ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Schiffer, Hans-Wilhelm; Thielemann, Thomas

Article

Status und Perspektiven der Kohle für die weltweite Energieversorgung

ifo Schnelldienst

Provided in Cooperation with:
Ifo Institute – Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich

Suggested Citation: Schiffer, Hans-Wilhelm; Thielemann, Thomas (2015) : Status und Perspektiven der Kohle für die weltweite Energieversorgung, ifo Schnelldienst, ISSN 0018-974X, ifo Institut - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München, München, Vol. 68, Iss. 21, pp. 12-17

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/165663

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Status und Perspektiven der Kohle für die weltweite Energieversorgung

Hans-Wilhelm Schiffer* und Thomas Thielemann**

Kohle ist ein Schlüsselfaktor für die Sicherheit der Energieversorgung. Zudem ist Kohle kostengünstiger als andere Energien und leistet damit einen entscheidenden Beitrag zur Bezahlbarkeit von Energie, zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie und damit zur wirtschaftlichen Entwicklung. Der verstärkte Ausbau erneuerbarer Energien und die Nutzung von Kohle sind keine Gegensätze. Erneuerbare Energien und Kohle sind vielmehr Partner, die sich ergänzen. Ein Ersatz von Kohle durch Erdgas ist auch unter dem Gesichtspunkt des Klimaschutzes nicht zielführend. Zum Erreichen der ambitionierten Klimaziele der Staatengemeinschaft sind vielmehr – neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der fortgesetzten Steigerung der Energieeffizienz – die Nutzung fortgeschrittener Technologien auch bei Kohle unverzichtbar.

Entwicklung des weltweiten Kohleverbrauchs

Der globale Kohleverbrauch hat sich in den vergangenen zehn Jahren um ein Drittel auf 5 544 Millionen Tonnen Steinkohleneinheiten (Mio. t SKE) im Jahr 2014 erhöht. Damit hat Kohle zur Deckung des weltweiten Anstiegs des Primärenergieverbrauchs, der im Zeitraum 2004 bis 2014 bei 22% lag, den absolut größten Beitrag geleistet. 41% des gesamten Verbrauchszuwachses wurden durch Kohle gedeckt. Das war ebenso viel wie Öl und Erdgas zusammen zugelegt haben und doppelt so viel wie der zusätzliche Beitrag der erneuerbaren Energien. Damit ist Kohle – nach Erdöl – zum zweitwichtigsten Energieträger bei der Deckung des globalen Primärenergieverbrauchs geworden. In der weltweiten Stromerzeugung steht Kohle mit einem Anteil von 40% an erster Stelle unter allen Einsatzenergien.

Abb. 1

Haupthandelsströme im Seeverkehr mit Steinkohlen 2014

Angaben in Mio. t

Weltsteinkohlenförderung: 7,2 Mrd.t
Seeverkehr: 1 187 Mio.t
davon 878 Mio. t Kesselkohle
309 Mio. t Kokskohle

Quelle: VDKI (2015).

Kohleverbrauch nach Regionen

Entscheidend für den Anstieg des globalen Kohleverbrauchs war die Entwicklung in China. Dort hat sich der Bedarf an Kohle von 2004 bis 2014 um 1 200 Mio. t SKE, entsprechend 74% auf 2 832 Mio. t SKE, erhöht. Der in China verzeichnete Zuwachs entsprach 87% der weltweiten Nachfragezunahme an Kohle. Damit entfallen inzwischen 51% des weltweiten Kohleverbrauchs auf China.

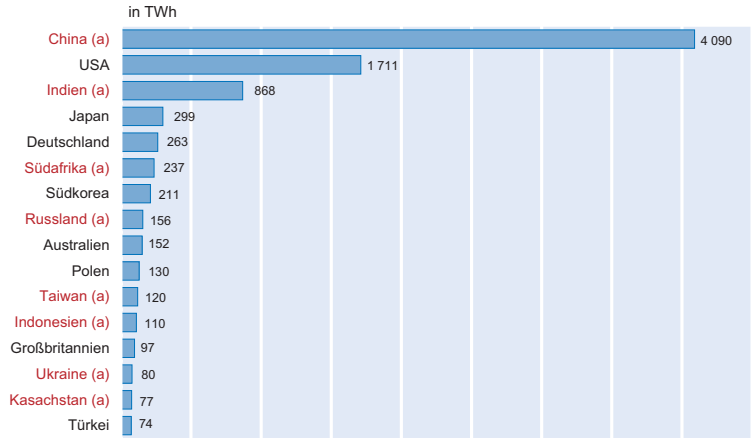
Rund 53% der in China verbrauchten Kohle wird zur Stromerzeugung verwendet. Die Nutzung der überwiegend im Inland verfügbaren relativ kostengünstigen Kohle hat erheblich zu der dynamischen wirtschaftlichen Entwicklung Chinas beigetragen. Hunderten von Millionen Menschen wurde mit dem Ausbau der Stromerzeugungskapazitäten und der damit einhergehenden Infrastruktur der Zugang zu Elektrizität eröffnet. Dies hat zu der deutlich verbesserten Lebenssituation der Bevölkerung Chinas maßgeblich beigetragen. Die positive wirtschaftliche Entwicklung hat verstärkte Maßnahmen im Umweltschutz begünstigt.

In China sind 825 Gigawatt (GW) Kohlekraftwerkskapazität installiert. Das entspricht einem Anteil von 61% an der gesamten Stromerzeugungsleistung des Landes von 1 360 GW. 4 079 Terawattstunden (TWh), entsprechend 72% der gesamten Stromerzeugung Chinas von 5 670 TWh, basierten 2014 auf dem Einsatz von Kohle. Inzwischen sind 95% der

* Dr. Hans-Wilhelm Schiffer, World Energy Council London.
** Dr. Thomas Thielemann, RWE Power AG Köln.

Abb. 2

Rangliste der Staaten nach Höhe der Stromerzeugung aus Kohle 2014



(a) Für Nicht-OECD-Staaten Angaben für 2013.

Quelle: IEA, Electricity Information, Paris 2015.

Kohlekraftwerkskapazität in China mit Entschwefelungsanlagen und 82% mit Anlagen zur Entstickung der Rauchgase ausgerüstet.

Neben der Stromerzeugung spielt die Kohle insbesondere auch in der Stahlindustrie, bei der Herstellung von Zement und als Einsatzstoff für die chemische Industrie eine wichtige Rolle. In der Stahlindustrie Chinas wurden 2014 etwa 486 Mio. t SKE Kohlen verbraucht, um 823 Mio. t Stahl zu produzieren. Der Kohlenverbrauch der chinesischen Zementindustrie belief sich 2014 auf 206 Mio. t SKE – bei einer Produktion von 2,5 Mrd. t Zement. Ferner wird Kohle verflüssigt, und es wird Synthesegas aus Kohle erzeugt. Die Veredlung der Kohle zu flüssigen und gasförmigen Stoffen dient der Begrenzung der wachsenden Abhängigkeit Chinas von Öl- und Erdgasimporten.

Die starke Urbanisierung Chinas verbunden mit einem massiven Ausbau der Infrastruktur waren die entscheidenden Treiber für den starken Anstieg des Kohleverbrauchs während der vergangenen Jahrzehnte. In den letzten Jahren hat sich das Wachstum des Kohleverbrauchs allerdings deutlich entschleunigt. Während die Kohlenachfrage von 2000 bis 2009 noch mit jahresdurchschnittlichen Raten von 9,5% zugenommen hatte, waren es in den Folgejahren bis 2013 »nur« noch 4,0% pro Jahr. 2014 hat der Kohleverbrauch Chinas nicht mehr weiter zugenommen. Entscheidende Gründe sind: die Abschwächung des Wirtschaftswachstums, die Verlagerung der ökonomischen Aktivitäten von energieintensiven auf weniger energieintensive Industrien und auf Dienstleistungen, Effizienzsteigerungen infolge des Ersatzes alter durch neue Anlagen und der Ausbau erneuerbarer Energien.

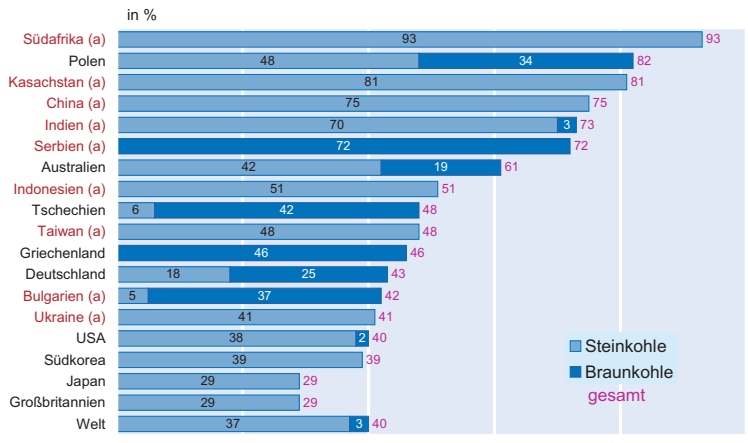
In **Indien** hat sich der Kohleverbrauch von 246 Mio. t SKE im Jahr 2004 auf 515 Mio. t SKE im Jahr 2014 mehr als verdoppelt. Über 70% der Stromproduktion Indiens basieren auf dem Einsatz von Kohle. Trotz des starken Ausbaus der Stromerzeugung in Indien entspricht der Jahresverbrauch an Elektrizität pro Einwohner mit 800 kWh kaum mehr als einem Zehntel des deutschen Vergleichswertes. Eine weiter wachsende Kohlenutzung ist unverzichtbar zur notwendigen Verbesserung der Lebenssituation der Menschen. Nach Aussage der Internationalen Energie-Agentur sind noch 240 Mio. Inder ohne Zugang zu Elektrizität. Zwar strebt die indische Regierung einen starken Ausbau der Kernenergie und der erneuerbaren Energien an, gleichwohl wird Kohle noch auf lange Zeit eine dominierende Position für die Energieversorgung Indiens behalten.

Dies ist sowohl mit einer steigenden Kohleförderung im Inland als auch mit wachsenden Kohleimporten verknüpft. Die Forderung, die Kohle aus Klimaschutzgründen in der Erde zu lassen, ist vor dem Hintergrund der unverzichtbar notwendigen fortgesetzten wirtschaftlichen Entwicklung unrealistisch. Die unzulänglichen Lebensbedingungen weiter Bevölkerungsteile blieben dadurch auf absehbare Zeit unverändert. Tatsächlich wird erwartet, dass Indien bereits in den nächsten Dekaden zweitgrößter Verbraucher und Produzent von Kohle sowie bereits in den nächsten Jahren größter Importeur von Kohlen weltweit wird.

Verbrauchszuwächse bei Kohle wurden in den letzten zehn Jahren auch in **anderen asiatischen Staaten** verzeichnet.

Abb. 3

Beitrag von Kohle zur Stromerzeugung 2014



(a) Für Nicht-OECD-Staaten Angaben für 2013.

Quelle: IEA, Electricity Information, Paris 2015.

Dies gilt u.a. für Indonesien, Malaysia, Südkorea, Philippinen, Taiwan, Thailand und Vietnam. In diesen Ländern ist ebenfalls mit einer Fortsetzung des Wachstums des Kohleverbrauchs zu rechnen.

Dies gilt auch für die Staaten Südamerikas, in denen Kohle genutzt wird. Das sind insbesondere Brasilien, Chile und Kolumbien. Für die Wirtschaft Kolumbiens ist zudem der Export von Steinkohle ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. So steht Kolumbien in der Rangliste der weltweit führenden Kohlenexporteure – hinter Australien, Indonesien, Russland, USA und Südafrika – an sechster Stelle.

Tab. 1
Beispielhafte Flexibilitätsparameter für Kohle- und Gaskraftwerke

Parameter	Einheit	Erdgas, GuD-Neubau[a)]	Steinkohle, Neubau	Braunkohle, Neubau	Steinkohle, Bestandsanlage (optimiert)
Leistungsklasse	MW	800	800	1 100	300
Mindestlastpunkt/Nennlastpunkt (P_{Min}/P_{Nenn})	%	~ 60	~ 25 bis 40	~ 25[b)] bis 40	~ 20
Durchschnittliche Laständerungsgeschwindigkeit[c)]	%/Min.	~ 3,5	~ 3[d)]	~ 3	~ 3

[a)] Im Regelbetrieb von zwei Gas- und einer Dampfturbine. – [b)] Mindestlastpunkt von 25% durch das BoA plus Design heute möglich, aber bislang nicht realisiert. – [c)] Bezogen auf die Nennlast. – d) Im unteren Lastbereich von 25–40% gilt ein hiervon abweichender Betriebsgradient.

Quelle: RWE.

In Südafrika ist der Kohleverbrauch in den letzten zehn Jahren weitgehend stabil geblieben. Kohle spielt in diesem Land eine dominierende Rolle für die Energieversorgung. Über 90% der Stromerzeugung basieren auf Kohle. Ein Drittel des südafrikanischen Bedarfs an Öl wird durch Kohleverflüssigung gedeckt. Generell ist Kohle ein zentraler Baustein für die wirtschaftliche Entwicklung des Landes. Der Export von Kohle trägt erheblich zum Bruttoinlandsprodukt und zur Beschäftigung in Südafrika bei. Der Mangel an ausreichenden Stromerzeugungskapazitäten bremst die wirtschaftliche Entwicklung des Landes. Die neuen Kohlekraftwerke Kusile und Medupi mit einer Kapazität von jeweils 4 800 Megawatt sollen dazu beitragen, den häufig vorkommenden Lastabwurf zu begrenzen und Knappheitssituationen zu lindern. Bei diesen Kraftwerken handelt es sich um Anlagen mit überkritischen Dampfparametern, die zudem mit CO_2-Abscheideeinrichtungen nachrüstbar sind.

In den USA, in Kanada, in der EU und in Australien ist der Kohleverbrauch in den letzten Jahren zurückgegangen. In Nordamerika ist dies vor allem durch den Schiefergas- und Schieferölboom begründet, der zu einem teilweisen Ersatz von Kohle im Inland geführt hat. Folge war eine Steigerung der Exporte von Kohlen, mit denen ein Teil der wachsenden Nachfrage auf dem Weltmarkt gedeckt werden konnte. Trotz dieser Entwicklung war die Kohle in den USA mit einem Anteil von knapp 40% auch 2014 noch wichtigster Energieträger in der Stromerzeugung.

In Australien ist der Kohlenbergbau ein zentraler Wirtschaftsfaktor. 61% der inländischen Stromerzeugung basierten 2014 auf dem Einsatz von Kohle – Steinkohle und Braunkohle. Außerdem ist Australien weltweit größter Kohlenexporteuer. Die australischen Kohlenlieferungen tragen insofern auch erheblich zur Versorgungssicherheit in den Hauptbestimmungsländern bei.

Dies gilt vor allem für Japan. Das Land ist zu 94% von Energieimporten abhängig. Nach dem Reaktorunfall in Fukushima hat sich die Bedeutung der Kohlekraftwerke für die Sicherheit und Wettbewerbsfähigkeit der Stromversorgung noch deutlich vergrößert. Die dort installierten Kohlekraftwerke, die rund 30% der japanischen Stromnachfrage decken, verfügen über höchste Effizienz- und Umweltstandards.

In der Europäischen Union sind Kohleverbrauch und Kohleförderung in den letzten zehn Jahren gesunken. Hauptgründe sind die relativ schwache wirtschaftliche Entwicklung sowie der stark geförderte Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung. Der Anteil der Kohle an der Deckung des Stromverbrauchs hat sich in Folge dieser Entwicklung auf 26% im Jahr 2014 verringert. Allerdings ist die Bedeutung der Kohle für die Energieversorgung in den einzelnen Staaten der EU 28 sehr unterschiedlich. So basieren in Polen über 80% der Stromerzeugung auf dem Einsatz von Kohle. In Deutschland waren es 2014 rund 44% – davon 25 Prozentpunkte Braunkohle und 19 Prozentpunkte Steinkohle. In Tschechien, Bulgarien und Griechenland beträgt der Beitrag der Kohle zur Stromerzeugung ebenfalls um die 45%. In den Niederlanden und in Dänemark liegt der Anteil der Kohle an der Stromerzeugung mit rund 30% ebenfalls über dem EU-Durchschnitt.

Kohle und erneuerbare Energien

Mit dem verstärkten Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, den sich nicht nur die EU zum Ziel gesetzt hat, müssen die konventionellen Kraftwerke nicht mehr nur die Nachfrageschwankungen ausgleichen, sondern auch die Fluktuation bei der Einspeisung von Wind- und Solar-

strom kompensieren. Dies hat die Anforderungen an die Flexibilität der konventionellen Kraftwerke erhöht.

In Deutschland sind die aktuell errichteten Neubau-Kraftwerke bereits für einen besonders flexiblen Betrieb ausgelegt worden. Auch an einem Großteil der bestehenden Anlagen konnten inzwischen Maßnahmen zur Flexibilisierung mit beachtlichem Erfolg durchgeführt werden. So ist es durch Optimierungsmaßnahmen im Kessel-Turbinen-System und an der Leittechnik gelungen, den Mindestlastpunkt bei bestehenden Kohlekraftwerken auf Werte unterhalb von 20% zu reduzieren.

Der Wechsel zwischen Mindestlast und Volllast erfolgt bei entsprechenden Kraftwerken mit einer auf die installierte Nennleistung bezogenen durchschnittlichen Laständerungsgeschwindigkeit von etwa 3 Prozentpunkten pro Minute. Der Wechsel zwischen Voll- und Mindestlast ist damit bei allen Anlagen innerhalb einer halben Stunde möglich. Der steigende Flexibilitätsbedarf des Strommarktes wird somit von Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken ebenso wie von Gaskraftwerken erfüllt. Zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Nutzung von Kohle besteht somit kein Zielkonflikt. Beide Energieformen sind vielmehr als Partner zu verstehen.

Carbon Footprint

Viele der in den Medien zitierten Zahlen zur Emissionsbilanz der Verstromung aus fossilen Energieträgern beinhalten nicht die gesamte Emissionskette (CO_2-Fußabdruck, carbon footprint) von der Gewinnung über den Transport bis zur Verbrennung im Kraftwerk. Stattdessen wird nur das letzte Glied in dieser Kette betont. Darüber hinaus werden Emissionen weiterer klimarelevanter Gase, speziell Methan, ausgeblendet. Dies geschieht, obwohl das Treibhauspotenzial (genannt »global warming potential«, GWP) von einem Molekül Methan deutlich größer ist als von einem Molekül CO_2. Eine sachgerechte Beurteilung erfordert eine vollständige »life cycle analysis« (LCA) der Energieträger.

Bei Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette gleichen sich die Klimawirksamkeiten von Öl, Erdgas und Kohle an. Dies gilt insbesondere, wenn Fracking zur Förderung angewandt wird oder der Transport des Erdgases in Form von LNG erfolgt. So zeigen aktuelle Veröffentlichungen mit neuen Daten über Methanemissionen, die mit der Gewinnung von unkonventionellem Erdgas in den USA verbunden sind, dass die Gewinnung von Schiefergas dort klimanegativer sein kann als die Braunkohleverstromung in Europa (vgl. Brandt et al. 2014; Howarth 2014; Tollesfon 2013). Das gilt unter Einbezug von CCS und in gesteigerter Form, seitdem das IPCC (2013) den GWP-Faktor für Methan heraufgesetzt hat, von 25 im Jahr 2007 auf jetzt 28 bis 34.

Während die Verstromung von Erdgas in Europa gemäß LCA zu Emissionen von 360 bis 440 g $CO_{2\text{-equi}}/kWh_{elektr}$ führt, bewegen sich die Emissionen bei der Nutzung von Schiefergas, Stein- und Braunkohle zwischen 560 und 950 g $CO_{2\text{-equi}}/kWh_{elektr}$. Setzt man CCS ein und scheidet am Kraftwerk etwa 90% des CO_2 ab, dann verschieben sich die Verhältnisse. Aus der Verstromung von Erdgas und Braunkohle werden noch 80 bis 150 g $CO_{2\text{-equi}}/kWh_{elektr}$ emittiert. Bei der Steinkohle sind es dann etwa 270 g $CO_{2\text{-equi}}/kWh_{elektr}$. Schiefergas hingegen führt bei Einsatz von CCS zu einer Freisetzung von 300 bis 500 g $CO_{2\text{-equi}}/kWh_{elektr}$, je nachdem, wie klimaschonend die Gasgewinnung durchgeführt wird. Laut Howarth (2014) und Brandt et al. (2014) kommt es bei der Schiefergasgewinnung zu Methanverlusten von etwa 3,6 bis 7,9%.

In der Europäischen Union, in der die Schiefergasförderung derzeit keine Rolle spielt, trägt ein Ersatz von Kohle durch Erdgas nicht zum Klimaschutz bei. Vielmehr käme es dort durch vermehrten Einsatz von Erdgas anstelle von Kohle in der Stromerzeugung zwangsläufig sogar zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen. Die CO_2-Emissionen in Anlagen der Industrie und der Energiewirtschaft innerhalb der EU sind nämlich vom europäischen Treibhausgas-Emissionshandelssystem (EHS) gedeckelt. Vom europäischen EHS nicht erfasst sind dagegen die Methan- und die CO_2-Emissionen, die bei der Förderung von Erdgas in Russland und bei dessen Transport über Tausende von Kilometern entstehen. Mehr Erdgas in vom europäischen Emissionshandelssystem erfassten Anlagen der Industrie und der Energiewirtschaft zulasten von Kohle ändert somit nichts an der Höhe der CO_2-Emissionen innerhalb der EU, da sie durch ein Cap begrenzt sind. Allerdings würden die Treibhausgasemissionen außerhalb der EU, die keiner entsprechenden Begrenzung unterliegen, steigen.

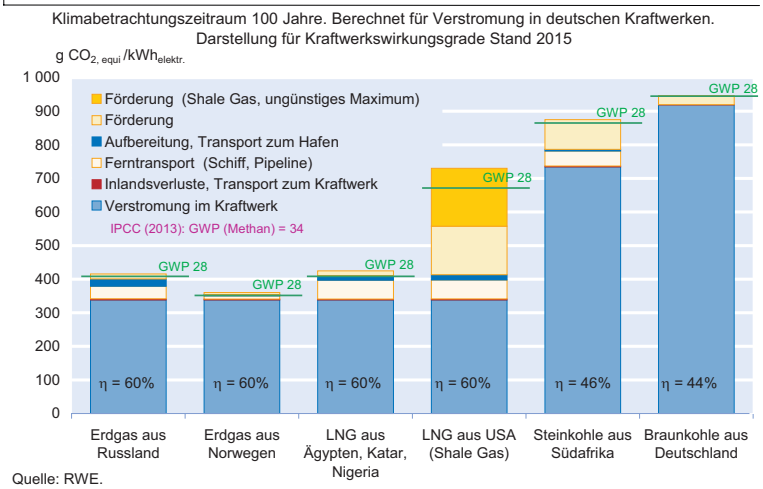
CC(U)S

Eine technische Möglichkeit zur Reduktion von CO_2-Emissionen ist die Abscheidung des CO_2 am Kraftwerk, der Transport des CO_2 (vornehmlich per Pipeline) zu einem Speicher und die dauerhafte Speicherung in mehreren km Tiefe (CCS – carbon capture and storage). Letzteres kann kombiniert werden mit der Injektion in ein matures Öl- oder Gasfeld, da das injizierte CO_2 den Lagerstättendruck anhebt und so die Öl-/Gasförderraten steigert. Diese Win-win-Situation kann aus Klimaschutzsicht optimiert werden, wenn man in einem konventionellen Kraftwerk Biomasse hinzufeuert und so die Emissionen auf unter 200 g $CO_{2\text{-equi}}/kWh_{elektr}$ (LCA) absenkt. Schließlich kann das abgeschiedene CO_2 etwa für die Methanol- und Kunststoffproduktion verwandt und so einer weiteren Nutzung zugeführt werden (CCU – carbon capture and utilization).

Abb. 4

Quantifizierung der Gesamtkette der Emissionen ohne CCS

Emissionen im Einzelnen dargestellt für ein GWP (Methan) von 34 sowie summativ für GWP 28



Quelle: RWE.

Die EU-Kommission sah die Möglichkeiten der Kombination von sicherer (konventioneller) Stromerzeugung und Klimaschutz durch CCS-Technik. Daher ermöglichte sie mit der Richtlinie 2009/31/EG CCS in Europa. Diese Richtlinie wurde in vielen Staaten in nationales Recht umgesetzt, in Deutschland seit dem 24. August 2012 durch das *Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlenstoffdioxid (KSpG – Kohlendioxid-Speicherungsgesetz)*. Das Gesetz enthält eine Höchstspeichermenge für Deutschland von 4 Mio. t CO_2 pro Jahr insgesamt und 1,3 Mio. t/a pro Speicher sowie eine Länderklausel, die einzelnen Bundesländern die Option zum generellen Verbot der CO_2-Speicherung auf ihrem Territorium ermöglicht. Die größten Speicherkapazitäten von vielen Mrd. t CO_2 bieten Sandsteine im Untergrund Norddeutschlands. Alle betroffenen Bundesländer haben inzwischen die Möglichkeit zum faktischen Verbot industrieller CO_2-Speicherung genutzt. Damit ist dieser Weg des Klimaschutzes in Deutschland derzeit verbaut.

In anderen europäischen Ländern gibt es weiter CCS-Bemühungen, so in Großbritannien und in den Niederlanden. Die Projekte beschränken sich auf die Offshore-Speicherung, da ein Onshore-Projekt kaum öffentliche Unterstützung erhalten würde. Realisiert wurden bisher in Europa zwei großindustrielle CCS-Projekte in Norwegen. Im Sleipner-Gasfeld (norwegische Nordsee) wird über die Aminwäsche seit 1996 CO_2 abgetrennt und in über 800 m Tiefe in einem Sandstein dauerhaft gespeichert. Jährlich werden dort 0,9 Mio. t CO_2 eingespeichert. In der norwegischen Barentssee wird seit 2008 CCS eingesetzt. Am dortigen Standort Snøhvit werden 0,7 Mio. t/a gespeichert. Das gereinigte Erdgas wird auf einer Insel nahe Hammerfest verflüssigt und in Form von LNG exportiert.

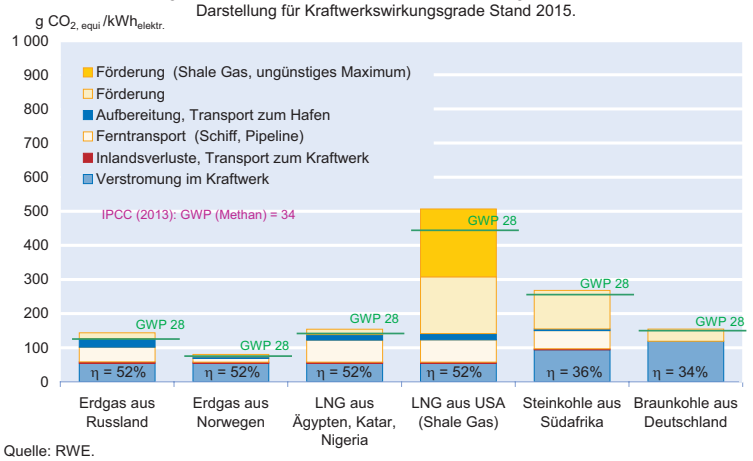
Bedeutend größer ist das Interesse an der CCS-Technik in Nordamerika, in Asien und Australien. In Saskatchewan (Kanada) hat der Stromproduzent SaskPower im Oktober 2014 einen neuen Kohleblock mit CCS-Technik in Betrieb genommen (Boundary Dam Unit 3, BD3). Die 120 MW-Anlage scheidet ca. 1 Mio. t CO_2/a ab. Über eine 65 km lange Pipeline wird der größte Teil davon in die Öllagerstätte Weyburn eingeleitet. Dieses ist ein EOR-Projekt (enhanced oil recovery). Es erhöht den Lagerstättendruck. So steigt die Ölförderung an den Produktionsbohrungen. Der Ölfeldbetreiber Cenovus Energy will von SaskPower über 30 Jahre 30 Mio. t CO_2 beziehen, aktuell zu einem Preis von 23 CAD/t CO_2 (ca. 15,4 Euro/t; Umrechnungskurs 28. September 2015). Bei einer Ölförderung von 30 000 bbl/d entspricht dies 2,10 CAD/bbl (1,41 Euro/bbl). Unterstellt man einen Ölpreis (WTI) von 45,56 US-Dollar/bbl (40,66 Euro/bbl), kostet die CO_2-Beschaffung den Ölproduzenten nur ca. 3,5% des zu erzielenden Ölpreises. Damit ist BD3 ein Beispiel für die wirtschaftliche Attraktivität von EOR-CCS.

In den USA nutzt man ebenfalls die marktreife CCS-Technik. So wird 2016 ein Braunkohlekraftwerk mit integrierter Kohlevergasung (IGCC) ans Netz gehen. Die Southern Company investiert im Kemper County (Mississippi) etwa 6,2 Mrd. US-Dollar, um Braunkohle in Wasserstoff und Kohlenmonoxid zu vergasen. Etwa 65% des entstehenden CO_2 werden abgetrennt und zur Steigerung der Ölförderung (EOR) eingesetzt. Bei einem Einsatz von 4,5 Mio. t Braunkohle entspricht dies etwa 3 Mio. t CO_2 pro Jahr. Das Petra-Nova-Projekt (Texas, USA) setzt ebenfalls auf EOR-CCS.

Abb. 5

Quantifizierung der Gesamtkette der Emissionen mit CCS

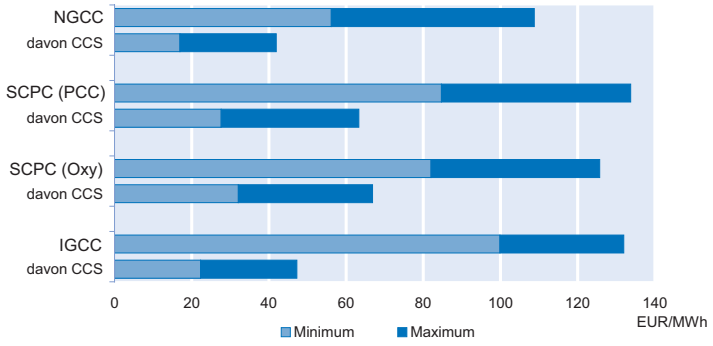
Emissionen im Einzelnen dargestellt für ein GWP (Methan) von 34 sowie summativ für GWP 28



Quelle: RWE.

Abb. 6

Bandbreite der Gesamtkosten der Stromproduktion inklusive CCS-Kette[a] und CCS-Anteil



[a] Abscheidung, Transport, Speicherung.

NGCC = Natural Gas combined cycle mit PCC (post-combustion capture)
SCPC (PCC) = supercritical pulverized coal mit PCC
SCPC (Oxy) = supercritical pulverized coal mit Ocyfuel-Technik
IGCC = integrated gasification combined cycle

Quelle: Rubin et al. (2015).

Ende 2016 wird dort ein 250 MW-Steinkohleblock in Betrieb genommen. Über Aminwäsche können dort ca. 1,4 Mio. t (90%) des entstehenden CO_2 aufgefangen werden. Das CO_2 wird über eine ca. 130 km lange Pipeline in das seit 1938 betriebene West-Ranch-Ölfeld geleitet. Es wird dort die stark eingebrochene Förderrate von derzeit 500 Barrel pro Tag (bpd) auf bis zu 15 000 bpd steigern.

In den letzten zehn Jahren sind die Gesamtkosten der CCS-Kette für die Stromproduktion in zahlreichen Projekten und Studien untersucht worden. Die Kosten können je nach Kraftwerkstechnik, Transport (i.W. Pipeline) und Speichersituation (u.a. Tiefe, Injektionsrate) sehr variieren. Veröffentlicht wurden viele Daten in Rubin, Davison und Herzog (2015). Umgerechnet in Euro (Wechselkurs 1,12 US-Dollar; 28. September 2015), bewegen sich die Gesamtkosten (Kraftwerksneubau, CCS-Kette) zwischen 56 und 134 Euro/MWh. Abbildung 6 zeigt die Kostenanteile. Blendet man die Kraftwerksneubaukosten aus und fokussiert auf die reinen CCS-Kosten, so variieren diese zwischen 17 und 67 Euro/MWh. Die Onshore-CO_2-Speicherung ist dabei um den Faktor 2–3 günstiger als die Offshore-Speicherung.

Die CCS-Technologie ließe sich auch in Europa nutzen, um großindustrielle CO_2-Quellen aus Klimasicht zu neutralisieren und gleichzeitig die in vielen europäischen Ölfeldern rückläufigen Förderraten zu steigern. War die CCS-Technologie in der Vergangenheit teils wirtschaftlich uninteressant, so hat CCS inzwischen eine Lernkurve hinter sich gelassen, in deren Folge die Kosten gesenkt werden konnten. Mit CCS ist eine Win-win-Situation aus Klimaschutz und wirtschaftlicher Rohstoffproduktion möglich.

Ausblick

Die weltweiten Reserven an Kohle haben unter allen fossilen Energieträgern die größte Reichweite. Sie wird nach Ermittlungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) auf 100 Jahre bei der Steinkohle und 265 Jahre bei der Braunkohle beziffert. Die Ressourcen an Kohle sind noch etwa 23-mal so hoch wie die Reserven. Knappheit an Kohle ist somit auch langfristig nicht zu erwarten. Die Vorkommen an Kohle sind zudem geographisch breit gestreut und befinden sich vornehmlich in politisch stabilen Regionen. Kohle steht kostengünstig zur Verfügung und trägt damit zur Bezahlbarkeit von Energie und damit zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen bei. Den verstärkten Anforderungen des Klimaschutzes wird die Kohle mit dem Ersatz bestehender durch neue effizientere Anlagen, die Fortentwicklung der Kraftwerkstechnik sowie durch die Abscheidung, Nutzung und Speicherung von CO_2 gerecht. Auch künftig ist global von einem weiteren Anstieg des Kohleverbrauchs auszugehen, auch wenn die Zuwachsraten deutlich geringer ausfallen werden als in der Vergangenheit.

Literatur

BGR (2014), *Energiestudie 2014. Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen* (18), Hannover.

BP (2015), *Statistical Review of World Energy,* Juni.

Brandt, A.R., G.A. Heath, E. Kort et al. (2014), »Methane Leaks from North American Natural Gas Systems«, *Science* 343, 733–735.

Howarth (2014), *A Bridge to Nowhere: Methane Emissions and the Greenhouse Gas Footprint of Natural Gas,* Energy Science & Engineering, Society of Chemical Industry.

International Energy Agency (2015a), *Coal Information* 2015, Paris.

International Energy Agency (2015b), *Electricity Information* 2015, Paris.

International Energy Agency (2015c), *World Energy Outlook* 2015, Paris

IPCC (2013), *Working Group I Contribution to the IPCC fifth assessment report (AR5), »Climate Change 2013: The Physical Science Basis«,* Stockholm.

Rubin, E.S., J.E. Davison und H.J. Herzog (2015), »The Cost of CO_2 Capture and Storage«, *International Journal of Greenhouse Gas Control* 40, 378–400.

Tollesfon, J. (2013), »Methane Leaks Erode Green Credentials of Natural Gas«, *Nature* 43, 12.

VDKI – Verein der Kohlenimporteure (2015), *Jahresbericht 2015,* Hamburg.