



12

Weiterentwicklung der Kraftwerkstechnik

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 Kohlekraftwerkstechnik.

Angesichts weltweiter Bemühungen um eine effiziente Klimavorsorge durch Senkung der Treibhausgasemissionen hat der Umweltaspekt längst eine besondere Bedeutung für die zukünftige Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern erlangt, dem die weitere Kraftwerkstechnikentwicklung 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 Kohlekraftwerken, 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 leistet in diesem Sinne kurzfristig einen Beitrag zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit von Braunkohlekraftwerken in einem sich dramatisch ändernden Umfeld. Langfristig geht es aber auch um die Erschließung alternativer Nutzungsmöglichkeiten.

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 kohlengefeuerte Kraftwerke immer mehr an Bedeutung, da Gaskraftwerke wegen der hohen Gaspreise in vielen Fällen nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden können.

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. Je flexibler der konventionelle Kraftwerkspark auf die fluktuierende Einspeisung von erneuerbarem Strom reagieren kann, desto mehr Strom kann aus diesen Anlagen im Netz genutzt werden.

Sollte der Ausbau der erneuerbaren Energien 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.

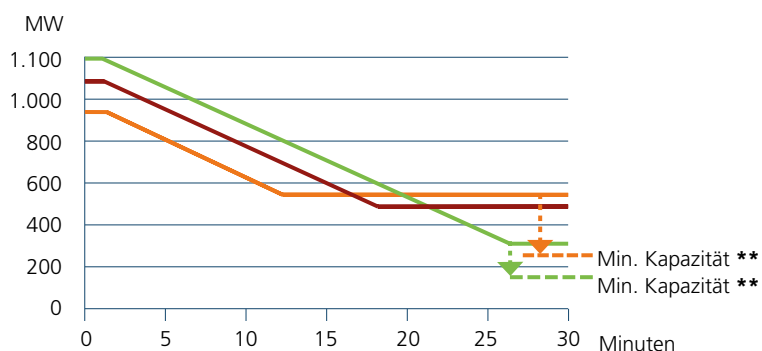
Die Nutzung von CO₂ (CCU – Carbon Capture & Utilization) steckt noch in einer frühen Entwicklungsphase und kann darüber hinaus im Vergleich zu CCS nur einen deutlich kleineren Beitrag zur CO₂-Emissionsverringern leisten.

Die Unternehmen treiben Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten voran, um Lösungen für die beschriebenen Herausforderungen zu entwickeln. Vattenfall unterstützt die Erforschung und Entwicklung von CCS auch weiterhin im Rahmen einer Kooperation mit dem kanadischen Energieversorger SASK Power. Dieser nutzt die Forschungsergebnisse aus der CCS-Pilotanlage Schwarze Pumpe zur Optimierung seines CCS-Demonstrationsprojektes Boundary Dam.

Optimierung des laufenden Betriebes

Sowohl in betriebsnahen Versuchen als auch mittels thermochemischer Berechnungen und Laboruntersuchungen werden bei RWE Power und Vattenfall Europe Generation Verbrennungskonzepte für schwierig zu verfeuernde Kohlen und für alternative Brennstoffe erarbeitet. Hierzu 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

* bei 2-Kessel-Betrieb

** bei 1-Kessel-Betrieb

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

Versuche mit potentiell verschmutzungs- und verschlammungskritischen 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 insbesondere von Braunkohlen entwickelt.

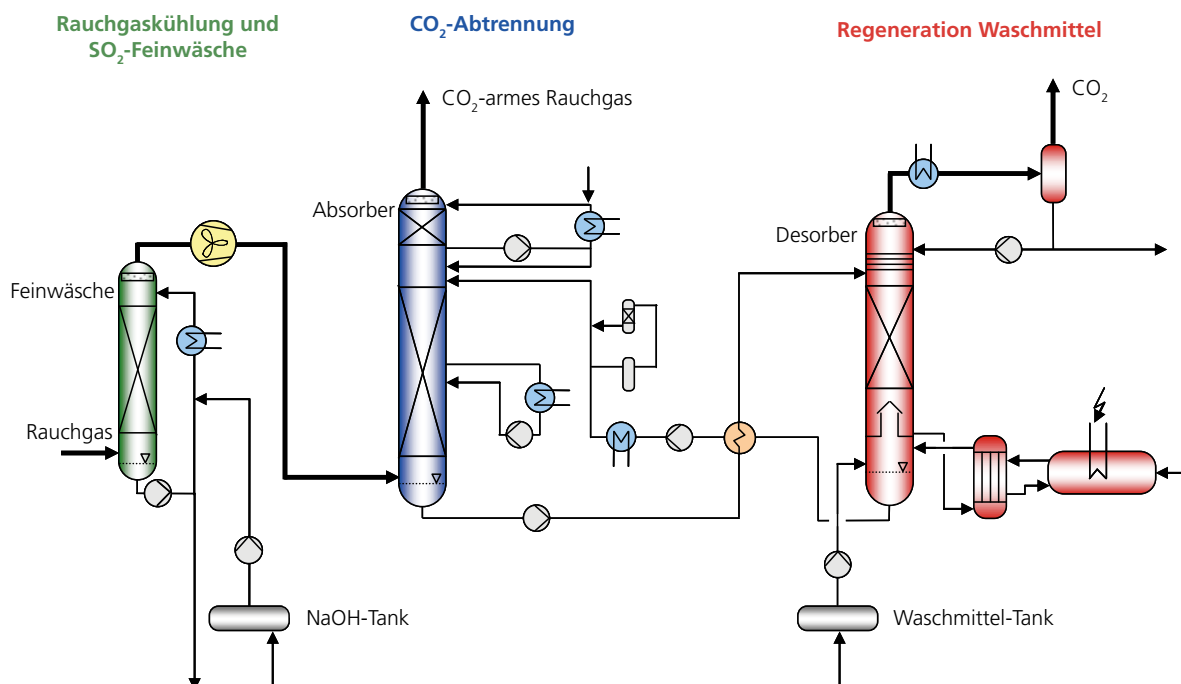
Effizienz- und Flexibilitätssteigerung

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 Niederaußem zugefeuert. Diese Trocknungstechnik hat das Potenzial, den Wirkungsgrad eines Braunkohlenkraftwerkes um 4- bis 5-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 Nachrüstooption für geeignete Bestandsanlagen nachgewiesen. Durch Maßnahmen an der Feuerung wurde zusätzlich der Einsatz der Trockenbraunkohle in der für Rohbraunkohle ausgelegten BoA 1 verbessert.

In einem Gemeinschaftsprojekt der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, der Vattenfall Lignite Mining & Generation, der MIBRAG und weiterer Industriepartner wird das Rohstoffveredlungsverfahren der druckaufgeladenen Wirbelschichttrocknung weiterverfolgt, mit dem ebenfalls eine Wirkungsgradsteigerung von ca. 4- bis 5-Prozentpunkten erwartet wird. Der Testbetrieb in der Versuchsanlage Schwarze Pumpe wurde 2012 erfolgreich abgeschlossen. Das Folgeprojekt wird 2015 abgeschlossen und legt den Fokus auf Grundlagenuntersuchungen und die verfahrenstechnische Optimierung zur kommerziellen Erzeugung von Trockenbraunkohle. Der Testbetrieb in der DDWT-Pilotanlage in Schwarze Pumpe wurde 2012 erfolgreich abgeschlossen. Ein Teil des in der DDWT-Anlage produzierten Kohlestaubs kommt ab Frühjahr 2015 in der Pilotanlage zur Zünd- und Stützfeuerung mit Trockenbraunkohle im Kraftwerk Jämschwalde zum Einsatz.

Die Vorarbeiten für Kohlenkraftwerke mit einem Wirkungsgrad von 50 % wurden erfolgreich weitergeführt. Durch die Entwicklung von Werkstoffen, die Dampfparameter von 700 Grad und 350 bar erlauben, soll eine Wirkungsgradsteigerung von 4 Prozentpunkten erreicht werden. RWE Power und Vattenfall sind Partner in COMTES+, einem internationalen Konsortium zur Erprobung und Qualifizierung von dickwandigen Komponenten aus Nickelbasislegierungen. Die Werkstoffe, die bei diesen Untersuchungen betrachtet werden, haben aber nicht nur das Potenzial zur Wirkungsgradsteigerung. Unter Beibehaltung des heutigen

CO₂-Wäsche-Pilotanlage Niederaußem

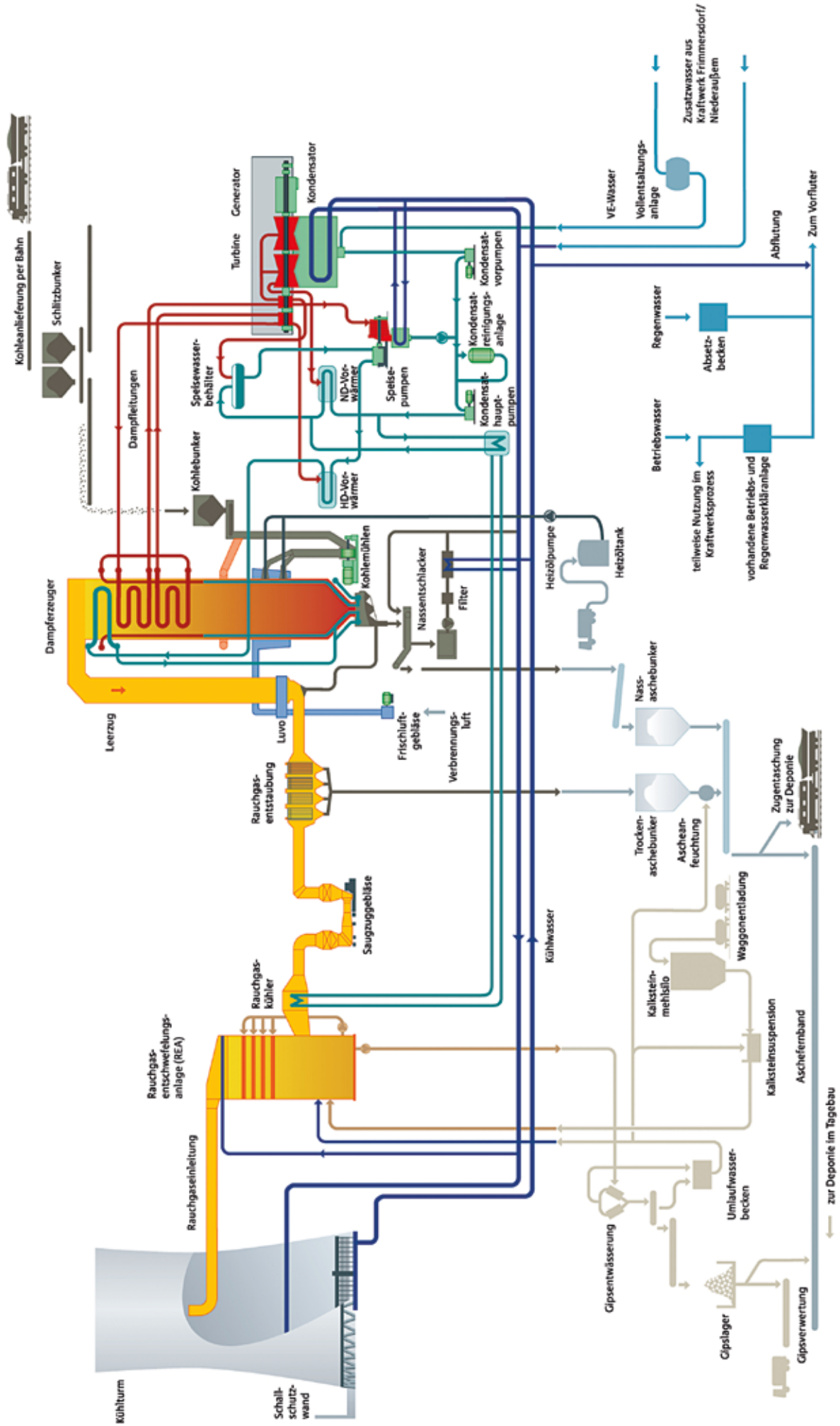


Rauchgasteilstrom: 1.550 Nm³/h
CO₂-Produkt: 7,2 tCO₂/Tag
Abtrennrage 90 %

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. Euro
40 % Förderung durch das BMWi

Kraftwerkprozess BoA 2 & 3



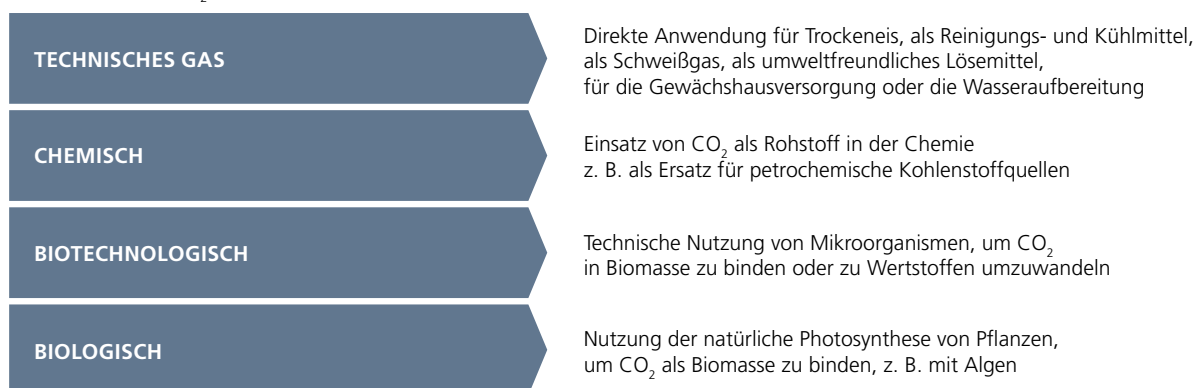
Dampfparameterniveaus kann mit diesen Werkstoffen auch die Laständerungsgeschwindigkeit gesteigert und Anfahrzeiten verkürzt werden, um dadurch flexibler auf die fluktuierende Einspeisung der erneuerbaren Energie reagieren zu können.

Unter dem Programmtitel flexGen bündelt Vattenfall gemeinsam mit den Forschungspartnern BTU Cottbus-Senftenberg, TU Hamburg-Harburg und HS Zittau/Görlitz alle Einzelprojekte zur Steigerung der Lastflexibilität der Braunkohlenkraftwerke. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen Maßnahmen, um die Mindestlast der Anlagen unter Beachtung der jeweiligen Standortrestriktionen weiter zu senken.

Mit der Inbetriebsetzung der Anlage zur Zünd- und Stützfeuerung mit Trockenbraunkohle am Kraftwerk Jänschwalde im Oktober 2014 ist Vattenfall diesbezüglich der Schritt von der Theorie in die Praxis gelungen. Durch die Kombination einer innovativen Brennertechnologie und einem hochveredelten Rohstoff konnte die Mindestlast des 500-MW-Blockes von ursprünglich 36 % auf 20 % der installierten Leistung (100 MW) gesenkt werden. Durch die Anwendung der neuen Technologie werden bis zum Ende der Projektlaufzeit 2029 nicht nur mehr als 30 Kaltstarts vermieden, sondern durch die effizientere Fahrweise ca. 1 Mio. t CO₂ eingespart. Die TBK-Anlage Jänschwalde ist der Prototyp des hochflexiblen Braunkohlenkraftwerks und leistet einen wichtigen Beitrag zur Integration erneuerbarer Energie in das bestehende Versorgungssystem.

CO₂-Umwandlung und Nutzung (CCU)

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



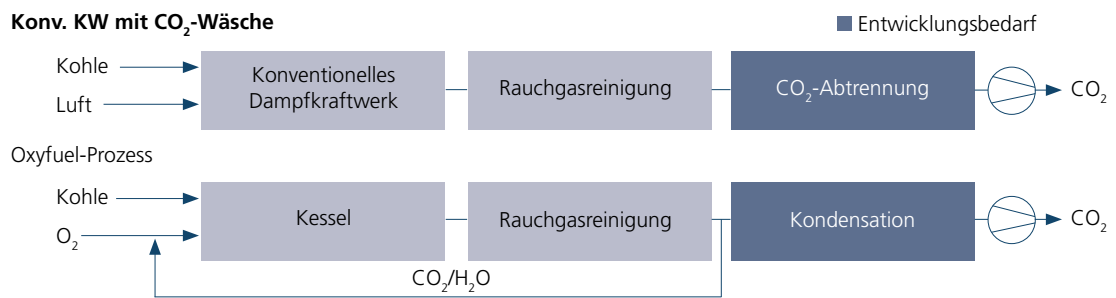
CO₂-Abtrennung und -nutzung

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. 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. Ende 2014 war die Pilotanlage insgesamt bereits 34.000 Stunden in Betrieb mit einer Anlagenverfügbarkeit von 97 %, davon mehr als 26.000 Stunden mit der in Niederaußem entwickelten Abtrenntechnik. Im Mittelpunkt der laufenden Projektphase steht insbesondere die weitere Leistungssteigerung des Wäscheprozesses.

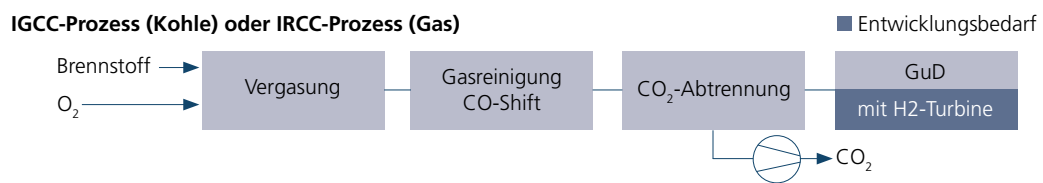
Die Pilotanlage verfügt zudem über eine CO₂-Verflüssigungs- und Abfüllanlage zur Unterstützung der Forschungsansätze für die CO₂-Nutzung (CCU – Carbon Capture and Utilization), z. B. für Katalysatortests zur Umsetzung von elektrolytisch gewonnenem H₂ mit CO₂ zu Methanol oder Methan.

Eine Technik zur Langfristspeicherung großer Mengen regenerativ erzeugten Überschussstroms in Form von chemischer Energie wird – bei gleichzeitiger Nutzung von Kraftwerks-CO₂ – von RWE weiterentwickelt. Bei dieser unter dem Begriff „Power to gas“ bekannten Technik wird erneuerbar erzeugter Strom mittels Wasser-Elektrolyse in Wasserstoff umgesetzt, welcher katalytisch mit CO₂ zu Methan weiterreagiert. Ende 2012 wurde im Kraftwerk Niederaußem ein Teststand im Technikumsmaßstab errichtet, mit dem verschiedene kommerziell verfügbare Methanisierungs-Katalysatoren erfolgreich auf ihre Eignung hierfür erprobt worden sind.

CO₂-Abtrennung nach der Verbrennung (Dampfkraftwerke)



CO₂-Abtrennung vor der Verbrennung (Kombikraftwerke)



Die flexiblen Partner der erneuerbaren Energien: Kohlenkraftwerke

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.

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.

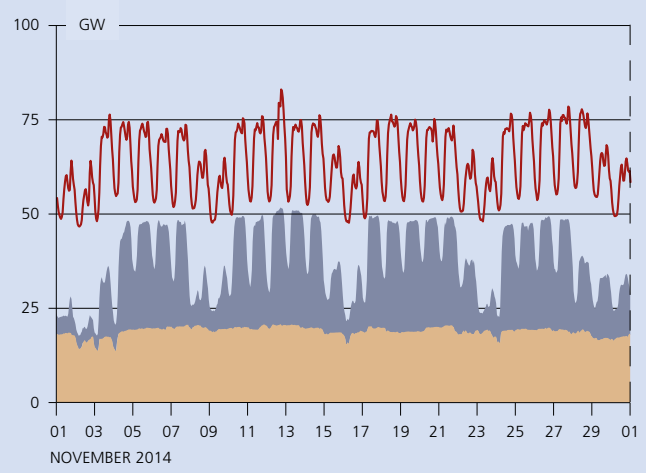
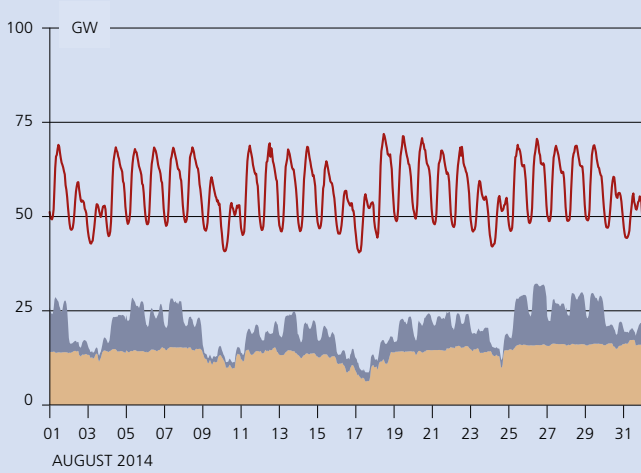
Im Sommer wie Winter werden die Kernkraftwerke hoch ausgelastet. Die Kernenergie mit einer Kapazität von rund 12.000 MW soll bis 2023 vom Netz gehen und überwiegend durch Erneuerbare ersetzt werden. Die flexiblen Kohlenkraftwerke gewährleisten dann weiter Versorgungssicherheit, phasenweise entsteht auch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

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

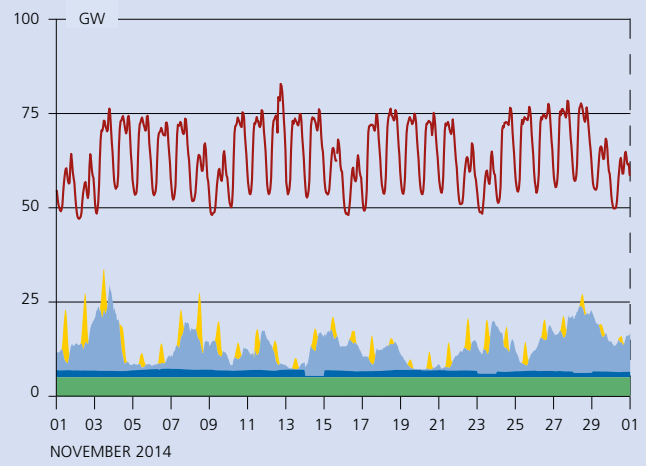
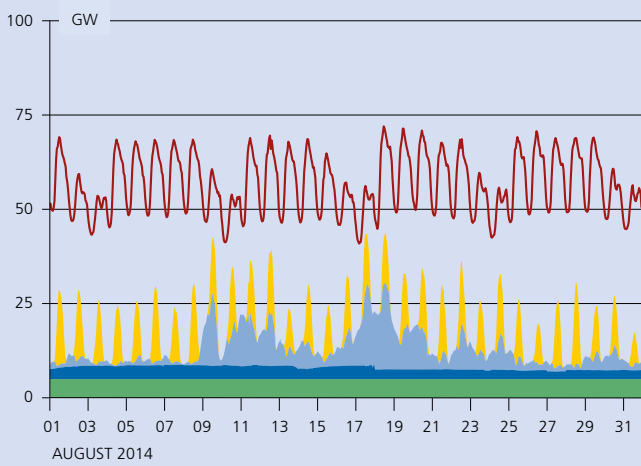
1. Kohle ist im Vergleich zu Gas vielfach wirtschaftlicher. Ein politisch veranlasster stärkerer Einsatz von Gaskraftwerken hätte höhere Stromerzeugungskosten und tendenziell höhere Strompreise zur Folge. Ein erzwungener Wechsel von Kohle zu Gas wäre unwirtschaftlich und gefährdet den Industriestandort.
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

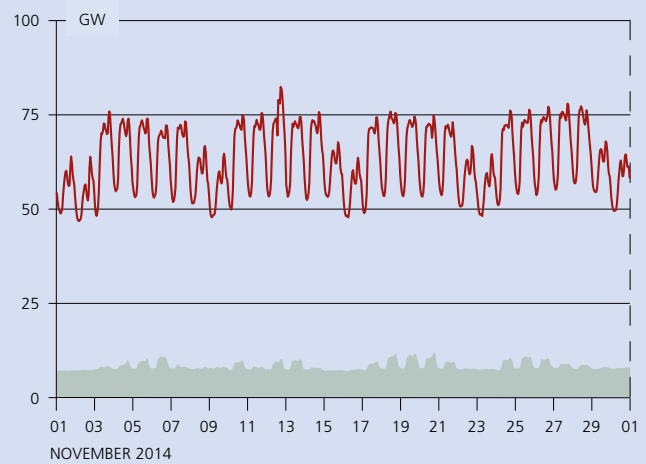
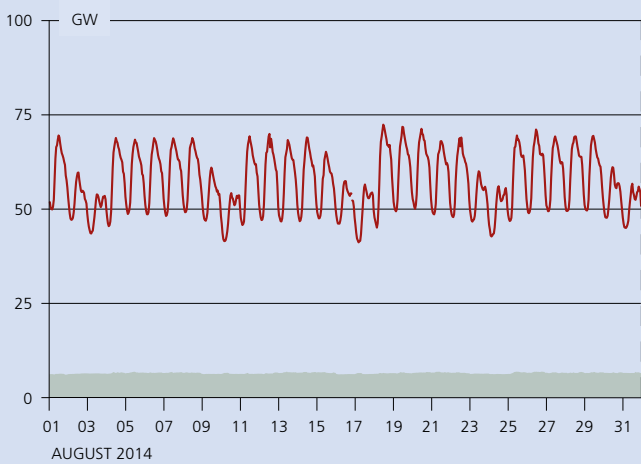
Stromerzeugung und -verbrauch November 2014



Stromerzeugung aus Kohlenkraftwerken



Stromerzeugung aus Erneuerbaren



Stromerzeugung aus Gaskraftwerken

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

Quelle: Agora Energiewende
Stand 12. Dezember 2014