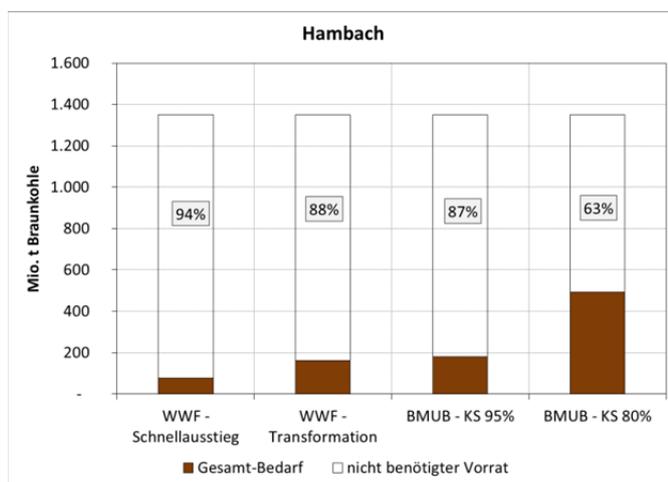


Braunkohletagebau Hambach: Klimaschutz und energiewirtschaftliche Notwendigkeit

Studie im Auftrag des
Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
Landesverband Nordrhein-Westfalen e.V.

Freiburg,
26. September 2018



Autorinnen und Autoren

Dr. Dierk Bauknecht
 Franziska Flachsbarth
 David Ritter
 Moritz Vogel
 Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg
 Postfach 17 71
 79017 Freiburg
Hausadresse
 Merzhauser Straße 173
 79100 Freiburg
 Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin
 Schicklerstraße 5-7
 10179 Berlin
 Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt
 Rheinstraße 95
 64295 Darmstadt
 Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
Zusammenfassung	6
Hambach und Klimaschutz	6
Zusammenhang zwischen Braunkohleverstromung und Stromexporten und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz	6
Versorgungssicherheit	6
1 Hambach und Klimaschutz	10
1.1 Ziele und Szenarien	10
1.1.1 Ziele und Szenarien auf Bundesebene	10
1.1.2 Szenariorahmen des Netzentwicklungsplans Strom 2030, Version 2019	13
1.1.3 Ziele auf Landesebene	14
1.1.4 Aktuelle Einordnung der Ziele und Szenarien	14
1.2 Der zukünftige Bedarf an Braunkohle im Tagebau Hambach aus klimapolitischer Sicht	15
2 Zusammenhang zwischen Braunkohleverstromung, Stromexporten und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz	24
2.1 Historische Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung und des Stromimportsaldos	24
2.2 Modellierungen des Kohleausstiegs zur Analyse der Auswirkungen auf die Nettoimportbilanz	26
2.3 Auswirkungen der Braunkohlestromerzeugung auf die Auslastung des Übertragungsnetzes	27
3 Versorgungssicherheit	30
Anhang: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien für die Reviere Mitteldeutschland und Lausitz	33
Literaturverzeichnis	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Stromerzeugung aus Braunkohle in den betrachteten Szenarien	12
Abbildung 1-2:	Altersstruktur der deutschen Braunkohlekraftwerke nach Revier	18
Abbildung 1-3:	Vergleich: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien für Deutschland	19
Abbildung 1-4:	Vergleich: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien im Revier Rheinland	20
Abbildung 1-5:	Vergleich: geplanter Vorrat, Fördermenge 2017 und kumulierter Gesamtbedarf in den rheinländischen Tagebauen	21
Abbildung 1-6:	Vergleich: Vorrat und Restmengen im Tagebau Hambach	22
Abbildung 2-1:	Jährliche Stromerzeugung und Stromimportsaldo von 1990 bis 2017	25
Abbildung 2-2:	Veränderung der maximalen Leitungsauslastungen durch den Verzicht auf 9 GW Braunkohleleistung im Szenariojahr 2024 (basierend auf NEP B2 2024)	28
Abbildung I:	Vergleich: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien im Revier Lausitz	33
Abbildung II:	Vergleich: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien im Revier Mitteldeutschland	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Braukohletagebaue in Deutschland	17
Tabelle 1-2:	Nutzung des Tagebaus Hambachs	22

Zusammenfassung

Hambach und Klimaschutz

1. Die geplanten Abbaumengen des Tagebaus Hambach sind mit den Klimaschutzzielen der Bundesregierung nicht kompatibel und müssen deutlich reduziert werden.
2. Alle vorliegenden Szenarien, die zudem den vom Pariser Klimaabkommen vorgegebenen Rahmen einhalten, erfordern eine schnelle und deutliche Reduktion der Braunkohleverstromung.
3. Bei den hier betrachteten Szenarien aus der WWF-Studie *Zukunft Stromsystem*, die mit dem Pariser Klimaabkommen kompatibel sind, können zur Einhaltung des Klimaabkommens zwischen 88 und 94% der im Tagebau Hambach geplanten Braunkohleabbaumenge nicht verstromt werden.
4. Auch der von der Bundesnetzagentur im Juni 2018 genehmigte Szenariorahmen Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2019 orientiert sich an den Klimaschutzzielen der Bundesregierung und sieht in allen Szenarien eine deutliche Absenkung der Kapazitäten an Braunkohlekraftwerken vor.
5. Auch wenn die genannten Ziele keine unmittelbaren Vorgaben zur Braunkohleverstromung enthalten, liegen keine Szenarien vor, in denen gezeigt wird, wie die geplanten Braunkohle-Abbaumengen mit den Klimaschutzzielen vereinbart werden könnten. Bedingung für die geplante Braunkohleverstromung sollte es deshalb sein, dass ein Szenario vorgelegt wird, in dem gezeigt wird, wie die Braunkohleverstromung mit den Klimaschutzzielen in Einklang gebracht werden können.
6. Die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung soll bis Ende 2018 ein Aktionsprogramm vorlegen, das u.a. Maßnahmen enthält, mit denen das 2030-er Ziel für den Energiesektor zuverlässig erreicht werden kann, d.h. eine Verringerung der Emissionen aus der Energiewirtschaft um 61 bis 62 % im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990. Dabei sollte auch das 2020-er Ziel insofern nicht außer Acht gelassen werden, als dass Emissionsreduktionen möglichst zeitnah realisiert werden sollten. Daher sollte geprüft werden, ob weitere Grundabtretungen zur Ausweitung der Braunkohletagebaue vertagt werden können, bis die Bundesregierung das Vorgehen beim Kohleausstieg festgelegt hat.

Zusammenhang zwischen Braunkohleverstromung und Stromexporten und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz

1. Deutschland hat sich zu einem Netto-Exporteur von Strom entwickelt, ein Hinweis auf Überkapazitäten im fossilen Kraftwerkspark.
2. Kohleerzeugung bei gedeckter Nachfrage führt zu Exporten in das europäische Ausland, erhöht CO₂-Emissionen und verdrängt effiziente Gaskraftwerke.

Versorgungssicherheit

1. Der deutsche Strommarkt ist heute nach wie vor durch Überkapazitäten gekennzeichnet. Die Stilllegung von Braunkohlekraftwerken kann zur Verringerung dieser Überkapazitäten beitragen.
2. Gleichzeitig entstehen neue Optionen, wie zum Beispiel verstärkte europäische Vernetzung oder Lastmanagement, die die zur Lastdeckung notwendige Kapazität bereitstellen können. Diese müssen rechtzeitig entwickelt werden.

3. Insofern die Leistung einzelner Kraftwerke vorübergehend noch benötigt wird, um ausreichend gesicherte Leistung bereitzustellen, folgt daraus nicht, dass diese Kraftwerke auch große Mengen Strom erzeugen müssen bzw. Braunkohle verbrauchen.
4. Durch die Sektorkopplung entstehen neue Herausforderungen für die Versorgungssicherheit, allerdings ist das Abschalten der Braunkohlekraftwerke eine Voraussetzung für die Sektorkopplung, da ansonsten die Emissionsreduktion, als Hauptziel der Sektorkopplung, nicht erreicht werden kann.

1. Hintergrund und Zielstellung

Am 7. Mai 2018 hat die Bezirksregierung Arnsberg in einem Grundabtretungsbeschluss festgelegt, dass ein Grundstück des BUND NRW e.V. im Bereich des Tagebaus Hambach auf die RWE Power AG übertragen wird. Gegen diesen Beschluss hat der BUND Klage eingereicht. In dem verwaltungsgerichtlichen Verfahren werden auch die dem Grundabtretungsbeschluss zugrundeliegenden Allgemeinwohlbelange berücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich diese Studie mit klimapolitischen und energiewirtschaftlichen Aspekten der Braunkohleverstromung und des Tagebaus Hambach.

Die Studie ist wie folgt aufgebaut:

In Kapitel 2 wird gezeigt, dass die geplanten Abbaumengen nicht mit dem Klimaabkommen von Paris und noch nicht einmal mit den bisher noch weniger ambitionierten klimapolitischen Zielen der Bundesregierung vereinbar sind.

Kapitel 3 zeigt, dass der Stromexport Deutschlands in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen ist und dass dazu auch die unverändert hohe Braunkohleverstromung maßgeblich beiträgt. Daraus ergibt sich auch eine zusätzliche Belastung der Stromnetze.

Kapitel 4 widmet sich schließlich der Versorgungssicherheit und zeigt, dass auch mit einer deutlichen Reduktion der Braunkohleverstromung die Versorgungssicherheit nicht gefährdet ist.

1 Hambach und Klimaschutz

Kernaussagen

1. Die geplanten Abbaumengen des Tagebaus Hambach sind mit den Klimaschutzzielen der Bundesregierung nicht kompatibel und müssen deutlich reduziert werden.
2. Alle vorliegenden Szenarien, die zudem den vom Pariser Klimaabkommen vorgegebenen Rahmen einhalten, erfordern eine schnelle und deutliche Reduktion der Braunkohleverstromung.
3. Bei den hier betrachteten Szenarien aus der WWF-Studie *Zukunft Stromsystem*, die mit dem Pariser Klimaabkommen kompatibel sind, können zur Einhaltung des Klimaabkommens zwischen 88 und 94% der im Tagebau Hambach geplanten Braunkohleabbaumenge nicht verstromt werden. Auch der von der Bundesnetzagentur im Juni 2018 genehmigte Szenariorahmen Netzentwicklungsplan Strom 2030, Version 2019 orientiert sich an den Klimaschutzzielen der Bundesregierung und sieht in allen Szenarien eine deutliche Absenkung der Kapazitäten an Braunkohlekraftwerken vor.
4. Auch wenn die genannten Ziele keine unmittelbaren Vorgaben zur Braunkohleverstromung enthalten, liegen keine Szenarien vor, in denen gezeigt wird, wie die geplanten Braunkohle-Abbaumengen mit den Klimaschutzzielen vereinbart werden könnten. Bedingung für die geplante Braunkohleverstromung sollte es deshalb sein, dass ein Szenario vorgelegt wird, in dem gezeigt wird, wie die Braunkohleverstromung mit den Klimaschutzzielen in Einklang gebracht werden können.
5. Die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung soll bis Ende 2018 ein Aktionsprogramm vorlegen, das u.a. Maßnahmen enthält, mit denen das 2030-er Ziel für den Energiesektor zuverlässig erreicht werden kann, d.h. eine Verringerung der Emissionen aus der Energiewirtschaft um 61 bis 62 % im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990. Dabei sollte auch das 2020-er Ziel insofern nicht außer Acht gelassen werden, als dass Emissionsreduktionen möglichst zeitnah realisiert werden sollten. Daher sollte geprüft werden, ob weitere Grundabtretungen zur Ausweitung der Braunkohletagebaue vertagt werden können, bis die Bundesregierung das Vorgehen beim Kohleausstieg festgelegt hat.

1.1 Ziele und Szenarien

1.1.1 Ziele und Szenarien auf Bundesebene

Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen in Deutschland sektorübergreifend bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu reduzieren (Bundesregierung 2010). Der Zielkorridor von 80-95 % entspricht den Reduktionsempfehlungen im IPCC-Report 2007 an die Industriestaaten (IPCC 2007). Auch Zwischenziele wurden festgelegt: Bis 2020 sollen die Emissionen um 40 % gesenkt werden, bis 2030 um 55 % gegenüber 1990. Im Jahr 2017 wurde eine Emissionsminderung von 27,7 % unter das Niveau von 1990 erreicht. Das Klimaschutzziel für 2020 wird somit voraussichtlich nicht erreicht. Das liegt vor allem an der unverändert hohen Kohleverstromung in Deutschland.

Auf der UN-Klimakonferenz in Paris (COP 21) wurde im Dezember 2015 das Übereinkommen getroffen, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C, möglichst nur auf 1,5 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen (UNFCCC 2015). Um die globale Erderhitzung mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 66% auf unter 2°C zu beschränken, muss die ab 2015

insgesamt ausgestoßene CO₂-Menge¹ weltweit und dauerhaft auf etwa 890 Mrd. t begrenzt werden (IPCC 2014).

Es wurden verschiedene Studien zu einer Umsetzung der bisher implementierten nationalen Klimaschutzziele durchgeführt. In dieser Untersuchung wird die Studie „*Klimaschutzszenario 2050, 2. Modellierungsrunde*“ von Repenning et al. (2015) berücksichtigt, die sich mit dem Erreichen der Klimaschutzziele auf nationaler Ebene beschäftigt. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit hat das Konsortium aus Öko-Institut und Fraunhofer-ISI beauftragt, Szenarien mit verschiedenen klimapolitischen Ambitionsniveaus für den Zeithorizont bis 2050 zu erstellen und zu analysieren. Diese Studie wurde vor dem Pariser Klimaabkommen erstellt. Die folgenden Szenarien wurden analysiert:

- Das Klimaschutzszenario 80 (KS 80 %): In diesem Szenario sollen die im Energiekonzept der Bundesregierung festgelegten Ziele für die Reduktion der Treibhausgasemissionen, den Zubau der erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz möglichst erreicht werden, wobei für das Ziel der Treibhausgasreduktion der weniger ambitionierte Wert in Ansatz gebracht wird.
- Das Klimaschutzszenario 95 (KS 95 %): In diesem Szenario soll bis zum Jahr 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 95 % gegenüber 1990 erreicht werden.

Auch für das Erreichen der Ziele des Paris Übereinkommens wurden Studien für Deutschland durchgeführt. Die Zielgröße für diese Berechnungen sind nicht mehr nur Zwischenziele für bestimmte Stützjahre, sondern insgesamt einzuhaltende CO₂-Emissionsbudgets. Das Emissionsbudget stellt die maximalen CO₂-Emissionen dar, die emittiert werden dürfen, um die Erhitzung der Erde mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit unter einem definierten Temperaturanstieg zu halten, also z.B. unter 2°C. Um dieses für den deutschen Stromsektor zu berücksichtigen, muss das Budget zunächst auf Deutschland und dann auf den Stromsektor mithilfe eines Verteilschlüssels heruntergebrochen werden.

Bisher gibt es zwischen den Staaten keine Einigung, wie das verbleibende globale Emissionsbudget auf die einzelnen Staaten verteilt werden soll. Ein diskutierter Verteilschlüssel nimmt die Aufteilung des verbleibenden CO₂-Emissionsbudgets auf der Grundlage einer globalen Pro-Kopf-Verteilung mit aktuellem Bevölkerungsstand vor. Dieser Verteilschlüssel ermöglicht Deutschland im Vergleich zu anderen möglichen Verteilschlüsseln tendenziell ein relativ hohes Emissionsbudget. Demnach stünde Deutschland (2015: ca. 1,1% der Weltbevölkerung) seit Anfang des Jahres 2015 noch ein Emissionsbudget von etwa 9,9 Mrd. t CO₂ zur Verfügung. Für eine detaillierte Darstellung des Budgetansatzes siehe (Loreck & Emele 2018). Hier wird auch dargestellt, dass das deutsche Emissionsbudget für eine Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5°C bereits am 20. Mai 2018 rechnerisch ausgeschöpft wurde.

Die Studie „*Zukunft Stromsystem*“ (Matthes et al. 2017), die vom Öko-Institut für den WWF verfasst wurde, untersucht vor diesem Hintergrund mögliche Emissionsreduktionen des deutschen Stromsektors. Zentral ist dabei ein robuster Auslaufpfad der deutschen Kohleverstromung, der durch den Ausbau erneuerbarer Energien, Flexibilitätsoptionen und Netze begleitet wird. Ein Kohleausstiegspfad ist notwendig, um Emissionen des Stromsektors so signifikant reduzieren zu

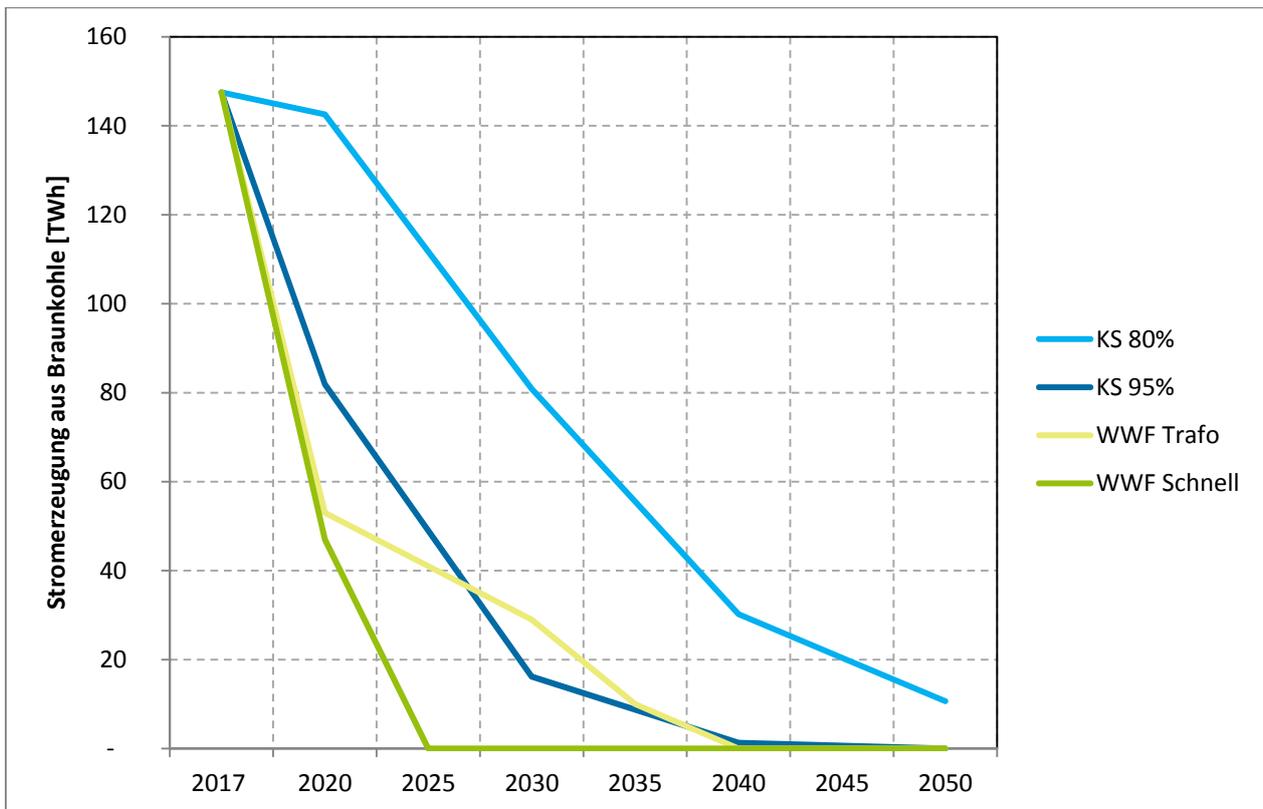
¹ Die CO₂-Emissionsobergrenzen beziehen sich meist auf alle Treibhausgase, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten. Da CO₂ im Stromsektor das einzig relevante Treibhausgas ist, wird im Text darauf verzichtet, eine differenzierte Unterscheidung zu treffen.

können, dass das noch zur Verfügung stehende Emissionsbudget nicht überschritten wird. Aus dieser Studie werden hier zwei Szenarien berücksichtigt:

- Ein Schnellausstiegsszenario, das sich an den qualitativ ermittelten technischen Grenzen einer Ausstiegsstrategie orientiert. Dies umfasst eine Abschaltung aller Kohlekraftwerke bis zu Beginn des Jahres 2025 in einer Reihenfolge, die sich an ihre Inbetriebnahme orientiert. Begleitend dazu erfolgt ein extrem ambitionierter Ausbau erneuerbarer Energien. Ziel dieses Szenarios ist die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5°C.
- Im Transformationsszenario wird das Auslaufen der Kohlestromerzeugung bis Ende 2035 umgesetzt. Die Lebensdauer dieser Kraftwerke wird auf 30 Jahre begrenzt. Ab dem 21. Betriebsjahr sehen sich Kohlekraftwerke einem *Emission Performance Standard* gegenüber, der die Emissionen je MWh auf 450 g bei einer 85% Auslastung begrenzt. Begleitend dazu erfolgt ein ambitionierter Ausbau erneuerbarer Energien. Ziel dieses Szenarios ist die Begrenzung der Erderwärmung auf 2°C.

Nachfolgende Abbildung zeigt die in den vier betrachteten Szenarien resultierende Reduktion der Stromerzeugung aus Braunkohlekraftwerken. Insbesondere im KS95 und noch deutlicher in den WWF-Szenarien, die den Budgetansatz verfolgen, ist eine frühzeitige und sehr deutliche Reduktion der Stromerzeugung aus Braunkohle zu erkennen.

Abbildung 1-1: Stromerzeugung aus Braunkohle in den betrachteten Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Matthes et al. 2017; Repenning et al. 2015).

Wichtig ist, dass in all diesen Szenarien nicht nur Braun- und Steinkohle reduziert wird, sondern dass auch aufgezeigt wird, wie der Strombedarf zukünftig gedeckt wird (siehe auch Kapitel 3 Versorgungssicherheit).

1.1.2 Szenariorahmen des Netzentwicklungsplans Strom 2030, Version 2019

Mitte Juni 2018, eine Woche nachdem die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung formal ihre Arbeit aufgenommen hat, veröffentlichte die Bundesnetzagentur (BNetzA) ihre Genehmigung des Szenariorahmens Netzentwicklungsplan (NEP) Strom 2030, Version 2019. Dieses Dokument fixiert die Konzeption der Szenarien, die von den vier deutschen Übertragungsnetzbetreibern als Berechnungsgrundlage verwendet werden, um den zukünftigen Netzausbaubedarf für Deutschland im Zuge der Energiewende zu bestimmen. Die Konzeption dieser energiewirtschaftlich bedeutenden Szenarien ist schlussendlich die Grundlage für den Netzausbaubedarf, der im Bundesbedarfsplangesetz gesetzlich verankert wird. Dem entsprechend ernst nehmen es Übertragungsnetzbetreiber und Bundesnetzagentur mit der Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Szenarien, die nach §12 a EnWG „hinreichend wahrscheinlich“ sein muss.

Der Szenariorahmen beinhaltet u.a. mindestens drei Szenarien, die gemeinhin als die Szenarien A, B und C bezeichnet werden und in aufsteigender Reihenfolge klimapolitisch ambitionierter werden. An dieser Genehmigung ist nun neu, dass nunmehr alle Szenarien – auch das konservativste Szenario A –die ggf. linear heruntergebrochenen CO₂-Emissionsminderungsziele der Bundesregierung in den Stützjahren 2025, 2030 und 2035 einhalten müssen. Zudem wird nun in allen Szenarien der EE-Ausbau linear vorangetrieben, so dass im Jahr 2030 in jedem Szenario der im Koalitionsvertrag festgeschriebene EE-Anteil an der Bruttostromnachfrage in Höhe von 65 % erreicht wird.

Dritter szenarioübergreifender Baustein ist die deutliche Absenkung der Kapazitäten an Braun- und Steinkohlekraftwerken in den einzelnen Stützjahren, d.h. es wird eine Reduktion der vorhandenen Leistung an Braunkohlekraftwerken in Deutschland zumindest bis 2030 angenommen. Diese Annahme basiert auf einer Anpassung der Erwartungen bezüglich der technisch-wirtschaftlichen Betriebsdauer der Kohlekraftwerke (Reduktion um 5 Jahre).²

- Die Veränderung der Annahme bedeutet, dass nach diesem Dokument bis zum Jahr 2030 szenarioübergreifend – d.h. relativ robust – von einer maximalen verbleibenden Kapazität an Braunkohlekraftwerken in Höhe von ungefähr 9 GW ausgegangen werden kann.
- Im Vergleich zum Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber und zum vorangegangenen Szenariorahmen³ bedeutet das insbesondere für das konservativste Szenario A eine Reduktion der zukünftigen Braunkohleleistung um mehr als 2 GW (von 11,5 GW auf 9,4 GW).
- In den Szenarien B und C wirkt die Reduktion der technisch-wirtschaftlichen Betriebsdauern bereits bis zum Szenariojahr 2025, so dass die Reduktion der anzunehmenden Braunkohlekapazität auf ca. 9,4 GW hier bereits bis zu diesem Planungshorizont erfolgt ist. Im Zeitraum von 2025 bis 2030 kommt es dann zu keinen relevanten Reduktionen der Braunkohlekapazitäten mehr.
- Die angenommene Steinkohleleistung geht im Szenario A von den entworfenen 21,7 GW auf 13,5 GW zurück, im Szenario B verbleiben im Szenariojahr 2025 13,5 und im Szenariojahr 2030 9,8 GW (Entwurf: 14,8 GW) im Strommarkt. Im Szenario C verursacht die verkürzte Betriebsdauer der Steinkohlekraftwerke eine Reduktion der in 2030 zu

² Für das Szenario A werden nunmehr 45 Jahre, für die B-Szenarien 40 und für das Szenario C 35 Jahre angenommen.

³ Genehmigter Szenariorahmen des NEP 2030, Version 2017 bzw. Entwurf des Szenariorahmens zum NEP Strom 2030, Version 2019

erwartenden installierten Kapazität von den entworfenen 10,8 GW auf die genehmigten 8,1 GW.

Insofern kann die Wendung im jetzigen Szenariorahmen so gewertet werden, dass mittlerweile auch konservativere Szenarien die Klimaschutzziele der Bundesregierung ernst nehmen und deren Erreichung als wahrscheinlich betrachten. Zudem wird hieran ersichtlich, dass eine Erreichung der Klimaschutzziele an eine (schnelle) Reduktion der Braunkohlekapazitäten – zumindest der Braunkohleverstromung - in Deutschland gebunden ist. Mit dem Szenariorahmen werden die Klimaschutzziele der Bundesregierung unmittelbar im offiziellen Prozess der Netzentwicklungsplanung berücksichtigt, der in das Bundesbedarfsplangesetz für den Übertragungsnetzausbau mündet. Andere Szenarien, welche die CO₂-Minderungsziele ab 2025 nicht einhalten und welche den angestrebten EE-Anteil in Höhe von 65% in 2030 nicht erreichen, werden dagegen nicht mehr berücksichtigt.

Diese Entwicklung im NEP weist auch auf den folgenden Punkt hin: Um sachgerecht über einen geeigneten Aus- und Umbau des Stromnetzes entscheiden zu können, bedarf es rascher energie- und klimapolitischer Entscheidungen, z.B. über einen zügigen Kohleausstieg und den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien. Solange unklar ist, ob im Jahr 2030 Kohlekraftwerke mit einer Leistung von null oder über 30 GW betrieben werden, kann eine sachgerechte Netzplanung kaum gelingen, und es besteht das Risiko, dass das Netz anders ausgebaut wird, als es später tatsächlich benötigt wird.

1.1.3 Ziele auf Landesebene

Grundlage für die Bundeslandziele des Landes Nordrhein-Westfalen ist das Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Nordrhein-Westfalen (Klimaschutzgesetz NRW 2013), das im Januar 2013 im Landtag beschlossen wurde. Dieses Gesetz legt für die Jahre 2020 und 2050 Emissionsreduktionsziele von 25 % bzw. 80 % gegenüber 1990 fest. Die Emissionen in diesem Bezugsjahr lagen bei 367,9 Mio. t CO₂-Äquivalenten, woraus sich maximale Emissionen von 275,9 Mio. t CO₂-Äquivalente für 2020 sowie 73,6 Mio. t CO₂-Äquivalente für 2050 ergeben.

Allerdings bedeutet eine 80 %-Reduktion in Nordrhein-Westfalen, dass die Braunkohleverstromung hierfür stärker reduziert werden muss als für das 80 %-Ziel auf Bundesebene. Gleichzeitig muss Nordrhein-Westfalen unabhängig von den Landeszielen einen Beitrag zu den dargestellten weitergehenden Zielen auf Bundesebenen leisten, inklusive der Zwischenziele. Die Entwicklung auf Landesebene sollte sich deshalb an den oben dargestellten Szenarien KS 95 % und den Paris kompatiblen Szenarien orientieren und nicht an den 80 %-Szenarien auf Bundesebene.

1.1.4 Aktuelle Einordnung der Ziele und Szenarien

Zwar gibt es eine Bandbreite unterschiedlicher Szenarien, in denen die Braunkohleverstromung unterschiedlich schnell zurückgeht. Jedoch zeigen die vorliegenden Szenarien, dass die genannten Klimaschutzziele nicht ohne eine schnelle und deutliche Reduktion der Braunkohleerzeugung erreicht werden können. Dies gilt bereits für die aktuellen Ziele der Bundesregierung und verschärft sich, wenn die Paris-Ziele in nationale Ziele übersetzt werden. Sobald die Klimaschutzziele als verbindlich vorausgesetzt werden, engt sich die Szenarienbandbreite wie hier dargestellt ein.

Szenarien, in denen die Klimaschutzziele erreicht werden bei weiterhin hoher Braunkohleverstromung, wie sie u.a. in den Planungen für Hambach angenommen wird, liegen nicht vor und werden von der RWE Power AG auch nicht benannt. Bedingung für die geplante Braunkohleverstromung sollte es sein, dass ein Szenario vorgelegt wird, in dem gezeigt wird, wie die Braunkohleverstromung mit den Klimaschutzzielen in Einklang gebracht werden können.

Aktuelle Entscheidungen, die einen Braunkohleausbau in Deutschland weiter vorantreiben, sind besonders in Anbetracht der Tätigkeit der Kommission für Wachstum, Strukturwandel und

Beschäftigung (Kohlekommission) kritisch zu sehen. Zu ihrem Auftrag gehört insbesondere die Erarbeitung eines Aktionsprogrammes u.a. mit folgenden Schwerpunkten (Bundesregierung 2018):

- Maßnahmen, die das 2030-er Ziel für den Energiesektor zuverlässig erreichen, einschließlich einer umfassenden Folgenabschätzung. Aus dem Klimaschutzplan ergibt sich hierfür die Vorgabe zur Verringerung der Emissionen aus der Energiewirtschaft um 61 bis 62 Prozent im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990. Für den Beitrag der Kohleverstromung soll die Kommission geeignete Maßnahmen zur Erreichung des Sektorziels 2030 der Energiewirtschaft, die in das Maßnahmenprogramm 2030 zur Umsetzung des Klimaschutzplans einfließen sollen, vorschlagen.
- Darüber hinaus ein Plan zur schrittweisen Reduzierung und Beendigung der Kohleverstromung, einschließlich eines Abschlussdatums und der notwendigen rechtlichen, wirtschaftlichen, sozialen, Renaturierungs- und strukturpolitischen Begleitmaßnahmen.
- Ebenso Maßnahmen zum Beitrag der Energiewirtschaft, um die Lücke zur Erreichung des 40%-Reduktionsziels so weit wie möglich zu reduzieren. Hierzu wird die Bundesregierung eine aktuelle Schätzung zur Größe der zu erwartenden Lücke im Rahmen des Klimaschutzberichtes 2017 veröffentlichen.

Der Abschlussbericht soll Ende 2018 an die Bundesregierung übergeben werden.

Daher sollte geprüft werden, ob weitere Entscheidungen und Enteignungen zur Ausweitung der Braunkohletagebaue vertagt werden können, bis klare politische Vorgaben vorliegen.

1.2 Der zukünftige Bedarf an Braunkohle im Tagebau Hambach aus klimapolitischer Sicht

Ausgehend von den im vorhergehenden Kapitel dargestellten politischen Zielen und Szenarien wird der Braunkohlebedarf für die an den Tagebau Hambach angeschlossenen Braunkohlekraftwerke ermittelt und mit der geplanten Fördermenge verglichen. Der Braunkohleverbrauch, der aus den Strommengen der Szenarien resultiert, wird zunächst auf die einzelnen Reviere aufgeteilt, und dann innerhalb des rheinischen Reviers auf die einzelnen Tagebaue verteilt.

Bei der Aufteilung der Abbaumengen auf die Reviere werden zwei Aspekte berücksichtigt:

- Die geplanten Kohleabbaumengen in den jeweiligen Revieren. Es wird angenommen, dass die bestehenden Tagebaue in der Lausitz und in Mitteldeutschland noch komplett ausgenutzt werden können und keine neuen Tagebaue in der Lausitz erschlossen werden.
- Die Altersstruktur der Kraftwerke. Die Kraftwerke werden in der Reihenfolge ihres Alters stillgelegt, um die Entwicklung der Kraftwerkskapazität in den dargestellten Szenarien abzubilden.

Anmerkungen zur Kritik von RWE Power AG an der Studie Braunkohleausstieg NRW in Erwiderung auf BUND zum Grundbuchabtretungsverfahren RWE Power AG / BUND NRW e.V.:

Das Vorgehen in der Vorgänger-Studie „Braunkohleausstieg NRW: Welche Abbaumengen sind

energiewirtschaftlich notwendig und klimapolitisch möglich?“ wird von der RWE Power AG bzw. von den Rechtsanwälten Redeker, Sellner, Dahs falsch dargestellt⁴. Um weiteren Missverständnissen auch bezüglich dieser Studie vorzubeugen, werden einige zentrale Punkte hier aufgegriffen und erläutert.

RWE Power AG: „Der Kohleausstieg wird als notwendig postuliert und soll sich am Alter der Anlagen orientieren; dabei wird beispielsweise eine feste technische Lebensdauer postuliert.“

Der Kohleausstieg wird nicht als notwendig postuliert, sondern aus bestehenden Szenarien abgeleitet, die die Frage untersuchen, wie die Klimaschutzziele der Bundesregierung erreicht werden können. Szenarien, in denen die Klimaschutzziele trotz weiterhin hoher Kohleverstromung ebenfalls erreicht werden, liegen uns nicht vor. Aus den klimapolitisch notwendigen Anforderungen zur CO₂-Minderung ergibt sich ein Mix an Maßnahmen, um diese zu realisieren. Da die Braunkohle-Verstromung der Hauptemittent im Stromsektor ist, entfallen entsprechende Maßnahmen auch auf diesen Bereich. Die Reduktion der Leistung kann sich aus ordnungspolitischen Maßnahmen oder aufgrund von Wirtschaftlichkeitsentscheidungen, die zum Beispiel aus einer reduzierten Stromerzeugung resultieren, ergeben.

Die Annahme über die pauschale technische Lebensdauer, die sich beispielsweise aus dem Alter der Kraftwerke herleitet, dient in der Studie dazu, die Abschaltreihenfolge festzulegen, d.h. ältere Kraftwerke werden in der Simulation zuerst abgeschaltet. Dies ist zumindest insofern realistisch, als diese Kraftwerke die schlechtesten Wirkungsgrade aufweisen, daher unwirtschaftlicher und am klimaschädlichsten sind und von einer verordneten Reduktion der Braunkohleleistung am frühesten betroffen wären. Dieses Vorgehen befindet sich zudem in grundsätzlicher Übereinstimmung mit dem Vorgehen der Übertragungsnetzbetreiber und der Bundesnetzagentur im Zuge der Szenariendefinition des Netzentwicklungsplans.

RWE Power AG: „Da die Studie den Braunkohlebedarf aus der jeweils als verblieben angenommenen Braunkohleleistung ableitet, ist dieser in gleicher Weise realitätsfern (...) wie schon die Entwicklung des Kraftwerksparks.“

Der Braunkohlebedarf wird nicht aus der in den Studien verbleibenden Braunkohleleistung hergeleitet. Der Braunkohlebedarf leitet sich aus den Braunkohlestrommengen ab. Die Leistung der einzelnen Kraftwerke wird nur dazu genutzt, die Strom- und die Braunkohlemengen auf die drei Reviere Rheinland, Mitteldeutschland und Lausitz herunter zu brechen.

RWE Power AG: „Auch bei einem 95%-Ziel für 2050 gibt es daher keinen zwingenden Grund das 2030- oder das 2040-Ziel anzuheben.“

Bei der reinen Orientierung an einem 95 %-Ziel für 2050 gibt es keinen zwingenden Grund, das Ziel für 2020, 2030 oder 2040 anzuheben. Da es beim Klimaschutz aber nicht nur um die Erreichung von Zwischenzielen, sondern um die insgesamt ausgestoßene Menge an CO₂-Emissionen geht, spielt der Zeitpunkt der Emissionsreduktionen eine wichtige Rolle: Wird das Emissionsminderungsziel für 2020 aufgegeben und ausschließlich auf das Ziel in 2030 fokussiert, so kann dies Mehremissionen in Höhe von 1,1 Milliarden Tonnen CO₂ verursachen. Insofern ist eine Verschärfung der Ziele für 2030 und 2040 aufgrund von der zu erwartenden Zielverfehlung in 2020 grundsätzlich angemessen.

In Abschnitt 1.1.1 wird dargelegt, dass zur Begrenzung der globalen Erderwärmung entgegen der Darstellung von RWE eine schnelle Reduktion der Treibhausgase notwendig ist, da nur ein begrenztes Emissions-Budget zur Verfügung steht. Die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung soll bis Ende 2018 ein Aktionsprogramm vorlegen, das u.a. Maßnahmen enthält, mit denen das 2030-er Ziel für den Energiesektor zuverlässig erreicht

⁴ Schreiben von Redeker, Sellner, Dahs Rechtsanwälte an die Bezirksregierung Arnsberg vom 14. Oktober 2016

werden kann, d.h. eine Verringerung der Emissionen aus der Energiewirtschaft um 61 bis 62 % im Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990.

Bedingung für die geplante Braunkohleverstromung sollte es sein, dass ein Szenario vorgelegt wird, in dem gezeigt wird, wie die geplante Braunkohleverstromung mit den Klimaschutzzielen in Einklang gebracht werden sollen. Uns liegt bis heute kein Szenario vor, das die nationalen Klimaschutzziele oder gar das Pariser Klimaabkommen einhält und dabei keine schnelle und deutliche Reduktion der Braunkohleverstromung vorsieht. Wenn der RWE Power AG solch ein Szenario bereits vorliegt, nehmen wir es gerne in unsere Betrachtungen mit auf.

Tabelle 1-1 zeigt die aktuelle Situation der geplanten Tagebaue in Deutschland. Ende 2017 betragen die Vorräte insgesamt 3,8 Mrd. t Braunkohle. Um nachfolgend die Szenarien mit den aktuellen Planungen der Tagebaubetreiber vergleichen zu können, wurden die Mengen entsprechend den Braunkohleplänen berücksichtigt. Hierbei wurde in Garzweiler die Verkleinerung des Tagebaus durch die Leitentscheidung 2016 berücksichtigt. In der Lausitz wurde die Erweiterung von den Tagebauen Welzow-Süd (Hier steht eine Entscheidung bis 2020 an.) und Nochten, entsprechend der aktuellen Planung berücksichtigt.

In den letzten drei Jahren wurde durchschnittlich jährlich ca. 173 Mio. t Braunkohle gefördert. Bei einem konstanten Braunkohleverbrauch reichen die Vorräte somit für einen Weiterbetrieb von 22 Jahren. Im Rheinland reichen die Vorräte für einen Weiterbetrieb der Kraftwerke von 29 Jahren.

Tabelle 1-1: Braukohletagebaue in Deutschland

in Mio. t	Förderung 2015	Förderung 2016	Förderung 2017	Vorrat Ende 2017
Rheinland	95,2	90,5	91,2	2.284 ⁵
Mitteldeutschland	18,9	17,7	18,8	358
Lausitz	62,5	62,3	61,2	1.167
Gesamt	176,6	170,5	171,3	3.810

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Kohlenwirtschaft e.V.; Öko-Institut 2017; RWE Power AG 2018).

Der Vorrat von 3,8 Mrd. t Braunkohle würde bei einer kompletten Verstromung CO₂-Emissionen von ca. 3,9 Mrd. t freisetzen. Das entspricht fast dem kompletten Emissionsbudget von 4 Mrd. t, das im Transformation-Szenario insgesamt für den deutschen Stromsektor noch zur Verfügung steht, um die globale Erderwärmung auf 2° zu begrenzen. Im Schnellausstiegsszenario, welches das Ziel verfolgt, die Erhitzung der Erde auf einen Temperaturanstieg deutlich unter 2°C einzugrenzen, steht sogar nur ein Gesamtbudget von 3,3 Mrd. t CO₂-Emissionen zur Verfügung. Dies zeigt, dass die Braunkohleverstromung einen großen Einfluss auf die deutschen CO₂-Emissionen und deren Reduktion hat.

Im Jahr 2018 betrug die installierte Nettoleistung der Braunkohlekraftwerke 18,9 GW (Bundesnetzagentur 2018). Die meisten Braunkohlekraftwerke sind Kondensationskraftwerke der allgemeinen Versorgung. Es gibt nur wenige KWK-Anlagen, die mit Braunkohle betrieben werden.

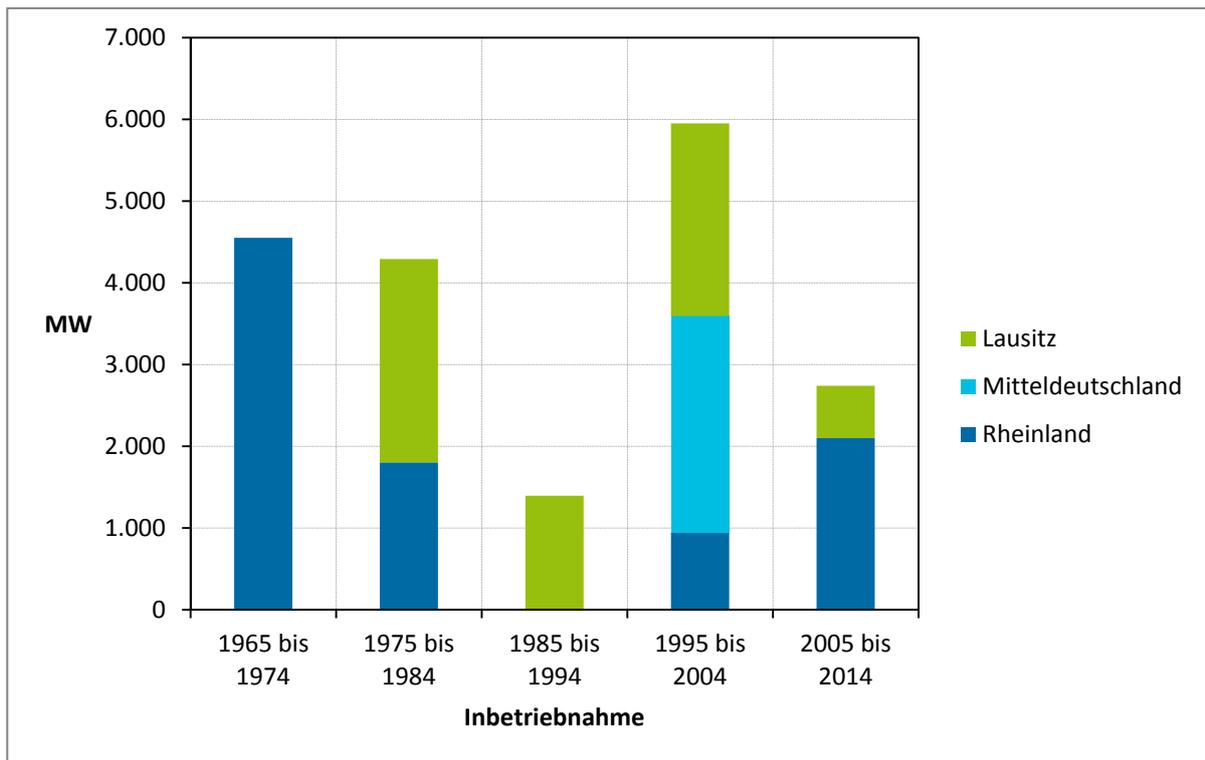
⁵ Der Vorrat für das Rheinland wurde den Angaben der RWE Power AG entnommen. Für Garzweiler wurde die Verringerung der Abbaumenge entsprechend der Leitentscheidung berücksichtigt, die auf der RWE Homepage noch nicht eingegangen ist. (<https://www.group.rwe/unsere-portfolio-leistungen/betriebsstandorte-finden/tagebau-garzweiler>)

Abbildung 1-2 stellt die Altersstruktur dieser Braunkohle-Kondensationskraftwerke differenziert für die drei Reviere dar.

Die Kraftwerke im Rheinland werden alle von RWE Power AG betrieben. Im Rheinland wurden seit 2003 drei neue Kraftwerksblöcke mit einer Netto-Leistung von 3 GW in Betrieb genommen. Alle anderen Kraftwerksblöcke haben bereits ein Alter von über 40 Jahren.

Es wird deutlich, dass bedingt durch die Wiedervereinigung in den Revieren unterschiedliche Altersstrukturen der Kraftwerke vorherrschen, was insbesondere auf den Neubau von Braunkohlekraftwerken in Ostdeutschland nach der Wiedervereinigung zurückzuführen ist. Insbesondere im Rheinland sind die Kraftwerkskapazitäten alt.

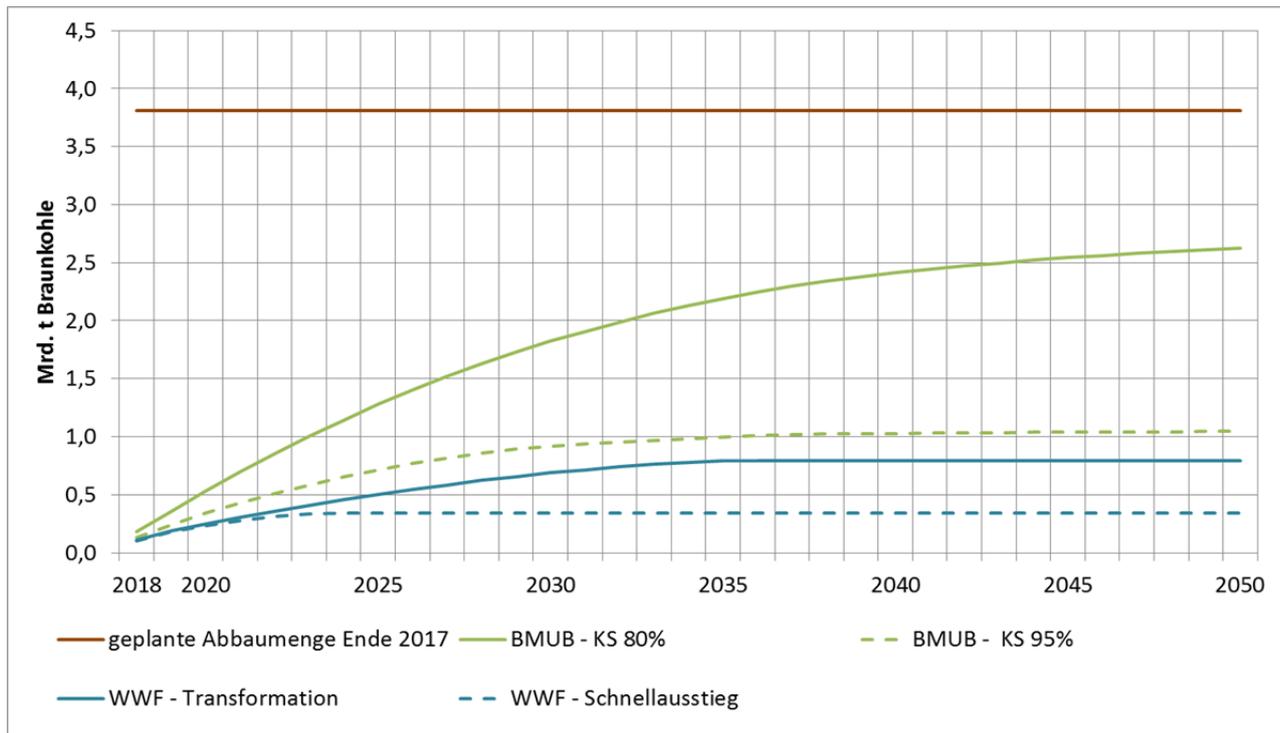
Abbildung 1-2: Altersstruktur der deutschen Braunkohlekraftwerke nach Revier



Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf (Bundesnetzagentur 2018)

Für die in Abschnitt 1.1.1 beschriebenen Szenarien Klimaschutzszenario 80 (KS 80 %) und Klimaschutzszenario 95 (KS 95 %) des Bundesumweltministeriums sowie das Schnellausstiegsszenario und das Transformationsszenario aus der Studie *Zukunft Stromsystem* des WWF wurde der Braunkohlebedarf ermittelt. Hierfür wurde die aus Braunkohle erzeugte Strommenge revierübergreifend in über die Jahre benötigte Braunkohlemengen in Mio. t umgerechnet. In Abbildung 1-3 wird der über die Jahre in den Szenarien ansteigende kumulierte Bedarf an Braunkohle dargestellt und mit dem geplanten deutschen Braunkohle-Vorrat, wie er Ende 2017 vorlag, verglichen. Braunkohleverbräuche für Veredelungsprozesse, Selbstverbrauch und Absatz an sonstige Abnehmer wurden mit berücksichtigt, indem der heutige prozentuale Anteil am Gesamtverbrauch für die Szenariojahre fortgeschrieben wurde.

Abbildung 1-3: Vergleich: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien für Deutschland



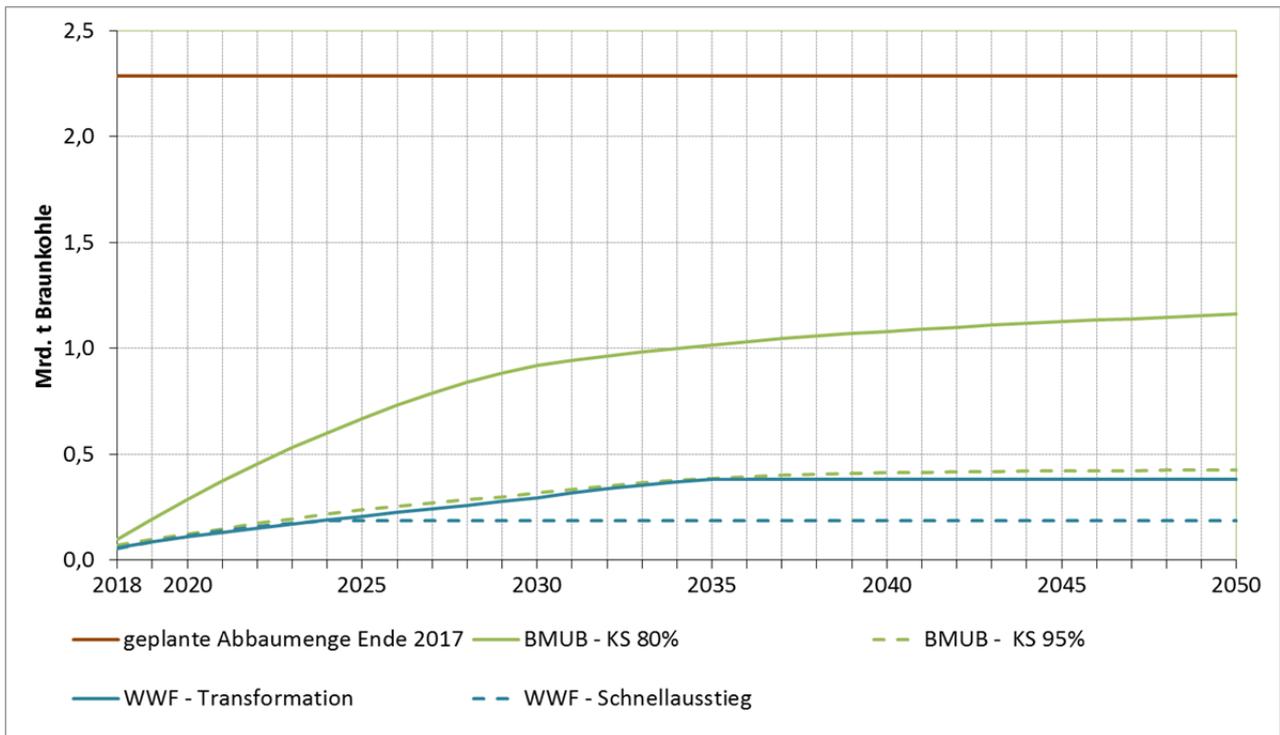
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Kohlenwirtschaft e.V.; Matthes et al. 2017; Öko-Institut 2017; Repenning et al. 2015; RWE Power AG 2018).

Es wird deutlich, dass in allen Szenarien nur ein Bruchteil der durch die Tagebaubetreiber geplanten Braunkohlemenge benötigt wird. Der Braunkohlebedarf liegt in den Szenarien zwischen 9% und 69% der geplanten Abbaumenge.

Weiter wird die für Deutschland ermittelte Braunkohlemenge auf die Reviere Rheinland, Lausitz und Mitteldeutschland anhand der jeweils vor Ort befindlichen Kraftwerksleistung heruntergebrochen. Die nachfolgende Abbildung 1-4 zeigt den für das rheinländische Revier geplante Braunkohlevorrat und den aus den Studien abgeleiteten Braunkohlebedarf⁶.

⁶ Im Anhang finden sich Darstellungen zum Kohlebedarf für die Reviere Mitteldeutschland und Lausitz.

Abbildung 1-4: Vergleich: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien im Revier Rheinland

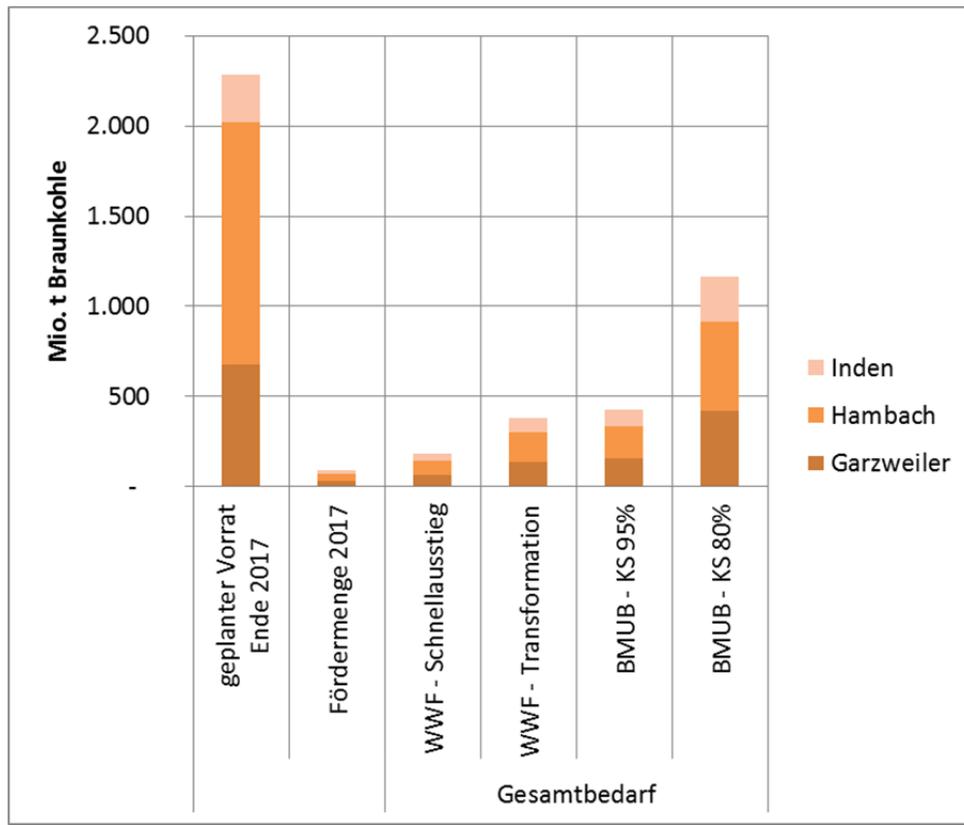


Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Gerbaulet et al. 2012; Kohlenwirtschaft e.V.; Matthes et al. 2017; Repenning et al. 2015; RWE Power AG 2018).

Auch für das Rheinland wird deutlich, dass nach den betrachteten Szenarien unter Klimaschutzaspekten nur geringe Anteile des geplanten Vorrats verstromt werden können. Im Szenario KS 80 werden 49 % des Vorrats nicht benötigt. Im Szenarien KS 95 werden 81% und im WWF Transformationsszenario 83 % des geplanten Vorrats nicht benötigt. Im Schnellausstiegs-Szenario werden sogar 92 % des geplanten Vorrats nicht benötigt.

Nach der Aufteilung der Braunkohlemengen auf die verschiedenen Reviere wird die rheinische Braunkohle, die in den Szenarien genutzt wird, im nächsten Schritt auf die Tagebaue im Rheinland Garzweiler, Hambach und Inden aufgeteilt. Die Aufteilung der Abbaumenge erfolgt proportional zu ihrem bisherigen Fördermengenverhältnis (Zahlen aus 2017). Die sich hieraus ergebenden tagesbauspezifischen Abbaumengen werden vom heutigen Vorrat abgezogen. Daraus ergeben sich tagesbauspezifische Restmengen, die in Abbildung 1-5 mit dem heute verbleibenden Vorrat je Tagebau verglichen werden.

Abbildung 1-5: Vergleich: geplanter Vorrat, Fördermenge 2017 und kumulierter Gesamtbedarf in den rheinländischen Tagebauen



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Gerbaulet et al. 2012; Kohlenwirtschaft e.V.; Matthes et al. 2017; Repenning et al. 2015; RWE Power AG 2018).

Tabelle 1-2 zeigt eine Detailauswertung für den Tagebau Hambach.

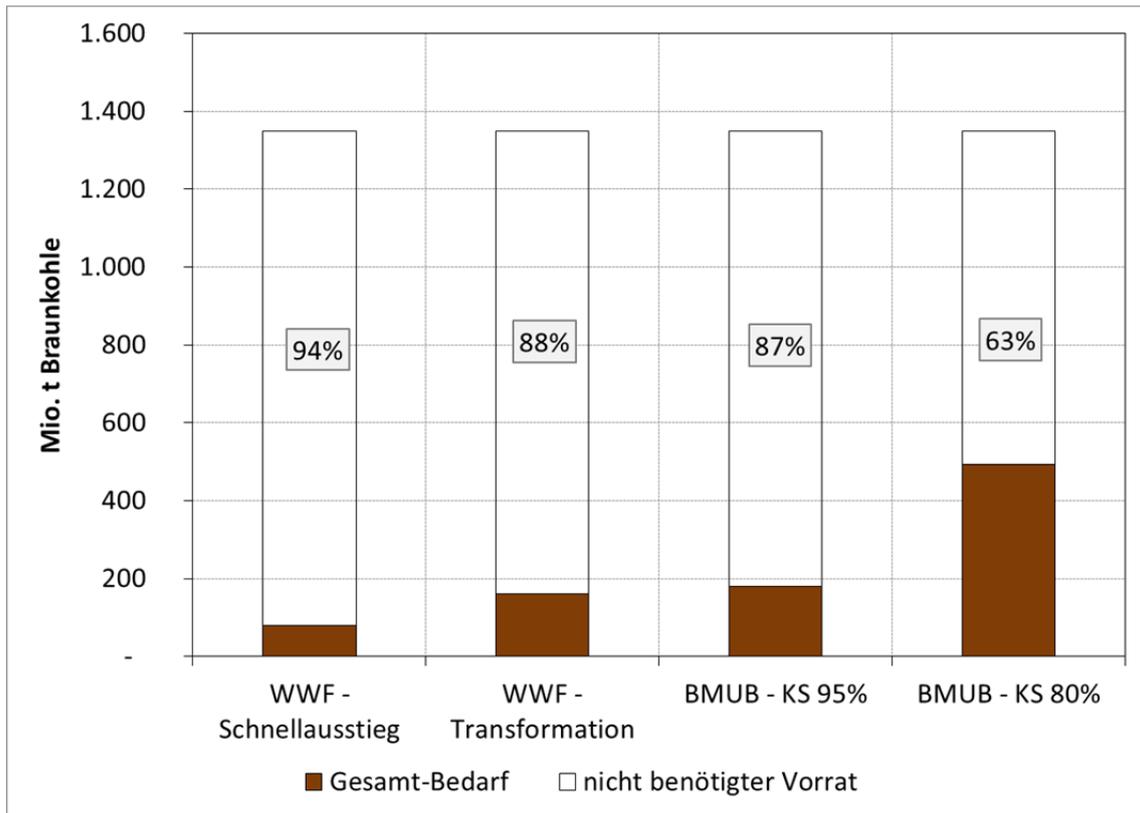
Tabelle 1-2: Nutzung des Tagebaus Hambachs

Tagebau Hambach				
geplanter Vorrat Ende 2017	1.350 Mio. t			
Fördermenge 2017	39 Mio. t			
	BMUB – KS 80%	BMUB – KS 95%	WWF - Transformation	WWF - Schnellausstieg
Gesamt-Bedarf	493	181	162	78
Restmengen	857	1.169	1.188	1.272
nicht benötigter Vorrat	63%	87%	88%	94%
Nutzungsjahre bei Abbaumenge 2017	12,7	4,7	4,2	2,0

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Gerbaulet et al. 2012; Kohlenwirtschaft e.V.; Matthes et al. 2017; Repenning et al. 2015; RWE Power AG 2018).

Nach Angaben von RWE Power AG enthielt das geplante Abbaufeld im Tagebau Hambach Ende 2017 noch rund 1.350 Mio. t Braunkohle. In den betrachteten Szenarien werden davon insgesamt zwischen 493 und 78 Mio. t Braunkohle benötigt. Das bedeutet, dass 63 bis 94 % der geplanten Menge nicht benötigt werden. Würde in den nächsten Jahren die gleiche Braunkohlemenge wie 2017 abgebaut, wäre die Braunkohlemengen aus den WWF-Szenarien, welche nach einer Umsetzung der Klima-Ziele von Paris zur Verfügung stünden, nach 4,2 bis 2 Jahren verbraucht.

Abbildung 1-6: Vergleich: Vorrat und Restmengen im Tagebau Hambach



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Matthes et al. 2017; Repenning et al. 2015; RWE Power AG 2018)

2 Zusammenhang zwischen Braunkohleverstromung, Stromexporten und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz

Kernaussagen

1. Deutschland hat sich zu einem Netto-Exporteur von Strom entwickelt, ein Hinweis auf Überkapazitäten im fossilen Kraftwerkspark.
2. Kohleerzeugung bei gedeckter Nachfrage führt zu Exporten in das europäische Ausland, erhöht CO₂-Emissionen und verdrängt effiziente Gaskraftwerke.

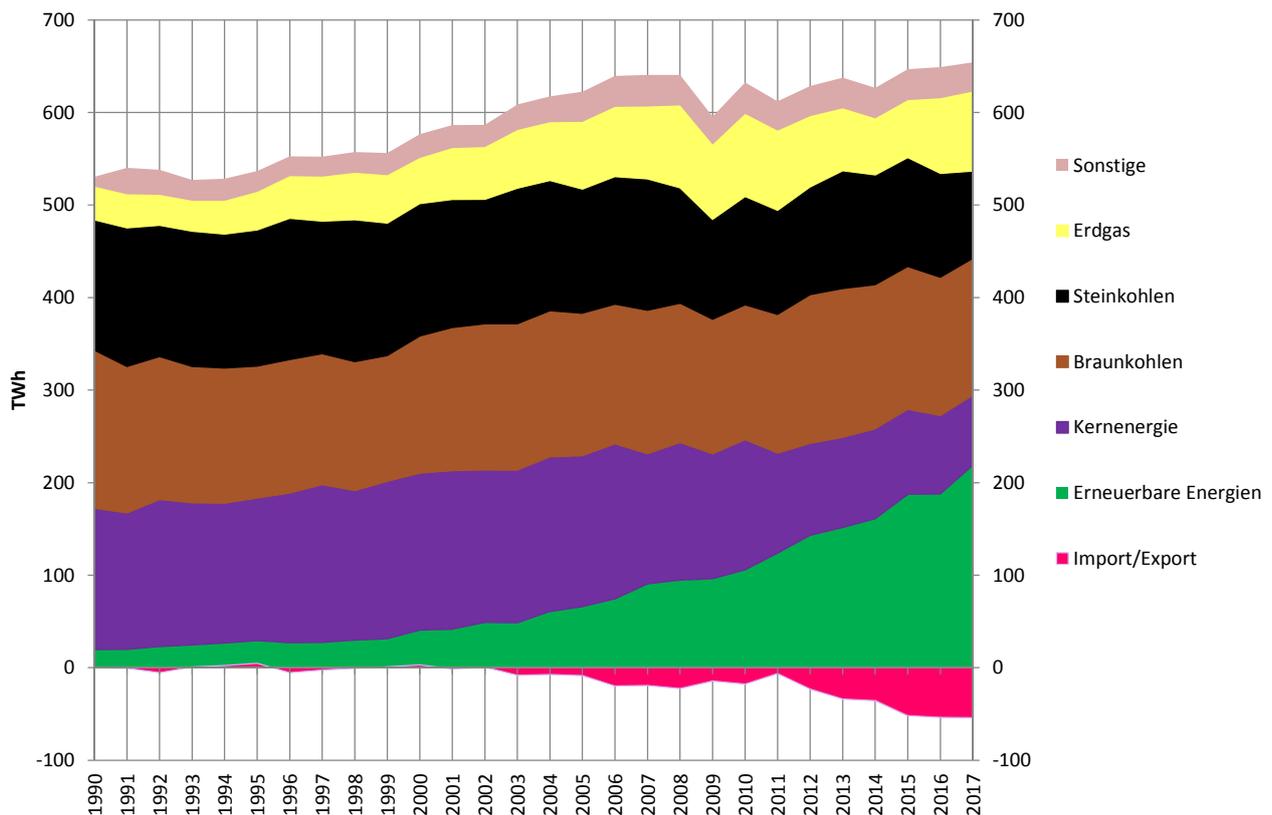
In den folgenden Kapiteln wird die Entwicklung der deutschen Stromexporte vor dem Hintergrund betrachtet, welche Rolle die Braunkohlestromerzeugung dabei spielt. In einem weiteren Schritt werden die Auswirkungen der Kohlestromerzeugung auf das Übertragungsnetz und Kuppelkapazitäten in das europäische Ausland betrachtet.

2.1 Historische Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung und des Stromimportaldos

Deutschland hat sich in den letzten Jahren zu einem starken Exporteur von Strom entwickelt. Wies Deutschland von 1990 bis einschließlich 2002 ein ausgeglichenes Importsaldo auf, so steigen seit 2003 sowohl die Stromexporte als auch die Stromerzeugung. Dies ist auch der Zeitpunkt, ab dem die erneuerbaren Energien in Deutschland ein starkes Wachstum bei der Stromerzeugung verzeichnen können – und dieses Wachstum geht mit nahezu keiner bzw. nur einer geringen Reduktion der Stromerzeugung aus den Braun- bzw. Steinkohlekraftwerke einher (vgl. Abbildung 2-1). Durch den erfolgten Zubau der erneuerbaren Energien wäre es also möglich, die bereits partiell weggefallene Stromerzeugung aus Kernkraftwerken zu substituieren und zudem einen Anteil der unflexiblen Braunkohlestromerzeugung, anstatt diesen Strom ins Ausland zu exportieren.

Abbildung 2-1 zeigt die jährliche Stromerzeugung und den Technologiemit in Deutschland im Zeitverlauf von 1990 bis 2017. Die unterschiedlichen Technologien sind in der aufsteigenden Reihenfolge der historischen Merit-Order abgebildet. Mit Grenzkosten nahe Null stellen die erneuerbaren Energien die Stromerzeugungsoptionen mit den niedrigsten Grenzkosten dar. Daran schließen sich Kernenergie, Braunkohle, Steinkohle und schließlich Erdgas sowie sonstige Energieträger an.

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung ist seit 1990 gestiegen, wobei ein besonders starker Anstieg seit 2003 zu erkennen ist. Im Zeitraum von 2003 bis 2017 hat sich die regenerative Stromerzeugung vervierfacht und lag in 2017 bei ca. 215 TWh. Die Erzeugung von Braun- und Steinkohle ist mit 150 bzw. 100 TWh nahezu konstant geblieben. Deutlich wird an der Grafik auch, dass die Stromerzeugung in Deutschland im Zeitraum von 2003 bis 2017 um etwa 50 TWh zugenommen hat, wohingegen die deutsche Stromnachfrage in 2017 noch immer in etwa auf dem Niveau von 2003 ist. Die zusätzliche Stromerzeugung findet sich im zunehmenden Stromexportsaldo wieder, der als Stromimportsaldo im negativen Bereich der y-Achse abgetragen ist und sich in 2017 ebenfalls in der Größenordnung von 50 TWh befindet. Ca. 8 % der Stromerzeugung werden in 2017 also exportiert. Stromexporte in dieser Höhe lassen auf Überkapazitäten schließen, die nicht für die Deckung der nationalen Nachfrage benötigt werden.

Abbildung 2-1: Jährliche Stromerzeugung und Stromimportsaldo von 1990 bis 2017


Quelle: (BMWi 2018); Vorläufige Werte für 2017.

Es besteht die Vermutung, dass es sich bei diesen exportierten Strommengen insbesondere um die Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken handelt, die aufgrund ihrer niedrigen Grenzkosten die Stromerzeugung aus ausländischen Gaskraftwerken verdrängt. Reduzieren Kohlekraftwerke bei zunehmender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ihre eigene Stromerzeugung nicht, werden bei konstanter Stromnachfrage die (inländischen und ausländischen) Kraftwerkserzeugungen mit höheren Grenzkosten, aber geringeren CO₂-Emissionen verdrängt. Diese Verdrängung findet partiell in ausländischen Strommärkten statt, was an den zunehmenden Exporten sichtbar wird. Die CO₂-Emissionen in Deutschland verbleiben aufgrund der konstant gehaltenen inländischen fossilen Stromerzeugung auf einem ähnlich hohen Niveau wie ohne den Zubau der erneuerbaren Energien.

Die emissionsmindernde Wirkung der erneuerbaren Energien in Deutschland schlägt schließlich dennoch in dem Land zu Buche, welches seine inländische Stromerzeugung durch den Import reduzieren kann. Die CO₂-mindernde Wirkung ist hingegen abgeschwächt, da die CO₂-Emissionen der nun verdrängten Gaskraftwerke niedriger waren als die der deutschen Braunkohlekraftwerke.

Aus Klimaschutzgründen ist dies noch aus einem weiteren Grund nachteilhaft: Ebenso wie in Deutschland kämpfen auch die ausländischen Gaskraftwerke um ausreichend Vollaststunden, um ihre Fixkosten decken zu können. Durch die zunehmende Stromerzeugung der deutschen Braunkohlekraftwerke für das Ausland führt die abnehmende Auslastung der Gaskraftwerke ggf.

zu Kraftwerksstilllegungen von klimafreundlicheren konventionellen Kraftwerken, die wir in Zukunft für die Integration von erneuerbaren Energien benötigen werden (Agora Energiewende 2017).

Aus Klimaschutzgründen macht es folglich Sinn, die Überkapazitäten durch eine Abschaltung der Braunkohlekraftwerke mindestens so stark zu reduzieren, wie ihre Erzeugung durch den EE-Zubau bereits ersetzt worden ist. Hierdurch kann verhindert werden, dass die Braunkohlekraftwerke ausländische Stromerzeugung mit geringeren Emissionen aufgrund ihrer niedrigen Grenzkosten verdrängen, und die emissionsmindernde Wirkung der erneuerbaren Energien würde sichtbar werden.

Dieser Vermutung soll im folgenden Kapitel mithilfe einer Szenarienanalyse für das Szenariojahr 2024 nachgegangen werden, die im Rahmen des vom BMBF-geförderten Projekt „*Transparenz Stromnetze*“ zur Analyse des NEP Strom 2024 durchgeführt wurde.

2.2 Modellierungen des Kohleausstiegs zur Analyse der Auswirkungen auf die Nettoimportbilanz

Im Rahmen des Projektes „*Transparenz Stromnetze*“ hat das Öko-Institut zusammen mit Stakeholdern verschiedene Kohleausstiegsszenarien entwickelt. Dies umfasst zum einen eine Einparametervariation, in der unter sonst gleichen Bedingungen ausschließlich die Braunkohleleistung – entsprechend einem Abbau von Überkapazitäten – im Strommarkt reduziert wird. In einem zweiten Szenario wird ein Kohleausstieg betrachtet, der in einem dezentral organisierten Strommarkt mit hohen EE-Anteilen stattfindet.⁷ Zur Analyse des Effektes eines Braunkohleausstiegs auf die deutsche Nettoimportbilanz bietet es sich an, sich auf die Einparametervariation „Braunkohleausstieg“ zu konzentrieren. Die Auswirkungen dieses Szenarios wurden im Vergleich zu dem NEP-Szenario B2024 analysiert, welches somit als ein Referenzszenario dient.

Das Szenario „*Braunkohleausstieg*“ stellt eine sogenannte Einparametervariation des Szenarios NEP B2024 dar, bei neben den bereits im Szenario B2024 realisierten Kraftwerksstilllegungen weitere 9 GW Braunkohlekapazität außer Betrieb genommen wurde.

Stilllegungskriterium war das Alter der Bestandskraftwerke, so dass weitere 2,2 GW in Nordrhein-Westfalen und 4,4 GW in Brandenburg stillgelegt wurden. Im Resultat verbleiben etwa 3 GW Braunkohlekraftwerksleistung im Rheinland und 3,2 GW in Sachsen.

Im Ergebnis zeigt die Strommarktmodellierung, dass durch die gezielten Kraftwerksstilllegungen 51 TWh weniger Braunkohlestrom erzeugt werden als im NEP-Referenzszenario B2024, auf welches das Modell kalibriert ist. Es verbleiben noch 47 TWh Strom aus Braunkohlekraftwerken im Brennstoffmix. Damit konnten die strommarktbedingten CO₂-Emissionen in Deutschland um etwa 50 Mio. t CO₂ reduziert werden. Im Vergleich zum Referenzszenario sind das über 17 % der sonst emittierten CO₂-Emissionen in 2024.

Diese Reduktion stellt den unteren Rand der CO₂-Einsparungen dar, denn die wegfallende Stromerzeugung wird nicht durch den Zubau von regenerativen Anlagen ersetzt, sondern durch eine erhöhte Stromproduktion der Bestandskraftwerke im europäischen Netzverbund: Europaweit kommt es zu einem Anstieg der Stromerzeugung aus Steinkohle- (+25,4 TWh) und Erdgaskraftwerken (+24,5 TWh), wovon 24 TWh weiterhin in Deutschland erzeugt werden. Auch bei einer europaweiten Bilanzierung der CO₂-Emissionen bedeutet die Abschaltung der deutschen Braunkohlekraftwerke eine Reduktion der klimaschädlichen Gase um knapp 30 Mio. t pro Jahr.

Die variablen Stromerzeugungskosten für den betrachteten europäischen Raum steigen durch den Braunkohleausstieg nur moderat um knapp 614 Mio. €, was CO₂-Vermeidungskosten in Höhe von 20,5 € / t CO₂ entspricht.

⁷ Siehe <http://www.transparenz-stromnetze.de>

Von den 27 TWh zusätzlicher Stromerzeugung, die nun wieder im europäischen Ausland erzeugt werden, entfallen 15 TWh auf ausländische Gaskraftwerke. Dies trägt, wie in Kapitel 2.1 dargestellt, zur Sicherung ihres Fortbestands auf dem europäischen Strommarkt und damit ebenfalls zum Gelingen der Energiewende und zum Klimaschutz bei.

Die Reduktion der inländischen Stromerzeugung leistet zudem einem Beitrag dazu, dass sich das Handelssaldo Deutschlands wieder besser ausgleicht: Im Vergleich zum NEP-Referenzszenario B2024, in dem Deutschland knapp 42 TWh Strom exportiert, geht der Export im Szenario „Braunkohleausstieg“ auf knapp 15 TWh zurück.

Durch die Analyse des Szenarios „*Braunkohleausstieg*“ kann somit gezeigt werden, dass ein Anteil der bisher konstanten Stromerzeugung aus Braunkohlekraftwerken bei zunehmender Erzeugung aus regenerativen Anlagen exportiert wird. Für das berechnete Szenario betragen die 27 TWh, um die sich der Export verringert, über ein Viertel der Braunkohlestromerzeugung. Eine Reduktion dieses Anteils, der bereits aus Gründen des europäischen Klimaschutzes erstrebenswert ist, könnte zudem einen Beitrag zur Entlastung des deutschen Stromnetzes leisten und damit den notwendigen Netzausbaubedarf senken. Auf diesen Aspekt wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

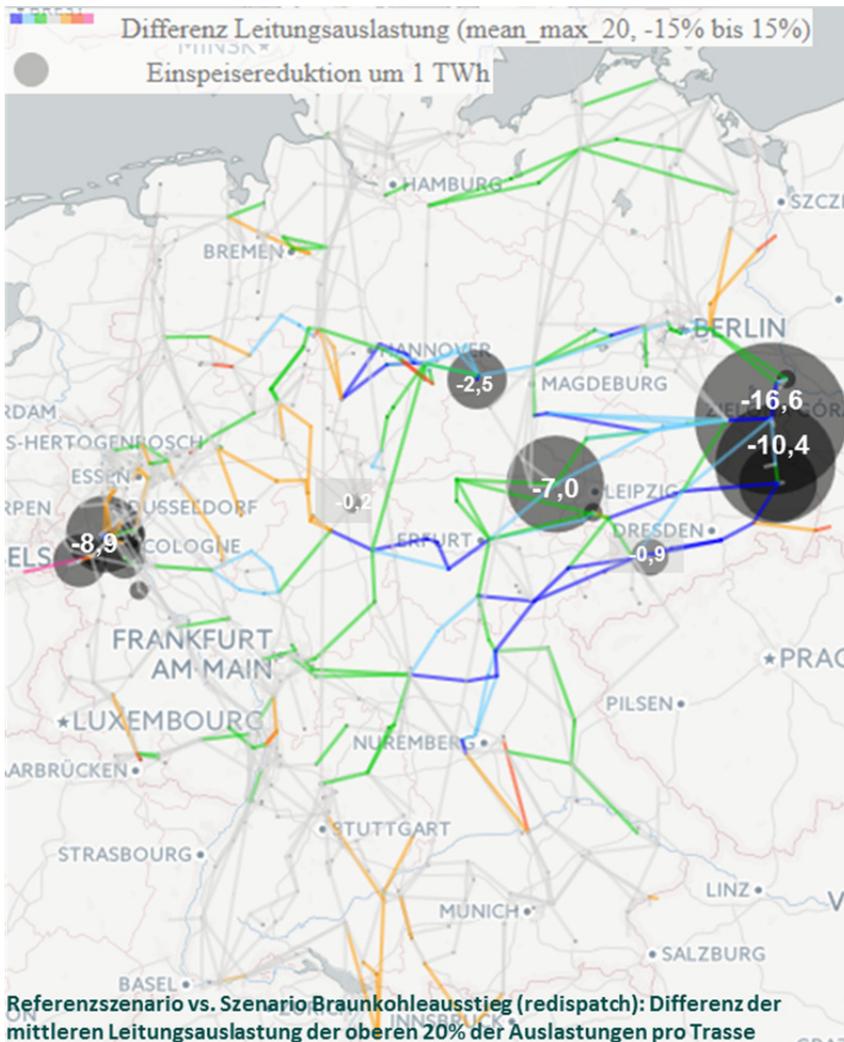
2.3 Auswirkungen der Braunkohlestromerzeugung auf die Auslastung des Übertragungsnetzes

Die deutschen Braunkohlekraftwerke befinden sich zu großen Teilen in Nordrhein-Westfalen, in Brandenburg und in Sachsen. Lastzentren, die einen residualen Strombedarf aufweisen, befinden sich insbesondere in Bayern und Baden-Württemberg. Aufgrund dessen besteht der Bedarf, erzeugten Braunkohlestrom über das Übertragungsnetz zu transportieren. Eine Reduktion der Braunkohlestromerzeugung wird die Auslastung des Übertragungsnetzes also zunächst grundsätzlich entlasten.

Da die Stromnachfragen im europäischen Netzverbund aber weiterhin gedeckt werden sollen, muss an die Stelle der wegfallenden Stromerzeugung der Braunkohlekraftwerke eine alternative Stromerzeugung treten. Es besteht die Frage, ob unter dem Strich eine entlastende Wirkung auf das deutsche Übertragungsnetz entstehen kann.

Zur Beantwortung der Frage soll erneut das Szenario „*Braunkohleausstieg*“ des Projektes „*BMBF Stromnetze*“ analysiert werden. Abbildung 2-2 stellt die Veränderung der maximalen Leitungsauslastungen des Szenarios „*Braunkohleausstieg*“ im Vergleich zum NEP-Referenzszenario B2024 dar, die aus dem im Szenario angenommenen Verzicht auf 9 GW Braunkohleleistung resultieren.

Abbildung 2-2: Veränderung der maximalen Leitungsauslastungen durch den Verzicht auf 9 GW Braunkohleleistung im Szenariojahr 2024 (basierend auf NEP B2 2024)



Quelle: Öko-Institut e.V. (Projekt BMBF Stromnetze, Stakeholderszenario Braunkohleausstieg)

Die Auswirkung der reduzierten Braunkohleleistung auf die Braunkohlestromerzeugung ist in der Abbildung regionalisiert als schwarzer Kreis hervorgehoben. Eine Leitung des deutschen Höchstspannungsnetzes ist grün oder blau hervorgehoben, wenn die maximalen Leitungsauslastungen auf dieser Leitung im Vergleich zum Referenzszenario zurückgehen. Sie ist orange bzw. rot hervorgehoben, wenn die maximalen Leitungsauslastungen im Braunkohleausstiegsszenario zunehmen.

In dieser Einparametervariation (nur Braunkohle wird reduziert, alles andere bleibt unverändert) wird deutlich, dass sich der insbesondere in der Lausitz verortete Braunkohleausstieg stark senkend auf die Auslastung des Stromnetzes in der Umgebung auswirkt. In Nordrhein-Westfalen ist dieser Effekt ebenfalls leicht sichtbar. Jedoch findet auch eine Erhöhung der maximalen Leitungsauslastungen statt. Dies kann einerseits durch den erhöhten jährlichen Stromimport aus den Niederlanden verursacht sein (in der Grafik nicht gezeigt). Auch in Süddeutschland nehmen die Leitungsauslastungen in den Grenzregionen aufgrund der veränderten Nettoexporte in ihrer maximalen Ausprägung zu.

Die Entlastung des Höchstspannungsnetzes durch den Wegfall der Exporte in der Größenordnung von etwa 25 TWh findet nur dann statt, wenn die Exporte nicht durch Transite durch Deutschland gegenkompensiert werden. Der fehlende Strom müsste zwischen Ländern gehandelt werden, die den Stromaustausch nicht über Deutschland vornehmen. Dies ist im Braunkohleausstiegsszenario zumindest partiell der Fall: Österreich reduziert seine Importe um gut 2 TWh, und auch Tschechien erhöht seine Stromerzeugung in dieser Größenordnung.

Bei einer aggregierten Gesamtbetrachtung des deutschen Höchstspannungsnetzes weist das NEP-Referenzszenario eine geringfügig höhere durchschnittliche relative Leitungsauslastung auf als das Szenario „Braunkohleausstieg“. Was den durchschnittlichen absoluten Stromübertragungsbedarf betrifft, so liegt dieser im Szenario „Braunkohleausstieg“ etwa 8% unter dem des NEP-Referenzszenarios.

Aufgrund dessen darf insgesamt geschlossen werden, dass ein Ausstieg aus der Braunkohleverstromung insbesondere aufgrund der wegfallenden Exporte eine entlastende Wirkung auf das Übertragungsnetz hat. Dies ist zumindest so lange der Fall, wie die Stromerzeugung nicht durch EE-Anlagen ersetzt wird, die in den nördlichen Regionen verortet ist. Da der EE-Ausbau aber durch das EEG koordiniert stattfindet und die EE-Stromerzeugung bisher gesteigert wurde, ohne dass dies Einfluss auf die Braunkohlestromerzeugung genommen hätte, ist fraglich, ob die Braunkohlestromerzeugung nicht als zusätzliche – und dann durch den Ausstieg wegfallende – Stromerzeugung betrachtet werden sollte – mit entsprechender entlastender Wirkung auf die Netze.

3 Versorgungssicherheit

Kernaussagen

1. Der deutsche Strommarkt ist heute nach wie vor durch Überkapazitäten gekennzeichnet. Die Stilllegung von Braunkohlekraftwerken kann zur Verringerung dieser Überkapazitäten beitragen.
2. Gleichzeitig entstehen neue Optionen, wie zum Beispiel verstärkte europäische Vernetzung oder Lastmanagement, die die zur Lastdeckung notwendige Kapazität bereitstellen können. Diese müssen rechtzeitig entwickelt werden.
3. Insofern die Leistung einzelner Kraftwerke vorübergehend noch benötigt wird, um ausreichend gesicherte Leistung bereitzustellen, folgt daraus nicht, dass diese Kraftwerke auch große Mengen Strom erzeugen müssen bzw. Braunkohle verbrauchen.
4. Durch die Sektorkopplung entstehen neue Herausforderungen für die Versorgungssicherheit, allerdings ist das Abschalten der Braunkohlekraftwerke eine Voraussetzung für die Sektorkopplung, da ansonsten die Emissionsreduktion, als Hauptziel der Sektorkopplung, nicht erreicht werden kann.

Die Reduktion der Kapazitäten der Braunkohlekraftwerke, wie sie in den Szenarien in Kapitel 1 dargestellt wird, muss auch im Hinblick auf die Gewährleistung der Versorgungssicherheit durch eine ausreichend hohe Kraftwerkskapazität diskutiert werden.

Der deutsche Strommarkt ist heute nach wie vor durch Überkapazitäten gekennzeichnet, die das Maximum der Stromnachfrage deutlich übersteigen. So heißt es zum Beispiel auf der Internetseite des Wirtschaftsministeriums Nordrhein-Westfalen: *„In Deutschland sind derzeit noch etwa 500 Großkraftwerke in Betrieb, wobei die Zahl aufgrund der Überkapazitäten sowie niedriger Stromhandelspreise in den nächsten Jahren weiter abnehmen wird.“*⁸ Nicht zuletzt das in Kapitel 2 dargestellte kontinuierliche Anwachsen des deutschen Exportsaldos ist ein Hinweis auf Kraftwerksüberkapazitäten. Auch die Bundesnetzagentur konstatiert in ihrem Monitoring-Bericht vorhandene Überkapazitäten (BNetzA & Bundeskartellamt 2017). Agora Energiewende (Agora Energiewende 2017) kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Überkapazitäten vorhanden sind und dass alleine deshalb *„8,4 Gigawatt Braunkohle abgeschaltet werden [können], und auch bei der Worst-Case-Situation einer „kalten Dunkelflaute“ im Januar 2020 oder im Januar 2023 ist die Versorgungssicherheit gewährleistet“*.

Ausgehend von dieser Situation ist eine Reduktion der Braunkohlekapazität aus Sicht der Versorgungssicherheit zunächst nicht problematisch. Angesichts der in Kapitel 1 dargestellten Klimaschutzziele ist es sinnvoll, Überkapazitäten ausgehend von den Kraftwerken mit den höchsten Emissionen abzubauen und dabei auch bereits vorhandene Gaskraftwerke wieder zu reaktivieren.

Laut Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt ist für die Versorgungssicherheit zudem *„eine getrennte Nord-Süd-Betrachtung von Interesse“*. Dabei kann die Mainlinie als Grenze dienen. Während in Süddeutschland die bis zum Jahr 2020 geplanten Stilllegungen (3.131 MW) die Kapazität der im Bau befindlichen Kraftwerke (526 MW) übersteigt, stellt sich das Bild nördlich der Mainlinie umgekehrt da: *„Den in Probetrieb oder in Bau befindlichen Kraftwerksblöcken (inklusive Datteln 4) mit einer Leistung in Höhe von 1.819 MW stehen hier geplante Stilllegungen von Kraftwerken mit einer Leistung von 1.343 MW gegenüber.“* Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien vor allem in Norddeutschland wird dieses Ungleichgewicht weiter verstärkt. Insofern stellt sich die Frage, wie Kapazität in Süddeutschland entwickelt oder gesichert werden

⁸ <https://www.wirtschaft.nrw/kraftwerks-netztechnik-0>

kann. Braunkohlekraftwerke, die ausnahmslos nördlich der Mainlinie liegen, können dazu nicht beitragen.

Für die Diskussion Braunkohleabbau und Versorgungssicherheit ist auch die Unterscheidung zwischen Kapazität und Erzeugung wichtig. Für die Versorgungssicherheit ist zunächst eine ausreichend Kapazität notwendig, die auch in Zeiten hoher Nachfrage die Last decken kann. Für den Fall, dass bestimmte Braunkohlekraftwerke notwendig sind, um eine ausreichende gesicherte Leistung bereitzustellen, bedeutet das nicht, dass sie deshalb auch viel Strom erzeugen und entsprechend Braunkohle verfeuern müssen. Für die Bereitstellung einer gesicherten Leistung wird zunächst keine Braunkohle benötigt. Zwar haben Braunkohlekraftwerke eine solche Rolle (Bereitstellung von Kapazität bei geringer Erzeugung) bislang nicht eingenommen, aber in einer Übergangsphase zwischen der traditionellen Rolle der Braunkohle mit hohen Volllaststunden und dem Abschalten der Kraftwerke kann diese Rolle an Bedeutung gewinnen. Die bereits eingeführte Sicherheitsbereitschaft für Braunkohlekraftwerke geht in diese Richtung, auch wenn die festgelegten Zahlungen für die Kraftwerke in der Sicherheitsbereitschaft kritisch zu sehen sind. Außerdem ist es fraglich wie kurzfristig Braunkohlekraftwerke, die sich in der Sicherheitsbereitschaft befinden, Leistungsdefizite ausgleichen können. Generell sollte die Leistung eher mit langfristig nutzbaren Optionen (siehe unten) gesichert werden und nicht mit alten Braunkohlekraftwerken.

In den oben dargestellten Schnellausstiegs- bzw. Transformationsszenario, in denen die gesamte Kohlekapazität (Braun- und Steinkohle) bis 2025 bzw. bis Ende 2035 auf null reduziert wird, wird in einer überschlägigen Versorgungssicherheitsbewertung von einer notwendigen Gesamtkapazität einlastbarer Erzeugungsanlagen bzw. der entsprechenden Nachfrageflexibilität von 99 GW ausgegangen (Höchstlast von 84 GW bei einer durchschnittlichen Verfügbarkeit der Gesamtheit aller für die Spitzenlastdeckung relevanten Anlagen von 85 %). Ausgehend von dieser Anforderung ergibt sich im Schnellausstiegsszenario *„die Notwendigkeit, für den Zeithorizont 2020 knapp 23 GW, für 2025 ca. 45,5 GW und ab 2030 etwa 50 bis 55 GW weitere Kraftwerksleistung zu sichern“*. Im Transformationsszenario liegen diese Werte entsprechend niedriger.

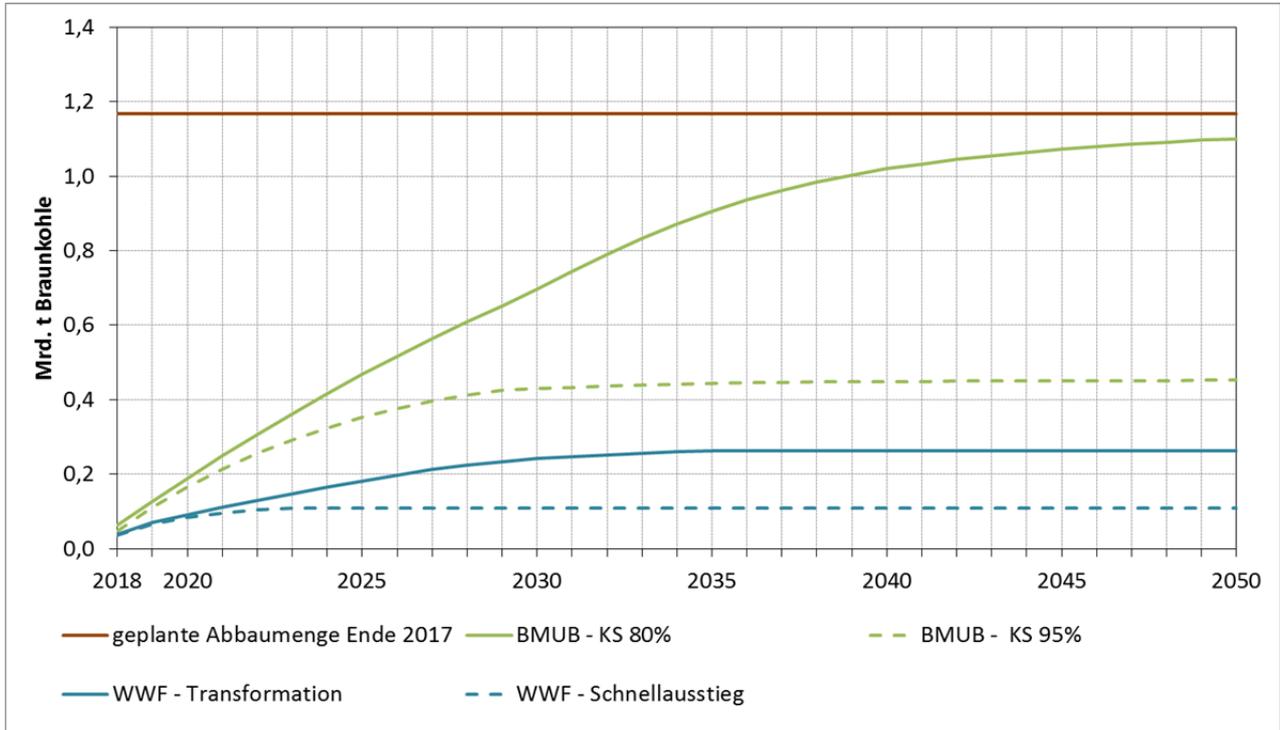
Zweifellos müssen die wegfallenden Kapazitäten dann ersetzt werden, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Für die Sicherstellung der Versorgung gewinnen dabei andere Optionen neben den konventionellen Kraftwerken an Bedeutung. Dazu zählt eine zunehmende Vernetzung im Rahmen des EU-Strombinnenmarktes. Nach dem Stromverbundziel der EU soll bis 2020 in jedem Mitgliedsstaat die Kapazität der grenzüberschreitenden Stromleitungen mindestens zehn Prozent der heimischen Stromerzeugungskapazität betragen. Bis 2030 soll dieses Ziel auf 15 % erhöht werden. Hinzu kommen auch Optionen des Lastmanagements, durch die Verbraucher in Zeiten hoher Nachfrage ihre Leistung verschieben oder reduzieren können. Entsprechende Kapazitäten werden heute schon durch die Lastabschaltverordnung bereitgestellt. Auch Speicher werden zukünftig an Bedeutung gewinnen. Auf der Seite der Kraftwerke werden neben den bereits vorhandenen und teilweise „eingemotteten“ Gaskraftwerken Gasturbinen eine wichtige Rolle einnehmen. Auch die gesicherte Leistung des Windkraftwerkportfolios in Deutschland und der Europäischen Union spielt eine Rolle.

Die Versorgungssicherheit wird auch dadurch vor neue Herausforderungen gestellt, dass zusätzliche Sektoren wie der Verkehrssektor zunehmend elektrifiziert werden (Sektorkopplung). Während in den klassischen Stromverbrauchssektoren der Stromverbrauch reduziert werden soll, werden neue Verbraucher voraussichtlich zu einem insgesamt steigenden Strombedarf und auch steigenden Spitzenlasten führen, für den entsprechende Kapazitäten bereitgestellt werden müssen. Für die Versorgung dieser neuen Verbraucher sind fossile Kraftwerke allerdings nicht geeignet. Denn die Hauptmotivation für die Elektrifizierung zusätzlicher Verbraucher ist es, den Energiebedarf in diesen Sektoren ebenfalls mit erneuerbaren Energien zu bedienen. Eine

Sektorkopplung mit Braunkohlekraftwerken und mit Braunkohlestrom betriebene Stromautos wären kontraproduktiv. Vielmehr ist der Braunkohleausstieg eine Voraussetzung für die Sektorkopplung.

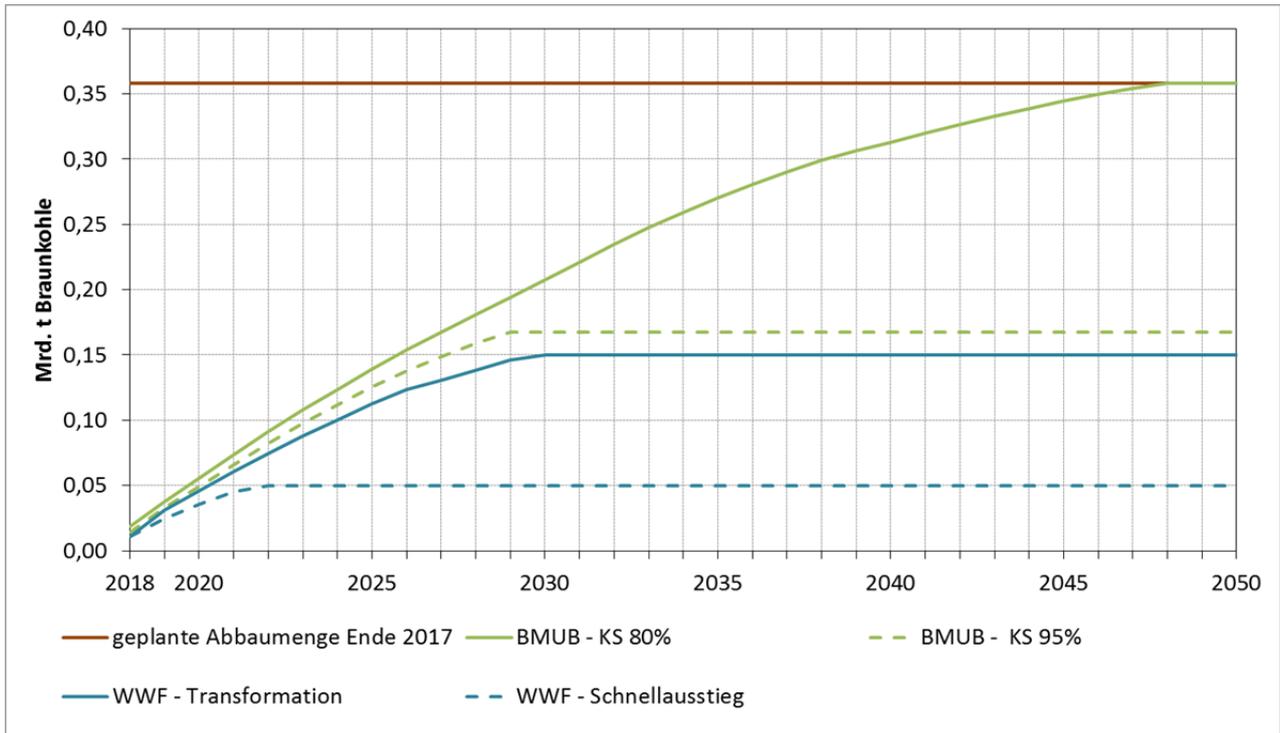
Anhang: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien für die Reviere Mitteldeutschland und Lausitz

Abbildung I: Vergleich: geplante Braunkohleabbauemenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien im Revier Lausitz



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Kohlenwirtschaft e.V.; Matthes et al. 2017; Öko-Institut 2017; Repenning et al. 2015; RWE Power AG 2018)

Abbildung II: Vergleich: geplante Braunkohleabbaumenge und Braunkohlebedarf in den Szenarien im Revier Mitteldeutschland



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Kohlenwirtschaft e.V.; Matthes et al. 2017; Öko-Institut 2017; Repenning et al. 2015; RWE Power AG 2018)

Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende (2017): Kohleausstieg, Stromimporte und -exporte sowie Versorgungssicherheit. Kurz-Analyse. Berlin: Agora Energiewende.
- BMWi (2018): Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung.
- BNetzA – Bundesnetzagentur & Bundeskartellamt (2017): Monitoringbericht 2017. Bonn. Online verfügbar: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2017/Monitoringbericht_2017.pdf?__blob=publicationFile&v=3; letzter Abruf am 05.12.2017.
- Bundesnetzagentur (2018): Kraftwerksliste 2018, Bundesnetzagentur. Online verfügbar: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html;jsessionid=7737D13E8194E0BDD1867D36F0081826; letzter Abruf am 01.08.2018.
- Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung (Bundesregierung Deutschland, Hrsg.).
- Bundesregierung (2018): Einsetzung der Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung (Bundesregierung, Hrsg.). Berlin: Bundesregierung.
- Gerbaulet, C., Egerer, J., Oei, P.-Y., Paeper, J. & Hirschhausen, C. von (2012): Die Zukunft der Braunkohle in Deutschland im Rahmen der Energiewende (DIW - Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Hrsg.). Online verfügbar: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.412261.de/diwkompakt_2012-069.pdf; letzter Abruf am 07.08.2018.
- Grüne Liga Umweltgruppe Cottbus e.V.: Geplante Tagebaue Lausitz (Grüne Liga Umweltgruppe Cottbus e.V., Hrsg.). Online verfügbar: <https://www.kein-tagebau.de/index.php/de/tagebaue>; letzter Abruf am 07.08.2018.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change (Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge, UK.
- IPCC (2014): Climate Change 2014. Synthesis Report (Core Writing Team, R.K. Pachari and L.A. Meyer, Hrsg.). Geneva, Switzerland. Online verfügbar: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf; letzter Abruf am 26.07.2016.
- Klimaschutzgesetz NRW (2013) vom 23.01.2013.
- Kohlenwirtschaft e.V.: Braunkohlenförderung. Stand: 07/18. Online verfügbar: <https://kohlenstatistik.de/19-0-Braunkohle.html>; letzter Abruf am 06.08.2018.
- Loreck, C. & Emele, L. (2018): Ab Sonntag dürfte Deutschland kein CO2 mehr ausstoßen! – Öko-Institut e.V.: Blog, Öko-Institut. Online verfügbar: <https://blog.oeko.de/ab-sonntag-duerfte-deutschland-kein-co2-mehr-ausstossen/>; letzter Abruf am 06.08.2018.
- Matthes, F. C., Emele, L., Hermann, H., Loreck, C., Peter, F., Ziegenhagen, I. & Cook, V. (2017): Zukunft Stromsystem - Kohleausstieg 2035. Vom Ziel her denken. Berlin: Öko-Institut; Prognos. Online verfügbar: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Stromsystem-Kohleausstieg-2035.pdf>; letzter Abruf am 19.01.2017.
- Öko-Institut (2017): Die deutsche Braunkohlenwirtschaft. Historische Entwicklungen, Ressourcen, Technik, wirtschaftliche Strukturen und Umweltauswirkungen. (Agora Energiewende & European Climate Foundation, Hrsg.). Online verfügbar: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2017/Deutsche_Braunkohlenwirtschaft/Agora_Die-deutsche-Braunkohlenwirtschaft_WEB.pdf; letzter Abruf am 31.05.2017.
- Repenning, J., Emele, L., Blanck, R., Dehoust, G., Förster, H., Greiner, B., Harthan, R., Henneberg, K., Hermann, H., Jörß, W., Ludig, S., Loreck, C., Scheffler, M., Schumacher, K., Wiegmann, K., Zell-Ziegler, C., Braungardt, S., Eichhammer, W., Elsland, R., Fleiter, T., Hartwig, J., Kockat, J., Pfluger, B., Schade, W., Schломann, B. & Sensfuß, F. (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrunde. Öko-Institut; Fraunhofer ISI.
- RWE Power AG (2018): Tagebaue Garzweiler, Hambach, Inden. Daten, Zahlen, Fakten. Online verfügbar: <http://www.rwe.com/web/cms/de/76904/rwe-power-ag/energetraeger/braunkohle/>; letzter Abruf am 06.08.2018.
- UNFCCC (2015): Paris Agreement. Bonn: UNFCCC.