

# REDUKTION VON CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN IN DEUTSCHLAND DURCH ABSCHALTUNG VON KOHLEKRAFTWERKEN



Berlin, 29. September 2015

im Auftrag von Greenpeace e. V.

Alexander Fernahl, Marie-Louise Heddrich, Thorsten Lenck

## INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung und Ziele der Studie .....	1
2.	Beschreibung der Szenarioannahmen .....	4
2.1.	Annahmen zur Abschaltung von Braunkohlekraftwerken .....	4
2.2.	Szenariodefinition .....	4
3.	Veränderung der deutschen Emissionen.....	6
4.	Veränderung der deutschen Strompreise .....	8
5.	Fazit.....	10
6.	Anhang .....	11
6.1.	Aufbau des Fundamentalmodells Power2Sim .....	11
6.2.	Datenquellen.....	12
	Quellenverzeichnis.....	16
	Kurzportrait Energy Brainpool .....	17

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: CO <sub>2</sub> -Emissionsrückgang im Zeitraum 1990 bis 2012 sowie Planung bis 2020 .....	2
Abbildung 2: Stromerzeugung nach Technologie in 2020 .....	8
Abbildung 3: Funktionsschema Power2Sim .....	12
Abbildung 4: Zusammensetzung des deutschen Kraftwerksparks und Nachfrageentwicklung .....	14
Abbildung 5: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland .....	15

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Braunkohlekraftwerke in der aktuell vom BMWi geplanten Kapazitätsreserve .....	5
Tabelle 2: Zusätzlich abzuschaltende Braunkohlekraftwerke zur Erreichung des Klimaschutzziels .....	7

## 1. EINLEITUNG UND ZIELE DER STUDIE

---

Um die Klimaschutzziele Deutschlands für das Jahr 2020 zu erreichen, ist ein Rückgang des Ausstoßes von klimaschädlichen Gasen, insbesondere CO<sub>2</sub>, notwendig. Die Bundesregierung hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2020 um 40 Prozent gegenüber 1990 zu senken. Hierfür sind bereits zahlreiche Maßnahmen durchgeführt oder beschlossen worden. Im Dezember 2014 hat die Bundesregierung das „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ aufgestellt. Die darin vorgesehenen zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen sollen eine drohende Verfehlung der Zielerreichung verhindern. Auch in der Energiewirtschaft, die für rund zwei Fünftel der deutschen Emissionen verantwortlich ist, soll ein Rückgang der Emissionen erwirkt werden.<sup>1</sup> Aktuell wird jedoch durch die Maßnahmen der Bundesregierung im Stromsektor ein Emissionsrückgang von nur 34,4 Prozent erreicht. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) beziffert die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Stromerzeugung im Jahre 1990 auf rund 455 Millionen Tonnen (Mt CO<sub>2</sub>).<sup>2</sup> Zu Beginn des Erarbeitungsprozesses des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020 hat das federführende BMUB für die Energiewirtschaft ein Emissionsniveau im Jahr 2020 in Höhe von 241 bis 266 Mt CO<sub>2</sub> vorgeschlagen.<sup>3</sup> Dieses vorgeschlagene Emissionsniveau entspricht einer angestrebten CO<sub>2</sub>-Reduktion von 41,5 bis 47,0 Prozent. Das BMUB ging bei der Erarbeitung des Aktionsprogramms folglich davon aus, dass der Stromsektor eine über das 40-Prozent-Ziel hinausgehende Emissionsreduktion nachvollziehen sollte. Auch nach Auffassung von Greenpeace e. V., dem Auftraggeber dieser Studie, sollte der Stromsektor überdurchschnittlich zur Erreichung der Klimaziele beitragen, mindestens aber die durchschnittliche Emissionsreduktion nachvollziehen. Überträgt man daher das Reduktionsziels von 40 Prozent, das ursprünglich sektorenübergreifend definiert wurde, auf den Stromsektor, ist demnach ein Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 455 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 1990 auf rund 273 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2020 notwendig.

In der zuletzt geführten Diskussion um den sogenannten „Klimabeitrag“ geht das Bundeswirtschaftsministerium davon aus, die derzeit prognostizierten Emissionen im Kraftwerkspark im Umfang von 312 Mt CO<sub>2</sub> in 2020<sup>4</sup> durch die Einsparung zusätzlicher 22 Mt CO<sub>2</sub> im Vergleich zu

---

<sup>1</sup> BMWi (2014), Abb. 2.

„...rund zwei Fünftel der deutschen Emissionen...“ – basierend auf Werten des Jahres 2012.

<sup>2</sup> BMUB (2014a), Tabelle 3-10.

<sup>3</sup> BMBU (2014b), S. 19.

<sup>4</sup> BMUB (2014a), Tabelle 3-10.

den bisherigen Regelungen und Maßnahmen auf 290 Mt CO<sub>2</sub> senken zu können.<sup>5</sup> Bezogen auf das Jahr 1990 strebt das BMWi somit eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 36,3 Prozent statt 40 Prozent an. Zur Senkung des derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionsniveaus im Stromsektor von 312 Mt CO<sub>2</sub> in 2020 sieht das BMWi eine Braunkohlekapazitätsreserve<sup>6</sup> im Umfang von 11 Mt CO<sub>2</sub> sowie eine modifizierte KWK-Förderung im Umfang von 4 Mt CO<sub>2</sub> vor. Zudem soll der Braunkohlesektor zusätzliche 1,5 Mt CO<sub>2</sub> einsparen, wobei dieses Ziel derzeit nicht mit Maßnahmen unterlegt ist. Weiterhin sieht das BMWi Maßnahmen im Umfang von 5,5 Mt CO<sub>2</sub> vor, die nicht dem Stromsektor zuzuordnen sind<sup>7</sup>.

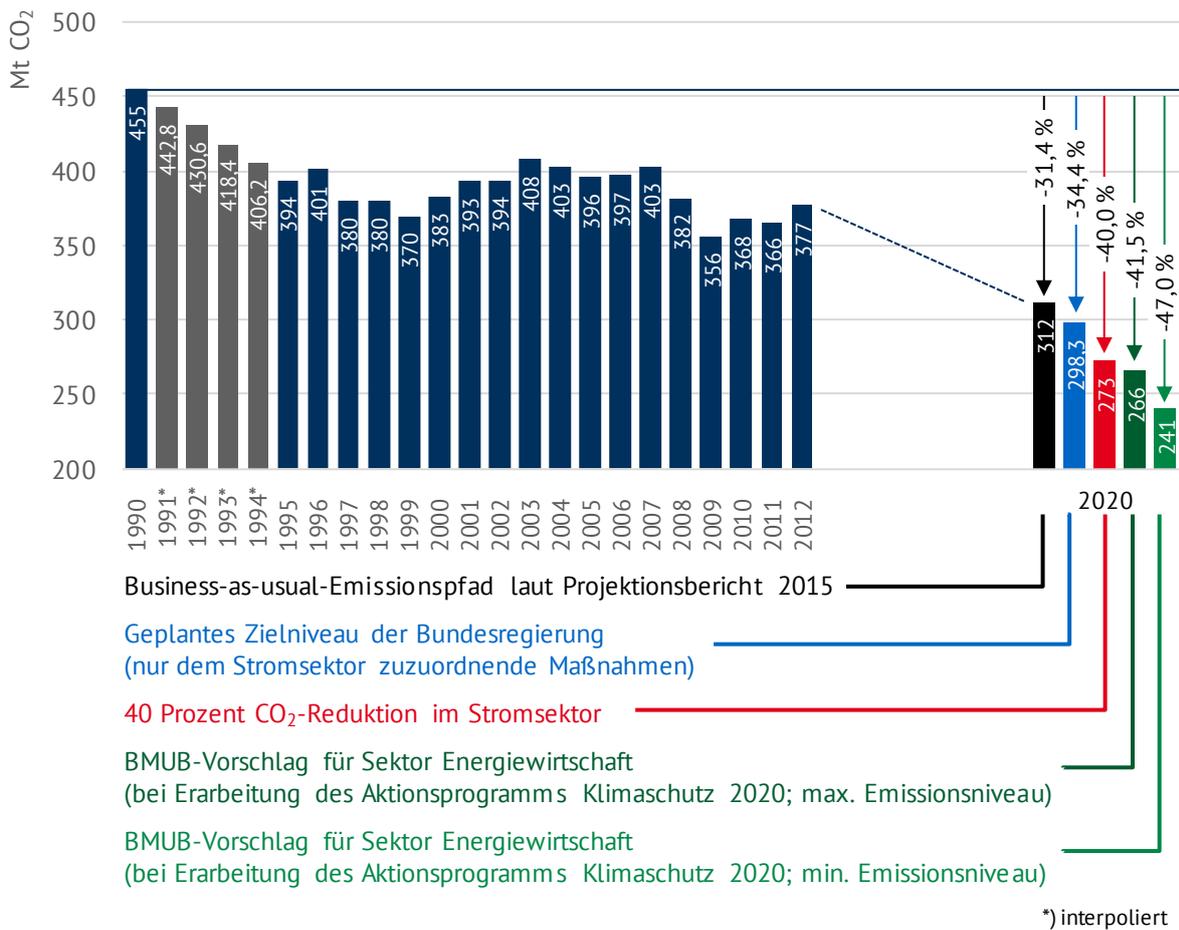


Abbildung 1: CO<sub>2</sub>-Emissionsrückgang im Zeitraum 1990 bis 2012 sowie Planung bis 2020<sup>8</sup>

<sup>5</sup> BMWi (2015a), Seite 8.

<sup>6</sup> Die in der Diskussion befindliche Maßnahme der Bundesregierung im Kraftwerkssektor zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit umfasst die Bildung einer Kraftwerkskapazitätsreserve, in welcher u. a. emissionsintensive Braunkohlekraftwerke zusammengefasst werden, die aus dem Markt genommen, jedoch weiterhin für eine begrenzte Zeit als Reserve zur Verfügung stehen sollen, bevor sie endgültig stillgelegt werden.

<sup>7</sup> Dazu gehören Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich, in den Kommunen, in der Industrie sowie bei der DB AG.

<sup>8</sup> Agora Energiewende (2015), Abbildung 22; BMUB (2014a), Tabelle 3-10; eigene Berechnungen.

Die dem Stromsektor zuzuschreibenden Maßnahmen sind folglich die Braunkohlekapazitätsreserve mit einer Emissionsminderung von 11 Mt CO<sub>2</sub>, wovon nach Berechnungen des Energiemarktmodells Power2Sim (siehe Kapitel 2.2) 9,7 Mt CO<sub>2</sub> erreicht werden, sowie eine modifizierte KWK-Förderung mit einer Emissionsminderung von 4 Mt CO<sub>2</sub>.

Im Ergebnis führen diese Maßnahmen zu einem Emissionsniveau im Stromsektor von 298,3 Mt CO<sub>2</sub>. Die faktische CO<sub>2</sub>-Reduktion im Stromsektor beträgt demgemäß 34,4 Prozent statt 40 Prozent. Um eine 40-prozentige CO<sub>2</sub>-Reduktion im Stromsektor auf 273 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2020 zu erreichen, verbleibt somit eine Lücke von zusätzlichen 25,3 Mt CO<sub>2</sub>. Die unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Emissionspfade bis 2020 können anhand Abbildung 1 nachvollzogen werden.

Anknüpfend an den Vorschlag, durch die Abschaltung von emissionsintensiven Kraftwerken Emissionen zu verringern, schlägt Greenpeace e. V. vor, weitere Braunkohlekraftwerke aus dem Markt zu nehmen, um somit auch im Stromsektor einen Rückgang der Emissionen um 40 Prozent (auf 273 Mt CO<sub>2</sub>) zu erreichen.

Ziel vorliegender Studie ist in diesem Zusammenhang zu ermitteln, wie viele Braunkohlekraftwerke mit welcher Kapazität ihren Betrieb einstellen müssen, um die Differenz aus den aktuellen Emissionsreduktionsplänen im Stromsektor und der durchschnittlichen deutschlandweiten Emissionsminderung von 40 Prozent, d. h. 25,3 Mt CO<sub>2</sub>, auszugleichen. Zudem wird die Auswirkung dieses Vorgehens auf den Strompreis untersucht. Vorhergehende Studien haben gezeigt, dass die schrittweise Verringerung von Kohlekraftwerkskapazität die Versorgungssicherheit (im Sinne der Deckung der Stromnachfrage) auch nach Vollendung des Atomausstiegs im Jahre 2023 nicht gefährdet.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Energy Brainpool (2015).

## 2. BESCHREIBUNG DER SZENARIOANNAHMEN

---

### 2.1. ANNAHMEN ZUR ABSCHALTUNG VON BRAUNKOHLEKRAFTWERKEN

Durch Schaffung einer Kapazitätsreserve, wie sie das Bundeswirtschaftsministerium derzeit plant<sup>10</sup>, wird der in Deutschland durch diese Maßnahme beabsichtigte CO<sub>2</sub>-Emissionsrückgang von 11 Mt im Jahre 2020 nach Berechnungen des Energiemarktmodells Power2Sim nicht erreicht: Die Emissionen werden um 9,7 Mt CO<sub>2</sub> verringert. Somit ergibt sich eine Zielverfehlung um 1,3 Mt CO<sub>2</sub>, welche ebenfalls durch Maßnahmen gedeckt werden müssen.

Um einen Rückgang der in Kapitel 1 beschriebenen zusätzlich insgesamt 25,3 Mt CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen, sind folglich neben den geplanten Maßnahmen weitere notwendig. Eine mögliche Maßnahme, die Stilllegung von Braunkohlekraftwerken, wird im weiteren Verlauf untersucht.

Die Auswahl der abzuschaltenden Kraftwerkstechnologie und konkreten Kraftwerke erfolgt anhand der Auswahlkriterien von Greenpeace e. V. Im Power2Sim werden schrittweise Braunkohlekraftwerke aus dem Modell genommen, bis eine Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen von weiteren 25,3 Mt erreicht ist.

### 2.2. SZENARIODEFINITION

Um die beschriebene Untersuchung durchzuführen werden im Power2Sim zwei Szenarien modelliert und miteinander verglichen.

**Szenario „Status quo“** basiert auf dem Energy Brainpool Standardszenario und stellt die Ausgangsbasis der Betrachtung dar. Hier wird davon ausgegangen, dass die Bundesregierung durch Schaffen einer Kapazitätsreserve, welche aus rund 2,6 GW Braunkohlekraftwerken gebildet wird, bereits eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion von 9,7 Mt erreicht. Durch die in Deutschland zur Deckung der Nachfrage bis 2020 ausreichend vorhandenen Kraftwerkskapazitäten, kommt die Kapazitätsreserve in den Modellrechnungen bis 2020 nicht zum Einsatz. Somit werden die kompletten Emissionen der Kraftwerke in der Reserve eingespart. Etwaige Netzengpässe werden dabei vereinfachend nicht betrachtet.

In Tabelle 1 sind die Kraftwerke, die in der Kapazitätsreserve zusammengefasst werden, aufgelistet. Diese basieren auf Angaben der Tageszeitung RP-Online.

---

<sup>10</sup> BMWi (2015b), Seite 7.

KRAFTWERKSNAME	BETREIBER	NETTOERZEUGUNGS- LEISTUNG IN MW	INBETRIEBNAHME
Goldenberg E	RWE Power	66,0	1992
Goldenberg F	RWE Power	85,0	1993
Frimmersdorf P	RWE Power	284,0	1966
Frimmersdorf Q	RWE Power	278,0	1970
KW Jänschwalde A	Vattenfall Europe	465,0	1981
KW Jänschwalde B	Vattenfall Europe	465,0	1982
Buschhaus D	E.ON Kraftwerke	352,0	1985
Niederaußem C	RWE Power	294,0	1965
Weisweiler E	RWE Power	312,0	1965
<b>Summe</b>		<b>2.601,0</b>	

Tabelle 1: Braunkohlekraftwerke in der aktuell vom BMWi geplanten Kapazitätsreserve<sup>11</sup>

Dabei gilt es anzumerken, dass das Kraftwerk Goldenberg bereits auf der Liste der Kraftwerksrückbauten der Bundesnetzagentur für das Jahr 2015 vermerkt ist.<sup>12</sup> Der Block Goldenberg E führt zudem aktuell den Status „vorläufig stillgelegt“. Somit tragen die eingesparten Emissionen dieses Kraftwerks faktisch nicht zu einer zusätzlichen Emissionsminderung bei, da das Kraftwerk in beiden Szenarien im Jahr 2015 den Markt verlässt. Die für die Emissionseinsparung relevante Kapazitätsreserve beläuft sich damit auf rund 2,45 GW.

Das **Szenario „CO<sub>2</sub>-Ziel“** basiert auf dem Szenario „Status quo“, bei dem davon ausgegangen wird, dass bereits eine wie oben beschriebene Kapazitätsreserve existiert. Zusätzlich wird untersucht, welche Kraftwerke für eine weitere Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25,3 Mt außer Betrieb genommen werden müssen. Da diese Kraftwerke im Modell endgültig aus dem Markt ausscheiden, werden jeweils die kompletten, im Vergleichsszenario von diesen Kraftwerken erzeugten Emissionen eingespart. Für die Emissionsberechnung werden zudem die Wechselwirkungen auf die am Markt verbleibenden, konventionellen Kraftwerke berücksichtigt, die nun teilweise die Möglichkeit haben, mehr Strom als zuvor einzuspeisen.

<sup>11</sup> RP-Online (2015); BNetzA (2015).

<sup>12</sup> BNetzA (2015).

### 3. VERÄNDERUNG DER DEUTSCHEN EMISSIONEN

---

Durch das Verschieben von rund 2,6 GW Braunkohlekapazitäten in die Kapazitätsreserve werden im Szenario „Status quo“ 9,7 Mt CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu einem Markt ohne Kapazitätsreserve vermieden. Da in Deutschland aktuell ausreichend Kraftwerkskapazitäten vorhanden sind und der europäische Verbund als weitere Strombezugsquelle zur Verfügung steht, kommen die Reservekraftwerke im Untersuchungsjahr 2020 in der Modellrechnung nicht zum Einsatz. Aus diesem Grund werden die kompletten Emissionen der Kraftwerke vermieden.

Unter Beachtung von vorhergehenden Untersuchungen Energy Brainpools<sup>13</sup> besteht darüber hinaus die Möglichkeit, weitere Kraftwerke aus dem Markt zu nehmen, ohne die deutsche Versorgungssicherheit im Sinne der Deckung der deutschlandweiten Stromnachfrage zu gefährden und auch ohne die Reserve einsetzen zu müssen. Das Szenario „CO<sub>2</sub>-Ziel“ setzt an diesem Hebel an, um weitere 25,3 Mt CO<sub>2</sub>-Emissionen im Stromsektor einzusparen, sodass der Stromsektor mit gleichem Anteil zur Erreichung des 40-Prozent-Ziels beiträgt. Im Zuge der Modellierung werden deshalb solange Kraftwerke aus dem Markt genommen, bis die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum Szenario „Status quo“ um 25,3 Mt gesunken sind. Die Auswahl der Kraftwerke sowie die Abschaltungsreihenfolge basiert dabei auf den Vorgaben von Greenpeace e.V.

In Tabelle 2 sind die Kraftwerke mit ihrer installierten Leistung sowie Inbetriebnahmejahren aufgeführt, die für eine weitere Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen herangezogen werden.

---

<sup>13</sup> Vgl. Energy Brainpool (2015).

KRAFTWERKSNAME	BETREIBER	NETTOERZEUGUNGS- LEISTUNG IN MW	INBETRIEBNAHME
Deuben	MIBRAG	67,0	1936
Frechen/Wachtberg	RWE Power	118,0	1959
HKW Sachtleben	Sachtleben Chemie	27,5	1962
KW Jänschwalde C	Vattenfall Europe	465,0	1984
KW Jänschwalde D	Vattenfall Europe	465,0	1985
Kraftwerk Dessau	Kraftwerk Dessau	27,0	1996
Niederaußem D	RWE Power	297,0	1968
Niederaußem E	RWE Power	295,0	1970
Niederaußem F	RWE Power	299,0	1971
Boxberg N	Vattenfall Europe	465,0	1979
Boxberg P	Vattenfall Europe	465,0	1980
Klingenberg	Vattenfall Europe	164,0	1981
Weisweiler F	RWE Power	304,0	1967
KW Jänschwalde E	Vattenfall Europe	465,0	1987
KW Jänschwalde F	Vattenfall Europe	465,0	1989
Neurath A	RWE Power	277,0	1972
Neurath B	RWE Power	288,0	1972
Neurath C	RWE Power	292,0	1973
Niederaußem G	RWE Power	653,0	1974
<b>Summe</b>		<b>5.898,5</b>	

Tabelle 2: Zusätzlich abzuschaltende Braunkohlekraftwerke zur Erreichung des Klimaschutzziels<sup>14</sup>

Unter Beachtung der Reihenfolge, in der die Kraftwerke aus dem Markt gehen, übersteigt der Emissionsrückgang das Ziel von 25,3 Mt. Werden alle Kraftwerke in Tabelle 2 mit einer Gesamtkapazität von rund 5,9 GW abgeschaltet, so gehen die Emissionen im Jahre 2020 um 26,8 Mt zurück. Wird jedoch unter Beachtung der Reihenfolge das Kraftwerk am Tabellenende (d. h. Niederaußem G) nicht vorzeitig aus dem Markt genommen, so beläuft sich die Emissionseinsparung auf weniger als die vorgesehenen 25,3 Mt. In dieser Konstellation würden 5,2 GW Braunkohlekraftwerkskapazitäten vorzeitig abgeschaltet und damit 23,7 Mt CO<sub>2</sub> weniger emittiert werden als im Szenario „Status quo“.

<sup>14</sup> BNetzA (2015).

#### 4. VERÄNDERUNG DER DEUTSCHEN STROMPREISE

Durch die zusätzliche Abschaltung der in Kapitel 3 in Tabelle 2 benannten Kraftwerke mit einer Nettoerzeugungsleistung von rund 5,9 GW ergibt sich eine Veränderung in der deutschen Stromerzeugungsstruktur, wie Abbildung 2 entnommen werden kann. Insgesamt wird in Deutschland im Szenario „CO<sub>2</sub>-Ziel“ weniger Strom erzeugt, als im Szenario „Status quo“. Dies bedeutet, dass Deutschland zur Deckung der Nachfrage einerseits in einigen Stunden mehr Strom aus dem Ausland importiert, andererseits dass die deutschen Exporte leicht sinken. Grund hierfür ist, dass Braunkohle im europäischen Strommarkt eine vergleichsweise günstige Stromerzeugungstechnologie darstellt. Wird in Deutschland weniger Strom zu geringen Kosten produziert, ergibt sich durch die Einbettung in den europäischen Kontext die eben beschriebene Verschiebung. Strom im Ausland ist in einigen zusätzlichen Stunden günstiger als im Inland und wird von dort beschafft. Deutsche Exporte werden in einigen Stunden durch die jeweilige landeseigene Produktion ersetzt oder aus anderen Ländern importiert.

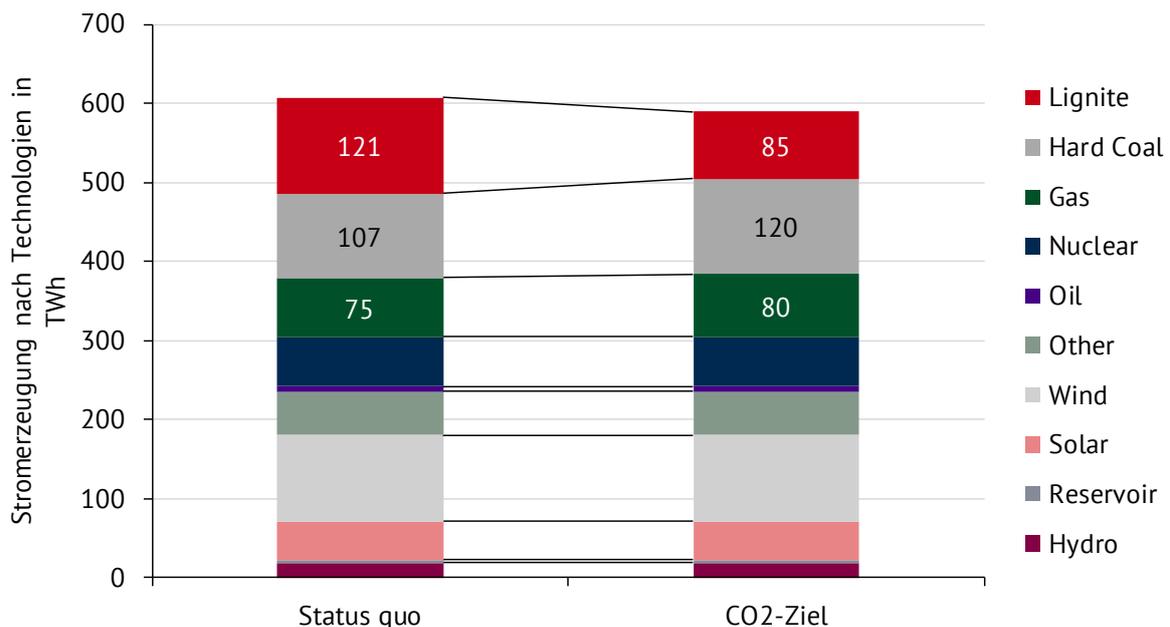


Abbildung 2: Stromerzeugung nach Technologie in 2020

Gleichzeitig ist auch auf dem deutschen Markt eine Verschiebung in den Erzeugungsmengen sichtbar: ein Teil der Braunkohlestromerzeugung wird von Steinkohle- und Gaskraftwerken übernommen. Die Erzeugungsmengen der übrigen Technologien verändern sich nicht bzw. nur marginal.

Die Änderung der Stromerzeugungsstruktur wirkt sich auf den Großhandelspreis preissteigernd aus. Zwischen den Szenarien „Status quo“ und „CO<sub>2</sub>-Ziel“ ergibt sich eine Steigerung von 2,8 €/MWh oder 0,28 ct/kWh im Jahresbase im Jahre 2020.

## 5. FAZIT

---

Um das auf den Stromsektor übertragene Klimaschutzziel einer CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung in Deutschland um 40 Prozent im Jahre 2020 gegenüber 1990 zu erreichen, ist es notwendig die Emissionen weiter als bisher durch die Regierung vorgesehen zu reduzieren. Die Summe der aktuell geplanten Maßnahmen führt zu einem Rückgang der Emissionen um 34,4 Prozent und verfehlt damit das 40-Prozent-Ziel. In absoluten Zahlen entspricht dies einer Lücke von 25,3 Mt CO<sub>2</sub>, welche zur Zielerreichung weiterhin durch entsprechende Maßnahmen vermieden werden müssen.

In vorliegender Studie wurde in diesem Zusammenhang untersucht, wie viele Braunkohlekraftwerke in Deutschland aus dem Strommarkt genommen werden müssen, um eine CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung um 25,3 Mt zusätzlich zu den derzeitigen Planungen zu erzielen.

Nach Maßgabe einer Abschaltreihenfolge von Braunkohlekraftwerken, bereitgestellt durch Greenpeace e.V., wurde im Energiemarktmodell Power2Sim berechnet, dass die Stilllegung von rund 5,9 GW Kraftwerksleistung einen CO<sub>2</sub>-Emissionsrückgang von 26,8 Mt in 2020 zur Folge hat. Dabei gilt es zu beachten, dass die Wirkungsgrade und damit die Emissionswerte jedes Kraftwerks unterschiedlich ausfallen können, sodass diese Werte nur für die betrachteten Kraftwerke Gültigkeit besitzen.

Durch die Abschaltung von günstig produzierenden Braunkohlekraftwerkskapazitäten verändert sich die Erzeugungs- sowie Im- und Exportstruktur Deutschlands. Insgesamt geht die Produktion des deutschen Kraftwerksparks durch die Verringerung der Erzeugungskapazität zurück. Gleichzeitig wird weniger Strom ins Ausland exportiert. Die übrigen konventionellen Kraftwerke erhöhen jedoch ihre Erzeugungsmengen und profitieren damit von einem Rückbau der Braunkohlekraftwerke. Die Änderungen in der Zusammensetzung der Stromerzeugungsmengen haben zudem einen Effekt auf die Großhandelsstrompreise in Deutschland. Diese steigen durch die Abschaltung der Braunkohlekraftwerke um rund 2,8 €/MWh im Jahresdurchschnitt 2020 an.

## 6. ANHANG

---

### 6.1. AUFBAU DES FUNDAMENTALMODELLS POWER2SIM

Für die Berechnung der Szenarien wird das Strommarktmodell Power2Sim eingesetzt. Power2Sim ist eine von Energy Brainpool entwickelte Fundamentalsoftware zur Modellierung von Strompreisentwicklungen. Die Basis bildet eine simulierte Merit-Order-Kurve, anhand derer die Großhandelsstrompreise für die einzelnen europäischen Länder stundenscharf berechnet werden. Im Schnittpunkt von Angebots- und Nachfragekurve ergibt sich der Strompreis. Das am teuersten produzierende Kraftwerk, welches zur Deckung der Nachfrage noch benötigt wird, bestimmt somit den Marktpreis.

Die kurzfristigen Grenzkosten der Stromproduktion von Erzeugungsanlagen, die verfügbare Erzeugungskapazität sowie die Nachfrage sind damit die Haupteinflussfaktoren auf die Strompreise. Im Power2Sim wird dabei nach konventionellen und erneuerbaren Erzeugungsanlagen unterschieden. Bevor die verschiedenen konventionellen Kraftwerke anhand ihrer kurzfristigen Grenzkosten als Merit-Order in die Berechnung eingehen, wird die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien berücksichtigt. Der aus erneuerbaren Energien erzeugte Strom wird von der Gesamtnachfrage abgezogen, die verbleibende Strommenge (Residuallast) muss folglich von konventionellen Kraftwerken produziert werden. Erneuerbare Energien werden im Modell je nach Technologie unterschiedlich berücksichtigt. Grundlage sind dabei stets historische Erzeugungsdaten, um die vorhandene Erzeugungssystematik möglichst genau abzubilden. Der gesamte konventionelle Kraftwerkspark ist im Power2Sim inklusive der jeweiligen Spezifika, d. h. Brennstoff, Effizienz, Verfügbarkeit etc., aus denen ein Merit-Order-Gebotspreis abgeleitet wird, hinterlegt.

Im Lastmodell wird auf Basis von Typtagprofilen, einem Ferien- und Feiertagskalender sowie dem Szenariotrend die Stromnachfrage für jedes einzelne Land stundenscharf für die Zukunft modelliert.

Das Im- und Exportmodell ersetzt feste Zeitreihen des Stromaustauschs und lässt die grenzüberschreitenden Stromflüsse iterativ berechnen. Durch Einbeziehung grenzüberschreitender Lastflüsse in das System können die Strompreise im zusammenhängenden europäischen Stromübertragungsnetz so wesentlich genauer ermittelt werden. Immer beginnend mit der größten Preisdifferenz zwischen zwei Nachbarstaaten wird eine vorher festgelegte Transfermenge in Megawatt pro Stunde ausgetauscht. Dies führt zu einer Preisangleichung zwischen den beiden Ländern, hieraus ergeben sich neue Preisdifferenzen zwischen den Ländern und es wird wieder bei der

höchsten Differenz Strom ausgetauscht. Dieser Prozess wird so lange durchgeführt, bis sich alle Preise angeglichen haben oder die Grenzkuppelkapazitäten ausgeschöpft sind.

Die Strompreisbildung auf dem europäischen Energiemarkt wird folglich von zahlreichen Faktoren beeinflusst, welche bei der Entwicklung von Strompreisszenarien zu berücksichtigen sind. Diese Faktoren werden im Power2Sim anhand der bereits erwähnten Untermodelle eingebracht. Abbildung 3 zeigt den Aufbau des Power2Sim und das Zusammenwirken zwischen den verschiedenen Untermodellen.

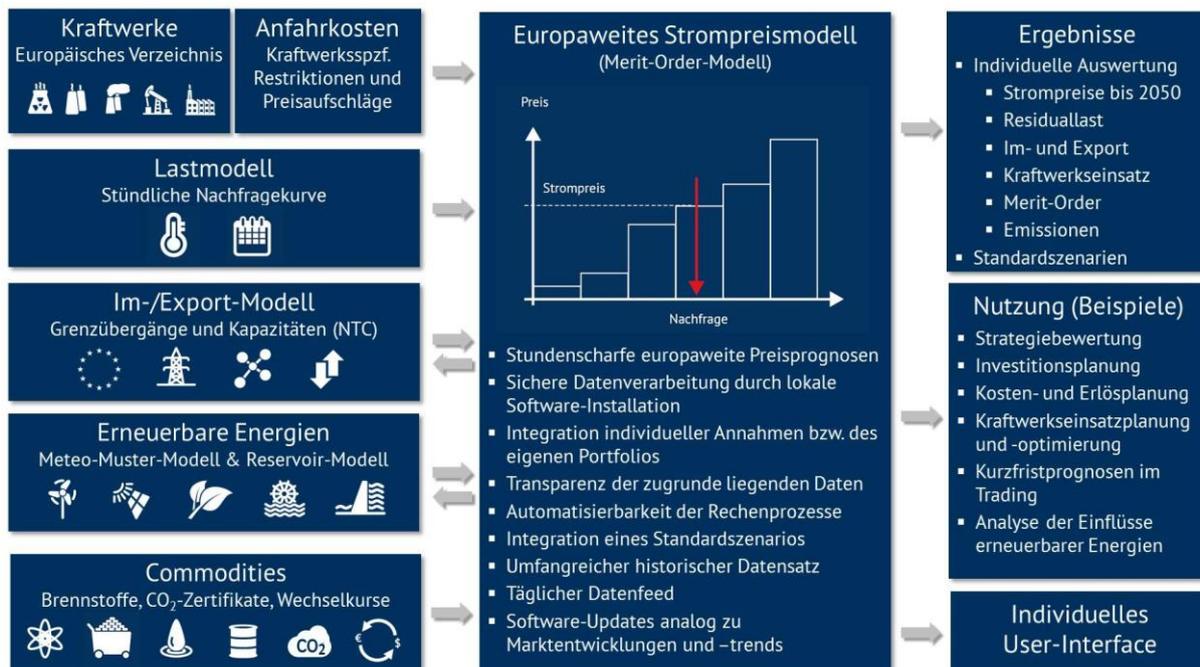


Abbildung 3: Funktionsschema Power2Sim

Die grundlegende historische Datenbasis ergibt sich aus öffentlich verfügbaren Quellen, wie z. B. Eurostat und ENTSO-E. Anhand der historischen Strompreise, Erzeugungs- und Stromausstauschmengen sowie Emissionen wird das Modell kalibriert.

## 6.2. DATENQUELLEN

Das Energy Brainpool Standard-Szenario, welches – ergänzt durch die Annahmen zur Kapazitätsreserve – den Ausgangspunkt der Untersuchungen bildet, wurde auf Basis zweier Studien erstellt:

- World Energy Outlook von 2014<sup>15</sup> und

<sup>15</sup> <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2014/>

- EU energy, transport and GHG emissions – trends to 2050<sup>16</sup>  
(im Folgenden „EU Energy Trends“)

Der World Energy Outlook (WEO) ist eine jährlich erscheinende Trendprognose bis 2040 für den Weltenergiemarkt, publiziert von der Internationalen Energieagentur (IEA). Die verschiedenen Szenarien ermöglichen die Analyse zukünftiger Trends bei unterschiedlichen Preisentwicklungen der untersuchten Energieträger. Für die vorliegende Untersuchung werden die Entwicklungstrends des „New-Policies“-Szenarios verwendet, welches im WEO als Basisszenario eingesetzt wird. Es geht von einer Umsetzung der bisher veröffentlichten nationalen Pläne und Realisierung der (Selbst-) Verpflichtungen der Länder aus. Die Preisentwicklungen für die folgenden Energieträger wurden für die Erstellung des Standard-Szenarios dem WEO entnommen:

- Erdgas
- Steinkohle
- Rohöl
- CO<sub>2</sub>-Zertifikate des EU ETS

Die Studie „EU Energy Trends“ wurde im Auftrag der Europäischen Kommission erstellt und präsentiert einen konsistenten Datensatz über die energiespezifische Entwicklung der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Jedes Land der EU 28 hat im „Reference Scenario“, das dem Energy Brainpool-Standardszenario zugrunde liegt, einen auf das Land und auf die Europäische Union abgestimmten Trendpfad bis 2050 unter Berücksichtigung der spezifischen Ausgangsbedingungen und nationalen Pläne. Das Ergebnis ist ein konsistentes Szenario, welches einen Entwicklungspfad für alle diese Länder aufzeigt.

Die Trends beinhalten:

- Installierte Kapazitäten für Kern-, Kohle-, Erdgas-, Öl- sowie Wind- und Solarkraftwerke
- Stromnachfrage, Netzverluste und Eigenverbräuche
- Stromerzeugung aus fossilen und erneuerbaren Energiequellen
- Emissionen der nicht stromerzeugenden Sektoren

Da für die Modellierung von Strompreisen die Entwicklung der Im- und Exportsituation des betrachteten Landes von entscheidender Bedeutung ist, stellt die Situation an den Strommärkten der Nachbarländer einen großen Einflussfaktor auf die inländischen Strompreise dar und muss

---

<sup>16</sup> [http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends\\_2030/doc/trends\\_to\\_2050\\_update\\_2013.pdf](http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/doc/trends_to_2050_update_2013.pdf)

entsprechend berücksichtigt werden. Dies gilt vor allem auch für Deutschland, welches einen regen Stromaustausch mit seinen Nachbarländern pflegt.

Die „EU Energy Trends“ bieten eine Grundlage zur Modellierung des gesamten europäischen Marktes. Vor allem für die den deutschen Markt beeinflussenden Marktgebiete wird diese von Energy Brainpool kontinuierlich aus verschiedenen Quellen sowie nach eigener Markteinschätzung erweitert und ergänzt.

Für Deutschland gibt das „Reference Scenario“ der „EU Energy Trends“ im betrachteten Zeitraum eine leicht rückläufige Stromnachfrage sowie eine rückläufige Erzeugung aus konventionellen Kraftwerkstechnologien vor. Die Veränderung in der konventionellen Kraftwerksparkzusammensetzung ist in Abbildung 4 dargestellt. Zugleich ist die Entwicklung der Stromnachfrage abgetragen.

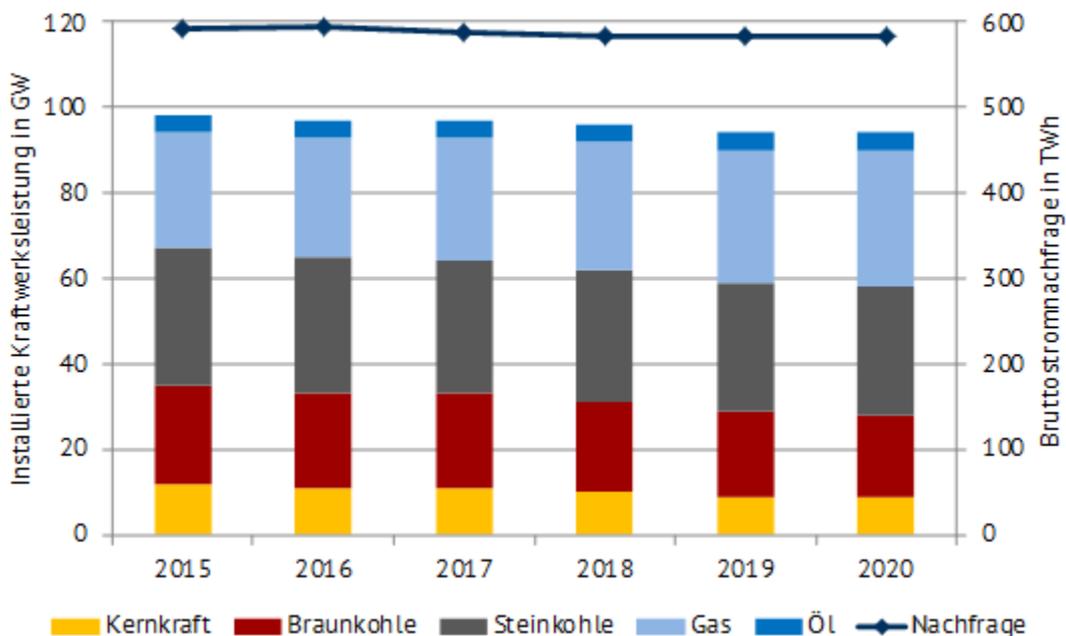


Abbildung 4: Zusammensetzung des deutschen Kraftwerksparks und Nachfrageentwicklung

Der Anteil erneuerbarer Energien im deutschen Strommix steigt in den folgenden Jahren weiter an. Hier sind vor allem Wind- und Solarerzeugung hervorzuheben. Ausgehend von den energiepolitischen Zielen der Bundesregierung und den Vorgaben des EEG 2014 hat Energy Brainpool ein Erneuerbaren-Ausbau-Szenario definiert, das der Berechnung zugrunde liegt. Mit Hilfe von historischen Erzeugungsprofilen werden die erwarteten Jahresmengen auf stündliche Einspeisemengen justiert sodass Erzeugungsschwankungen und deren Effekte auf den Markt abgebildet werden können. In Abbildung 5 kann die Zunahme der erneuerbaren Erzeugung verteilt auf die einzelnen Technologien nachvollzogen werden.

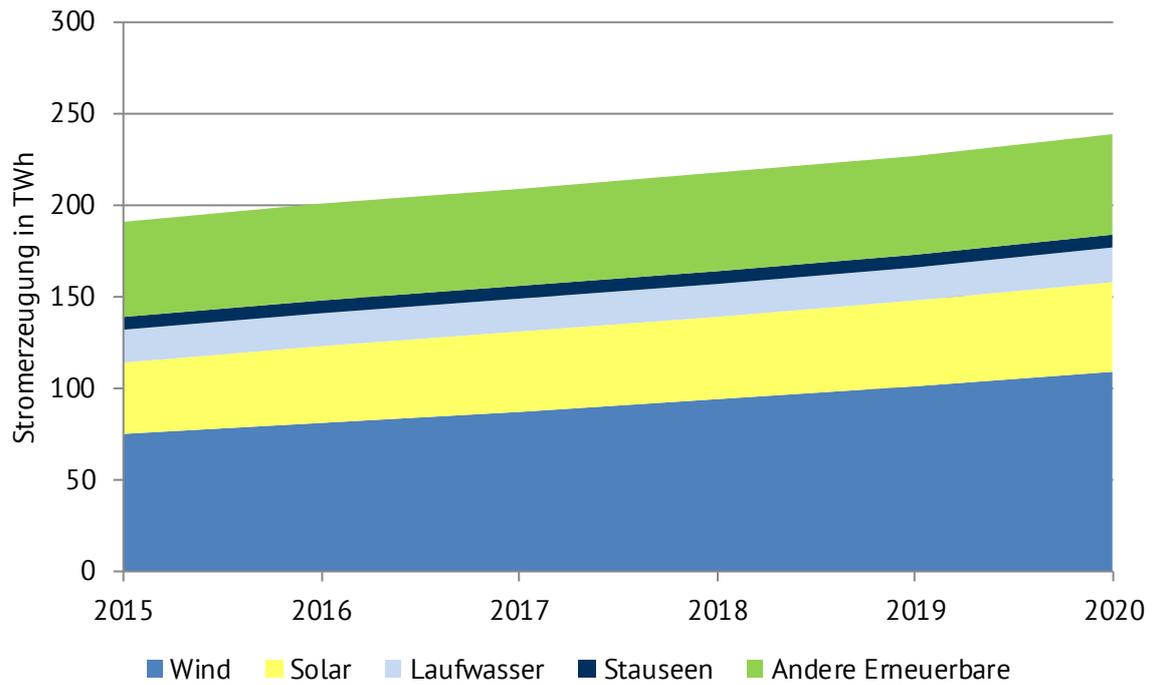


Abbildung 5: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt demnach bis 2020 um weitere rund 50 TWh an.

## QUELLENVERZEICHNIS

---

- Agora Energiewende (2015): Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2014, [http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Analysen/Jahresauswertung\\_2014/Agora\\_Energiewende\\_Jahresauswertung\\_2014\\_web.pdf](http://www.agora-energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Analysen/Jahresauswertung_2014/Agora_Energiewende_Jahresauswertung_2014_web.pdf) [21. August 2015].
- BMWi (2014), Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: Aktionsprogramm Klimaschutz 2020, [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Aktionsprogramm\\_Klimaschutz/aktionsprogramm\\_klimaschutz\\_2020\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Aktionsprogramm_Klimaschutz/aktionsprogramm_klimaschutz_2020_broschuere_bf.pdf) [21. August 2015].
- BMWi (2015a), Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: Der nationale Klimaschutzbeitrag der deutschen Stromerzeugung, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/C-D/der-nationale-klimaschutzbeitrag-der-deutschen-stromerzeugung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [21. August 2015].
- BMWi (2015b), Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: Eckpunkte für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eckpunkte-energiewende,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [21. August 2015]
- BMUB (2014a), Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Projektionsbericht der Bundesregierung 2015, [http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14\\_lcds\\_pams\\_projections/envvqlq8w/150422\\_Projektionsbericht\\_2015\\_final.pdf](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/envvqlq8w/150422_Projektionsbericht_2015_final.pdf) [21. August 2015].
- BMUB (2014b), Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. BMUB-Präsentation für Verbände, [https://enbw-eg.de/netcontrol/wp-content/uploads/2014/10/FjS.Klimaschutzprogramm.EnBW\\_Oktober2014.pdf](https://enbw-eg.de/netcontrol/wp-content/uploads/2014/10/FjS.Klimaschutzprogramm.EnBW_Oktober2014.pdf) [28. August 2015].
- BNetzA (2015), Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen: Kraftwerksliste, [http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html) [21. August 2015]
- Energy Brainpool (2015): Auswirkungen eines partiellen Kohleausstiegs. Studie für Greenpeace e. V., [http://www.energybrainpool.com/fileadmin/download/Studien/2015-05-06\\_Kohleausstieg\\_Greenpeace.pdf](http://www.energybrainpool.com/fileadmin/download/Studien/2015-05-06_Kohleausstieg_Greenpeace.pdf) [21. August 2015]
- RP-Online (2015): Bürger sollen teure Abwrackprämie zahlen, <http://www.rp-online.de/wirtschaft/buerger-sollen-teure-abwrackpraemie-zahlen-aid-1.5199525> [9. September 2015].

## KURZPORTRAIT ENERGY BRAINPOOL

---

Energy Brainpool ist der unabhängige Marktspezialist für die Energiebranche mit Fokus auf den Strom- und Energiehandel in Europa. Unsere Expertise umfasst die **Analyse**, Prognose und Modellierung der Energiemärkte und -preise, wissenschaftliche und praxisnahe Studien, **individuelle Beratungsangebote** sowie **Training** und Experten-Schulungen für die Energiebranche.

Seit mehr als zehn Jahren verbinden wir Wissen und Kompetenz mit Praxiserfahrung im Bereich der regelbaren und fluktuierenden Energien.

### UNSERE PHILOSOPHIE

Neutralität und Verlässlichkeit sowie unser tiefes Verständnis der Energiebranche und Energiemärkte bilden die Grundlage für die Lösung Ihrer Herausforderungen. Als kompetenter Partner vereinen wir Dienstleistungen für alle Themen des Strom- und Energiehandels aus einer Hand.

Unser Ziel ist es, gemeinsam mit Ihnen die Weichen für Ihre Zukunft zu stellen. Unsere Dienstleistungen sind individuell auf Ihre Bedürfnisse abgestimmt und unterstützen Sie bei der

- Effizienzsteigerung durch die Optimierung bestehender und die Erschließung neuer Geschäftsmodelle,
- Planungssicherheit zur Durchführung Ihrer Projekte,
- Erlössteigerung und Reduzierung von Risiken sowie bei
- Eintritt und Positionierung in einem sich wandelnden Marktumfeld.

### INDIVIDUELLE PRODUKTE UND DIENSTLEISTUNGEN

Unsere Vorgehensweise, Modelle und Tools haben sich während unserer langjährigen Tätigkeit am Markt etabliert.

Im Bereich der **Analyse** bieten wir mit unserem fundamentalen Energiemarktmodell Power2Sim langfristige Strompreisprognosen und -szenarien bis 2050. Unsere Spotpreisprognose dient zur Kurzfristprognose des Spotmarkts für die Kraftwerkseinsatzplanung. Stetige Marktbeobachtung sowie wirtschaftliches und politisches Know-how helfen uns, unsere Analysemodelle zu optimieren und dabei stets aktuelle Trends abzubilden.

Als Marktspezialisten liefern wir strategische und operative **Beratung** mit klarem Fokus auf die Energiebranche. Unsere Stärken liegen in Themen der Markttransformation mit steigendem Ausbau der erneuerbaren Energien und der individuellen Entwicklung Ihres optimalen Handels-, Beschaffungs- und Risikomanagements. Mit unserer langjährigen Fach- und Methodenkompetenz

begleiten wir Sie sicher beim Wandel des Energiemarktes. Eine unabhängige Herangehensweise bildet dabei die Grundlage für unser Arbeiten, denn so können wir die für Sie besten Lösungen finden, um sich langfristig am Markt zu etablieren.

Als Experten der Energiebranche geben wir unser Wissen durch **Trainings- und Schulungsangebote** an Sie weiter. Mit individuell abgestimmten Seminaren, Trainings, praxisnahen Planspielen und Veranstaltungen unterstützen wir das Management, Experten, Neu- und Quereinsteiger der Branche.

## IMPRESSUM

Autoren:

Alexander Fernahl

Marie-Louise Heddrich

Thorsten Lenck

Herausgeber:

Energy Brainpool GmbH & Co. KG

Brandenburgische Straße 86/87

10713 Berlin

[www.energybrainpool.com](http://www.energybrainpool.com)

[kontakt@energybrainpool.com](mailto:kontakt@energybrainpool.com) mailto:

Tel.: +49 (30) 76 76 54 - 10

Fax: +49 (30) 76 76 54 - 20

September 2015

© Energy Brainpool GmbH & Co. KG, Berlin

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrokopie oder ein anderes Verfahren), Übersetzung und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte findet eine Haftung ohne Rücksicht auf die Rechtsnatur des Anspruchs nicht statt. Sämtliche Entscheidungen, die auf Grund der bereitgestellten Informationen durch den Leser getroffen werden, fallen in seinen Verantwortungsbereich.