

Analyse zur Einsatzreihenfolge von fossilen Kraftwerken und der CO₂-Emission der Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2016

Einleitung

Zur Zeit muss davon ausgegangen werden, dass Deutschland sein Klimaschutzziel 2020 mit einer Reduktion der Treibhausgasemissionen von 40% [1] gegenüber dem Jahr 1990 nicht erreichen wird. [2] Im Jahr 1990 wurden 1254 Millionen Tonnen CO₂-äquivalente Treibhausgase emittiert. Eine Reduzierung um 40% bedeutet eine Absenkung dieser Emissionen auf 752 Tonnen. In den letzten beiden Jahren sind die Treibhausgasemissionen in Deutschland nicht gesunken und betrugen 2016 noch 906 Millionen Tonnen. [3] Auch im ersten Halbjahr 2017 sind sie gestiegen. [4] Der Ausbau der Erneuerbaren Energien für die Stromerzeugung nach dem „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ hilft bei der Reduzierung der Treibhausgase in den nächsten Jahren nicht. Bis zum Jahr 2020 werden fünf Atomkraftwerke vom Netz genommen und mit dem jetzt gesetzlich vorgegebenen Ausbaupfad für die Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien wird lediglich die mit deren wegfallende Stromerzeugung kompensiert. [5]

Werden Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen zur Stromerzeugung eingesetzt, so entstehen mit dem Einsatz von Braunkohlekraftwerken die höchsten CO₂-Emissionen, gefolgt von geringeren CO₂-Emissionen beim Einsatz von Steinkohle- und Gaskraftwerken. Durch das Merit-Ordersystem [6] an der Strombörse und die Grenzkosten für die Stromerzeugung [7] kommen in der Regel von den Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen zunächst Braunkohle-, dann Steinkohle- und letztlich Gaskraftwerke bei der Stromerzeugung zum Zuge. Würde durch eine regulatorische Maßnahme die Einsatzfolge dieser Kraftwerke umgekehrt, würden sich somit die CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung erheblich verringern.

Ziel dieser Analyse ist es, eine Möglichkeit des massiven Einsparens von CO₂-Emissionen im Hinblick auf das Erreichen des Klimaziels der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2020 aufzuzeigen. Ungeachtet dessen müssen für eine erfolgreiche und möglichst schnelle Energiewende die Erneuerbaren Energien viel schneller ausgebaut werden, als es bisher vorgesehen ist. Ebenso wichtig sind weitere CO₂-Einsparungen durch die schnellere Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen und eine Verkehrswende in Deutschland!

I Die Berechnung der CO₂-Emissionen mit einer veränderten Einsatzreihenfolge von Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen für die Stromerzeugung im Jahr 2016

Mit dem aktuellen Bestand betriebsbereiter Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerke (Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur Stand: 07.11.2017 [8]) werden die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung auf Stundenbasis [9] in Deutschland im Jahr 2016 berechnet. In dieser Berechnung werden prinzipiell zunächst Gaskraftwerke eingesetzt. Reicht deren Leistung nicht mehr aus, werden zusätzlich Steinkohlekraftwerke berücksichtigt. Nur wenn die Kraftwerksleistung dieser beiden fossilen Kraftwerkstypen auch nicht ausreichend für die aktuell benötigte Strommenge ist, werden auch Braunkohlekraftwerke mit eingerechnet.

Die aktuelle Gesamtleistung betriebsbereiter Kraftwerke (Stromerzeugung):	
	[Gigawatt]
Gaskraftwerke:	26,3
Steinkohlekraftwerke:	22,7
Braunkohlekraftwerke:	19,4

Tab. 1: Die aktuelle Gesamtleistung betriebsbereiter Kraftwerke in Deutschland nach der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur vom 07.11.2017

Von der Agora Energiewende wurden die Nettoleistungen der verschiedenen Kraftwerkstypen auf Stundenbasis des Jahres 2016 zur Verfügung gestellt. [9] Die Kraftwerke haben jedoch auch einen Eigenstromverbrauch, der in die Berechnungen einbezogen werden muss. Aus dem Verhältnis der Bruttostromerzeugung 2016 [10] und der mit den Stunden-Nettoleistungen im Jahr 2016 erzeugten Strommengen wurde für die jeweiligen Kraftwerkstypen ein Faktor berechnet. Mit diesem Faktor wurden die Nettoleistungen der Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerke multipliziert. Damit war für jede Stunde die erforderliche Kraftwerksleistung dieser drei Kraftwerkstypen und ihre (Brutto-)Gesamtleistung bekannt. Entsprechend der in der Tabelle 1 dargestellten aktuellen Leistung wurde die in 2016 stündlich erforderliche Leistung in der geänderten Einsatzfolge Gaskraftwerke-Steinkohlekraftwerke-Braunkohlekraftwerke abgebildet. Damit würden sich die erzeugten Strommengen dieser drei Kraftwerkstypen für das Jahr 2016 ändern:

Brutto-Stromerzeugung 2016:		
	real	<i>alternative Einsatzfolge</i>
	[Mrd. kWh]	[Mrd. kWh]
Erdgas:	80,5	229,3
Steinkohle:	111,5	107,5
Braunkohle:	150,0	5,2
Summe:	342,0	342,0

Tab. 2: Die Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 der Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerke real und mit der geänderten Einsatzfolge der Kraftwerke berechnet

Die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen pro Kilowattstunde von Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerken bei der Stromerzeugung lassen sich aus den für das Jahr aus dem Verhältnis der 2016 ermittelten Emissionen [11] und der Bruttostromerzeugung 2016 berechnen:

Bruttostromerzeugung		CO₂-Emissionen 2016	
	2016		
	[Mrd. kWh]	[Mio. t CO ₂]	kg/kWh
Erdgas:	80,5	27,5	0,341
Steinkohle:	111,5	87,2	0,782
Braunkohle:	150,0	152,5	1,017
Summe:	342,0	267,2	

Tab. 3: Die durchschnittlichen CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde erzeugten Stromes der im Jahr 2016 eingesetzten Kraftwerke und ihre Gesamtemission

Beim Einsatz von Gaskraftwerken für die Stromerzeugung entstanden mit 0,341kg pro Kilowattstunden die geringsten CO₂-Emissionen. Insgesamt wurden im Jahr 2016 bei der Stromerzeugung mit Braunkohle-, Steinkohle- und Gaskraftwerken 267,2 Millionen Tonnen CO₂ in Deutschland emittiert.

Mit den ermittelten Emissionen pro Kilowattstunde lassen sich nun die CO₂-Emissionen im Jahr 2016 berechnen, wenn die alternative Einsatzfolge der Kraftwerke gewählt worden wäre:

CO₂-Emissionen im Jahr 2016 bei alternativer Einsatzfolge der Kraftwerke			
	[Mrd. kWh]	[CO ₂ kg/kWh]	[Mio. t CO ₂]
Erdgas:	229,2	0,341	78,2
Steinkohle:	107,5	0,782	83,9
Braunkohle:	5,2	1,017	5,3
Summe:			167,5

Tab. 4: Die CO₂-Emissionen der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 bei einer alternativen Einsatzfolge der Kraftwerke

Wären im Jahr 2016 zunächst der Gaskraftwerkspark, dann die Steinkohlekraftwerke und nur bei weiterem Bedarf auch noch Braunkohlekraftwerke zur Stromerzeugung eingesetzt worden, wären 99,7 Millionen Tonnen CO₂ weniger in die Atmosphäre entwichen.

II Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer alternativen Einsatzfolge der Kraftwerke

Wenn die Kraftwerke in einer alternativen Reihenfolge zur Stromerzeugung eingesetzt werden, erhöhen sich die Stromerzeugungskosten, da die Grenzkosten für Gaskraftwerke höher als die der Steinkohlekraftwerke und diese höher als die der Braunkohlekraftwerke sind. Die Agora Energiewende hat die Grenzkosten beispielhaft für die Stromerzeugung mit einem Gaskraftwerk mit einem Wirkungsgrad von 58% im Jahr 2016 zu 2,76 ct/kWh, die für ein Steinkohlekraftwerk (Wirkungsgrad 35%) zu 2,60 ct/kWh und die eines Braunkohlekraftwerkes (Wirkungsgrad 31%) mit 1,24 ct/kWh angegeben. [12] Diese Werte dienen zur Orientierung für die Abschätzung der durchschnittlichen Grenzkosten für die drei Kraftwerkstypen im Jahr 2016:

Kosten der Bruttostromerzeugung 2016 (nur Grenzkosten):			
	durchschnittlich [ct/kWh]	real [Mrd. €]	alternativ [Mrd. €]
Erdgas:	3,50	2,82	8,02
Steinkohle:	2,40	2,68	2,58
Braunkohle:	1,00	1,50	0,05
		6,99	10,65

Tab. 5: Die Kosten der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 mit abgeschätzten Grenzkosten real und mit der alternativen Einsatzfolge der Kraftwerke

Die Kosten der Stromerzeugung hätten sich bei der alternativen Einsatzfolge der drei Kraftwerkstypen mit diesen durchschnittlichen Grenzkosten um 3,7 Mrd. € oder 1,07 ct/kWh erhöht.

Bei der Stromerzeugung entstehen auch Umweltkosten, die volkswirtschaftlich gegengerechnet werden müssen. Das Umweltbundesamt hat diese Umweltkosten - zusammengesetzt aus Kosten für Luftschadstoffe (u. a. Stickoxide, Feinstaub, Quecksilber) und Treibhausgase - mit 10,75 ct/kWh für Braunkohlekraftwerke, 8,94 ct/kWh für Steinkohlekraftwerke und 4,91 ct/kWh für Gaskraftwerke abgeschätzt: [13]

Umweltkosten der Bruttostromerzeugung 2016:			
	[ct/kWh]	real [Mrd. €]	alternativ [Mrd. €]
Erdgas:	4,91	4,0	11,3
Steinkohle:	8,94	10,0	9,6
Braunkohle:	10,75	16,1	0,6
		30,0	21,4

Tab. 6: Die Umweltkosten der Bruttostromerzeugung im Jahr 2016 real und mit der alternativen Einsatzfolge der Kraftwerke

Mit der alternativen Einsatzfolge der drei Kraftwerkstypen wären die Umweltkosten um 8,6 Mrd. € geringer gewesen. Rechnet man die höheren Stromerzeugungskosten von 3,7 Mrd. € dagegen, wäre insgesamt ein volkswirtschaftlicher Gewinn von 4,9 Mrd. € oder 1,43 ct/kWh entstanden.

III Schlussbetrachtung

Diese Analyse weist den Weg zu einer massiven Einsparung von CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung. Eine Reduktion der CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 100 Millionen Tonnen wäre der entscheidende Schritt zum Erreichen des deutschen Klimaschutzziels für das Jahr 2020. Mehr noch: Mit den weiteren Möglichkeiten der Reduzierung von Treibhausgasen zum Beispiel durch eine Reduzierung der landwirtschaftlichen Überproduktion, einer höheren Effizienz bei der Wärmeerzeugung und –verteilung, dem Beginn einer Verkehrswende oder einem nachhaltigeren Konsumverhalten ließen sich noch weit mehr als weitere 50 Millionen Tonnen Treibhausgase zum Erreichen des Klimaschutzzieles einsparen.

Diese Analyse ist allerdings eine mathematische Simulation, die technisch/wirtschaftlich sinnvoll umgesetzt werden muss: Im Zeitraum vom 01. Januar bis 24. März und 10. Oktober und 31. Dezember wäre die Zuschaltung von Braunkohlekraftwerken tageweise, manchmal auch nur stundenweise erforderlich gewesen. Eine stundenweise Zuschaltung von diesen Kraftwerken ist technisch nicht sinnvoll. Hier ist ein regulatorischer Rahmen zu entwickeln, der den Einsatz von Braunkohlekraftwerken in Engpasszeiten sinnvoll gestaltet. Diese Zeiten lassen sich meteorologisch gut bestimmen und es wäre zum Beispiel möglich, den in diesen Zeiträumen teilweise überschüssig erzeugten Braunkohlestrom zum Auffüllen von Stromspeichern zu nutzen. Mit einer Erhöhung der betriebsbereiten Gaskraftwerks-/Steinkohlekraftwerksleistung von 13,6 GW wäre eine Zuschaltung von Braunkohlekraftwerken im Jahr 2016 nicht erforderlich gewesen. Aber auch Steinkohlekraftwerke sind technisch ähnlich träge wie Braunkohlekraftwerke. Nur Gaskraftwerke lassen sich flexibel stundenweise sinnvoll zuschalten.

Neben den erheblichen Einsparungen an CO₂-Emissionen werden mit einer alternativen Einsatzfolge der Kraftwerke zur Stromerzeugung auch volkswirtschaftliche Kosten in Milliardenhöhe eingespart. Im Jahr 2016 wären es fast 5 Milliarden Euro gewesen.

Quellen:

[1]

Deutschlands Klimaziel 2020

<https://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/aktionsprogramm-klimaschutz/>

[2]

AGORA-ENERGIEWENDE: „Das Klimaschutzziel von -40 Prozent bis 2020: Wo landen wir ohne weitere Maßnahmen? Eine realistische Bestandsaufnahme auf Basis aktueller Rahmendaten“, Kapitel 4

https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora_Analyse_Klimaschutzziel_20_07092016.pdf

[3]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Zahlen und Fakten Energiedaten“ Stand 04.10.2017 Tabelle 10

https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.xls?__blob=publicationFile&v=61

[4]

AGORA-ENERGIEWENDE: „CO₂-Emissionen legen im ersten Halbjahr 2017 zu“:

<https://www.agora-energiewende.de/de/presse/agoranews/news-detail/news/co2-emissionen-legen-im-ersten-halbjahr-2017-zu-1/News/detail/>

[5]

siehe Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland: „Konzept für eine zukunftsfähige Energieversorgung“, Seite 7 und

eigene Berechnung aus den Reststrommengen der bis zum Jahr 2020 vom Netz gehenden Atomkraftwerke und der zusätzlichen Stromerzeugung aus dem Zubau an Erneuerbaren Energien nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz:

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Kernreaktoren_in_Deutschland
https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/

[6]

„Merit-Order Effekt“:

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/merit-order-effekt.html>

[7]

„Grenzkosten“:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Grenzkosten>

[8]

Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur Stand 07.11.2017:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/Kraftwerksliste_2017_2.xlsx;jsessionid=77C7F909465CE561DA5EE746D0011E26?__blob=publicationFile&v=2

[9]

Agora Energiewende – Agorameter:

<https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/>

[10]

Statistisches Bundesamt: Erzeugung Bruttostromerzeugung in Deutschland für 2014 bis 2016:

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Erzeugung/Tabellen/Bruttostromerzeugung.html;jsessionid=09BF61B1355BA4F94A6C42DA5562EEFD.InternetLi vel>

[11]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Zahlen und Fakten Energiedaten“ Stand 04.10.2017 Tabelle 11

https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt.xls.xls?__blob=publicationFile&v=61

[12]

AGORA-ENERGIEWENDE: „Das Klimaschutzziel von -40 Prozent bis 2020: Wo landen wir ohne weitere Maßnahmen? Eine realistische Bestandsaufnahme auf Basis aktueller Rahmendaten“; Seite 33 Abbildung 25

https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora_Analyse_Klimaschutzziel_2020_07092016.pdf

[13]

„Tab: Umweltkosten der Stromerzeugung“

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#textpart-7>