

Mit hohen Investitionen in die Kraftwerke wird die Effizienz der Stromerzeugung kontinuierlich gesteigert.

Kohle wird in Europa und weltweit auch zukünftig ein maßgeblicher Energieträger für eine sichere und zuverlässige Stromerzeugung sein. Wirtschaftlichkeit, technische Zuverlässigkeit, Flexibilität und Umweltverträglichkeit sind dabei die Kernanforderungen an moderne und wettbewerbsfähige Kohlenkraftwerke.

Die weltweiten Bemühungen um eine effiziente Klimavorsorge durch Senkung der Treibhausgasemissionen haben längst eine besondere Bedeutung für die zukünftige Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern erlangt, der die weitere Kraftwerksentwicklung Rechnung trägt. Ein zunehmend wichtiges Thema ist dabei die Integration des aus erneuerbaren Energien produzierten Stroms in die bestehenden Netze. Dadurch erhöhen sich die Anforderungen an Regel- und Steuerungstechnik in Kohlenkraftwerken, aber insbesondere auch an die Beherrschung der Lastwechsel unter Berücksichtigung der Emissionsgrenzwerte und der zulässigen Belastung von Werkstoffen in existierenden fossilen Kraftwerken.

Die wesentlichen Handlungsfelder der Forschung und Entwicklung im Kraftwerksbereich sind Optimierung

der laufenden Produktion, Weiterentwicklung innovativer Technologien zur kommerziellen Einsatzreife sowie Entwicklung neuer zukunftsweisender Optionen. Forschung und Entwicklung leisten in diesem Sinne kurzfristig einen Beitrag zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit von Braunkohlenkraftwerken in einem sich dramatisch ändernden Umfeld.

Während bislang die klimafreundliche Erzeugung von Strom in hocheffizienten Kraftwerken die wichtigste Herausforderung war, kommt nun ein wirtschaftlicher Wettbewerb mit den stetig steigenden Kapazitäten bei den erneuerbaren Energien hinzu. Um die fluktuierende Stromproduktion aus den erneuerbaren Energien kompensieren zu können, gewinnen flexible konventionelle Kraftwerke immer mehr an Bedeutung.

Handlungsoptionen im Rahmen der Energiewende

Das Konzept der deutschen Bundesregierung für die Energiewende legt die Randbedingungen für einen langfristigen Umstieg aus einer CO₂-intensiven in eine CO₂-arme Energieversorgung fest. Die im Rahmen der Energiewende formulierten Ziele sind sehr ambitioniert und übersteigen einige der auf europäischer Ebene gesetzten Vorgaben zur Minderung von CO₂-Emissionen erheblich.

Die Klimaschutzziele in Deutschland können nur durch die Ausschöpfung verschiedenster Optionen zur Emissionsminderung erreicht werden. Grundsätzlich sind zwei Wege zur Minderung von CO₂-Emissionen möglich, die auch miteinander kombiniert werden können: Die Substitution CO₂-intensiver Erzeugungskapazitäten durch eine

CO₂-arme Erzeugung und die Verbesserung CO₂-behafteter Prozesse.

Im Bereich der Kraftwerkstechnik liegt der Fokus weiterhin in der Effizienzsteigerung durch den Ersatz alter Kraftwerke oder die Ertüchtigung bestehender Kraftwerkskapazitäten. Daneben steht seit dem massiven Ausbau der erneuerbaren Energien jedoch auch die Steigerung der Flexibilität in der Liste der Prioritäten ganz oben. Ein flexibler konventioneller Kraftwerkspark, der auf die fluktuierende Einspeisung von erneuerbarem Strom reagieren kann, macht deren Nutzung erst möglich und gewährleistet gleichzeitig die Sicherheit der Stromversorgung.

Sollte der Ausbau der erneuerbaren Energien und deren Netzintegration hinter den ambitionierten Zielen der Bundesregierung zurückbleiben, müsste die angestrebte CO₂-Minderung vor allem durch den Einsatz von Carbon Capture & Storage (CCS) erreicht werden. Aufgrund der aktuellen rechtlichen Lage ist jedoch die ausführliche großtechnische Erprobung der gesamten CCS-Kette in Deutschland nicht durchführbar. Potenzielle Investoren sehen sich beim Einsatz der Technologie in Deutschland so hohen Barrieren gegenüber, dass sich die Mehrheit weitgehend aus der Forschung und Entwicklung von CCS in Deutschland zurückgezogen hat.

Die Nutzung von CO₂ (CCU – Carbon Capture & Utilization) steckt noch in einer frühen Entwicklungsphase und kann darüber hinaus im Vergleich zu CCS nur einen deutlich kleineren Beitrag zur CO₂-Emissionsverringern leisten.

Die Unternehmen treiben Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten voran, um Lösungen für die beschriebenen Herausforderungen zu entwickeln. Die LEAG unterstützt die Erforschung und

Entwicklung von CCS im Rahmen einer Kooperation mit dem kanadischen Energieversorger SASK Power, die bereits unter Vattenfall als Eigentümer der Lausitzer Braunkohlensparte geschlossen wurde. SASK Power nutzt die Forschungsergebnisse aus der CCS-Pilotanlage in Schwarze Pumpe für eigene Demonstrationsprojekte.

Optimierung des laufenden Betriebes

Sowohl in betriebsnahen Versuchen als auch mittels thermochemischer Berechnungen und Laboruntersuchungen werden bei RWE Power und der Lausitz Energie Kraftwerke AG (LEAG) Verbrennungskonzepte für schwierig zu verfeuernde Kohlen und für alternative Brennstoffe erarbeitet. Hierzu werden Versuche mit potentiell verschmutzungs- und verschlackungskritischen Kohlen an Großkesseln intensiv begleitet und analysiert. Auf Basis der Großkesselversuche, kontinuierlicher Untersuchungen an einer zu diesem Zweck betriebenen Kleinverbrennungsanlage und Grundlagenarbeiten in Zusammenarbeit mit akademischen Partnern werden Handlungsempfehlungen für die Verfeuerung von Kohle entwickelt.

Effizienz- und Flexibilitätssteigerung

Die Wirbelschichttrocknung mit interner Abwärmenutzung (WTA) wurde bei der RWE Power AG zur kommerziellen Reife geführt. In einer Prototypanlage mit einer Auslegungskapazität von 110 t/h Trockenbraunkohle wird Braunkohle nach dem Wirbelschichtverfahren getrocknet und am BoA-Block im Kraftwerk Niederaußern zugefeuert. Diese Trocknungstechnik hat das Potenzial, den Wirkungsgrad



eines Braunkohlenkraftwerkes um vier bis fünf Prozentpunkte zu steigern. Nach der Umsetzung von verfahrenstechnischen Optimierungen ist nunmehr der Trocknungsbetrieb mit allen relevanten Kesselkohlenqualitäten bei einer Maximalkapazität von 80 t/h sicher möglich. Somit ist die kommerzielle Einsatzfähigkeit der WTA-Technik sowohl für neu zu errichtende Kraftwerksblöcke als auch als Nachrüstoption für geeignete Bestandsanlagen nachgewiesen. Durch Maßnahmen an der Feuerung wurde zusätzlich der Einsatz der Trockenbraunkohle in der für Rohbraunkohle ausgelegten BoA 1 verbessert. Die WTA Prototypanlage befindet sich seit Anfang 2015 im kommerziellen Betrieb.

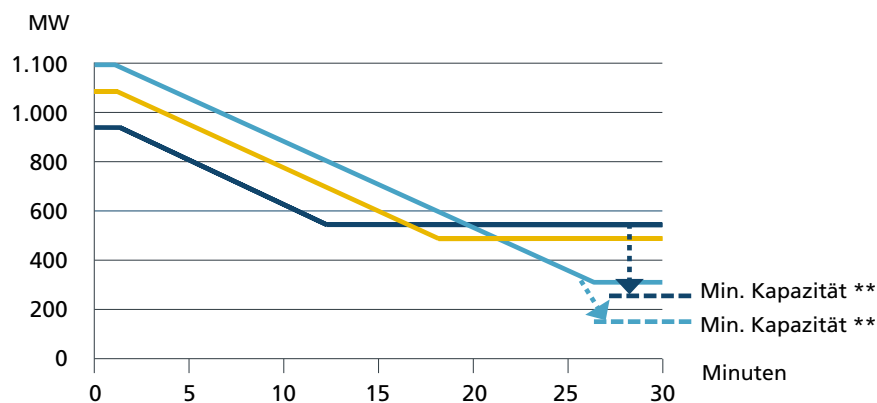
In einem Gemeinschaftsprojekt der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg, der LEAG, der MIBRAG und weiterer Industriepartner wurde im Lausitzer Revier das Verfahren der druckaufgeladenen Dampfwirbelschichttrocknung (DDWT) von Rohbraunkohle weiterentwickelt, mit dem in Abhängigkeit vom Wassergehalt der Rohkohle ebenfalls Wirkungsgradsteigerungen von vier bis fünf Prozentpunkten erreichbar sind. Der Testbetrieb in der Versuchsanlage Schwarze Pumpe wurde 2012 erfolgreich abgeschlossen. Ein Folgeprojekt, welches 2015 beendet wurde, legte den Fokus auf Grundlagenuntersuchungen und die verfahrenstechnische Optimierung zur kommerziellen Erzeugung von Trockenbraunkohle.

Die in der DDWT-Anlage produzierte Trockenbraunkohle kommt seit dem Frühjahr 2015 zur Zünd- und Stützfeuerung in einer Pilotanlage im Kraftwerk Jänschwalde zum Einsatz.

Durch den wachsenden Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung und den damit verbundenen häufigeren Anfahrten und Lastwechseln sind die Kraftwerke einer zunehmenden Beanspruchung ausgesetzt. Daher wird es immer wichtiger, die Folgen der zunehmenden Flexibilitätsanforderungen an den Kraftwerkspark zu überwachen. Die RWE Generation hat dazu im Rahmen ihrer Big Data-Aktivitäten das Projekt „rLife“ ins Leben gerufen. Ziel von „rLife“ ist es, durch Weiterentwicklung eines kommerziell verfügbaren IT-Tools eine zentrale Online-Überwachung für hochbelastete Komponenten bereitzustellen und zu implementieren. Mit einer genauen Vorhersage des Lebensdauer verbrauchs lassen sich nicht nur das Risiko eines Schadens, sondern auch die Prüfkosten durch Streckung der Betriebsintervalle zwischen Prüfungen reduzieren.

Unter dem Programm flexGen bündelt die LEAG alle Einzelprojekte zur Steigerung der Lastflexibilität ihrer Bestandskraftwerke. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen Maßnahmen, um die Mindestlast der Anlagen unter Beachtung der jeweiligen Standortrestriktionen weiter zu senken und die Anlagendynamik zu erhöhen. So kann im Kraftwerkspark der LEAG je nach Leistungsgröße der Blöcke eine Mindestlast von 20 bis 40 % der installierten Leistung erreicht werden.

Flexibilität moderner GuD-Anlagen und Braunkohlenkraftwerke im Vergleich



Durch große und schnelle Leistungsänderungen kann die schwankende Einspeisung der erneuerbaren Energien aufgefangen werden. Moderne Braunkohlenkraftwerke sind dazu ebenso in der Lage wie moderne GuD-Anlagen.

BoA 1 bis 3

Max. Kapazität	~ 1000 MW
Min. Kapazität	~ 500 MW
Max. Laständerungsgeschwindigkeit	+/- 30 MW/min

GuD-Anlage Lingen

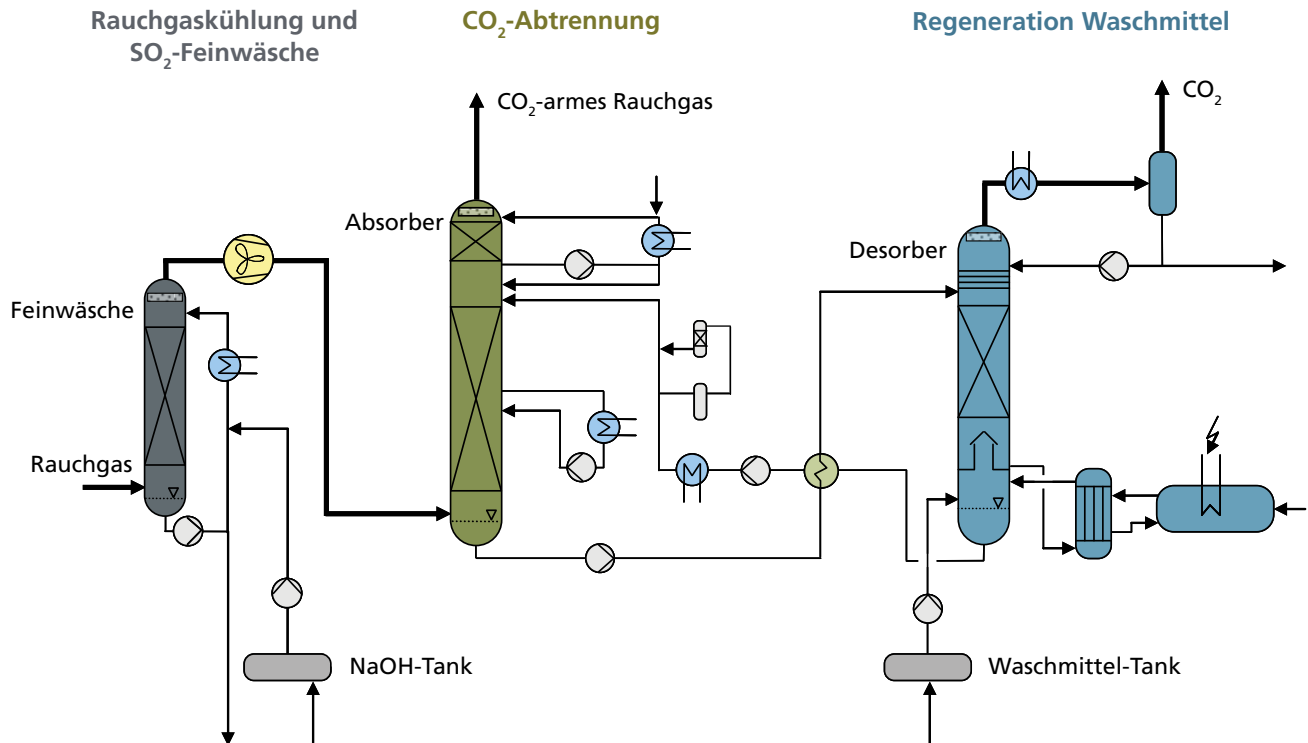
Max. Kapazität	~ 2x440 MW
Min. Kapazität	~ 520 */260 ** MW
Max. Laständerungsgeschwindigkeit	+/- 32 MW/min

BoAplus

Max. Kapazität	~ 2 x 550 MW
Min. Kapazität	~ 350 */175 ** MW
Max. Laständerungsgeschwindigkeit	+/- 30 MW/min

* bei 2-Kessel-Betrieb
** bei 1-Kessel-Betrieb

CO₂-Wäsche-Pilotanlage Niederaußem



Rauchgasteilstrom: 1.550 Nm³/h
CO₂-Produkt: 7,2 t CO₂/Tag
Abtrennrage 90 %

Absorberhöhe entspricht Full-Scale-Anlage
Instrumentierung: 275 Messstellen
Anlagenverfügbarkeit > 97 %

Erste Anlage in Deutschland, IBN 2009
Budget RWE Power Phasen I/II/III: 20 Mio. €
40 % Förderung durch das BMWi

Der Betrieb im Mindestlastbereich trägt dazu bei, insbesondere in Zeiten mit erhöhter erneuerbarer Produktion (z. B. Starkwind) diesen Strom ins Netz aufzunehmen, während zugleich eine schnelle Leistungserhöhung der Kraftwerke möglich ist, wenn die erneuerbare Produktion wieder abfällt.

Mit der Realisierung der Anlage zur Zünd- und Stützfeuerung mit Trockenbraunkohle im LEAG-Kraftwerk Jänschwalde, die im Oktober 2014 in Betrieb genommen wurde, ist ein weiterer wichtiger Schritt von der Theorie in die Praxis gelungen. Das Projekt wurde vom BMWi gefördert und durch die Forschungspartner BTU Cottbus-Senftenberg, TU Hamburg-Harburg und die Hochschule Zittau/Görlitz wissenschaftlich begleitet. Durch die Kombination einer innovativen Brennertechnologie mit einem hochveredelten Rohstoff konnte die Mindestlast eines 500-MW-Blockes von ursprünglich 36 % auf bis zu 20 % der installierten Leistung (100 MW) gesenkt werden. Die TBK-Anlage Jänschwalde

ist der Prototyp des hochflexiblen Braunkohlenkraftwerks und leistet einen wichtigen Beitrag zur Integration erneuerbarer Energie in das bestehende Versorgungssystem.

Abtrennung und Nutzung von Kohlendioxid

Im Rahmen des Entwicklungsprogramms von RWE Power, BASF und Linde zur Weiterentwicklung der CO₂-Wäsche-Technik wird seit 2009 eine Pilotanlage am Kraftwerksstandort Niederaußem betrieben. Basis für die optimierte CO₂-Wäsche ist ein neues CO₂-Waschmittel von BASF sowie eine optimierte Anlagentechnik von Linde. Aufgrund des niedrigen Energiebedarfs und der hohen Stabilität des Waschmittels zählt dieses Verfahren zu den weltweit führenden CO₂-Abtrennprozessen. Verglichen mit heute üblichen Prozessen lässt sich der Energieaufwand für die CO₂-Abtrennung um etwa 20 % senken. Daneben zeichnen sich die neuen CO₂-Waschmittel durch eine deutlich erhöhte Stabilität gegenüber Sauerstoff aus, so

dass sich der Lösemittelverbrauch erheblich verringert. In der laufenden Projektphase stehen die Untersuchung von braunkohlenspezifischen Verfahrensparametern, die Optimierung der Emissionsminderung sowie der Test eines verbesserten Waschmittels von BASF auf dem Programm. Ende 2016 war die Pilotanlage insgesamt bereits 50.000 Stunden in Betrieb mit einer Anlagenverfügbarkeit von 97 %, davon mehr als 42.000 Stunden mit den im Rahmen des Entwicklungsprogramms entwickelten Waschmitteln. Die Pilotanlage verfügt zudem über eine CO₂-Verflüssigungs- und

Abfüllanlage zur Unterstützung der Forschungsansätze für die CO₂-Nutzung (CCU – Carbon Capture and Utilisation), wie z. B. für Katalysatortests zur Umsetzung von elektrolytisch gewonnenem H₂ mit CO₂ zu Methanol oder Methan.

Seit Oktober 2015 besteht eine Kooperation mit dem Forschungszentrum Jülich auf dem Gebiet der CO₂-Nutzung. Das in der Pilotwäsche in Niederaußem abgetrennte CO₂ wird in Jülich in mehreren Projekten u. a. zur Erzeugung von Biokerosin aus Algen verwendet.

CO₂-Umwandlung und Nutzung (CCU)

Die Optionen zur CO₂-Nutzung lassen sich in vier Basispfade einteilen:

TECHNISCHES GAS

Direkte Anwendung für Trockeneis, als Reinigungs- und Kühlmittel, als Schweißgas, als umweltfreundliches Lösemittel, für die Gewächshausversorgung oder die Wasseraufbereitung

CHEMISCH

Einsatz von CO₂ als Rohstoff in der Chemie z. B. als Ersatz für petrochemische Kohlenstoffquellen

BIOTECHNOLOGISCH

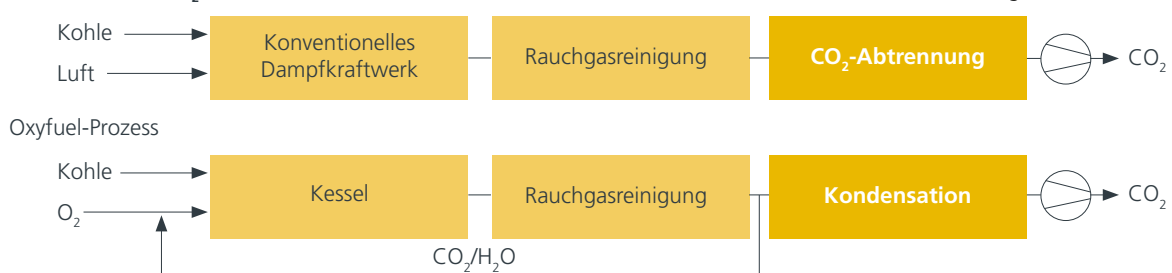
Technische Nutzung von Mikroorganismen, um CO₂ in Biomasse zu binden oder zu Wertstoffen umzuwandeln

BIOLOGISCH

Nutzung der natürlichen Photosynthese von Pflanzen, um CO₂ als Biomasse zu binden, z. B. mit Algen

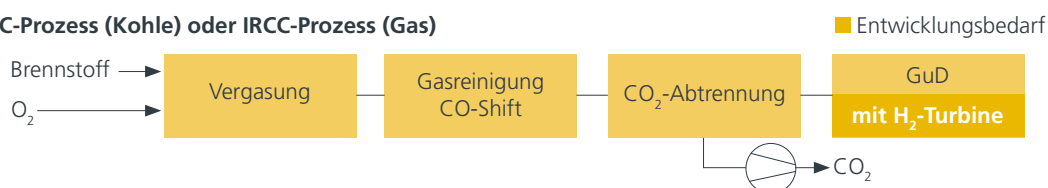
CO₂-Abtrennung nach der Verbrennung (Dampfkraftwerke)

Konv. KW mit CO₂-Wäsche

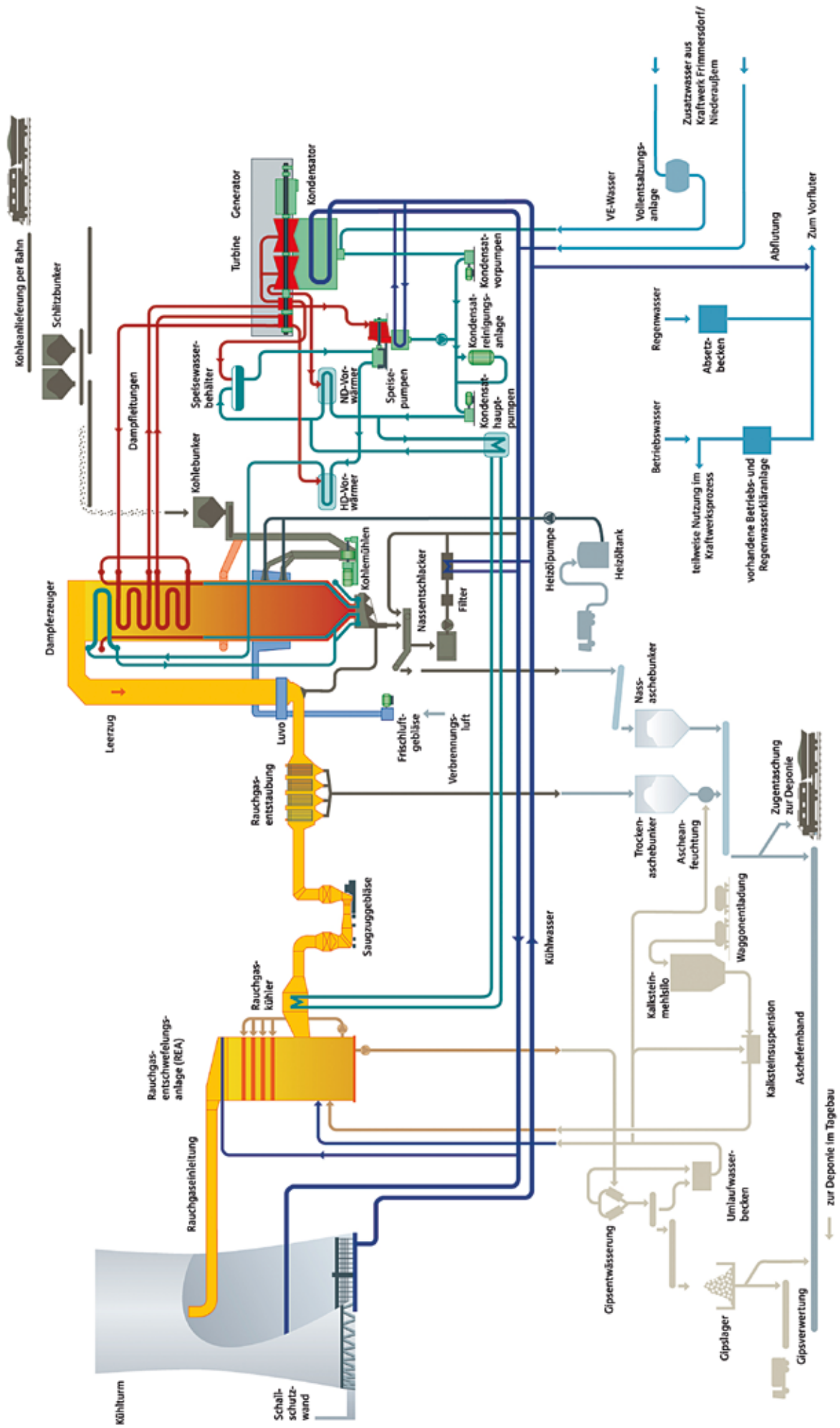


CO₂-Abtrennung vor der Verbrennung (Kombikraftwerke)

IGCC-Prozess (Kohle) oder IRCC-Prozess (Gas)



Kraftwerkprozess BoA 2 & 3



Kohlenkraftwerke – Flexibler Partner der erneuerbaren Energien

Die erneuerbaren Energien genießen in Deutschland Einspeisevorrang. Wenn der Wind nicht weht und es dunkel oder trüb ist, müssen konventionelle Kraftwerke bereitstehen; wenn der Wind aufbrist und die Sonne aufgeht, treten sie zurück.

Das Stromsystem wird dynamischer, Flexibilität und gesicherte Verfügbarkeit von Kapazitäten, die spiegelbildlich zu erneuerbaren Energien bereitstehen und die Versorgung zuverlässig gewährleisten, sind unersetzlich und haben einen Wert.

Versorgungssicherheit und Flexibilität leisten in Deutschland ganz überwiegend Kohlenkraftwerke. Das zeigt eine Auswertung der Stromerzeugungsdaten, die von Agora Energiewende ins Netz gestellt werden. Beispielhaft herangezogen dafür werden die Stromdaten August und November 2014.

“ Versorgungssicherheit nur mit zweitem System aus Kohlen- und Gaskraftwerken gewährleistet.

Im August sind hohe Einspeisungen von Wind und insbesondere PV zu verzeichnen. Steinkohlen-, aber auch Braunkohlenkraftwerke werden mit verminderter Last und deutlich wechselnder Auslastung an Werktagen und am Wochenende betrieben. Derweil sind vor allem die Gaskraftwerke nur noch am Netz, wenn sie Strom und Wärme gleichzeitig erzeugen. Man nennt diese Betriebsweise must-run.

Im November ergibt sich ein anderes Bild. Die Kapazitäten der Stein- und Braunkohlenkraftwerke sind in starkem Maße gefordert. Die traditionell in der Mittellast eingesetzten Steinkohlenkraftwerke sind der wesentliche Puffer, mit dem die Schwankungen der Nachfrage über den Tag und an den Wochenenden abgefangen werden.

Gaskraftwerke werden auf geringfügig höherem Niveau betrieben. Die dargestellte Einspeisecharakteristik

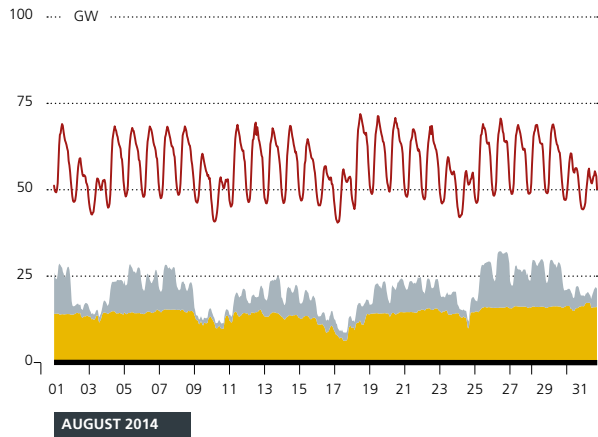
zeigt aber, dass die Einspeisung weiter überwiegend gleichmäßig verläuft, d. h. wärmegeführt, und nur an wenigen Tagen während der Mittagszeit kleine Spitzen entstehen. Im Winter, wenn die Sonne wenig scheint, gewinnen Gaskraftwerke einen kleinen Teil ihrer Rolle zurück, die sie ursprünglich hatten, nämlich die Mittags- und Abendspitzen auszugleichen.

Im Sommer wie Winter werden die Kernkraftwerke hoch ausgelastet. Die Kernenergie mit einer Kapazität von rund 12.000 MW soll bis 2023 vom Netz gehen und überwiegend durch Erneuerbare ersetzt werden. Die flexiblen Kohlenkraftwerke gewährleisten dann weitere Versorgungssicherheit, phasenweise entsteht auch mehr Raum für Erdgas.

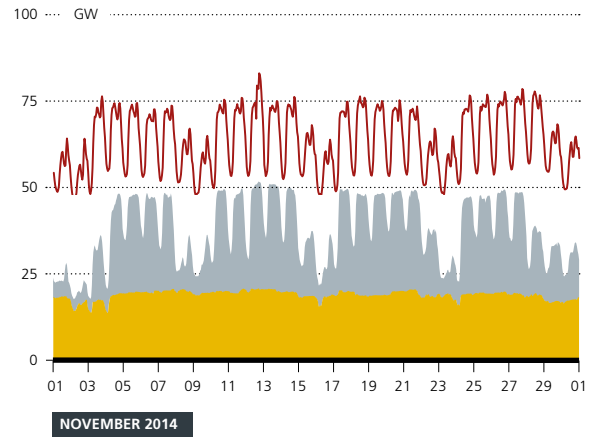
Dabei sind noch drei wichtige Aspekte zu beachten, wenn man die Gas- und die Kohlenverstromung in Deutschland vergleicht:

1. Kohle ist im Vergleich zu Gas vielfach wirtschaftlicher. Ein politisch veranlasster stärkerer Einsatz von Gaskraftwerken hätte höhere Stromerzeugungskosten und tendenziell höhere Strompreise zur Folge. Ein erzwungener Wechsel von Kohle zu Gas wäre unwirtschaftlich und gefährdet den Industriestandort.
2. Deutschlands Energieversorgungssicherheit basiert auf einem breiten Mix der Energieträger und Lieferländer. Heute wird vor allem Gas aufgrund des russisch-ukrainischen Konflikts kritischer diskutiert als früher, wohingegen insbesondere Braunkohle im Inland verfügbar ist.
3. Dem Klimaschutz würde ein Abschaltzwang für Kohlenkraftwerke nichts bringen. Denn wenn in Kraftwerken in Deutschland weniger Kohlendioxid ausgestoßen würde, könnten Industrieunternehmen oder ausländische Stromerzeuger ihre Emissionen erhöhen, weil das im europäischen Emissionshandel festgelegte CO₂-Budget unverändert bleibt. Geringere CO₂-Emissionen in Deutschland aus Kohlenkraftwerken würden zu mehr Emissionen, beispielsweise in Italien, Spanien oder Polen, führen.

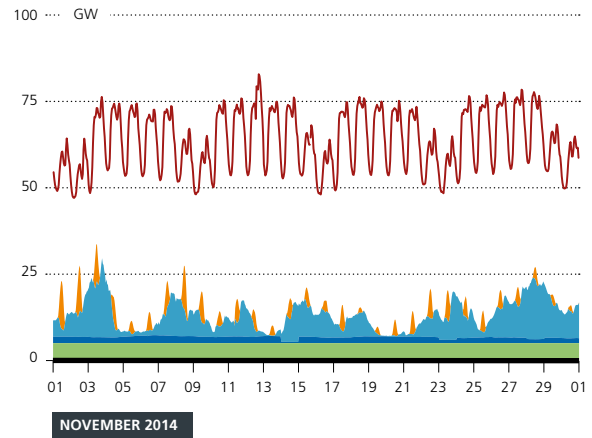
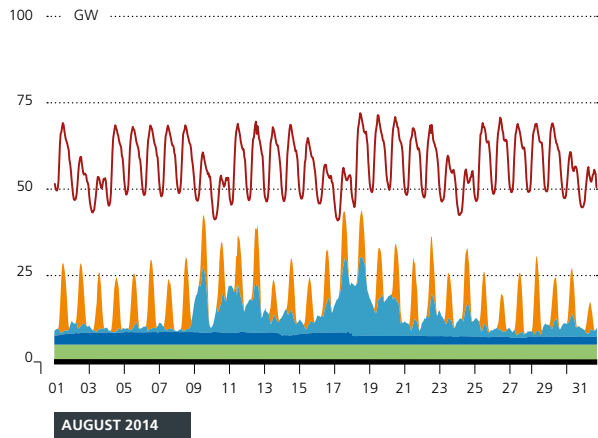
Stromerzeugung und -verbrauch August 2014



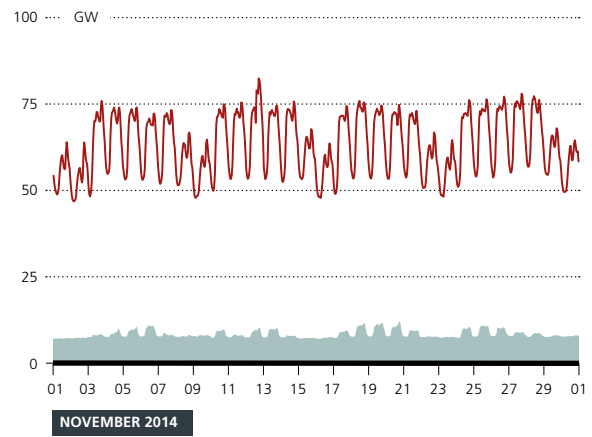
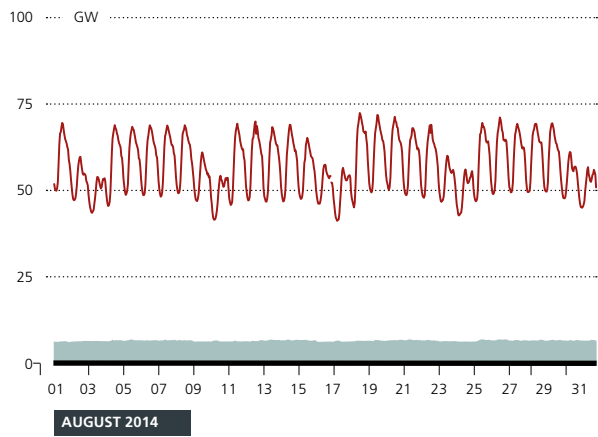
Stromerzeugung und -verbrauch November 2014



Stromerzeugung aus Kohlenkraftwerken



Stromerzeugung aus Erneuerbaren



Stromerzeugung aus Gaskraftwerken

- Steinkohle
- Braunkohle
- Solar
- Wind
- Laufwasser
- Biomasse
- Erdgas
- ~ Stromverbrauch

Quelle: Agora Energiewende
Stand 12. Dezember 2014