder Fernwärmenetze auskoppeln. **Fraunhofer IEE (2018) geht in seiner europäischen Kraftwerksparkoptimierung von knapp 10 GW an zusätzlich notwendigen Gas-KWK-Anlagen aus, die bis 2030 in Deutschland zugebaut werden sollen. Die Reservevorhaltung von Kohlekraftwerkskapazität spielt in diesem Energiesystem ebenso eine Rolle, wenngleich der Umfang nicht genau festgelegt wird. In diesem Szenario macht die Stromerzeugung der Gaskraftwerke in 2030 mit 32 TWh nur 7 Prozent des Bruttostromverbrauchs aus. Agora Energiewende (2021) und dena (2021) rechnen bis 2030 mit einem höheren Gaskraftwerkszubau von mind. 15 GW, dafür ist die Vorhaltung von Reserveleistung nicht explizit vorgesehen. Mit 134 bis 137 TWh decken Gaskraftwerke hier 20-21 Prozent des Bruttostromverbrauchs.**

Mit Blick auf das langfristige Ziel der Klimaneutralität und die Restemissionen der Verfeuerung von Erdgas muss in Gaskraftwerken zunehmend auf klimaneutrale Gase zur Verfeuerung zurückgegriffen

² Gemäß Umweltbundesamt (2016) liegt der durchschnittliche Emissionsfaktor für die Verbrennung von Braunkohle bei rund 0,41, von Steinkohle bei 0,34 und von Erdgas bei 0,21 kg_{CO2}/kWh_{th}.

werden (z. B. Biogas, grüner Wasserstoff). Grünem Wasserstoff kommt dabei eine besondere Rolle als langfristigem Energiespeichermedium zu. Nachdem er in wind- und sonnenreichen Zeiten durch Elektrolyseure produziert wurde, kann er z. B. in Kavernen über Wochen und Monate gespeichert werden, um im Notfall zur Rückverstromung in Kraftwerken genutzt zu werden. Dieser Vorgang folgt der Logik von Batterie- und Pumpspeichern, kann aber über einen längeren Zeitraum stattfinden (vgl. Abbildung 1). **Während die Verfeuerung grünen Wasserstoffs und seiner Derivate (z.B. Powerfuels) in Großkraftwerken in Fraunhofer IEE (2018) und dena (2021) erst nach 2030 eine Rolle spielt, geht Agora Energiewende (2021) im Jahr 2030 bereits davon aus, dass 2,5 GW der installierten Gaskraftwerksleistung mit grünem Wasserstoff befeuert werden.**

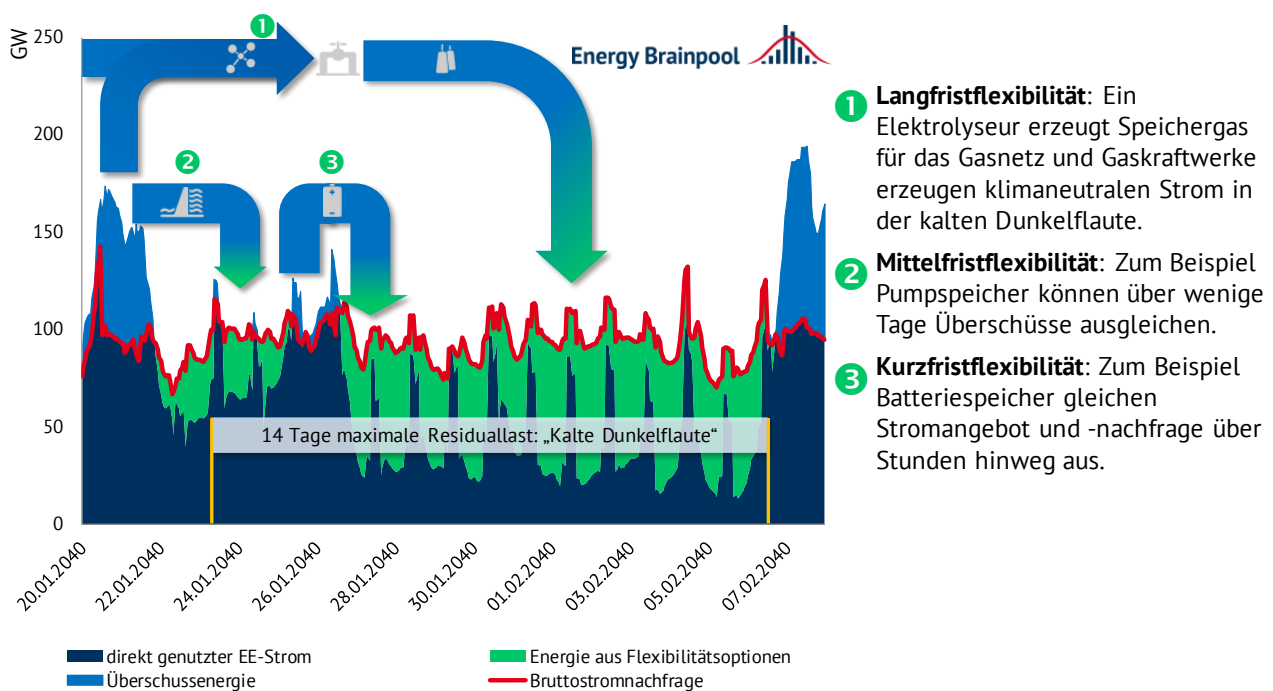


Abbildung 1: Die Rolle von Technologien zur Energiespeicherung in einem kohlefreien Stromsystem (u.a. Batterie- und Pumpspeichersysteme, Wasserelektrolyse mit Wasserstoffspeicherung und -rückverstromung in Kraftwerken)

FAZIT

Die Technologieoptionen stehen bereit, um die Versorgungssicherheit in einem kohlefreien Energiesystem bereits 2030 zu gewährleisten. Der Studienvergleich zeigt jedoch die Bandbreite der Gestaltungsmöglichkeiten für den passenden Technologiemix auf. Geltende Regelungen zur Kraftwerksstilllegung und Versorgungssicherheit verhindern, dass sich der Kohleausstieg negativ auf die Versorgungssicherheit auswirkt – selbst dann, wenn notwendige Ersatzkapazitäten erst verspätet ans Netz angeschlossen würden.

Im Vergleich zu Kohlekraftwerken können Wind- und Solaranlagen Strom günstiger produzieren, Gaskraftwerke, Speicher und flexible Stromnachfrage können kosteneffizienter für Versorgungssicherheit sorgen. Hinsichtlich der Klimaziele Deutschlands und der geringen Kosten der Stromversorgung steht die Politik und Marktregulierung vor der Aufgabe, für einen ausreichend schnellen Markthochlauf der notwendigen Technologien bis 2030 zu sorgen, um einen beschleunigten Kohleausstieg zu ermöglichen und dabei die Strompreise zu senken.

QUELLENVERZEICHNIS

Agora Energiewende, 2021: Klimaneutrales Deutschland 2045 [online]

https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_231_KNDE2045_Langfassung_DE_WEB_01.pdf [zuletzt abgerufen am 30.09.2021]

Bundesnetzagentur, 2021: Strommarktdaten 2020 (SMARD-Auswertung). [online]

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/20210102_smard.html
i.V.m. <https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/202398> [zuletzt abgerufen am 04.10.2021]

Deutsche Energie-Agentur (dena), 2018: Leitstudie integrierte Energiewende [online]

https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf [zuletzt abgerufen am 04.10.2021]

Deutsche Energie-Agentur (dena), 2021: „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“ [online]

https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf [zuletzt abgerufen am 07.10.2021]

Energy Brainpool, 2019: „Erneuerbar in allen Sektoren“ [online]

https://www.energybrainpool.com/fileadmin/download/Studien/2019-09-18_EnergyBrainpool_Erneuerbar-in-allen-Sektoren_GreenpeaceEnergy.pdf [[zuletzt abgerufen am 30.09.2021]

Fraunhofer IEE, 2018: 2030 Kohlefrei [online]

https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/2030_kohlefrei_fraunhofer_iee_greenpeace.pdf [zuletzt abgerufen am 30.09.2021]

Fraunhofer ISE, 2020: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem [online]

https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf [zuletzt abgerufen am 04.10.2021]

Fraunhofer ISE, 2021: Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien [online]

https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf [zuletzt abgerufen am 06.10.2021]

UBA, 2016: CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe [online]

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf [zuletzt abgerufen am 27.08.2021].

KURZPORTRÄT ENERGY BRAINPOOL

Die Energy Brainpool GmbH & Co. KG bietet unabhängige Energiemarkt-Expertise mit Fokus auf Marktdesign, Preisentwicklung und Handel in Deutschland und Europa. 2003 gründete Tobias Federico das Unternehmen mit einer der ersten Spotpreisprognosen am Markt. Heute umfasst das Angebot Fundamentalmodellierungen der Strompreise mit der Software **Power2Sim** ebenso wie vielfältige Analysen, Prognosen und wissenschaftliche Studien. Energy Brainpool berät in strategischen und operativen Fragestellungen und bietet seit 2008 Experten-Schulungen und Trainings an. Das Unternehmen verbindet Wissen und Kompetenz rund um Geschäftsmodelle, Digitalisierung, Handels-, Beschaffungs- und Risikomanagement mit langjähriger Praxiserfahrung im Bereich der steuerbaren und fluktuierenden Energien.

IMPRESSUM

Autor:

Michael Claußner

Herausgeber:

Energy Brainpool GmbH & Co. KG

Brandenburgische Straße 86/87

10713 Berlin

www.energybrainpool.com

kontakt@energybrainpool.com

Tel.: +49 (30) 76 76 54 - 10

Fax: +49 (30) 76 76 54 - 20

Oktober 2021

© Energy Brainpool GmbH & Co. KG, Berlin

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrokopie oder ein anderes Verfahren), Übersetzung und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte findet eine Haftung ohne Rücksicht auf die Rechtsnatur des Anspruchs nicht statt. Sämtliche Entscheidungen, die aufgrund der bereitgestellten Informationen durch den Leser getroffen werden, fallen in seinen Verantwortungsbereich.