

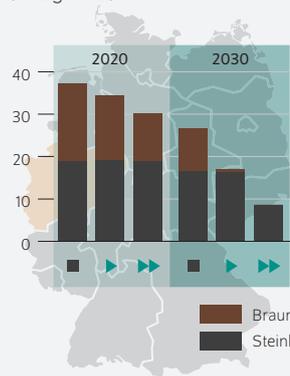
## Erfolgreicher Klimaschutz durch zügigen Kohleausstieg in Deutschland und Nordrhein-Westfalen

Von Leonard Göke, Martin Kittel, Claudia Kemfert, Casimir Lorenz, Pao-Yu Oei und Christian von Hirschhausen

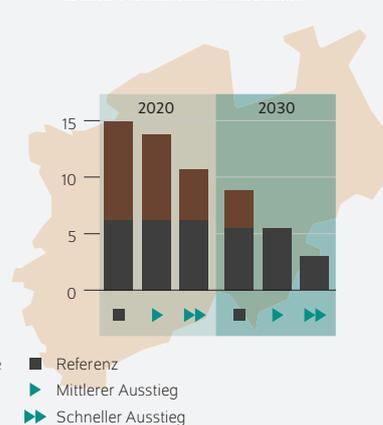
- Energiewirtschaftliche Modellrechnungen zu unterschiedlich ambitionierten Pfaden des Kohleausstiegs bis 2030
- Nur ein zügiger Kohleausstieg in Deutschland und Nordrhein-Westfalen sichert die Klimaziele für das Jahr 2030 und fördert zudem die Dekarbonisierung in Europa
- Ein ausreichender Beitrag zum Klimaschutz für das Jahr 2020 kann nur mit einer zusätzlichen Begrenzung der jährlichen Laufzeit von Kohlekraftwerken erreicht werden
- Im traditionellen Energieland Nordrhein-Westfalen leistet der Kohleausstieg auch einen positiven Beitrag zum Landschafts- und Umweltschutz in den Braunkohlerevieren
- Die Politik sollte die Rahmenbedingungen für den Kohleausstieg sowie den Umbau hin zu einem flexiblen und erneuerbaren Stromsystem setzen

### Mögliche Pfade für einen beschleunigten Kohleausstieg in Deutschland und Nordrhein-Westfalen sowie ihre Wirkung auf die Erreichung der deutschen Klimaziele im Stromsektor für das Jahr 2030

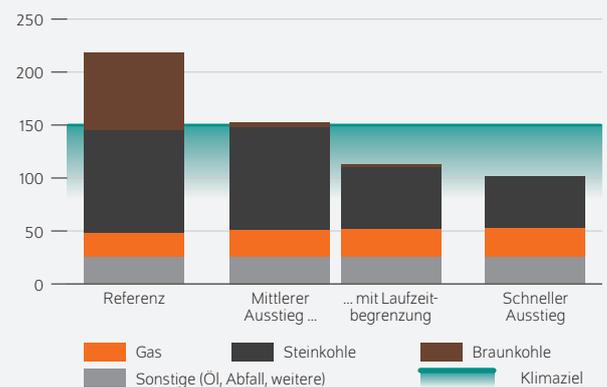
Kapazitäten von Kohlekraftwerken in Deutschland ... (in Gigawatt)



... und Nordrhein-Westfalen



CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor im Jahr 2030 für die verschiedenen Ausstiegspfade (in Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>)



Quelle: Eigene Darstellung, eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2018

Nur ein beschleunigter Kohleausstieg ist mit den Klimazielen vereinbar und kann zudem erwartbare Zielverfehlungen in anderen Sektoren kompensieren.

### ZITAT

„Der Kohleausstieg in Deutschland und NRW ist aus Klimaschutzgründen notwendig und energiewirtschaftlich sinnvoll“

— Claudia Kemfert, Studienautorin —

# Erfolgreicher Klimaschutz durch zügigen Kohleausstieg in Deutschland und Nordrhein-Westfalen

Von Leonard Göke, Martin Kittel, Claudia Kemfert, Casimir Lorenz, Pao-Yu Oei und Christian von Hirschhausen

## ABSTRACT

Die Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle war im Jahr 2016 für mehr als ein Viertel der deutschen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Unter den Bundesländern ist Nordrhein-Westfalen der mit Abstand größte CO<sub>2</sub>-Emittent. Um die nationalen Klimaziele zu erreichen, werden daher gegenwärtig alternative Kohleausstiegspfade diskutiert, unter anderem in der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, welche bis Ende 2018 konkrete Vorschläge vorlegen soll (sogenannte „Kohlekommission“). Gestützt auf detaillierte Modellrechnungen zeigt dieser Bericht, dass eine zügige Reduktion der Kohleverstromung in Deutschland und in Nordrhein-Westfalen notwendig ist, um die Klimaziele noch erreichen zu können – gemäß Klimaschutzplan der Bundesregierung bis 2030 eine Senkung der Emissionen im Energiesektor um gut 60 Prozent gegenüber 1990. Die Analyse zeigt auch, dass ein deutscher Kohleausstieg die Dekarbonisierung in Europa vorantreibt und den Ausbau erneuerbarer Energien in den Nachbarländern anreizen kann. Auch in Nordrhein-Westfalen ist der beschleunigte Kohleausstieg zur Erreichung der Klimaschutzziele notwendig. Sämtliche Braunkohlekraftwerke und viele Steinkohlekraftwerke können bis 2030 abgeschaltet werden. Das Auslaufen des Braunkohleabbaus in NRW kann so gestaltet werden, dass im Tagebau Garzweiler II keine zusätzlichen Ortschaften weichen müssen. Auch kann der schützenswerte Wald im Tagebau Hambach angesichts reduzierter Abbaumengen erhalten werden.

Bis zum Jahr 2020 strebt die Bundesregierung gemäß ihrer Klimaschutzziele eine Verringerung der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland um 40 Prozent gegenüber 1990 an.<sup>1</sup> Bis 2030 soll die Minderung mindestens 55 Prozent betragen.<sup>2</sup> Einen wesentlichen Beitrag soll die Energiewirtschaft durch den Umstieg auf erneuerbare Energien leisten.<sup>3</sup> Hier sollen die Treibhausgas-Emissionen bis 2030 um mindestens 61 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden.<sup>4</sup> Diese Ziele sind aktuell gefährdet: Ohne zusätzliche Maßnahmen ist zu erwarten, dass die Minderung der Treibhausgas-Emissionen bis 2020 insgesamt nur 35,5 Prozent betragen wird, unter anderem weil in der Stromerzeugung noch immer große Mengen Braun- und Steinkohle eingesetzt werden.<sup>5</sup>

Vor diesem Hintergrund erarbeitet die von der Bundesregierung eingesetzte Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“, in der Öffentlichkeit auch als „Kohlekommission“ bezeichnet, seit Juni 2018 Konzepte zum Kohleausstieg. Das Ziel ist ein Kohleausstieg, der die Lücke zur Erreichung des Klimaziels für das Jahr 2020 reduziert, das Ziel für 2030 erfüllt und gleichzeitig Perspektiven für die Schaffung zukunftssicherer Arbeitsplätze in den betroffenen Regionen aufzeigt. Bis Ende des Jahres soll die Kommission konkrete Konzepte vorlegen.

Das Bundesland Nordrhein-Westfalen (NRW) nimmt im Rahmen dieser Entwicklungen eine besondere Rolle ein: Einerseits verabschiedete der Landtag bereits 2013 ein Klimaschutzgesetz, welches eine Verringerung der Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2020 um mindestens 25 Prozent und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 Prozent gegenüber

<sup>1</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018): Klimaschutz in Zahlen – Fakten, Trends und Impulse deutsche Klimapolitik, Ausgabe 2018. (online verfügbar, abgerufen am 23. Juli 2018. Dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt).

<sup>2</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. (online verfügbar).

<sup>3</sup> Insgesamt betrug der Anteil die Treibhausgas-Emissionen der Energiewirtschaft an den Gesamtemissionen 86 Prozent im Jahr 2016, siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018): Zahlen und Fakten. Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung. (Stand: Januar 2018) (online verfügbar).

<sup>4</sup> BMUB (2016), a. a. O. Im Klimaschutzplan 2050 sind die Erzeugung von Strom und Wärme als Energiewirtschaft zusammengefasst. Dieser Bericht beleuchtet nur den Bereich der Stromversorgung.

<sup>5</sup> Umweltbundesamt (UBA) (2017): Kohleverstromung und Klimaschutz bis 2030 – Diskussionsbeitrag des Umweltbundesamts zur Erreichung der Klimaziele in Deutschland (online verfügbar).

dem Basisjahr 1990 vorschreibt.<sup>6</sup> Hierdurch gehört das Land zumindest formal zu den Vorreitern in der Klimaschutzpolitik. Andererseits ist Nordrhein-Westfalen derzeit der größte Emittent von Treibhausgasen unter den deutschen Bundesländern. Hierzu trägt bei, dass sich in NRW derzeit mit zehn Gigawatt die Hälfte der Kapazitäten der deutschen Braunkohlekraftwerke und mit etwa acht Gigawatt knapp ein Drittel der Steinkohlekraftwerke befinden. Allein die Braunkohlekraftwerke in NRW sorgten 2014 für zehn Prozent der gesamten deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>7</sup> Zudem liegt der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung derzeit bei 12,5 Prozent und somit weit unterhalb des Bundesdurchschnitts von 36 Prozent.<sup>8</sup> Daher kommt NRW für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende eine Schlüsselrolle zu.<sup>9</sup>

Vor diesem Hintergrund untersucht dieser Bericht drei mögliche Pfade für den Ausstieg aus der Braun- und Steinkohle in Deutschland im Kontext des europäischen Energiesystems. Für jeden Pfad analysiert eine Modellrechnung des europäischen Stromsystems die Wirkung auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß für die Jahre 2020 und 2030 und beleuchtet den resultierenden Mix an Erzeugungstechnologien. Im Anschluss geht der Bericht näher darauf ein, wie sich die betrachteten Ausstiegspfade auf Nordrhein-Westfalen auswirken würden. Im Fokus stehen dabei insbesondere Kraftwerke, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Tagebaue sowie die Umweltschäden, die mit ihrem Betrieb verbunden sind.<sup>10</sup>

### Ein Referenz-Szenario und zwei Pfade für den beschleunigten Kohleausstieg in Deutschland ...

Die Effekte des Kohleausstiegs auf die Emissionen des deutschen Stromsektors und den europäischen Strommarkt wurden anhand eines Referenzpfades und zweier beschleunigter Ausstiegspfade bis 2030 analysiert.<sup>11</sup> Der *Referenzpfad* schreibt hierbei die aktuell vorhandenen Kraftwerkskapazitäten ohne zusätzliche energie- und umweltpolitische Maßnahmen fort. Ein Kohleausstieg findet ausschließlich dadurch statt, dass Kraftwerke nach dem Erreichen ihrer technischen Lebensdauer stillgelegt werden, also vergleichsweise

Tabelle 1

### Mögliche Ausstiegspfade aus der Kohleverstromung in Deutschland

Kraftwerkskapazitäten in Gigawatt

Pfad	Technologie	2015	2020	2030
Referenz	Steinkohle	24,7	19,1	16,5
	Braunkohle	21,0	18,2	10,2
Mittlerer Ausstieg (mit und ohne Begrenzung der Volllaststunden)	Steinkohle	24,7	19,1	16,5
	Braunkohle	21,0	15,2	0,6
Schneller Ausstieg	Steinkohle	24,7	19,1	8,6
	Braunkohle	21,0	11,2	0,0

Quelle: Eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2018

Emissionsintensive Braunkohle geht bis 2030 fast vollständig vom Netz; ein ambitionierter Ausstieg reduziert bis 2030 auch deutlich die Kapazitäten der Steinkohlekraftwerke.

langsam.<sup>12</sup> Dabei wird von der Möglichkeit der Ertüchtigung der Kraftwerke über ihre technische Lebensdauer hinaus, dem sogenannten *Retrofit*, abgesehen.

Die zwei beschleunigten Ausstiegspfade orientieren sich an den Vorschlägen zu frühzeitigen Stilllegungen von Kohlekraftwerken bis zum Jahr 2020, welche rund um die *Jamaika*-Sondierungen im November 2017 diskutiert wurden.<sup>13</sup> Die Pfade werden so ermittelt, dass die Stilllegungen, je nach Ambition, annähernd gleichmäßig bis 2040 verteilt werden bzw. der Großteil der Kraftwerke bereits bis 2030 abgeschaltet wird (Tabelle 1). Beim *mittleren Ausstieg* werden im Vergleich zum Referenzpfad bis 2020 zusätzlich drei Gigawatt an Kraftwerksleistung stillgelegt und bis 2030 die gesamte Kohlekapazität auf 17,1 Gigawatt reduziert. Der mittlere Pfad konzentriert sich zunächst auf den Braunkohleausstieg und sieht frühzeitige Stilllegungen von Steinkohlekraftwerken erst nach 2030 vor. Beim *schnellen Ausstieg* werden bis 2020 Kohlekraftwerke mit einer Leistung von sieben Gigawatt stillgelegt und die gesamte Kapazität bis 2030 auf 8,6 Gigawatt verringert. Hierbei werden vor 2030 neben Braunkohle- auch bereits sukzessive Steinkohlekraftwerke stillgelegt.

Für den mittleren Ausstiegspfad wird zusätzlich der Effekt einer Begrenzung der jährlichen Laufzeit von Kohlekraftwerken untersucht.<sup>14</sup> Konkret wird hierzu der Betrieb aller Kohlekraftwerke, die älter als 20 Jahre sind, auf maximal 4000

6 Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen (2013): Klimaschutzgesetz Nordrhein-Westfalen. Gesetz- und Verordnungsblatt (GV.NRW) Ausgabe 2013 Nr. 4 (6. Februar 2013).

7 Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (2018): Energiestatistik NRW (online verfügbar).

8 Landesverband Erneuerbare Energien Nordrhein-Westfalen (2018): Erneuerbare-Energien-Bilanz 2017 für NRW. Pressemitteilung, Düsseldorf (online verfügbar); Umweltbundesamt (2018): Erneuerbare Energien in Deutschland – Daten zu Entwicklung im Jahr 2017 (online verfügbar).

9 Wolf-Peter Schill, Jochen Diekmann und Andreas Püttner (2017): Fünfte Vergleichsstudie zu erneuerbaren Energien: Baden-Württemberg führt erstmals. DIW Wochenbericht 46, 1029–1041 (online verfügbar); Jochen Diekmann et al. (2017): Vergleich der Bundesländer: Analyse der Erfolgsfaktoren für den Ausbau Erneuerbarer Energien 2017: Indikatoren und Ranking (online verfügbar).

10 Dieser Wochenbericht beruht auf Ergebnissen, die von MitarbeiterInnen der Nachwuchsforschungsgruppe „CoalExit - Economics of Coal Phase-Out - Identifying Building Blocks for Future Regional Transition Frameworks“ erarbeitet wurden, welche vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird.

11 Ein breiteres Spektrum an Kohleausstiegspfaden und deren Auswirkungen wird untersucht in Pao-Yu Oei et al. (2018): Szenarien zur Einhaltung der deutschen Klimaziele – Auswirkungen und Chancen für NRW. DIW Politikberatung kompakt 129 (im Erscheinen); sowie Martin Kittel und Leonard Göke (2018): Coal exit scenarios in Germany – A Model-Based Analysis and Implications in the European Context. DIW Berlin Discussion Paper (im Erscheinen).

12 Bereits durchgeführte und beschlossene Überführungen von Braunkohlekraftwerken in die Sicherheitsbereitschaft werden ebenfalls berücksichtigt.

13 Während die FDP und die Union Kohlekraftwerke mit einer Gesamtleistung von lediglich drei bis fünf Gigawatt frühzeitig abschalten wollten, sah ein Kompromissvorschlag, basierend auf einem Papier aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, eine Abschaltung von sieben Gigawatt vor. Vgl. ZEIT online (13.11.2017): Grüne lehnen Kompromiss zum Kohleausstieg ab (online verfügbar); Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesnetzagentur (2017): Versorgungssicherheit in Deutschland (online verfügbar).

14 Cornelia Ziem et al. (2014): Entwurf und Erläuterung für ein Gesetz zur Festsetzung nationaler CO<sub>2</sub>-Emissionsstandards für fossile Kraftwerke in Deutschland. DIW Politikberatung kompakt 82. (online verfügbar); sowie Pao-Yu Oei et al. (2015): Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten für fossile Kraftwerke auf Strommarkt und Klimaschutz in Deutschland. DIW Politikberatung kompakt 104 (online verfügbar).

Kasten

### Das Modell dynELMOD

Das dynamische Investitions- und Kraftwerkseinsatzmodell dynELMOD fällt Investitionsentscheidungen hinsichtlich Anlagen zur konventionellen sowie erneuerbaren Stromerzeugung, Speichern, Demand-Side-Management und Hochspannungsleitungen.

Anschließend ermittelt es den resultierenden Kraftwerkseinsatz und die Stromflüsse zwischen den Ländern Europas.<sup>1</sup>

Es baut hierbei auf aktuellen Daten zum europäischen Kraftwerkspark und Stromnetz auf. Weitere Inputs umfassen Prognosen des europäischen Stromverbrauchs, Kosten und Eigenschaften der betrachteten Technologien sowie die historischen, stündlichen Zeitreihen der Stromnachfrage und Einspeisung erneuerbarer Energien aus dem Basisjahr 2013.

Das Modell minimiert unter vorgegeben Randbedingungen die totalen Systemkosten der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 in Fünfjahres-Schritten über 33 europäische Länder, unterteilt in fünf synchrone Netzzonen (Abbildung). Somit simuliert es den europäischen Strommarkt in den untersuchten zukünftigen Jahren. Eine wichtige Randbedingung ist die weitreichende Dekarbonisierung der europäischen Stromversorgung bis 2050. Dies wird durch eine lineare Reduktion der Treibhausgasemissionen modelliert, von 1300 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr 2015 auf 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr 2050.<sup>2</sup>

Damit die Rechenzeit trotz des großen zeitlichen und räumlichen Betrachtungsrahmens vertretbar bleibt, werden Investitionsentscheidungen in Fünfjahres-Schritten ermittelt sowie ein spezieller Algorithmus verwendet, der den jährlichen Betrachtungszeitraum reduziert. Hierbei bleiben die saisonalen Charakteristika und Extrema der Stromnachfrage sowie Phasen mit geringer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erhalten.

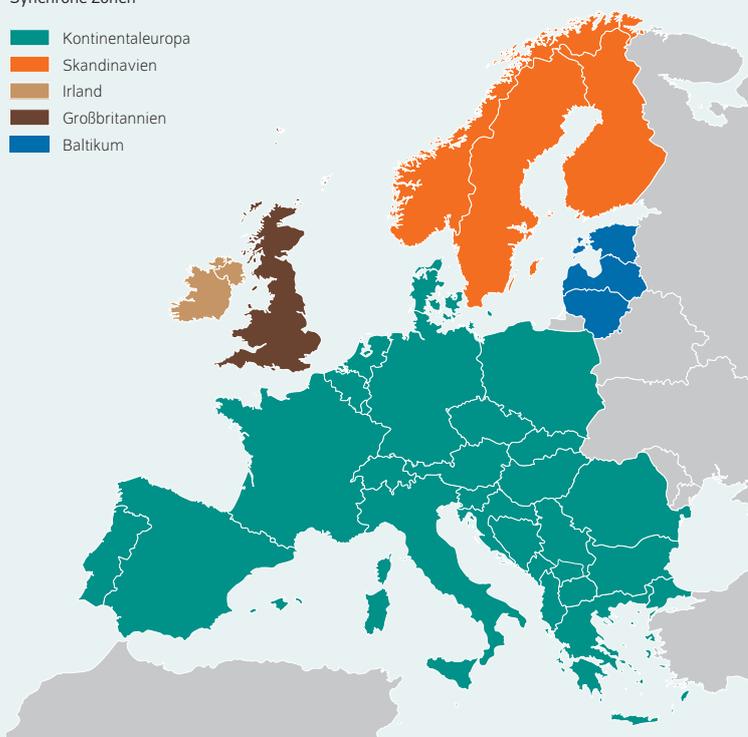
Die Modelloutputs umfassen den europäischen Mix an Erzeugungstechnologien und Flexibilitätsoptionen, bestehend aus konventionellen und erneuerbaren Anlagen zur Stromerzeugung, Speichern und Demand-Side-Management-Anlagen sowie deren Einsatz. Zudem wird der Ausbau der Grenzkuppelstellen zum Stromhandel ausgegeben.

Abbildung

### Geografische Abdeckung des Modells dynELMOD

Synchrone Zonen

- Kontinentaleuropa
- Skandinavien
- Irland
- Großbritannien
- Baltikum



Quelle: Gerbaulet und Lorenz (2017), a.a.O.

© DIW Berlin 2018

Das Investitionsmodell berücksichtigt 32 Länder in Europa.

<sup>1</sup> Clemens Gerbaulet and Casimir Lorenz (2017): dynELMOD: A Dynamic Investment and Dispatch Model for the Future European Electricity Market. DIW Data Documentation Nr. 88 (online verfügbar).

<sup>2</sup> Um den Ausstoß von Treibhausgasen nicht doppelt zu restringieren, werden im Modell keine CO<sub>2</sub>-Preise angesetzt.

Volllaststunden pro Jahr begrenzt.<sup>15</sup> Dieses Instrument zeichnet sich dadurch aus, dass es Emissionen energiewirtschaftlich sinnvoll reduziert und gleichzeitig die Beschäftigtenzahlen in den betroffenen Kraftwerken kaum beeinflusst.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Das bedeutet, dass ein solches Kraftwerk höchstens 4 000 der 8 760 Stunden eines Jahres unter voller Last produziert. Dieses Budget kann auch auf mehrere Stunden aufgeteilt werden, entsprechend mit weniger Leistung.

<sup>16</sup> Pao-Yu Oei et al. (2015): Effektive CO<sub>2</sub>-Minderung im Stromsektor: Klima-, Preis- und Beschäftigungseffekte des Klimabeitrags und alternativer Instrumente. DIW Politikberatung kompakt 98 (online verfügbar); Sachverständigenrat für Umweltfragen (2017): Kohleausstieg jetzt einleiten. Stellungnahme. (online verfügbar).

### ... um Emissionsziele im Stromsektor zu erreichen

Um die Ausstiegspfade im Hinblick auf die Klimaziele der Bundesregierung zu untersuchen, werden sie mit den Vorgaben aus dem Klimaschutzplan 2050 verglichen. Dieser legt zwar Ziele zur Minderung der Treibhausgas-Emissionen für einzelne Sektoren fest;<sup>17</sup> jedoch sind für die Stromversorgung keine expliziten Klimaziele definiert, weil sie mit der Wärmeversorgung als Energiewirtschaft zusammengefasst ist. Hier schreibt das Ziel eine Minderung der

<sup>17</sup> BMUB (2016), a.a.O.

Treibhausgas-Emissionen von gut 60 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 vor.

Hierbei ist zu beachten, dass die Dekarbonisierung im Wärmebereich als schwieriger zu erreichen gilt als die Dekarbonisierung im Stromsektor.<sup>18</sup> Daher geht dieser Bericht davon aus, dass die Emissionen der Stromerzeugung um mindestens 60 Prozent gesenkt werden müssen. Im Sinne einer flexiblen Handhabung der Sektorenziele beleuchten die Berechnungen alternativ auch das Ziel einer Minderung der strombedingten Emissionen um 80 Prozent. Dies trägt sowohl der schwierigeren Dekarbonisierung im Wärmesektor Rechnung, der in diesem Fall seine Emissionen nicht wesentlich reduzieren müsste, als auch möglichen Zielverfehlungen in anderen Sektoren.<sup>19</sup>

Da für 2020 keine Sektorenziele existieren, wurde hier das Ziel einer Minderung von 40 Prozent auf den Stromsektor übertragen. Dies entspricht dem Ziel für die gesamten Treibhausgas-Emissionen.<sup>20</sup>

### Ein detailliertes Modell berechnet die Emissionswirkungen des Kohleausstiegs

Zur Untersuchung der Ausstiegspfade wird das dynamische Investitions- und Kraftwerkseinsatzmodell dynELMOD verwendet (Kasten). Das Modell simuliert den europäischen Strommarkt in Fünffjahres-Schritten bis 2050, indem es kostenoptimale Investitionsentscheidungen in verschiedene Technologien zur Stromerzeugung, -speicherung und -verteilung trifft sowie ihren Einsatz ermittelt. Für den vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse für die Jahre 2020 und 2030 analysiert.

Im Modell wird zudem der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland als Randbedingung vorgegeben. Entsprechend der Vorgabe aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz werden bis zum Jahr 2025 mindestens 45 Prozent am Stromverbrauch erreicht und entsprechend dem aktuellen Koalitionsvertrag bis 2030 mindestens 65 Prozent.<sup>21</sup> Daneben gibt das Modell eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Stromerzeugung von 95 Prozent bis 2050 vor. Zusätzlich wird angenommen, dass Belgien bis 2020 seine verbleibenden Atomkraftwerke vollständig abschaltet, weil diese aktuell auf Grund von Störungen häufig nicht verfügbar sind.<sup>22</sup>

18 Gerhard Striy-Hipp et al. (2015): Besonderheiten des Wärmemarktes und Konsequenzen für eine erfolgreiche Wärmewende. In: Forschungsverbund Erneuerbare Energien: Forschung für die Wärmewende, Beiträge zur FVEE-Jahrestagung 2015. Berlin, 23–26 (online verfügbar).

19 Aktuelle Prognosen rechnen beispielsweise im Verkehrssektor mit einer Verfehlung des Emissionsziels um 40 bis 50 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Vgl. ifeu (2016): Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960–2035“ (TREMOM) für die Emissionsberichterstattung 2016 (Berichtsperiode 1990–2014) (online verfügbar).

20 Bundesnetzagentur (2018): Sechster Monitoringbericht zur Energiewende – Berichtsjahr 2016 (online verfügbar).

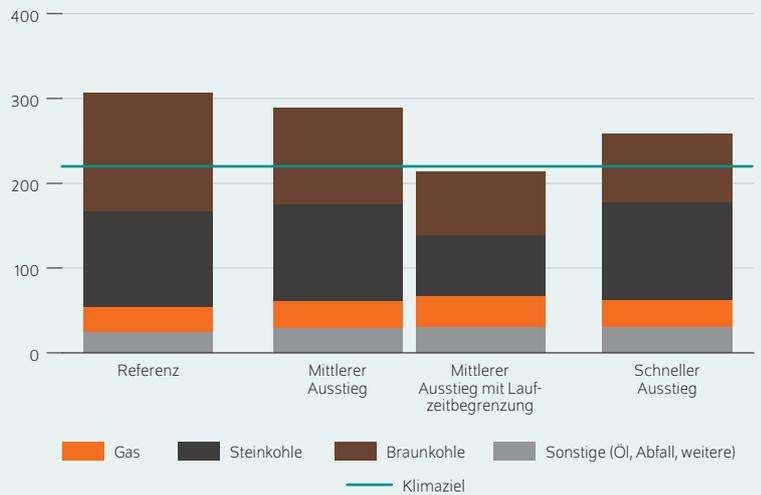
21 Bundesregierung (2018): Koalitionsvertrag vom 14. März 2018 (online verfügbar).

22 Westdeutscher Rundfunk (2018): AKW Tihange deutlich gefährlicher als bislang bekannt (online verfügbar).

Abbildung 1

### CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor im Jahr 2020 für die verschiedenen Ausstiegspfade

In Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>



Quelle: Eigene Berechnungen.

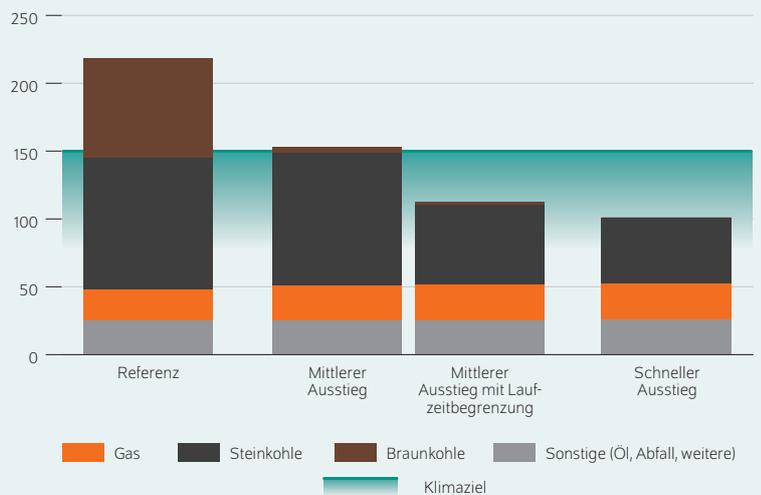
© DIW Berlin 2018

Eine substantielle Senkung der Emissionen im Stromsektor ist bis 2020 nur durch einen ambitionierten Ausstieg aus der Kohle zu erreichen.

Abbildung 2

### CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor im Jahr 2030 für die verschiedenen Ausstiegspfade

In Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>



Quelle: Eigene Berechnungen.

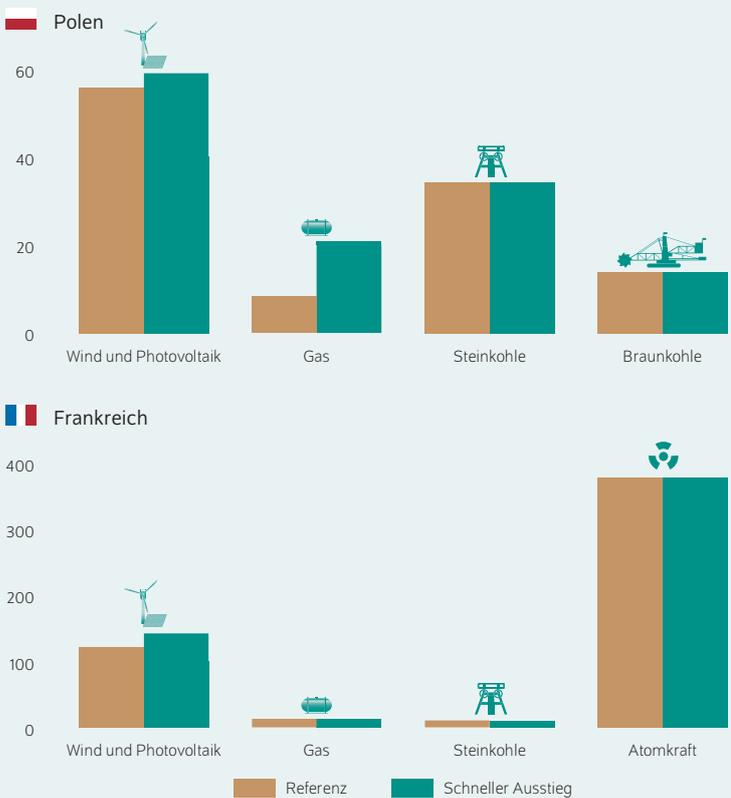
© DIW Berlin 2018

Die Klimaziele für den Stromsektor im Jahr 2030 sind nur durch einen forcierten Ausstieg aus der Kohle zu erreichen. Insbesondere kann ein ambitionierter Ausstieg Zielverfehlungen in anderen Sektoren kompensieren.

Abbildung 3

**Stromerzeugung in Polen und Frankreich nach Technologien im Jahr 2030, für den Referenzpfad und beim schnellen Kohleausstieg in Terawattstunden**

In Terawattstunden



Quelle: Eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2018

Der Kohleausstieg in Deutschland erhöht nicht die Stromerzeugung aus polnischen Kohlekraftwerken oder französischen Atomkraftwerken.

**Zügiger Kohleausstieg reduziert Emissionen erheblich**

Die Modellergebnisse zeigen,<sup>23</sup> dass selbst in den ehrgeizigen Stilllegungsszenarien das sektorale Klimaziel für 2020 nur erreicht werden kann, falls die Betriebsdauer von älteren und damit emissionsintensiveren Kraftwerken eingeschränkt wird (Abbildung 1). Bei einer Einschränkung der jährlichen Betriebsdauer und Stilllegungen im geringen Umfang von drei Gigawatt gemäß dem mittleren Ausstiegspfad wird das Ziel im Stromsektor knapp übertroffen, um sechs Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>, und könnte damit absehbare Zielverfehlungen in anderen Sektoren kompensieren.

<sup>23</sup> Ein kleiner Teil der sonstigen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung sind keiner spezifischen Quelle zuzuordnen. Diese werden im Modell als exogen vorgegeben und somit ebenfalls berücksichtigt. Die Werte für 2020 und 2030 werden entsprechend der Minderungsziele der Bundesregierung linear extrapoliert. Vgl. Umweltbundesamt (2017): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990–2016 (online verfügbar).

Auch im Jahr 2030 wird das Mindestziel für die Dekarbonisierung im Stromsektor ohne eine Begrenzung der jährlichen Betriebsdauer im mittleren Ausstiegs-Szenario verfehlt, wenn auch knapp. Bei zusätzlicher Begrenzung der jährlichen Betriebsdauer und beim schnellen Ausstiegspfad wird das Emissionsziel erreicht. Zudem können zusätzlich um die 50 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden, um unzureichende Emissionssenkungen in anderen Sektoren kompensieren und so das Klimaziel für 2030 kosteneffizient zu erreichen (Abbildung 2). In jedem Fall sind die Klimaziele nur durch einen forcierten Kohleausstieg zu erreichen. Ohne zusätzliche energiepolitische Maßnahmen würden sie verfehlt.

**Auch der Energiemix in den Nachbarländern wird erneuerbarer**

Die Befürchtung, dass sich durch einen deutschen Kohleausstieg die Stromerzeugung auf bestimmte andere Technologien in den Nachbarländern, wie französische Atomkraft oder polnische Braunkohle verlagert, ist unbegründet. Im Gegenteil: Der Kohleausstieg treibt auch die Dekarbonisierung in Europa voran.

Zurzeit wird ein Teil des deutschen Kohlestroms ins Ausland exportiert. Diese Importe sind für Abnehmerländer nur dann wirtschaftlich, wenn der importierte Strom nicht günstiger im eigenen Land erzeugt werden kann. Daher konkurriert dieser Strom nicht mit Atom- oder Braunkohlekraftwerken, sondern verdrängt vor allem emissionsärmere Gaskraftwerke in den Abnehmerländern.<sup>24</sup> Bei einem Rückgang der deutschen Kohlestromerzeugung ist im europäischen Ausland also lediglich mit zusätzlicher Erzeugung von Gaskraftwerken, aber nicht von aktuell ohnehin bereits ausgelasteten Atom- oder Braunkohlekraftwerken, zu rechnen. Darüber hinaus entstehen zusätzliche Anreize für den Ausbau erneuerbarer Energien, weil die Möglichkeit des kostengünstigen Imports deutschen Kohlestroms entfällt.

Die Modellergebnisse spiegeln diese Marktmechanismen wider (Abbildung 3). Es wird deutlich, dass auch ein schneller Kohleausstieg in Deutschland im Jahr 2030 beispielsweise nicht zu einer stärkeren Nutzung von Atomkraft in Frankreich und Kohle in Polen führt. Stattdessen werden vermehrt Gaskraftwerke eingesetzt und der Ausbau von erneuerbaren Energien sowie nachfrageseitiger Flexibilität und Speichern, beides hier nicht dargestellt, forciert. Ähnliche Befunde gelten für die anderen Nachbarländer. Im Jahr 2030 steht einem beschleunigten Kohleausstieg in Deutschland nur ein zu vernachlässigender Anstieg der Kohleverstromung in den Nachbarländern gegenüber, im Umfang von 0,6 bis 2,1 Prozent des Rückgangs in Deutschland.

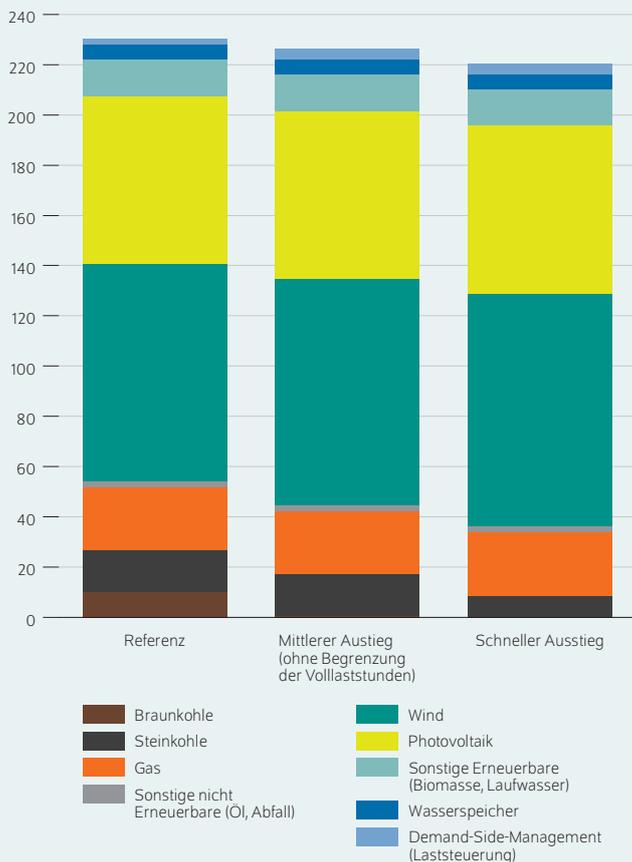
Dementsprechend verändern sich die Emissionen der Stromerzeugung innerhalb der Europäischen Union. Im Vergleich zum Referenzfall reduzieren sie sich im Jahr 2030 im

<sup>24</sup> Agora Energiewende (2017): Kohleausstieg, Stromimporte und -exporte sowie Versorgungssicherheit (online verfügbar).

Abbildung 4

**Mix an Technologien zur Stromerzeugung und Bereitstellung von Flexibilität in Deutschland im Jahr 2030, für den Referenzpfad und die zwei beschleunigten Pfade zum Kohleausstieg**

In Gigawatt



Quelle: Eigene Berechnungen.

© DIW Berlin 2018

Erneuerbare Energieträger in Verbindung mit Speichern sowie Lastmanagement unterstützen den Rückgang fossiler Stromerzeugung.

mittleren Ausstiegspfad um rund zehn Prozent auf 465 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> beziehungsweise um 15 Prozent auf 435 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> bei gleichzeitiger Reduzierung der jährlichen Laufzeit. Im schnellen Ausstiegspfad kann eine Reduzierung um 17 Prozent im Vergleich zur Referenz erreicht werden.<sup>25</sup>

**Technologiemix mit erneuerbaren Energien und Demand Side Management statt Kohle**

Die im Vergleich zur Referenz beschleunigten Pfade für einen deutschen Kohleausstieg haben Auswirkungen auf

<sup>25</sup> Diese setzt sich aus einer Senkung der Emissionen um 116,7 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> in Deutschland und einem geringem Anstieg von 26,0 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Ausland zusammen, bewirkt durch die Verlagerung von Erzeugung auf emissionsärmere Technologien.

den im Modell berechneten kosteneffizienten Mix an Erzeugungstechnologien.

Bis 2020 nimmt der Anteil variabler erneuerbarer Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik in Deutschland annahmegemäß zu. Hierdurch wächst auch der Nutzen von Flexibilität im Stromsystem und es kommt zu einem Ausbau von Anlagen zur Bereitstellung von Nachfrageflexibilität (Demand Side Management) in Höhe von zwei Gigawatt. Im Vergleich zur heutigen Situation findet bis 2020 in keinem der betrachteten Ausstiegspfade ein Zubau von thermischen Kraftwerken statt, aber es kommt zu altersbedingtem Stilllegen von Altanlagen im Umfang von 3,9 Gigawatt.<sup>26</sup>

Dieser Trend setzt sich im Jahr 2030 fort (Abbildung 4): Durch das altersbedingte Ausscheiden von Altanlagen, den vollständigen Ausstieg aus der Atomkraft und das Abschalten von Kohlekraftwerken gemäß der Ausstiegspfade geht die konventionelle Erzeugungsleistung in Deutschland weiter zurück.<sup>27</sup> Wechselwirkungen existieren auch zwischen den Ausstiegspfaden und dem Ausbau von Anlagen zur Bereitstellung von Flexibilität: Die kostenoptimale Kapazität von Anlagen zum Lastmanagement steigt in den beschleunigten Ausstiegspfaden um weitere zwei Gigawatt auf insgesamt vier Gigawatt. Diese stellen benötigte Flexibilität bereit, um höherer Anteile variabler erneuerbarer Energien zu integrieren, welche annahmegemäß im Modell zugebaut werden.<sup>28</sup>

Der Rückgang der Kohleverstromung verstärkt im Energiesystem insgesamt also die Nutzung erneuerbarer Energien. Der berechnete Mix an Erzeugungstechnologien und Flexibilitätsoptionen in Deutschland und Europa ist gemäß den Modellrechnungen in der Lage, die gesamte europäische Stromnachfrage, und damit auch die deutsche Spitzenlast, abzudecken. Um dies auch für eventuelle Extremsituation zu sichern, die über die im Modell bereits abgebildeten hinausgehen, steht eine Vielzahl weiterer energiepolitischer Instrumente zur Verfügung.

Einerseits kann der Gesetzgeber verstärkt angebots- und nachfrageseitige Potentiale zur Flexibilisierung heben. Hierzu zählen beispielsweise Großbatteriespeicher und weiteres Demand Side Management.<sup>29</sup> Zudem können länderübergreifende Ausgleichseffekte im europäischen Stromnetz Synergien bewirken: Die Spitzen der Stromnachfrage sowie der Stromerzeugung durch Photovoltaik und Windturbinen treten in verschiedenen Ländern zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf, sodass es zu regionalen Stromüberschüssen kommen kann. Sowohl im berechneten, kostenoptimalen Stromversorgungssystem als auch gemäß anderer

<sup>26</sup> Eine detaillierte Leistungsbilanz für das Jahr 2020 wird diskutiert in Pao-Yu Oei et al. (2018), a. a. O.

<sup>27</sup> Lediglich im Fall des schnellen Ausstiegs kommt es im Jahr 2030 zu einem geringen Zubau von Gaskraftwerken im Umfang von 154 Megawatt im Vergleich zum Referenzfall.

<sup>28</sup> Um das gegebene Ziel von 65 Prozent erneuerbarer Energie an der Stromnachfrage zu erreichen, steigen in allen Szenarien zwischen bis 2030 die Photovoltaikkapazitäten auf 67 Gigawatt. Der Ausbau der Windkraft variiert abhängig vom Kohleausstiegspfad deutlich: Im Referenzpfad werden 19,2 Gigawatt, bei einem beschleunigten Ausstieg aus der Kohleverstromung 22,8 Gigawatt im mittleren bzw. 25,5 Gigawatt im schnellen Ausstiegspfad zusätzlich installiert.

<sup>29</sup> Bundesnetzagentur (2018): Genehmigung des Szenariorahmens 2019–2030 (online verfügbar).

Tabelle 2

**Kraftwerksscharfe Ausstiegspfade aus der Kohleverstromung für NRW, Braunkohle**

	Referenz	Mittlerer Ausstieg	Schneller Ausstieg
Niederaußem C	bis 2025	bis 2020	bis 2020
Niederaußem D	bis 2025	bis 2020	bis 2020
Weisweiler E	bis 2030	bis 2020	bis 2020
Weisweiler F	bis 2030	bis 2020	bis 2020
Weisweiler G	bis 2030	bis 2025	bis 2020
Weisweiler H	bis 2030	bis 2025	bis 2020
Neurath A	bis 2030	bis 2025	bis 2020
Neurath B	bis 2030	bis 2025	bis 2020
Niederaußem G	bis 2030	bis 2025	bis 2020
Niederaußem H	bis 2030	bis 2025	bis 2020
Neurath D	bis 2030	bis 2025	bis 2025
Neurath E	bis 2030	bis 2030	bis 2025
Niederaußem K	nach 2030	bis 2030	bis 2025
BoA 2 / Neurath F	nach 2040	bis 2030	bis 2030
BoA 3 / Neurath G	nach 2040	bis 2030	bis 2030

Quelle: Eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2018

Die Braunkohlekraftwerke in NRW werden in den beschleunigten Ausstiegspfaden bis 2030 abgeschaltet werden.

Tabelle 3

**Kraftwerksscharfe Ausstiegspfade aus der Kohleverstromung für NRW, Steinkohle**

	Referenz	Mittlerer Ausstieg	Schneller Ausstieg
Gersteinwerk K2	bis 2020	bis 2020	bis 2020
Bergkamen A	bis 2030	bis 2030	bis 2025
Ibbenbüren B	bis 2035	bis 2035	bis 2030
Heyden 4	bis 2035	bis 2035	bis 2030
Walsum 9	bis 2035	bis 2035	bis 2030
Herne 4	bis 2035	bis 2035	bis 2030
Walsum 10	nach 2040	bis 2040	bis 2040
Trianel-Kraftwerk Lünen	nach 2040	bis 2040	bis 2040
Westfalen D	nach 2040	bis 2040	bis 2040
Westfalen E	nach 2040	bis 2040	bis 2040

Quelle: Eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2018

Die meisten Steinkohlekraftwerke in NRW können bis 2030 abgeschaltet werden.

Berechnungen<sup>30</sup> nimmt die deutsche Importkapazität auf den Grenzkuppelstellen zu den Nachbarländern deutlich zu. Überschüssiger Strom aus erneuerbaren und im Bedarfsfall auch aus konventionellen Energieträgern aus dem Ausland kann also zunehmend genutzt werden, um die deutsche Stromversorgung effizient abzusichern.

Nicht zuletzt besteht die Möglichkeit, eine strategische Reserve – ähnlich der bereits vorhandenen Kapazitätsreserve

<sup>30</sup> F. Huneke, C. Perez Linkenheil und M. Niggemeier (2017): Kalte Dunkelflaute – Robustheit des Stromsystems bei Extremwetter (online verfügbar).

– zu installieren,<sup>31</sup> in der Kraftwerke vorgehalten werden, die in den Jahren vor 2030 altersbedingt vom Netz gehen. Dabei wären vorrangig solche Kraftwerke auszuwählen, deren Brennstoffbeschaffung kurzfristig reaktivierbar ist. Braunkohlekraftwerke wären für eventuelle Reservemechanismen ungeeignet, weil deren zumeist nahegelegene Tagebaue bei einem frühzeitigen Abschalten ebenfalls geschlossen und renaturiert werden sollten.<sup>32</sup>

Die zukünftige Entwicklung von Stromnachfrage und Spitzenlast ist aufgrund der politisch erwünschten Sektorkopplung mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Im Zuge einer verstärkten Verzahnung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr könnte die jährliche Spitze der Stromnachfrage entsprechend steigen. Die zunehmende Elektrifizierung sollte daher von einer adäquaten technologischen, marktlichen, ordnungsrechtlichen und regulatorischen Rahmensezung flankiert werden. Diese sollte darauf hinwirken, dass gleichzeitig auftretende Spitzen der Stromnachfrage in den gekoppelten Sektoren vermieden oder zumindest gemildert werden.<sup>33</sup>

**Nordrhein-Westfalen als Schlüsselland der Energiewende bleibt unter seinen Möglichkeiten**

Das Bundesland Nordrhein-Westfalen ist als traditionelles Energieland ein Schlüsselland der Energiewende. Trotz der anspruchsvollen Klimaschutzgesetzgebung bleibt die tatsächliche Umsetzung der Energiewende bisher hinter den Möglichkeiten zurück. Dies bezieht sich sowohl auf das Festhalten an der Kohleverstromung als auch auf die Zurückhaltung beim Ausbau erneuerbarer Energien. Insbesondere verfolgt die Landesregierung gerade eine Initiative, welche mit strengen Abstandsregelungen für Windkraftanlagen das verfügbare Flächenpotential stark einschränken würde.<sup>34</sup>

**Der Klimaschutz in NRW braucht einen forcierten Ausbau erneuerbarer Energien im Land ...**

Dagegen zeigen energiewirtschaftliche Berechnungen, welche den Klimaschutzplan des Landes zugrunde legen, dass zur Erreichung der Klimaschutzziele in NRW der Stromsektor weitestgehend von fossilen auf erneuerbare Technologien umgestellt werden müsste:<sup>35</sup> Das Klimaschutzziel für 2050 – eine Emissionsminderung um 80 Prozent

<sup>31</sup> Karsten Neuhoff et al. (2013): Strategische Reserve zur Absicherung des Strommarkts. DIW Wochenbericht Nr. 48, 5–15 (online verfügbar).

<sup>32</sup> Aus ökonomischer Perspektive sollte der Einsatz dieser Instrumente zur Absicherung gegen extrem seltene Wettersituationen einer Kosten-Nutzen Rechnung unterzogen werden.

<sup>33</sup> Bundesnetzagentur (2018), a. a. O.

<sup>34</sup> Das Kabinett hat Änderungen des Landesentwicklungsplans (LEP) beschlossen, die unter anderem für Windräder – „soweit im Einklang mit Bundesrecht möglich“ – einen Mindestabstand von 1 500 Metern von Wohngebieten vorsehen. Zudem wird die Pflicht zur Ausweisung von Windvorrangzonen aufgehoben und die Errichtung von Windenergieanlagen in Wäldern eingeschränkt. Vgl. Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (2018): Kabinett billigt Änderungen am Landesentwicklungsplan. Düsseldorf (online verfügbar).

<sup>35</sup> Vgl. Wuppertal-Institut (2014): Zusammenfassung der Szenarioberechnungen des Beteiligungsprozesses. Gutachten im Auftrag des Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (online verfügbar).

gegenüber 1990<sup>36</sup> – werde nur bei einem Ausbau der erneuerbaren Energien auf mindestens 80 Prozent der Stromerzeugung im Jahr 2050 erreicht.<sup>37</sup>

Nach § 6 des Klimaschutzgesetzes wird der Klimaschutzplan alle fünf Jahre fortgeschrieben. Die Landesregierung müsste daher 2019 eine Aktualisierung vorlegen. Derzeit ist jedoch unklar, wie die vorgesehenen Klimaschutzziele darin Niederschlag finden sollen.

### ... und den beschleunigten Ausstieg aus der Kohle

Die skizzierten Kohleausstiegspfade lassen sich auf Länderebene herunterbrechen. Im Bereich der Braunkohle werden zunächst ältere und damit im Durchschnitt emissionsintensivere Kraftwerke stillgelegt. Dabei werden die Stilllegungen gleichmäßig auf die drei deutschen Braunkohlereviere verteilt. Dies bedeutet für das rheinische Revier in Nordrhein-Westfalen, dass im mittleren Pfad bis auf die vier modernsten Kraftwerksblöcke – Niederaußem K sowie Neurath E, BoA 2 und BoA 3 – alle Braunkohlekraftwerke bis spätestens 2025 stillgelegt werden. Im Falle des schnellen Ausstiegs werden lediglich die zwei modernsten Blöcke in Neurath (BoA 2 und 3) bis 2030 betrieben (Tabelle 2).

Der Ausstieg aus der Kohleverstromung in NRW wird begleitet vom Ende des Steinkohlebergbaus, welcher im Dezember 2018 mit der Schließung der letzten beiden Zechen (Ibbenbüren sowie Prosper-Haniel in Bottrop) endgültig besiegelt wird. Bereits seit den 1950er Jahren war die Steinkohleförderung in NRW, wie auch in anderen Regionen Deutschlands, nicht mehr wettbewerbsfähig und musste mit erheblichen Subventionen unterstützt werden.<sup>38</sup> Die verbleibenden Steinkohlekraftwerke werden ab 2019 vollständig mit importierter Kohle versorgt.

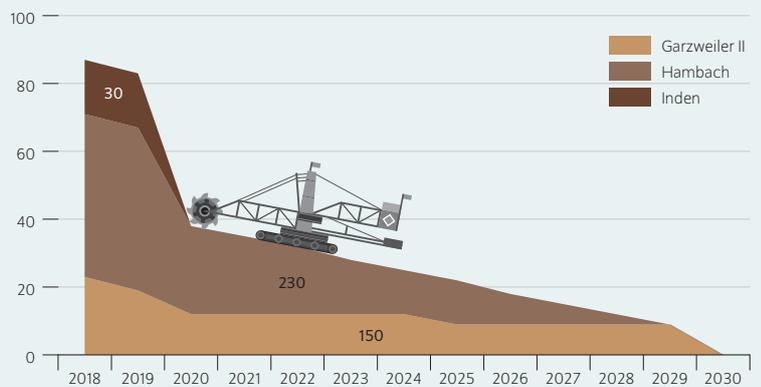
Die Ausstiegspfade für Steinkohlekraftwerke in NRW sehen eine schrittweise Schließung zwischen 2030 und 2040 (mittlerer Ausstieg) bzw. zwischen 2020 und 2040 (schneller Ausstieg) vor (Tabelle 3). Dies entspricht weitestgehend dem altersbedingten Ausstiegspfad des Referenzszenarios, sodass die Abweichungen hiervon, für welche besondere Politikmaßnahmen erforderlich wären, gering sind. Aufgrund der im Verhältnis zur Braunkohle geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie geringer zu erwartender Volllaststunden hält sich der Beitrag der Steinkohlekraftwerke zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen in Grenzen.

### Klimaschutzeffekte des Kohleausstiegs in NRW besonders groß

Weil rund 56 Prozent der energiebedingten Emissionen in Nordrhein-Westfalen auf die gesamte Kohleverbrennung

Abbildung 5

### Abbaumengen im rheinischen Braunkohlerevier beim schnellen Ausstiegspfad In Millionen Tonnen



Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Pao-Yu Oei et al. (2014): Braunkohleausstieg – Gestaltungsoptionen im Rahmen der Energiewende. DIW Berlin Politikberatung kompakt 84 (online verfügbar).

© DIW Berlin 2018

Die Tagebaue Inden, Garzweiler II und Hambach können die benötigte Braunkohle bis zum Kohleausstieg bereitstellen.

entfallen,<sup>39</sup> verbessern frühzeitige Stilllegungen die Klimabilanz des Landes deutlich.<sup>40</sup> Im Falle des mittleren Ausstiegspfads reduzieren sich die Emissionen, die auf die Kohleverbrennung zurückzuführen sind, durch die Abschaltung von Braunkohlekraftwerken bis 2030 um circa 40 Prozent gegenüber dem Referenzpfad; bei einer zusätzlichen Begrenzung der jährlichen Laufzeit der verbleibenden Braun- und Steinkohlekraftwerke um rund 64 Prozent. Dieses Ergebnis wird auch im Falle eines schnellen Ausstiegs mit circa 69 Prozent nur leicht übertroffen. Im Vergleich zu 2014 bedeutet dies eine Senkung der kohlebedingten Emissionen um 75 Prozent beim mittleren Ausstiegspfad, bzw. um 87 Prozent mit einer zusätzlichen Begrenzung der Volllaststunden, und um 90 Prozent im schnellen Ausstiegspfad.

### Der Ausstieg aus der Braunkohle dient auch dem Landschafts- und Umweltschutz

Neben den Emissionen mindert der Kohleausstieg auch die negativen Effekte, die mit der Nutzung von Braunkohlevorkommen einhergehen. Diesbezüglich gibt es wegen der aktuellen Planungen der Tagebaue Garzweiler II sowie Hambach Auseinandersetzungen über das richtige Maß des Abbaus. Ein beschleunigter Kohleausstieg in Nordrhein-Westfalen wirkt sich auch in einer verringerten Abbaumenge von Braunkohle aus. Insgesamt sinkt mit dem Kohleausstieg der Braunkohlebedarf stark, sodass nicht die gesamten Braunkohlevorräte in den Tagebauen

<sup>36</sup> Ministerium des Innern des Landes Nordrhein-Westfalen (2013), a. a. O.

<sup>37</sup> Im Fall einer vollständigen Stromerzeugung aus Erneuerbaren kann auch das obere Ziel des Klimaschutzgesetzes erreicht werden, d. h. eine 95-prozentige Reduktion der Treibhausgasemissionen.

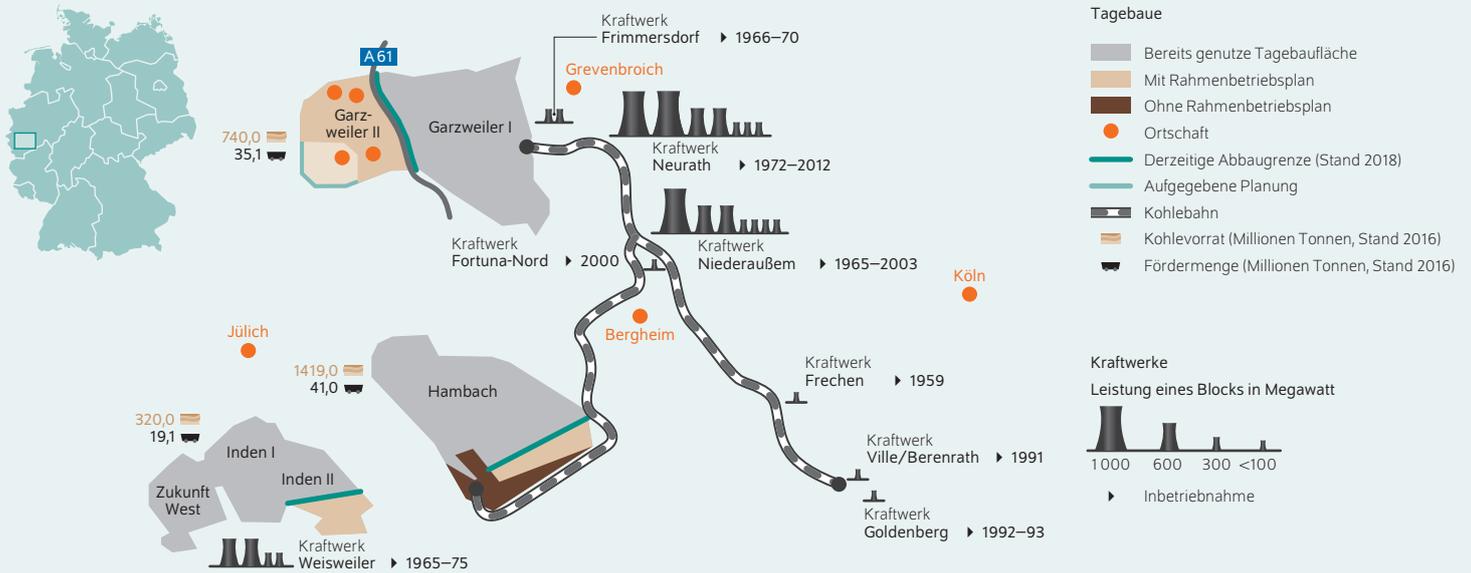
<sup>38</sup> Vgl. Philipp Herpich, Hanna Brauers, und Pao-Yu Oei (2018): A historical case study on previous coal transitions in Germany (online verfügbar).

<sup>39</sup> Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (2018), a. a. O.

<sup>40</sup> Zahlen beziehen sich auf den Vergleich mit dem Jahr 2014, da für spätere Jahre die Emissionen nicht mehr veröffentlicht wurden.

Abbildung 6

Rheinisches Braunkohlrevier und Verlauf der Abbaukanten der Tagebaue Garzweiler, Hambach und Inden nach aktuellen Planungen ohne einen Kohleausstieg in NRW



Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf Clemens Gerbaulet et al. (2012): Die Zukunft der Braunkohle in Deutschland im Rahmen der Energiewende. DIW Politikberatung kompakt 69 (online verfügbar), Öko-Institut (2017): Die deutsche Braunkohlenwirtschaft. Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen. Studie im Auftrag von Agora Energiewende und der European Climate Foundation (online verfügbar).

© DIW Berlin 2018

Der Ausstieg aus dem Braunkohleabbau kann so gestaltet werden, dass weder weitere Dörfer (Tagebau Garzweiler II) noch der Hambacher Wald (Tagebau Hambach) weichen müssen.

Inden, Garzweiler II und Hambach gefördert werden müssen (Abbildung 5).

Der Tagebau Garzweiler II wird im Szenario eines schnellen Kohleausstiegs bis zum Jahr 2030 nur bis zur Autobahn A61 abgebaut, um insgesamt noch 150 Millionen Tonnen Braunkohle zu fördern (Abbildung 6). Hierdurch wird insgesamt nur ungefähr ein Fünftel der im Rahmenbetriebsplan genehmigten Kohlemenge in Anspruch genommen. In diesem Fall müssen die Dörfer Keyenberg, Kuckum, Unterwestrich, Oberwestrich und Berverath, welche in den laufenden Abbauplänen berücksichtigt sind, nicht weichen. Auch der Braunkohletagebau in Hambach beschränkt sich in dem schnellen Ausstiegspfad auf 230 Millionen Tonnen. Die Kohle wird sowohl für die Versorgung der Kraftwerke Neurath und Niederaußem, als auch einiger kleinerer Kraftwerke verwendet. Durch die verringerte Abbaumenge könnte auch auf die Abholzung großer Teile des Hambacher Waldes verzichtet werden, welche unter Gesichtspunktes des Umweltschutzes höchst umstritten ist.<sup>41</sup> Der Tagebau Inden dient ausschließlich der Belieferung des Braunkohlekraftwerks Weisweiler und wird daher beim schnellen Ausstieg zeitgleich mit dem Kraftwerk im Jahr 2020 geschlossen.

<sup>41</sup> Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) klagt derzeit auf die Ausweisung des Hambacher Waldes als „Natura-2000-Gebiet“, da der Wald alle fachlichen Kriterien der europäischen Fauna-Flora-Habitat Richtlinie erfülle (online verfügbar).

Schlussfolgerungen

Ohne den Kohleausstieg werden in Deutschland weder die Klimaziele erreicht noch kann der notwendige Umbau hin zu einem weitestgehend auf erneuerbaren Energien basierten Strom- und Energiesystem gelingen. Aus diesem Grund wird der Kohleausstieg derzeit politisch intensiv diskutiert. Insbesondere soll die Kohlekommission bis Ende des Jahres konkrete Vorschläge erarbeiten.

Vor diesem Hintergrund zeigt dieser Bericht unterschiedlich ambitionierte Pfade für einen Kohleausstieg in Deutschland auf und untersucht ihre Wirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen anhand detaillierter Modellrechnungen. Nimmt man keine zusätzlichen Stilllegungen von Kraftwerken über das Ausscheiden nach Vollendung ihrer technischen Lebensdauer hinaus an, werden sowohl 2020 als auch 2030 die Minderungsziele für CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Energiewirtschaft deutlich verfehlt.

Bei einem forcierten, mittleren Ausstieg werden bis 2020 zusätzlich drei Gigawatt an Kraftwerksleistung abgeschaltet und bis 2030 die gesamte Kohlekapazität auf 17,1 Gigawatt reduziert; in einem schnellen Ausstieg werden bis 2020 Kohlekraftwerke mit einer Leistung von sieben Gigawatt stillgelegt und die gesamte Kapazität bis 2030 auf 8,6 Gigawatt gesenkt. Der schnelle Ausstiegspfad führt dazu, dass im Jahr 2030 die Klimaziele in Energiesektor erreicht werden. Der

mittlere Pfad ermöglicht dies nur, falls zusätzlich die jährliche Betriebsdauer von alten Kohlekraftwerken eingeschränkt wird. Eine Zielerreichung für das Jahr 2020 kann ebenfalls nur durch eine zusätzliche Reduktion der Volllaststunden ermöglicht werden. Zugleich gilt: Je ambitionierter ein Pfad ist, umso mehr kann er Zielverfehlungen in anderen Sektoren kompensieren und so zur Erreichung der sektorübergreifenden Emissionsziele effizient beitragen.

Die positiven Effekte werden, entgegen häufig geäußelter Befürchtungen, kaum durch gegenläufige Effekte im europäischen Ausland nivelliert. Im Gegenteil: Die Modellergebnisse zeigen, dass ein beschleunigter Kohleausstieg auch hier Anreize zur Dekarbonisierung des Energiesystems schafft. Insgesamt sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa durch einen beschleunigten Kohleausstieg um bis zu 17 Prozent im Jahr 2030.

Das Bundesland Nordrhein-Westfalen nimmt im Rahmen der Energiewende eine Schlüsselposition ein: Zum einen stehen in NRW mit Abstand die meisten Kohlekraftwerke und das Land ist der größte CO<sub>2</sub>-Emittent auf Bundesländerebene. Daher sollte der Kohleausstieg hier besonders engagiert angegangen werden. Sämtliche Braunkohlekraftwerke sollten bis 2030 abgeschaltet werden; Steinkohlekraftwerke bis spätestens 2040. Zum anderen sollten die Potenziale erneuerbarer Energien wesentlich stärker genutzt werden als bisher. Je nach beschleunigtem

Ausstiegspfad gehen die Emissionen der Kohlenutzung im Vergleich zu 2014 um circa 75 bis 90 Prozent zurück; dadurch verringert sich der energiebedingte Ausstoß von Treibhausgasen in NRW um bis zu 50 Prozent. Die Landesregierung sollte diese Befunde bei der nächsten Aktualisierung ihres Klimaschutzplanes im Jahr 2019 berücksichtigen und den Ausbau der erneuerbaren Energien stärker forcieren.

Neben den Emissionen mindert der Kohleausstieg auch die negativen Effekte, die mit der Nutzung von Braunkohlevorkommen einhergehen. Das Auslaufen des Braunkohleabbaus in NRW sollte so gestaltet werden, dass weder im Tagebau Garzweiler II zusätzliche Ortschaften noch der aus naturschutzrechtlichen Gründen erhaltenswerte Wald im Tagebau Hambach weichen müssen.

Der Ausstieg aus der Kohleverstromung ist vor allem aufgrund der hohen negativen Externalitäten von Kohleabbau und -verstromung wirtschaftlich vorteilhaft. Daher sollten jetzt die Rahmenbedingungen für einen Umbau der Stromversorgung gesetzt werden: Die Bundesregierung sollte einen zügigen Kohleausstieg einleiten, einhergehend mit einem beschleunigten Umbau des Stromsystems hin zu erneuerbaren Energien. Hierfür ist die Berücksichtigung von Speichern, Potentialen zum Demand Side Management sowie eine vertiefte europäische Integration förderlich.

**Leonard Göke** ist Gastwissenschaftler am DIW Berlin | [lgoeke@diw.de](mailto:lgoeke@diw.de)

**Martin Kittel** ist Gastwissenschaftler am DIW Berlin | [mkittel@diw.de](mailto:mkittel@diw.de)

**Claudia Kemfert** ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | [ckemfert@diw.de](mailto:ckemfert@diw.de)

**Casimir Lorenz** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | [clorenz@diw.de](mailto:clorenz@diw.de)

**Pao-Yu Oei** ist Gastwissenschaftler am DIW Berlin | [poei@diw.de](mailto:poei@diw.de)

**Christian von Hirschhausen** ist Forschungsdirektor am DIW Berlin | [chirschhausen@diw.de](mailto:chirschhausen@diw.de)

JEL: Q54, L51

**Keywords:** coal, climate protection, Germany, North Rhine Westphalia, Europe

This report is also available in an English version as DIW Weekly Report 33/2018:

[www.diw.de/diw\\_weekly](http://www.diw.de/diw_weekly)



## IMPRESSUM

---



DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V.

Mohrenstraße 58, 10117 Berlin

[www.diw.de](http://www.diw.de)

Telefon: +49 30 897 89-0 Fax: -200

85. Jahrgang 15. August 2018

### Herausgeberinnen und Herausgeber

Prof. Dr. Tomaso Duso; Dr. Ferdinand Fichtner; Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.;  
Prof. Dr. Peter Haan; Prof. Dr. Claudia Kemfert; Prof. Dr. Alexander Kriwoluzky;  
Prof. Dr. Stefan Liebig; Prof. Dr. Lukas Menkhoff; Prof. Johanna Möllerström,  
Ph.D.; Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.; Prof. Dr. Jürgen Schupp;  
Prof. Dr. C. Katharina Spieß

### Chefredaktion

Dr. Gritje Hartmann; Mathilde Richter; Dr. Wolf-Peter Schill

### Lektorat

Dr. Jörn Richstein

### Redaktion

Renate Bogdanovic; Dr. Franziska Bremus; Rebecca Buhner;  
Claudia Cohnen-Beck; Dr. Daniel Kemptner; Sebastian Kollmann;  
Matthias Laugwitz; Markus Reiniger; Dr. Alexander Zerrahn

### Vertrieb

DIW Berlin Leserservice, Postfach 74, 77649 Offenburg

[leserservice@diw.de](mailto:leserservice@diw.de)

Telefon: +49 1806 14 00 50 25 (20 Cent pro Anruf)

### Gestaltung

Roman Wilhelm, DIW Berlin

### Umschlagmotiv

© imageBROKER / Steffen Diemer

### Satz

Satz-Rechen-Zentrum Hartmann + Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

### Druck

USE gGmbH, Berlin

ISSN 0012-1304; ISSN 1860-8787 (online)

Nachdruck und sonstige Verbreitung – auch auszugsweise – nur mit  
Quellenangabe und unter Zusendung eines Belegexemplars an den  
Kundenservice des DIW Berlin zulässig ([kundenservice@diw.de](mailto:kundenservice@diw.de)).

Abonnieren Sie auch unseren DIW- und/oder Wochenbericht-Newsletter  
unter [www.diw.de/newsletter](http://www.diw.de/newsletter)