

Benjamin Häusinger, Julian Dieler und Jana Lippelt

Im Dezember 2011 startete eine Kampagne des Bundeswirtschaftsministeriums unter dem Motto »Kraftwerke? Ja bitte!«. Um im Zuge der Energiewende und des Atomausstiegs weiterhin Versorgungssicherheit und bezahlbaren Strom zu gewährleisten, seien neue Kohle- und Gaskraftwerke unabdinglich. Des Weiteren wurde geplant, Kraftwerksneubauten mit Millionenbeiträgen aus dem Klima- und Energiefonds zu unterstützen. Zwar wird dieses Förderprogramm mittlerweile nicht weiter verfolgt (vgl. Deutsche Bundesregierung 2012a), aber es bleibt die Frage nach der zukünftigen Funktion von Kohle- und Gaskraftwerken im Zuge der Energiewende in Deutschland. Besonders für die Versorgungssicherheit in Deutschland ist dies relevant.

In dieser »Kurz-zum-Klima«-Ausgabe möchten wir einen Überblick über die Situation der Kohleenergie in Deutschland geben und deren Rolle in der Energiewende genauer betrachten. Die Bundesregierung hat ehrgeizige Ziele: So wurde mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gesetzlich festgelegt, dass bis 2050 80% des Stroms aus erneuerbaren Energien stammen sollen. Dieses Ziel bedeutet für den Energiesektor nicht mehr und nicht weniger als einen grundlegenden Strukturwandel: Weg von der bisher zentralistischen Erzeugungsstruktur hin zu einem dezentralen System mit u.a. volatil einspeisenden Energiequellen wie Wind und Solar. Dabei steht außer Frage, dass Deutschland eine »Brückentechnologie« benötigt, bis ein Großteil unseres Stroms aus erneuerbaren Quellen gewonnen werden kann. Hier stellen sich gleich mehrere spannende Fragen: Wie wird diese Technologie aussehen? Wie erreichen wir den gewünschten Energiemix der Zukunft mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien, und was passiert dann mit der Brückentechnologie? Und welche Rolle wird Kohle dabei spielen? Wir möchten im Folgenden vor allem die letzte Frage genauer beleuchten. Hierzu ein paar Fakten.

Faktenlage – Klima und Energie

Kohlekraftwerke sind Klimakiller. Sowohl im Vergleich zu erneuerbaren Energien als auch zu jedem anderen konventionellen Energieträger wie Gas oder Atom. Kohlekraftwerke schneiden hinsichtlich ihrer CO₂-Emissionen außerordentlich schlecht ab. Je nach Studie stoßen Steinkohlekraftwerke zwischen 750 und 1 100 Gramm Kohlenstoffdioxid pro erzeugte Kilowattstunde Strom aus (vgl. Wagner et al. 2007).¹ Erdgasanlagen stoßen nur halb so viel (400–550 g/kWh) CO₂-Emissionen aus. Erneuerbare Energien wie Wasserkraft und Windenergie (mit jeweils 10–40 g/kWh) oder Solarenergie (zwischen 50 und 100 g/kWh) liegen deutlich darunter. Als sauberste Energie gilt in diesem Zusammenhang die Atomkraft (10–30 g/kWh), die in Deutschland jedoch nur noch bis zum Jahr 2022 verwen-

det wird. Auch bei technologischem Fortschritt und besserer Verarbeitung wird Kohle auch in naher Zukunft der schmutzigste Energieträger bleiben (vgl. Umweltbundesamt 2011).

Kohle (Stein- und Braunkohle) ist nicht nur der schmutzigste, sondern auch der derzeit meistverwendete Energieträger in Deutschland. Die Verbrennung von Stein- und Braunkohle trug 2011 mit knapp 43% zur Bruttostromerzeugung in Deutschland bei (vgl. AG Energiebilanzen e.V. 2012), der Anteil von Braunkohle am Strommix ist gegenüber dem Vorjahr sogar um 3,3% gestiegen. Derzeit sind über 160 Kohlekraftwerke in Betrieb. Davon nutzen 122 Kraftwerke ausschließlich Braun- oder Steinkohle als Energieträger, über 40 greifen neben Kohle auch noch auf andere Energieträger wie Erdgas oder Ölprodukte zurück. Außerdem sind derzeit neun weitere Kohlekraftwerke in Bau, die mit weiteren 8,6 GW elektrischer Nettonennleistung Energie ins Stromnetz einspeisen sollen. Bis 2015 werden 15 veraltete Kohlekraftwerke mit einer Nettonennleistung von insgesamt 3,2 GW stillgelegt (vgl. Bundesnetzagentur 2012b). In der Summe entsteht demzufolge ein Nettozubau von 5,4 GW an Kohlestromkapazitäten bis 2015. Abbildung 1 veranschaulicht die Zukunft der Kohlekraft in Deutschland. Gezeigt werden hier die Kraftwerke, die derzeit gebaut werden, die sich in Planung befinden und diejenigen, die derzeit rückgebaut werden. Darüber hinaus gibt die Einfärbung der Bundesländer Aufschluss über den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung.

Kohlekraft und die deutschen Energie- und Klimaziele

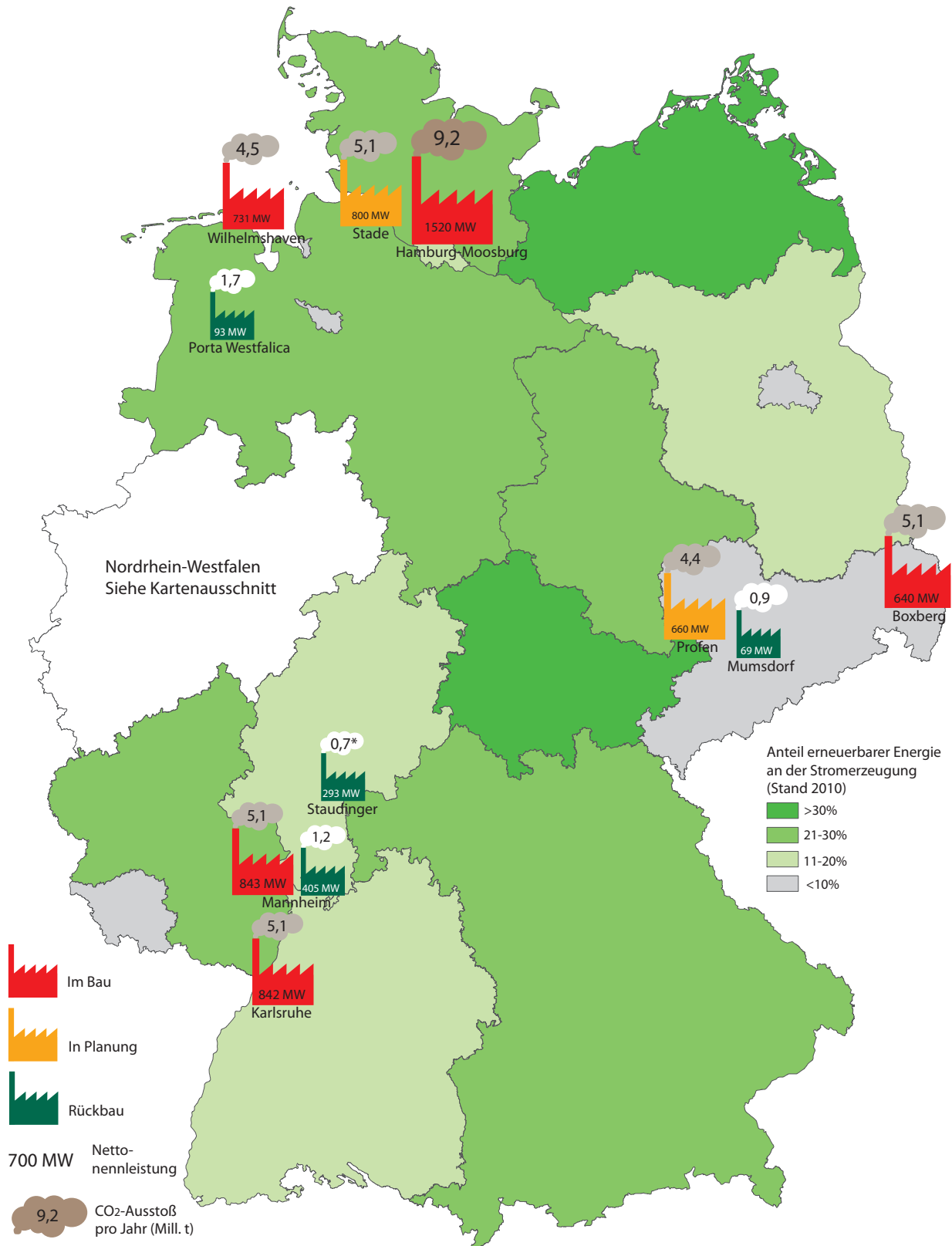
Doch wie ist dieser Zubau von Kohlestrom mit den Klimazielen der Bundesregierung zu vereinbaren?² Bis zum Jahr 2050 sollen in Deutschland nach dem Energiekonzept der Bundesregierung zwischen 80 und 95% (2020: 40%) an Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr 1990 eingespart werden. Damals wurden knapp 1,23 Mrd. t CO₂-Äquivalente ausgestoßen. Das heißt, 2050 sollen in Deutschland nach diesem ehrgeizigen Ziel nur noch zwischen 62 und 185 Mill. Tonnen CO₂-Äquivalente ausgestoßen werden. Zum Vergleich: 2010 wurden allein im Straßenverkehr Abgase in Höhe von 166 Mill. t CO₂-Äquivalenten ausgestoßen.

Mit der »grünen« Energiewende soll ein Teilbeitrag zur Erreichung dieser Klimaziele geleistet werden. So sollen allein bis zum Jahr 2030 50% der deutschen Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern stammen. Dieser Anteil soll, wie oben bereits erwähnt, auf 80% im Jahr 2050

¹ Braunkohle liegt mit einem Bereich zwischen 850 und 1 200 g/kWh ausgestoßener CO₂-Emissionen sogar noch darüber.

² Auch wenn der europäische Emissionshandel den europaweiten Emissionen mindestens bis 2020 eine Obergrenze setzt, so verschlechtert ein erhöhter Kohleverbrauch doch die Klimabilanz des deutschen Stroms.

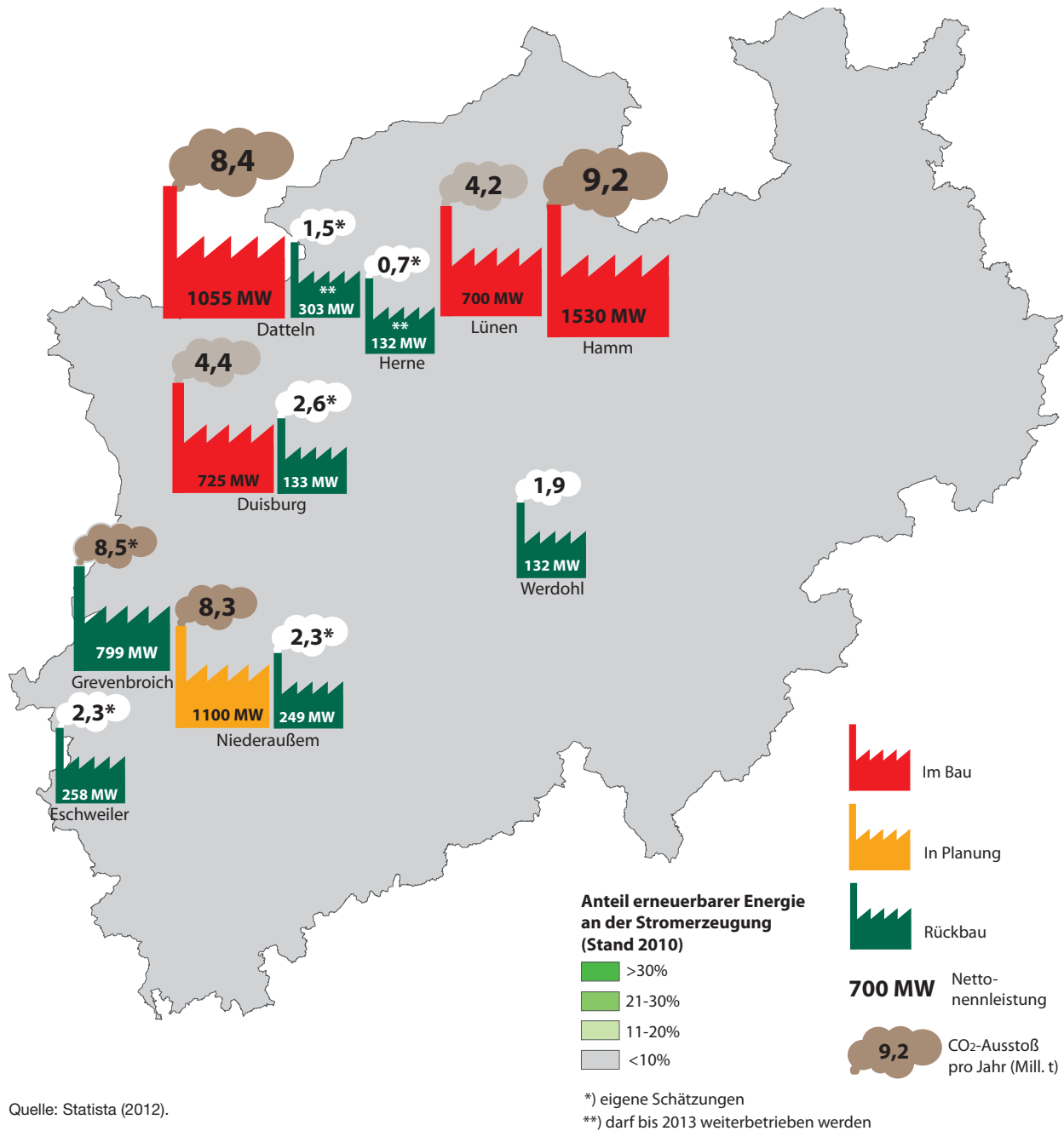
Abb. 1
Kohlekraftwerke in Deutschland (im Bau, in Planung, im Rückbau) und der Anteil erneuerbarer Energien



*) eigene Schätzungen

Quelle: BUND (2012).

Abb. 2
Kohlekraftwerke (im Bau, in Planung, im Rückbau) in Nordrhein-Westfalen



Quelle: Statista (2012).

ansteigen. Doch auf dem Weg dorthin sind noch einige Hürden zu nehmen: Eine große Aufgabe besteht im massiven und raschen Netzausbau, zum einen um den Systemwechsel von ehemals zentralistischer Erzeugung auf die mehr und mehr dezentrale Erzeugung durch Kleinanlagen zu ermöglichen und zum anderen um das entstehende Nord-Süd-Gefälle in Deutschland hinsichtlich der Stromerzeugung und dem Verbrauch auszugleichen. Dieses Gefälle entsteht dadurch, dass Strom aus erneuerbaren Energien sowohl jetzt als auch auf absehbare Zeit zu großen Teilen in norddeutschen Bundesländern produziert wird, jedoch beträchtliche

Anteile nach Süddeutschland transportiert werden müssen. So plant z.B. Schleswig-Holstein bis 2020 300% des theoretischen Verbrauchs durch erneuerbare Energien zu produzieren – die Mehrproduktion muss natürlich in andere Bundesländer transportiert werden. Eine weitere Schwierigkeit bei der Integration erneuerbarer Energien, insbesondere von Wind- und Solarenergie, im Vergleich zu konventionellen Energieträgern wie Kohle und Gas besteht in der fluktuierenden Einspeisung, die den nur begrenzt vorhersagbaren Wetterschwankungen unterliegt. So können erneuerbare Energieträger auf kurzfristige Nachfrageänderungen

Tab. 1
Vergleich von Kohle- und Gaskraftwerken

		Kohlekraftwerke		Gaskraftwerke (GuD)
		Braunkohle	Steinkohle	
Elektrischer Wirkungsgrad ^{a)} in %	derzeit	43	46	58
	in Zukunft	50	50	60
Anfahrtsdauer ^{b)} in Stunden	Kaltstart	4		2–3
	Warmstart	2–3		1–1,5
	Heißstart	1–2		0,5–1
Laständerungsgeschwindigkeit in % der Nennleistung pro Minute ^{c)}		2–5	3–5	7
Mindestlast in % der Nennleistung	derzeit	40–50	35–40	30–50
	Neubauten	25	25	20–40 ^{d)}

Quelle: Zusammenstellung nach ^{a)} Klaus et al. (2009, 18); ^{b)} Spliethoff et al. (2011, 1798, 1801); ^{c)} Steck und Mauch (2008, 4); ^{d)} Dirschauer (2012).

nicht reagieren. Wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht weht, können weder Solar- noch Windenergie Strom in das Netz einspeisen, auch bei hoher Stromnachfrage.

Deutschland benötigt, bei 80% erneuerbaren Energien im Jahr 2050, vor allem flexibel regulierbare Kraftwerke, die je nach Bedarf hoch- und wieder heruntergefahren werden können. Kohlekraftwerke sind hierfür nicht flexibel genug, wengleich Innovationen der vergangenen Jahre höhere Flexibilität und höhere Wirkungsgrade³ ermöglicht haben. Jedoch werden Kohlekraftwerke auch in absehbarer Zukunft hinsichtlich der Flexibilität und den Wirkungsgraden nicht mit Gaskraftwerken konkurrieren können: In Tabelle 1 wird kurz dargestellt, dass Gaskraftwerke in einem hohen Maße effizienter und flexibler produzieren als Kohlekraftwerke. So haben Gaskraftwerke im Vergleich einen höheren Wirkungsgrad, eine kürzere Anfahrtsdauer⁴ und eine höhere Laständerungsgeschwindigkeit.⁵ Die niedrigere Mindestlast von Kohlekraftwerken bedeutet, dass diese ihre Stromproduktion im Vergleich zu Gaskraftwerken weiter herunterfahren können, bevor sie ganz ausgeschaltet werden müssen.

Obwohl diese Zahlen belegen, dass Kohlekraftwerke für einen Kraftwerkspark mit einem großen Anteil volatil einspeisender erneuerbarer Energiequellen ungeeignet sind, werden derzeit, wie bereits erwähnt, neun weitere Kohlekraftwerke gebaut, deren Kosten sich erst nach ca. 40 Jahren amortisiert haben – die tatsächliche Laufzeit wird, so zeigt die Vergangenheit, noch darüber liegen. So waren die Kohlekraftwerke, die 2012 stillgelegt wurden bzw. werden, durchschnittlich 48 Jahre am Stromnetz angeschlossen.⁶ Betrachtet

man die Kohlekraftwerke, die gemäß dieser Laufzeit im Jahr 2050 noch am Netz sein werden, stellt man fest, dass allein diese Kohlekraftwerke bereits ca. 8,5%⁷ der gesamten Stromerzeugungskapazitäten darstellen werden. Da erfahrungsgemäß der Anteil der tatsächlich bereitgestellten Energie bei konventionellen Kraftwerken größer ist als deren Anteil an der Kapazität, ist davon auszugehen, dass der erzeugte Strom im Jahr 2050 zu ca. 10% aus Kohle erzeugt wird. Dann blieben noch weitere 10% übrig für flexible, konventionelle Stromerzeugungsmethoden. Fraglich ist, ob es diesen verhältnismäßig wenigen, flexiblen Kraftwerken möglich sein wird, bei einer 80%igen Stromerzeugung aus Erneuerbaren für Versorgungssicherheit zu sorgen. Hinsichtlich des Ausbaus der flexiblen Gaskraftwerke sieht die nahe Zukunft nicht so verheißungsvoll aus. Es entsteht lediglich ein Nettozubau von 1,3 GW an Gaskraftwerkskapazitäten bis 2015 (vgl. Bundesnetzagentur 2012b). Dies liegt vor allem an den Kostenvorteilen von Kohlestrom, die u.a. aus dem niedrigen Kohlepreis und niedrigeren Stromgestehungskosten resultieren.⁸

Die Lösung: Förderung von Gaskraftwerken?

Wie der vorige Abschnitt gezeigt hat, bedarf es zusätzlicher Investitionsanreize für den Bau von flexibel regelbaren Kraftwerken, wie es die Gaskraftwerke sind. Denn wie verschiedene Studien zeigen (vgl. z.B. Elberg et. al 2012), lohnen sich zu den derzeitigen Preisen und der derzeitigen Marktgestaltung Investitionen in Gaskraftwerke nicht. Neben der geringen Auslastung von Gaskraftwerken, die nur dann hochgefahren werden sollen, wenn Erneuerbare keinen bzw. we-

³ Der elektrische Wirkungsgrad zeigt an, wie viel Prozent des benutzten Energieträgers in elektrische Leistung umgewandelt werden kann. Es ist somit ein Maßstab für die Effizienz eines Energieträgers.

⁴ Anfahrtsdauer bezeichnet die Zeit, die ein Kraftwerk benötigt, um vom »Ruhemodus« in den »Betriebsmodus« zu wechseln.

⁵ Diese zeigt an, wie flexibel ein Kraftwerk seine Stromproduktion verändern kann. Besitzt ein Kraftwerk mit einer Nennleistung von 700 MW eine Laständerungsgeschwindigkeit von 1% pro Minute, so kann es innerhalb einer Minute die Stromproduktion um 70 MW erhöhen oder senken.

⁶ Berechnung des ifo Instituts mit Hilfe von Daten von Bundesnetzagentur (2012a; 2012b)

⁷ In dieser Berechnung wurden nur die Kohlekraftwerke berücksichtigt, die sich erst seit dem Jahr 2000 am Netz befinden und diejenigen, die derzeit gebaut werden. Damit wurden die sich in Planung befindlichen Kraftwerke nicht berücksichtigt.

⁸ So liegt der Kohlepreis derzeit bei ca. 80 US-Dollar pro Tonne, so billig wie zuletzt Ende 2009.

nig Strom einspeisen, liegt dies auch an dem verhältnismäßig hohen Gaspreis und dem niedrigen Strompreis an der Leipziger Börse. Dieser niedrige Strompreis entsteht u.a. durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien, die unter geringen Grenzkosten produzieren und nahezu immer Einspeisepriorität genießen. Diese Ungewissheit ob der Profitabilität von Gaskraftwerken senkt die Investitionsbereitschaft von potenziellen Kraftwerksbetreibern.

Zur Lösung des Investitionsproblems werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert, dabei steht vor allem die Implementierung eines Kapazitätsmarktes im Vordergrund. Im Gegensatz zu einem Energy-Only-Markt, auf dem nur die hergestellte Energie gehandelt wird, wird auf einem Kapazitätsmarkt auch die bloße Bereitstellung eines Kraftwerkes gehandelt, ohne dass es dabei Energie produzieren muss. So könnten nur temporär produzierende Kraftwerke, wie eben Gaskraftwerke, für die Kapazität entlohnt werden, auf die bei zurückgehender Stromeinspeisung durch Erneuerbare zurückgegriffen werden kann. Es gibt jedoch starken Diskussionsbedarf hinsichtlich der besten Ausgestaltung eines solchen Marktes. So fordern zum Beispiel führende Grünen-Politiker (vgl. Höhn et al. 2012), dass nur bereits gebaute Kraftwerke an einem Kapazitätsmarkt teilnehmen dürfen und die benötigte Erzeugungskapazität verauktioniert werden sollte. Die Bundesregierung jedoch will das Thema Kapazitätsmechanismen bislang nur sorgfältig prüfen (vgl. Deutsche Bundesregierung 2012b) und ist dabei noch zu keiner Entscheidung hinsichtlich des zukünftigen Strommarktdesigns gekommen. Auch in der Wissenschaft gibt es hinsichtlich der Kapazitätsmärkte konträre Ansichten: So kommt eine Studie des Energiewirtschaftlichen Instituts der Universität Köln im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums zur dem Schluss, dass sogenannte Versorgungssicherheitsverträge (vergleichbar mit einem Kapazitätsmarkt) den besten Mechanismus zum Aufbau von fehlenden Kapazitäten darstellen (vgl. Elberg et al. 2012). Cramton und Ockenfels (2012) hingegen warnen vor einer übereilten Implementierung eines Kapazitätsmarktes. Andere Problematiken wie z.B. die Unsicherheit über zukünftige Politikmaßnahmen sollten ihrer Meinung nach zuvor angegangen werden, da diese die Effizienz eines Kapazitätsmarktes negativ beeinflussen (vgl. Cramton und Ockenfels 2012, 113–114).

Fazit

Es zeigt sich, dass die Kohle auf absehbare Zeit eine nicht zu unterschätzende Rolle in der Stromerzeugung in Deutschland einnehmen wird, was mit dementsprechend hohen CO₂-Emissionen verbunden ist und so die Klimaziele Deutschlands in Gefahr bringt. Neben der Erreichung der Klimaziele wird auch das Ziel, im Jahr 2050 80% des Strommixes aus Erneuerbaren zu gewinnen, gefährdet.

Bisher wurde von Seiten der Politik jedoch noch nichts unternommen, um Investitionen in flexible Reservekapazitäten zu fördern. Nach aktuellem Wissens- und Technologiestand kommen für solch flexible Kapazitäten nur Gaskraftwerke in Frage, die allerdings unter aktuellen Bedingungen nicht rentabel sind. Investitionsanreize in solche Kraftwerke sind daher dringend notwendig, um auch bei einem hohen Stromanteil aus erneuerbaren Energien die Versorgungssicherheit weiterhin gewährleisten zu können. Die meistdiskutierte Lösung in diesem Zusammenhang stellt die Einführung von Kapazitätsmärkten dar. Bleibt aber der Status quo erhalten, werden Kohlekraftwerke weiterhin die deutsche Klimabilanz belasten und der Ausbau erneuerbarer Energien an seine Grenzen stoßen.

Literatur

AG Energiebilanzen e.V. (2012), *Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2011 nach Energieträgern*, Stand: 1. August 2012, online verfügbar unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65>, aufgerufen am 29. September 2012.

Bundesnetzagentur (2012a), *Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur*, Stand: 12. September 2012, online verfügbar unter: http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1912/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/Sonderthemen/Kraftwerksliste/VeroeffKraftwerksliste_node.html, aufgerufen am 30. Oktober 2012.

Bundesnetzagentur (2012b), *Veröffentlichung Zu- und Rückbau*, Stand: 12. September 2012, online verfügbar unter: http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1912/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetGas/Sonderthemen/Kraftwerksliste/VeroeffKraftwerksliste_node.html, aufgerufen am 30. Oktober 2012.

Cramton, P. und A. Ockenfels (2012), »Economics and Design of Capacity Markets for the Power Sector«, *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 36(2), 113–134.

Deutsche Bundesregierung (2012), *Antwort der Bundesregierung: Stand des Kraftwerksförderprogramms für fossile Kraftwerksneubauten*, Drucksache 17/10462, Deutscher Bundestag.

Deutsche Bundesregierung (2012), *Antwort des Parlamentarischen Staatssekretärs Ernst Burgbacher vom 18. Juni 2012*, Drucksache 17/10050, 24, Deutscher Bundestag.

Dirschauer, W. (2012), *Braunkohle als flexibler Partner der erneuerbaren Energien*, online verfügbar unter: <http://www.euractiv.de/energie-und-klimaschutz/artikel/braunkohle-als-flexibler-partner-der-erneuerbaren-energien-006630>, aufgerufen am 30. Oktober 2012.

Elberg, C., C. Growitsch, F. Höfler, J. Richter und A. Wambach (2012), *Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie*, Köln.

Höhn, B., O. Krischer, J. Trittin und F. Untersteller (2012), *Die Energiewende braucht Kapazitätsmärkte*, online verfügbar unter: http://oliver-krischer.eu/fileadmin/user_upload/gruene_btf_krischer/2012/AutorenpapierKapazitaetsmaerkte.pdf, aufgerufen am 31. Oktober 2012.

Klaus, T., C. Loreck und K. Müschen (2009), *Klimaschutz und Versorgungssicherheit, Climate Change 13/2009*, hrsg. vom Umweltbundesamt, online verfügbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3850.pdf>.

Splithoff, H., A. Wauschkuhn und C. Schuhbauer (2011), »Anforderungen an zukünftige Kraftwerke«, *Chemie Ingenieur Technik* 83(11), 1792–1804.

Steck, M. und W. Mauch (2008), »Technische Anforderungen an neue Kraftwerke im Umfeld dezentraler Stromerzeugung«, *10. Symposium Energieinnovation*, Graz, online verfügbar unter: http://www.ffe.de/download/Veroeffentlichungen/2008_EnInnov_Steck.pdf.

Umweltbundesamt (2011), *Hintergrundpapier zur Umstrukturierung der Stromversorgung in Deutschland*, online verfügbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4117.pdf>.

Wagner, H.-J. et al. (2007), »CO₂-Emissionen der Stromversorgung – ein ganzheitlicher Vergleich verschiedener Techniken«, *KWK* 59(10), 44–52.