

# Wie Deutschland sein Klimaziel noch erreichen kann



# Wie Deutschland sein Klimaziel noch erreichen kann

Autoren: Jakob Kopske, Norman Gerhardt

Institut: Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE)

## ➔ Kein Geld von Industrie und Staat

Greenpeace ist eine internationale Umweltorganisation, die mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Lebensgrundlagen kämpft. Unser Ziel ist es, Umweltzerstörung zu verhindern, Verhaltensweisen zu ändern und Lösungen durchzusetzen. Greenpeace ist überparteilich und völlig unabhängig von Politik, Parteien und Industrie. Rund 590.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt.

---

### Impressum

Greenpeace e.V., Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, Tel. 040/3 06 18-0 **Pressestelle** Tel. 040/3 06 18-340, F 040/3 06 18-340, presse@greenpeace.de, www.greenpeace.de  
**Politische Vertretung Berlin** Marienstraße 19–20, 10117 Berlin, Tel. 030/30 88 99-0 **V.i.S.d.P.** Anike Peters **Foto** Titel: © Bernd Lauter/Greenpeace

# ***Wie Deutschland sein Klimaziel 2020 noch erreichen kann***

Teilergebnisse eines 1,5°C-Szenarios

**Jakob Kopsiske, Norman Gerhardt**

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE)

Im Auftrag von Greenpeace

Veröffentlichung im August 2018

# Inhalt

<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Szenariorahmen .....</b>	<b>5</b>
2.1 Ausbau der erneuerbaren Energien .....	5
2.2 Kraftwerkspark .....	6
2.3 Deutschland im europäischen Strommarkt .....	8
2.4 Brennstoffpreise und CO <sub>2</sub> .....	9
2.5 Auswahl des historischen Wetterjahres .....	10
2.6 Dekarbonisierung der Sektoren Gebäudewärme, Industrie, Verkehr.....	10
<b>3 Erreichbarkeit des Klimaziels 2020 .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Schlussfolgerungen .....</b>	<b>14</b>
<b>5 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>15</b>
<b>6 Anhang .....</b>	<b>17</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 2-1: Entwicklung von Windkraft und Photovoltaik.....	6
Abbildung 2-2: Installierte Kraftwerksleistung.....	7
Abbildung 2-3: Wasserkraftanlagen, Wind- und Solarressource in Europa .....	9
Abbildung 2-4: Jahresdauerlinien der Stromerzeugung aus thermischen Kraftwerken über sieben Wetterjahre.....	10
Abbildung 3-1: Stromhandelsbilanz bis 2017 sowie 2020 mit SoA .....	12
Abbildung 3-2: Modellendogene direkte Kraftwerksemissionen (nur CO <sub>2</sub> ).....	13
Abbildung 3-3: Emissionsbilanz .....	14

---

Tabelle 2-1: Szenarioübersicht 2020 .....	5
Tabelle 2-2: Unterstellter EE-Ausbau .....	6
Tabelle 2-3: Braunkohlestilllegungen 2020 .....	8
Tabelle 3-1: Stromerzeugung und Börsenstrompreis.....	11
Tabelle 3-2: Modellendogene direkte Kraftwerksemissionen (nur CO <sub>2</sub> ) .....	12
Tabelle 3-3: Emissionsbilanz.....	13
Tabelle 6-1: Drosselung der Braunkohlekraftwerke 2020.....	17

# 1 Einleitung

Der Klimawandel stellt die Welt vor große Herausforderungen, deren Lösung massive internationale Anstrengungen erfordert. Mit dem in 2016 in Kraft getretenen Übereinkommen von Paris haben sich die 196 Mitgliedsstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen darauf geeinigt, die durch den Klimawandel verursachte Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur wenn möglich auf 1,5°C zu begrenzen. Dieses Ziel kann nur über eine signifikante Begrenzung der Treibhausgasemissionen erreicht werden, wobei die globalen Emissionen schon für eine Begrenzung der Temperaturerhöhung auf 2°C spätestens in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts bis auf Null sinken müssen (IPCC 2014). Für ein höheres Ambitionsniveau untersucht das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IEE) im Auftrag von Greenpeace ein Szenario, in welchem Deutschland bereits 2035 den energiebedingten Ausstoß von Treibhausgasemissionen weitestmöglich vermeidet<sup>1</sup>. Der hier vorliegende Teilbericht ist eine erste Auskopplung aus dem in Arbeit befindlichen Gesamtscenario und stellt dar, wie Deutschland sein Klimaziel 2020 trotz widersprüchlicher Vorhersagen doch noch erreichen kann.

Für eine sehr deutliche Senkung der energiebedingten Emissionen bis 2035 ist neben Maßnahmen in den einzelnen Sektoren Strom, Gebäudewärme, Industrieprozesswärme und Verkehr auch eine Sektorkopplung zur Verzahnung der einzelnen Sektoren notwendig. Auf diese Weise kann die erneuerbare Stromerzeugung zur Emissionsminderung im Verkehrs-, Industrie- und Gebäudewärmesektor genutzt werden. Gleichzeitig kann dadurch zusätzliche Flexibilität im Strommarkt bereitgestellt werden. Zur Abbildung der komplexen Wechselwirkungen der Sektoren wird das am Fraunhofer IEE (ehemals IWES) entwickelte Energiesystemmodell SCOPE verwendet. Diese Einsatz- und Ausbauoptimierung erlaubt Analysen des zukünftigen Energieversorgungssystems und bildet Entwicklungen in den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr ab mit dem Ziel, Emissionsminderungen zu minimalen Kosten zu erreichen.

Die Zielsetzung der Gesamtstudie ist die Abbildung eines konsistenten Entwicklungspfades zur weitgehenden Vermeidung von energiebedingten Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2035. Kohlekraftwerke sind in Deutschland verantwortlich für einen Großteil der Emissionen aus der Stromerzeugung. Ein besonderer Fokus liegt daher auf dem Ausstieg aus der Kohleverstromung, der ergänzt wird durch weitere begleitende Instrumente (Ausbau der erneuerbaren Energien, Einsatz von Elektromobilität und Wärmepumpen etc.). Dazu werden die Stützjahre 2020, 2025 und 2030 mit einem hohen Detailgrad modelliert.

In dem hier vorliegenden Zwischenbericht werden die Ergebnisse für das Szenariojahr 2020 vorgestellt. Das Klimaziel der Bundesregierung sieht bis 2020 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % vor (bezogen auf 1990). Die höchsten Potentiale zur Einsparung von Emissionen finden sich dabei im Bereich der Energiewirtschaft. Es ist abzusehen, dass ohne zusätzliche Maßnahmen in diesem Bereich das Klimaziel um ca. 8 %-Punkte verfehlt werden wird (bzw. nur 32 % Emissionsreduktion erreicht werden), so dass zur Zielerreichung kurzfristig noch weitere Maßnahmen ergriffen werden müssen (BMU 2018). In diesem Bericht wird gezeigt,

---

<sup>1</sup> Eine vollständige Vermeidung von Treibhausgasemissionen ist durch Restriktionen beim nichtelektrifizierbaren Verkehr, bei Gebäudewärme und Industrieprozessen nicht zu erreichen.

dass das Klimaziel 2020 durch einen Mix aus Stilllegung und Drosselung der vorhandenen Braunkohlekraftwerke ergänzt durch den Ausbau erneuerbarer Energien (speziell die von der Bundesregierung angekündigten Sonderausschreibungen für Windkraft und Photovoltaik) noch erreicht werden kann.

## 2 Szenariorahmen

Diese Studie berechnet zwei verschiedene Szenarien zur Erreichung des 2020-Klimaziels, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland um 40 Prozent zu senken im Vergleich zu 1990. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und den Menschen in den Kohleregionen im Rheinland, in Mitteldeutschland und in der Lausitz einige Jahre mehr für den strukturellen Umbau zu verschaffen, wird in den hier vorgestellten Szenarien ein Instrumentenmix aus Stilllegung und Drosselung von Braunkohlekraftwerken sowie dem Ausbau der erneuerbaren Energien zugrunde gelegt. Eine Übersicht der Szenarien ist in Tabelle 2-1 gezeigt.

	Stilllegung (Braunkohle)	Drosselung (Braunkohle)	Sonderausschreibungen (Wind/PV)
Variante ohne Sonderausschreibungen	7,4 GW	6,0 GW 6000 h	–
Variante mit Sonderausschreibungen	6,1 GW	7,4 GW 6000 h	9 GW

**Tabelle 2-1: Szenarioübersicht 2020**

Grundlegender Rahmen der für das Jahr 2020 durchgeführten Rechnungen

Im Folgenden werden die in die Studie eingehenden Daten und Annahmen vorgestellt.

### 2.1 Ausbau der erneuerbaren Energien

Für den Trend der Entwicklung der erneuerbaren Erzeugungskapazitäten bis 2020 wird grundsätzlich die Mittelfristprognose der Übertragungsnetzbetreiber zugrunde gelegt (r2b energy consulting GmbH 2017). Der Koalitionsvertrag der Bundesregierung sieht zusätzliche Sonderausschreibungen (SoA) in Höhe von jeweils vier Gigawatt für Wind Onshore und Photovoltaikanlagen sowie einen Offshore Windenergiebeitrag vor. Diese Maßnahmen sollen wirksam werden in 2019 und 2020 (Koalitionsvertrag 2018). Da von Seiten der Politik bis jetzt trotz ambitioniertem Zeitplan noch keine konkreten Schritte zur Umsetzung der Sonderausschreibungen unternommen wurden, erscheint eine fristgemäße Realisierung unsicher. Für den Fall, dass die Sonderausschreibungen nicht wie im Koalitionsvertrag beschlossen umgesetzt werden, wird betrachtet, wie das Klimaziel 2020 dennoch erreicht werden kann. Für die Sonderausschreibungen werden daher zwei Varianten berücksichtigt – eine Realisierung bis Ende 2020 (gemäß Koalitionsvertrag) sowie ein um zwei Jahre verzögerter Ausbau. In beiden Fällen wird eine Realisierungsquote von 90 % des Ausschreibungsvolumens angenommen<sup>2</sup>. Die Einspeisezeitreihen werden anhand der installierten Leistung mit Wetterdaten des Jahres 2012 und unter Berücksichtigung der aktuellen technologischen Trends bestimmt.

<sup>2</sup> Aufgrund mangelnder Erfahrungswerte mit EE-Ausschreibungen wird die Realisierungsrate auf Basis der Daten der ersten Photovoltaikausschreibungen abgeschätzt (BNetzA 2018a).



Installierte Leistung [GW]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2020 <i>ohne SoA</i>
Photovoltaik	39,2	40,7	42,4	44,1	48,3	52,5	48,9
Onshore	41,3	45,5	50,5	53,3	57,1	60,9	57,3
Offshore	3,3	4,1	5,4	6,0	7,1	8,6	7,7

Tabelle 2-2: Unterstellter EE-Ausbau

Quelle: (BMWi 2018), (r2b energy consulting GmbH 2017), eigene Annahmen

Diese Entwicklung ist zusätzlich noch einmal in folgender Abbildung visualisiert.

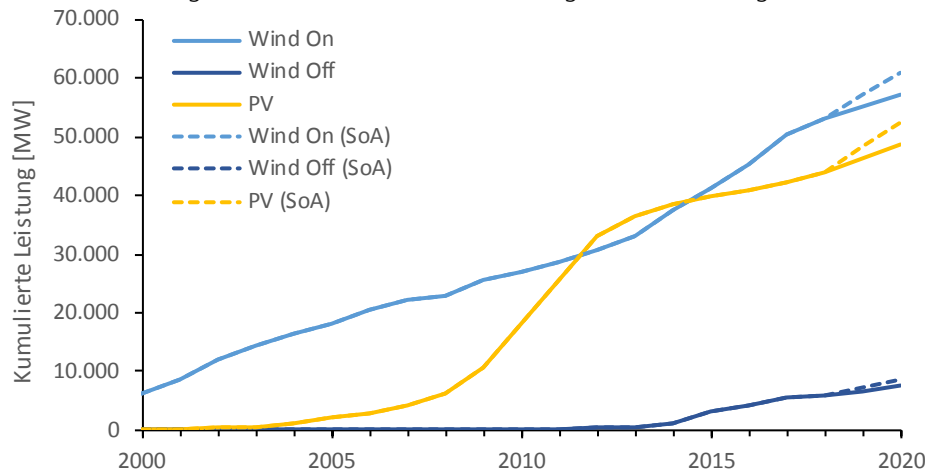


Abbildung 2-1: Entwicklung von Windkraft und Photovoltaik

Quelle: (BMWi 2018), (r2b energy consulting GmbH 2017), eigene Annahmen

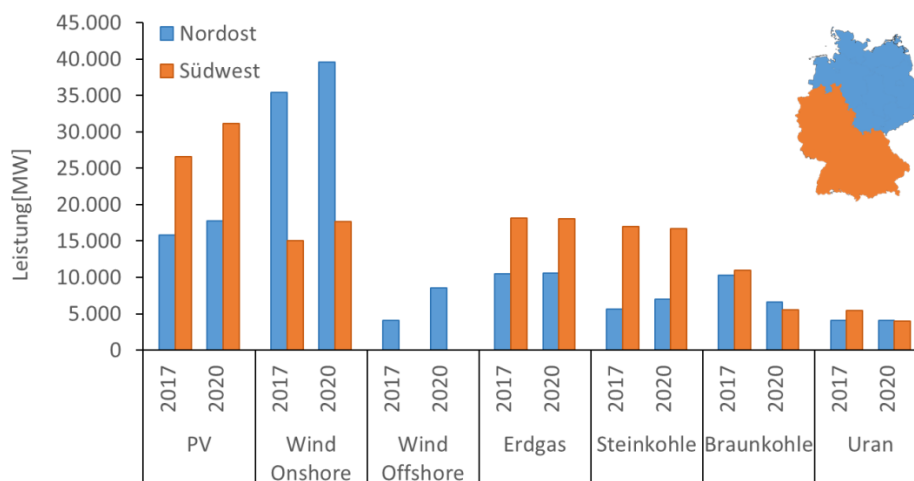
## 2.2 Kraftwerkspark

In 2020 werden zunächst alle heutigen Bestandskraftwerke sowie geplante Stilllegungen und Inbetriebnahmen gemäß Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur (BNetzA) berücksichtigt (BNetzA 2018b). Dies beinhaltet die bereits beschlossene Überführung von acht Braunkohle-Kraftwerksblöcken mit einer Gesamtleistung von 2,7 GW in die Sicherheitsbereitschaft nach § 13g Energiewirtschaftsgesetz. Je nachdem ob die Politik die Sonderausschreibungen für erneuerbare Energien zeitnah umsetzt, werden je nach Szenario Braunkohlekraftwerke mit einer installierten Kapazität von 6,1 GW bzw. 7,4 GW zusätzlich stillgelegt. Die Stilllegungssumme orientiert sich dabei in der Größenordnung an einem (inoffiziellen) Vermerk von BMWi und BNetzA zur Versorgungssicherheit in Deutschland, in dem Ende 2017 eine Stilllegung von mindestens 7 GW Kohlekraftwerksleistung als unkritisch für die Versorgungssicherheit (auch in Hinblick auf innerdeutsche Netzengpässe) eingestuft wird<sup>3</sup>. Die Kraftwerksstilllegungen werden anhand des Alters der Kraftwerke bestimmt. Bei allen stillzulegenden Kraftwerken handelt es sich um Braunkohle-Anlagen mit einem Alter von über 20 Jahren. Zur kurzfristigen Sicherstellung der Wärmeversorgung werden im Jahr 2020 Braunkohle-KWK-Kraftwerke von Stilllegungen ausgenommen, es werden jedoch in den Folgejahren kontinuierlich Kohle-KWK durch neue Erdgas-KWK ersetzt. Setzt die Bundesregierung die Sonderausschreibungen nicht wie geplant um, dann muss die wegfallende Emissionsabsenkung durch die Abschaltung weiterer Braunkohlekraftwerke erbracht werden. Insgesamt würde eine Abschaltung von 7,4 GW statt 6,1 GW notwendig (siehe Tabelle 2-3 für eine Aufschlüsselung der stillzulegenden Kraftwerke).

<sup>3</sup> <https://media.frag-den-staat.de/files/foi/82316/VersorgungssicherheitinDeutschland.fin.pdf>



Zusätzlich wird die Drosselung der verbliebenen Braunkohle-Kraftwerke, die im Jahr 2020 ein Alter von mindestens 20 Jahren erreicht haben (6,0 GW bzw. 7,4 GW inkl. KWK) im Simulationsmodell durch eine zusätzliche Randbedingung abgebildet<sup>4</sup>. Dabei wird die Auslastung durch Vorgabe einer maximalen Volllaststundenzahl von 6000 h/a im Jahr 2020 eingeschränkt. Zum Vergleich haben in den Jahren 2016 und 2017 Braunkohlekraftwerke in Deutschland im Mittel (über die Bandbreite unterschiedlicher Wirkungsgrade und des Stromverlustes bei KWK-Nutzung) eine durchschnittliche Volllaststundenzahl von etwa 7000 h/a erreicht<sup>5</sup>. In den Simulationsrechnungen des Jahres 2020 erreichen neuere Braunkohle-Kondensationskraftwerke mit höherem Wirkungsgrad dagegen ca. 7400 h/a, während bei den KWK-Kraftwerke die Drosselung eine geringere Einschränkung im Betrieb bedeutet. Die Drosselung auf 6000 h/a verschafft den Beschäftigten an den Kraftwerksstandorten einige Jahre mehr für den strukturellen Umbau (im Vergleich zur Stilllegung) und gewährleistet die Versorgungssicherheit. Die aus einer Stilllegung von 6,1 GW Braunkohle resultierenden Kraftwerkskapazitäten werden in Abbildung 2-2 hinsichtlich ihrer geographischen Verteilung (Nordost/Südwest) dargestellt.



**Abbildung 2-2: Installierte Kraftwerksleistung**

Quelle: (BNetzA 2018b) , Szenario 2020 mit Stilllegung von 6,1 GW Braunkohlekraftwerken

Während Kraftwerkskapazitäten in Höhe von 6,1 bzw. 7,4 GW stillgelegt werden, verbleiben noch 12,2 bzw. 10,8 GW Braunkohle – zum Teil gedrosselt - am Netz. Davon sind 4,8 GW nicht von einer Drosselung betroffen und können frei am Markt eingesetzt werden. Die gedrosselte Kraftwerksleistung ist im Anhang aufgelistet (Tabelle 6-1).

<sup>4</sup> Ausgenommen sind Gegendruckanlagen, die zur Sicherstellung der Wärmeversorgung nicht gedrosselt werden. Die restlichen Braunkohle-KWK-Kraftwerke besitzen auch bei einer Drosselung der Stromerzeugung ausreichend Flexibilität, um den Wärmebedarf decken zu können.

<sup>5</sup> Bezogen auf die Bruttostromerzeugung der BMWi-Energiedaten BMWi 2018, gemäß BNetzA-Kraftwerksliste BNetzA 2018b war 2017 eine Leistung der Braunkohle-Kraftwerke von 19,99 GW netto bzw. 21,15 GW brutto in Betrieb.

Kraftwerksbezeichnung	Baujahr	Nettoleistung [MW]
Niederaußem C	1965	295
Niederaußem D	1968	297
Niederaußem H	1974	648
Boxberg N	1979	465
Boxberg P	1980	465
Weisweiler E	1965	321
Weisweiler F	1967	321
Weisweiler H	1975	656
Neurath A	1972	294
Neurath B	1972	294
Neurath E	1976	604
Jänschwalde B	1982	465
Jänschwalde C	1984	465
Jänschwalde D	1985	465
<b>Zwischensumme</b>		<b>6055</b>
Lippendorf S*	1999	875
Schkopau B*	1996	450
<b>Summe</b>		<b>7380</b>

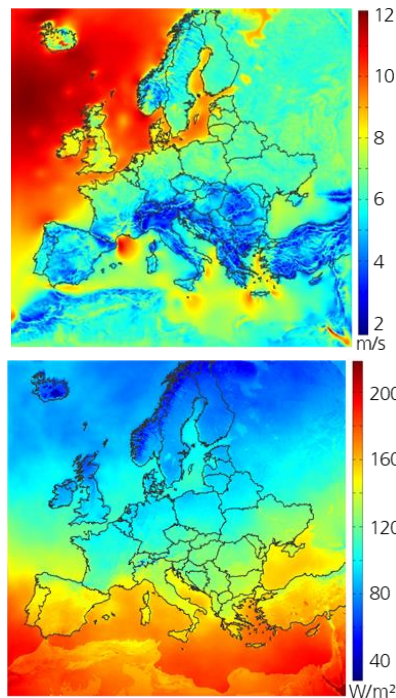
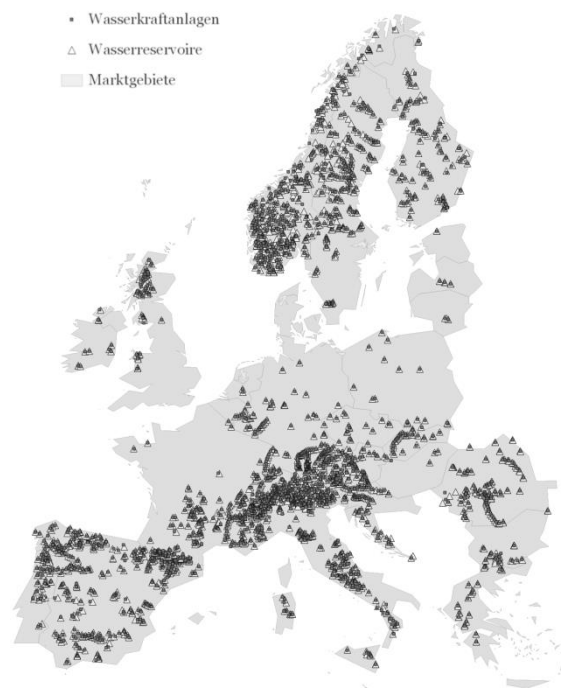
\* Zusätzliche Stilllegungen im Szenario ohne Sonderausschreibungen

**Tabelle 2-3:**  
**Braunkohlestilllegungen 2020**

Stillgelegte Braunkohlekraftwerke in den Szenariorechnungen 2020, eigene Annahmen auf Basis des Kraftwerksbaujahres

## 2.3 Deutschland im europäischen Strommarkt

Deutschland ist eingebunden in einen europäischen Binnenmarkt für Strom. Deswegen können nationale Klimaschutzmaßnahmen nicht isoliert betrachtet werden. Das Fraunhofer IEE verfügt hierbei über ein sehr detailliertes Strommarktmodell, welches nicht nur blockscharf den fossilen europäischen Kraftwerkspark abbilden kann, sondern auch die Flexibilität der Wasserkraft und Einspeisecharakteristik der Wind- und Solarstromerzeugung sehr detailliert und praxisnah berücksichtigt. Dabei wird der europäische Strommarkt der EU28 ohne Malta und Zypern, aber inkl. Norwegen und Schweiz im Modell abgebildet. Abbildung 2-3 gibt einen Einblick in die Detaillierungstiefe auf europäischer Ebene. Links sind die in der Modellierung berücksichtigten europäischen Wasserkraftanlagen gezeigt. Diese konzentrieren sich auf einige Gebiete mit guten geografischen Voraussetzungen (Alpenregion, skandinavische und iberische Halbinsel). Die Wasserkraftanlagen werden auf Basis umfassender Detaildaten zu Zufluss, Beckengröße, Leistungen und Kaskadierung mit einem validierten aggregierten Modellierungsansatz berücksichtigt (Härtel und Korpås 2017). Die Wind- und Solardaten werden europaweit mit der Auflösung des COSMO-EU-Modells simuliert (7 km Maschenweite). Dabei werden konkrete Bestandsanlagen und räumlich differenzierte Eignungsflächen für Neuanlagen berücksichtigt. Rechts sind beispielhaft zur Verdeutlichung der regionalen Differenzen innerhalb Europas die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten (oben) und die durchschnittliche solare Einstrahlung (unten) dargestellt.



**Abbildung 2-3:**  
Wasserkraftanlagen, Wind-  
und Solarressource in Europa

Abbildung Wasserkraft (links)  
nach (Härtel und Korpås 2017)

Abbildung zur  
Windgeschwindigkeit in ca. 70 m  
Höhe (rechts oben)  
sowie  
Abbildung zur globalen Hori-  
zontalstrahlung (rechts unten)  
(Datenbasis: Deutscher  
Wetterdienst - Mittelwerte der  
Jahre 2007 bis 2011)

Für die Betrachtung des europäischen Systems werden die Szenarien des Zehn-Jahres-Netzentwicklungsplans (TYNDP) der Organisation der europäischen Übertragungsnetzbetreiber verwendet (ENTSO-E 2017). Der Ausbau erneuerbarer Energien im Szenariojahr 2020 entspricht dem Szenario „Best Estimate“ (BE2020). Die Kuppelleistungen in 2020 sind ebenso dem TYNDP entnommen. Die europäischen Leistungen thermischer Kraftwerke werden grundsätzlich analog zu den Annahmen Deutschlands bestimmt (Lebensdauer, Braunkohle-Ausstieg 2030 aber keine schnellere Kraftwerksstilllegung in 2020). Während Deutschland in den letzten Jahren zum Stromexporteur geworden ist (von einer fast ausgeglichenen Bilanz in den Jahren 2005 oder 2011 auf einen Anstieg auf 55 TWh Nettoexport in 2017), kann sich dieses Verhältnis schnell umkehren. In den realitätsnahen und kurzfristigen Untersuchungen zur Erreichbarkeit des Klimaziels 2020 von -40 % THG-Emissionen und heutigen regulatorischen Rahmenbedingungen wird die Handelsbilanz als Modellergebnis ausgewiesen (siehe Tabelle 3-1 mit 15–24 TWh Stromimporten in 2020).

## 2.4 Brennstoffpreise und CO<sub>2</sub>

Als Brennstoffpreise (inkl. Transportkosten) werden im Jahr 2020 für Braunkohle 1,5€/MWh, für Steinkohle 9,25€/MWh und für Erdgas 22,5€/MWh angesetzt (Öko-Institut e. V. 2018). Für die weiteren Szenarien (2025, 2030) wird die Preisentwicklung gemäß des Pfades „Sustainable Development“ des World Energy Outlook 2017 verwendet (IEA 2017). In Hinblick auf bestehende Überkapazitäten im Emissionshandel und die Dynamik des europäischen EE-Ausbaus wird ein moderater CO<sub>2</sub>-Preis von 10€/t in 2020 angenommen<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Während der Wert für EUA-Futures für 2020 Mitte 2017 noch bei 5 €/t lag, hat sich dieser Wert in einem Jahr auf ca. 15 €/t gesteigert. In Hinblick auf die Unsicherheiten dieser Entwicklung wird als Mittelwert ein Preis von 10 €/t unterstellt. (EEX 2018)

## 2.5 Auswahl des historischen Wetterjahres

Im Netzentwicklungsplan 2030 (2019) wird das reale Wetterjahr 2012 als mittleres Wetterjahr verwendet (50Hertz Transmission GmbH et al. 2018). Auch die Auswertungen des Fraunhofer IEE in (Fraunhofer IWES 2017) über den Zeitraum von sieben historischen Wetterjahren (2006–2012) zeigen, dass das Wetterjahr 2012 gerade im mittelfristigen Hinblick sehr gut geeignet ist, die Energiebilanzen sowohl im nationalen als auch im europäischen Kontext gut abzubilden. Zudem weist dieses Szenariojahr auch Extremsituationen hinsichtlich der Versorgungssicherheit im Strommarkt auf (kalte Tage mit geringer EE-Einspeisung in Deutschland und in Europa).

Eine Orientierung in Hinblick auf die Versorgungssicherheit liefert folgende Auswertung der Einsatzzeiten von thermischen Kraftwerken für ein 2050er-Szenario in (Fraunhofer IWES 2017), welches näherungsweise mit dem in Erarbeitung befindlichen 1,5°C Szenario von Greenpeace (Fortführung dieser Studie) mit dem Zeitpunkt 2035 vergleichbar ist.

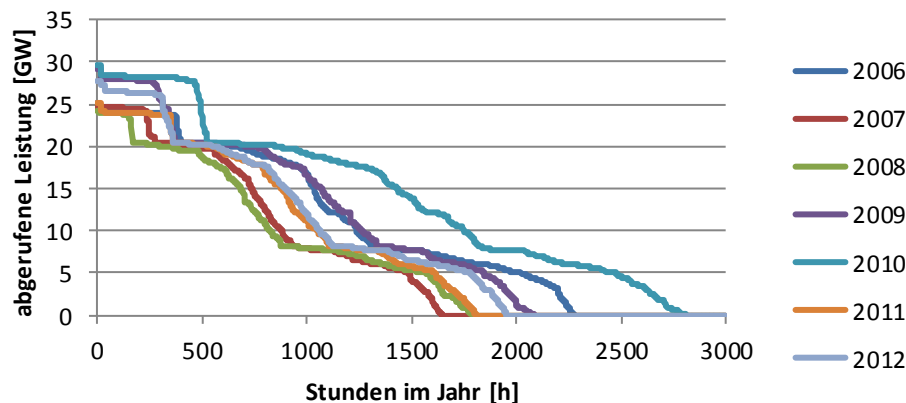


Abbildung 2-4:  
Jahresdauerlinien der  
Stromerzeugung aus  
thermischen Kraftwerken  
über sieben Wetterjahre

Quelle: (Fraunhofer IWES 2017)

## 2.6 Dekarbonisierung der Sektoren Gebäudewärme, Industrie, Verkehr

Die Sektoren Gebäudewärme, Industrie und Verkehr werden aufgrund der sehr gering ausgeprägten Sektorkopplung im Szenario 2020 noch nicht in der Modellierung berücksichtigt. Die Betrachtung beschränkt sich auf den Bereich der Energiewirtschaft. Die Emissionen der anderen Sektoren werden anhand der Prognosen des Umweltbundesamtes (Öko-Institut e. V. und Fraunhofer ISI 2018) berücksichtigt.

## 3 Erreichbarkeit des Klimaziels 2020

Das Klimaziel der Bundesregierung sieht eine Minderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland um mindestens 40 % bis 2020 vor (bezogen auf 1990). Die Erreichung dieses Ziels erfordert den Einsatz weiterer Instrumente über die bisher beschlossenen Maßnahmen hinaus. Dazu wird hier gezeigt, wie mit einem Maßnahmenmix aus der Stilllegung von Braunkohlekraftwerken in Zusammenspiel mit einer Drosselung der verbleibenden alten Anlagen das Klimaziel 2020 erreicht werden kann.

Zur Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Realisierung der im Koalitionsvertrag beschlossenen Sonderausschreibungen für Wind und PV bis 2020 werden für dieses Szenario zwei Varianten – mit und ohne Sonderausschreibungen (SoA) – untersucht.

Bei der Variante mit Sonderausschreibungen werden 6,1 GW Braunkohleleistung stillgelegt, ohne Sonderausschreibungen zusätzliche 1,3 GW. Braunkohlekraftwerke mit einem Alter von über 20 Jahren werden darüber hinaus in beiden Szenarien auf 6000 Volllaststunden gedrosselt. Im Folgenden wird das Ergebnis der unter diesen Randbedingungen durchgeführten Rechnungen vorgestellt.

In Tabelle 3-1 ist die Bruttostromerzeugung nach Energieträgern dargestellt. Die Einspeisung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen steigt bis 2020 an entsprechend der Annahmen aus Abschnitt 2.1 und auf Basis der meteorologischen Bedingungen des realen Wetterjahres 2012. Gleichzeitig führen Stilllegung und Drosselung der Braunkohlekraftwerke in 2020 zu einem deutlichen Rückgang der Braunkohleverstromung.

Bruttostromerzeugung [TWh]	2015	2016	2017	2020	
				ohne SoA	mit SoA
Erdgas	62	81	86	52	52
Steinkohle	118	112	94	64	52
Braunkohle	155	150	148	76	85
Kernkraft	92	85	76	65	65
Mineralöl	6	6	6	2	2
Sonstige	27	27	28	20	20
Biomasse	45	45	46	43	43
Laufwasser	19	21	20	22	22
Wind-Onshore	72	68	89	117	122
Wind-Offshore	8	12	18	30	33
PV	39	38	40	47	50
Import	-52	-54	-55	24	15
<b>Strompreis [€/MWh]</b>	<b>31,7</b>	<b>29</b>	<b>34,2</b>	<b>26,9</b>	<b>25,8</b>

**Tabelle 3-1: Stromerzeugung und Börsenstrompreis**

Quelle: (BMWi 2018), eigene Berechnungen

Die Szenarien mit und ohne Sonderausschreibungen unterscheiden sich in einigen Details. Ohne Sonderausschreibungen ist zum Erreichen des Klimaziels die Stilllegung weiterer Braunkohlekraftwerke erforderlich. Die geringere Stromerzeugung aus Braunkohle sowie Wind und PV wird durch eine höhere Auslastung bestehender Steinkohlekraftwerke und erhöhte Stromimporte (welche per Definition für die Erreichbarkeit des deutschen Klimaziels CO<sub>2</sub>-frei sind<sup>7</sup>) kompensiert. Dabei zeigen die Auswertungen von (Öko-Institut e. V. 2018), dass nationale Maßnahmen wie die Stilllegung von Braunkohle nur zu einem geringeren Anteil zu Mehremissionen im Ausland führen. Der durch die Emissionseinsparungen in Deutschland erzielte positive Effekt auf die gesamteuropäischen Treibhausgasemissionen würde dadurch zwar abgemindert, aber dennoch effektiv sein.

Während die Situation am Strommarkt 2020 gut einzuschätzen ist, ist mittelfristig die Rolle von Stromimporten insbesondere vom EE-Ausbau in Europa abhängig. Eine sinnvolle politische Leitlinie könnte deshalb sein, dass Deutschland mittelfristig Stromexporte und -importe als Flexibilitätsoption im europäischen Verbund nutzt, in der Jahresbetrachtung jedoch eine ausgeglichene Import-/Export-Bilanz bei Strom anstrebt. Die historische Entwicklung der Strombilanz und das Simulationsergebnis für 2020 mit Sonderausschreibungen ist in folgender Abbildung dargestellt. Dabei wird deutlich, dass Deutschland vor 2005 und in 2011 bereits eine relativ ausgeglichene

<sup>7</sup> Es werden hierbei nur direkte Emissionen (ohne Vorketten) bilanziert, wodurch Kraftwerksemissionen dem Land zugeordnet werden, in dem sie entstehen (IPCC 2006).

Handelsbilanz hatte und wie viel bedeutsamer der europäische Handel absolut als Ausgleichsfunktion im Verhältnis zum saldierten Nettobetrag ist.

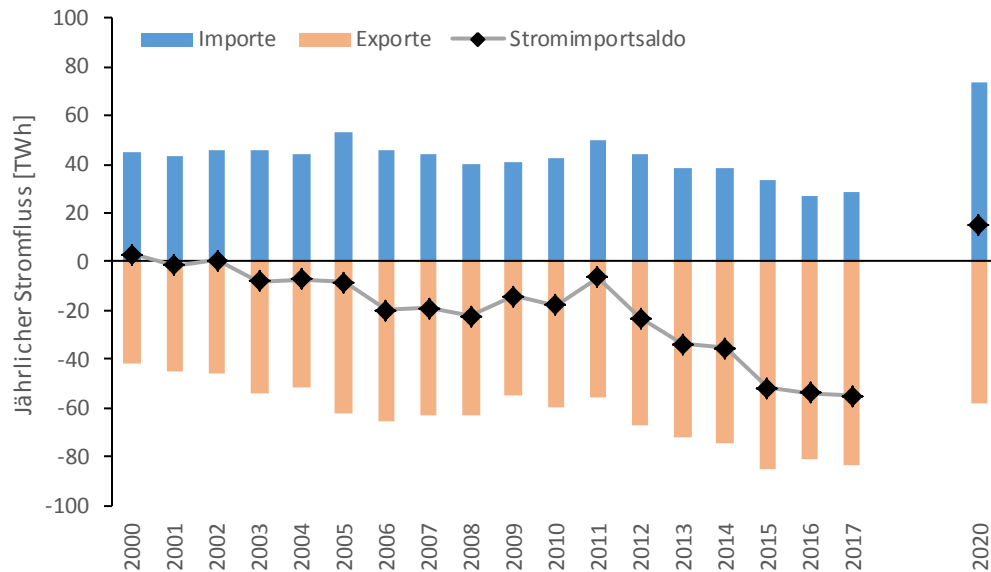


Abbildung 3-1:  
Stromhandelsbilanz bis 2017  
sowie 2020 mit SoA

Quelle: (AGEB 2018), eigene  
Berechnungen

Die Stromerzeugung aus Erdgas wird in 2020 nahezu ausschließlich durch bestehende oder bereits im Bau befindliche KWK-Anlagen realisiert und ist hierbei von der Wärmenachfrage im Wetterjahr abhängig. Eine darüberhinausgehende Nutzung von Kondensationsstrom aus Erdgaskraftwerken ist stark von Preisunterschied zwischen Gas und Steinkohle, der Ausweitung der EE-Stromerzeugung in Deutschland und Europa und regulatorischen Bedingungen wie z.B. vermiedenen Netznutzungsentgelten, Eigenstromerzeugung u. a. abhängig. Unter den getroffenen Annahmen ist der Anteil dieser Stromerzeugung relativ gering.

Die Szenariorechnungen zeigen für 2020 im Jahresdurchschnitt niedrigere Day-Ahead Börsenstrompreise als in den letzten Jahren. Eine weitere Erhöhung der erneuerbaren Stromerzeugung durch zusätzliche Sonderausschreibungen sowie eine in diesem Szenario höhere Braunkohlekapazität führen erwartungsgemäß zu einer leichten Senkung der Börsen-Strompreise.

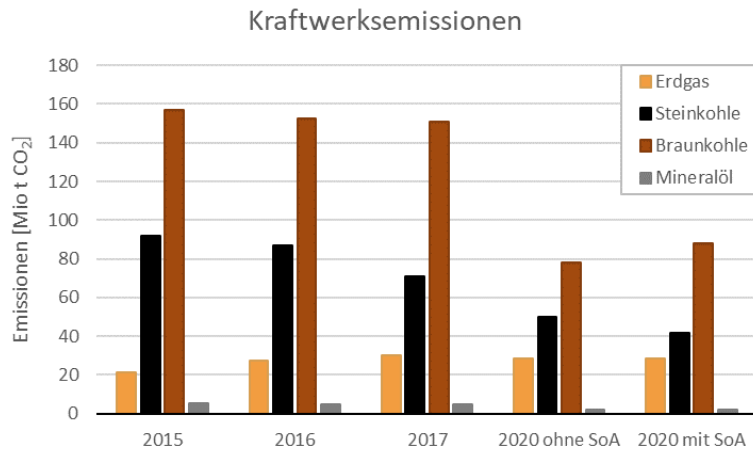
Während die unflexible Stromerzeugung aus sonstigen fossilen Kraftwerken (Gichtgas, Müll u. a.) exogen vorgegeben wird und die entsprechenden Emissionen exogen bilanziert werden, ergeben sich aus dem Modell endogen die direkten Emissionen der klassischen konventionellen Kraftwerkstypen. Dabei kommen beide Szenariovarianten (mit und ohne Sonderausschreibungen) auf eine vergleichbare Emissionseinsparung. Mit dem Rückgang der Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken gehen auch die damit verbundenen Emissionen zurück. Um den in dieser Studie betrachteten kurzfristigen Effekt der Braunkohlestilllegungen zu untersuchen, werden die Emissionen der Kohlekraftwerke in 2020 mit dem heutigen Niveau verglichen. Im Vergleich zu 2017 sinken die Emissionen aus Kohlestrom dabei um etwa 42 % (entspricht 93 Mio. t).

Emissionen [Mio t CO <sub>2</sub> ]	2015	2016	2017	2020 ohne SoA	2020 mit SoA
Erdgas	21	27	30	29	29
Steinkohle	92	87	71	50	42
Braunkohle	157	153	151	78	88
Mineralöl	5	5	5	2	2
<b>Summe</b>	<b>275</b>	<b>272</b>	<b>257</b>	<b>159</b>	<b>160</b>

Tabelle 3-2: Modellendogene  
direkte Kraftwerksemissionen  
(nur CO<sub>2</sub>)

Quelle: (BMWi 2018) und UBA  
Nahzeitprognose 2017; ab 2020  
eigene Berechnungen inkl.  
Emissionen aus KWK-Systemen

Die Kraftwerksemissionen sind modellendogen bestimmt und in folgender Abbildung noch einmal visualisiert. Sie stellen den größten Teilbereich der Emissionen im Quellbereich Energiewirtschaft und zu einem geringeren Teil auch im Quellbereich Industrie-Energieerzeugung dar (siehe Tabelle 3-3). Für eine vollständige Emissionsbilanz wird auf (Öko-Institut e. V. und Fraunhofer ISI 2018) zurückgegriffen.



**Abbildung 3-2:**  
Modellendogene direkte Kraftwerksemissionen (nur CO<sub>2</sub>)

Quelle: (BMWi 2018) und UBA Nahzeitprognose 2017; ab 2020 eigene Berechnungen inkl. Emissionen aus KWK-Systemen

Entsprechend der sektoralen Aufteilung des Klimaschutzplanes wird im Folgenden die Emissionseinsparung bilanziert und gegenüber dem Basisjahr (1990 mit spezifischen Anpassungen<sup>8</sup>) in Bezug gesetzt. Während in der aktuellen Trendentwicklung im Zuge der Veröffentlichung des Klimaschutzberichtes 2017 vom BMU eine 8 %-Lücke erwartet wird<sup>9</sup> (nur -32 %THG-Reduktion), erreichen beide Varianten des Greenpeace-Szenarios das -40 %-Ziel.

Emissionen [Mio. t CO <sub>2</sub> ]	Basisjahr	2010	2015	2020 -Trend	2020 GP	
					(ohne SoA)	(mit SoA)
<b>Energiewirtschaft</b>	466	369	352	317	225	
<b>Industrie</b>	284	187	190	184	177	
-Energieerzeugung		113	119	116	110	
-Prozesse		74	71	67	67	
<b>Gebäude</b>	210	149	128	119	119	
<b>Verkehr</b>	163	153	154	146	146	
<b>Landwirtschaft</b>	90	69	66	77	77	
<b>Sonstige (Abfallwirtschaft)</b>	38	15	11	9	9	
<b>Summe</b>	1252	941	901	851	753	
<b>Reduktion</b>		-25%	-28%	-32%	-40%	

**Tabelle 3-3: Emissionsbilanz**

Quelle: (Öko-Institut e. V. und Fraunhofer ISI 2018), eigene Berechnungen

Die historische Entwicklung und die Emissionseinsparung in 2020 gegenüber der Trendentwicklung sind zusätzlich in folgender Abbildung visualisiert.

<sup>8</sup> Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid

<sup>9</sup> <https://www.bmu.de/pressemitteilung/kabinett-beschliesst-dritten-klimaschutzbericht/>



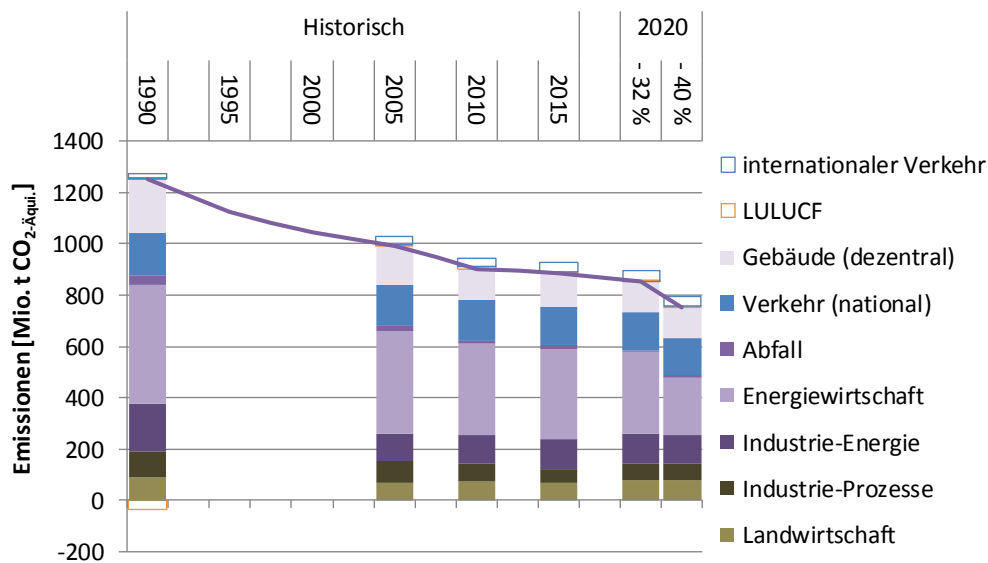


Abbildung 3-3: Emissionsbilanz

Quelle: (Öko-Institut e. V. und Fraunhofer ISI 2018), eigene Berechnungen

## 4 Schlussfolgerungen

Die Stilllegung und Drosselung von Braunkohlekraftwerken bietet eine kurzfristige Option zur Senkung der Treibhausgasemissionen in Deutschland. Eine solche Maßnahme kann damit maßgeblich zur Erreichung des Klimaziels 2020 der Bundesregierung beitragen. Abhängig von der Realisierung der im Koalitionsvertrag vereinbarten Sonderausschreibungen für Wind- und PV-Anlagen werden dazu 6,1 GW (mit Sonderausschreibungen) bzw. 7,4 GW (ohne Sonderausschreibungen) Braunkohlekraftwerke stillgelegt. Ergänzt wird dies durch eine Drosselung der verbleibenden Anlagen mit einem Alter von mindestens 20 Jahren auf 6000 Volllaststunden. Die Stromerzeugung aus Kohle wird dadurch signifikant reduziert. Im Ergebnis zeigt sich durch diese Maßnahmen eine deutliche Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40 % gegenüber 1990.

## 5 Literaturverzeichnis

50Hertz Transmission GmbH; Amprion GmbH; TenneT TSO GmbH; TransnetBW GmbH (2018): Szenariorahmen für den Netzentwicklungsplan Strom 2030 (Version 2019). Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber.

AGEB (2018): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. Online verfügbar unter <https://www.ag-energiebilanzen.de/>.

BMU (2018): Klimaschutzbericht 2017. Zum Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

BMWi (2018): Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>.

BNetzA (2018a): Ausschreibungen 2015/2016. Ergebnisse der sechs Ausschreibungen für PV-Freiflächenanlagen. Hg. v. Bundesnetzagentur (BNetzA). Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Ausschreibungen/Solaranlagen/BeendeteAusschreibungen/Ausschreibung en2015\\_2016/Ausschreibungen2015\\_16\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Solaranlagen/BeendeteAusschreibungen/Ausschreibung en2015_2016/Ausschreibungen2015_16_node.html), zuletzt geprüft am 24.07.2018.

BNetzA (2018b): Kraftwerksliste. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html).

EEX (2018): European Emission Allowances Futures. Online verfügbar unter <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/derivatives-market/european-emission-allowances-futures>, zuletzt geprüft am 18.07.2018.

ENTSO-E (2017): TYNDP 2018. Online verfügbar unter <http://tyndp.entsoe.eu/tyndp2018/>.

Fraunhofer IWES (2017): Analyse eines europäischen -95 % -Klimaszenarios über mehrere Wetterjahre. Teilbericht. Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Kassel.

Härtel, P.; Korpås, M. (2017): Aggregation Methods for Modelling Hydropower and Its Implications for a Highly Decarbonised Energy System in Europe. In: *Energies* 10 (11), S. 1841. DOI: 10.3390/en10111841.

IEA (2017): World Energy Outlook 2017. International Energy Agency.

IPCC (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hg. v. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016. Hg. v. Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer.

Koalitionsvertrag (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa Eine neue Dynamik für Deutschland Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 19. Legislaturperiode.

Öko-Institut e. V. (2018): Dem Ziel verpflichtet. CO<sub>2</sub>-Mindestpreise im Instrumentenmix einer Kohle-Ausstiegsstrategie für Deutschland. Hg. v. WWF Deutschland.

Öko-Institut e. V.; Fraunhofer ISI (2018): Politiksznarien für den Klimaschutz VII. Treibhausgas-Emissionssznarien bis zum Jahr 2035. Hg. v. Umweltbundesamt.

r2b energy consulting GmbH (2017): Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG-geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2018 bis 2022.

## 6 Anhang

Kraftwerksbezeichnung	Baujahr	Nettoleistung [MW]
Schwarze Pumpe A	1997	750
Schwarze Pumpe B	1998	750
Niederaußem G	1974	628
Lippendorf R	2000	875
Boxberg Q	2000	857
Weisweiler G	1974	663
Neurath D	1975	607
Jänschwalde A	1981	465
Schkopau A	1996	450
<b>Zwischensumme</b>		<b>6045</b>
Lippendorf S*	1999	875
Schkopau B*	1996	450
<b>Summe</b>		<b>7370</b>

\* Zusätzliche Drosselungen im Szenario mit Sonderausschreibungen

**Tabelle 6-1: Drosselung der Braunkohlekraftwerke 2020**

Auf 6000 Volllaststunden gedrosselte Braunkohlekraftwerksleistung in den Szenariorechnungen 2020