



Aachen | Leipzig | Hamm

Büro für Energiewirtschaft
und technische Planung GmbH
Alfonsstraße 44
52070 Aachen

Telefon +49 241 47062-0
Telefax +49 241 47062-600

info@bet-aachen.de
www.bet-aachen.de

Gutachten - Zwischenergebnisse

Auswirkungen einer Laufzeitver- längerung deutscher Kernkraft- werke

im Auftrag der Trianel GmbH

Aachen, den 09.02.2010

Bearbeitung:

Dr. Jessica Beck
Dr. Norbert Krzikalla
Mika Marci

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Zusammenfassung	1
2 Aufgabenstellung	2
3 Rahmenbedingungen der gewählten Szenarien	3
3.1 Allgemeine Rahmenbedingungen	3
3.1.1 Entwicklung der Brennstoffpreise	3
3.1.2 Kohlendioxid-Abscheidung und -lagerung (CCS)	3
3.1.3 Neuinvestitionen in Kraftwerke	3
3.1.4 Ausbau der Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien	3
3.1.5 Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung	3
3.1.6 Entwicklung des Strombedarfs der Bundesrepublik Deutschland	4
3.2 Szenario I - Kernenergieausstieg	5
3.3 Szenario II - Laufzeitverlängerung aller Kernkraftwerke auf 40 Jahre	5
3.4 Szenario III - Laufzeitverlängerung aller Kernkraftwerke bei gleichzeitiger Stilllegung alter Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke	6
4 Auswirkungen auf das Investitionsaufkommen im deutschen Kraftwerkssektor	7
5 Auswirkungen auf das Emissionsaufkommen von CO₂ aus der Stromerzeugung	8
6 Auswirkungen auf das Innovationspotenzial im deutschen Kraftwerksbau	9

1 Zusammenfassung

Das vorliegende Gutachten untersucht die Auswirkungen der im Koalitionsvertrag beschlossenen Laufzeitverlängerung deutscher Kernkraftwerke. Betrachtet werden neben den Auswirkungen einer Laufzeitverlängerung auch die Auswirkungen eines alternativen Ansatzes. Er verbindet mit der Laufzeitverlängerung die Verpflichtung, alte Braun- und Steinkohlekraftwerke vorzeitig stillzulegen. Diese werden im einem Umfang stillgelegt, dass der hierdurch erzwungene Produktionsrückgang über den Betrachtungszeitraum bis 2030 etwa der Mehrproduktion durch die Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke entspricht.

Szenario Laufzeitverlängerung

Die Ergebnisse dieses Szenarios zeigen, dass es durch eine Laufzeitverlängerung über einen Zeitraum von ca. sechs Jahren keinen Bedarf für neue Kraftwerksinvestitionen gibt, wodurch sich die wettbewerbliche Situation in Deutschland erheblich verschlechtert und die Oligopolstellung der großen Erzeuger auf lange Sicht zementiert wird. Neubaubedarf besteht nach Fertigstellung der derzeit bereits im Bau befindlichen Anlagen erst wieder ab 2020. Die bis 2024 neu zu errichtende Kapazität sinkt von ca. 20 GW auf 13,5 GW.

Durch mangelnde Investitionsanreize kommt auch der Wachstumsmotor Innovation ins Stottern. Moderne CO₂-arme Kraftwerkstechnologien werden nur stark verzögert in die Praxis eingeführt. Der Forschungs- und Industriestandort Deutschland und die Technologieführerschaft im Kraftwerkssektor werden hierdurch gefährdet.

Die CO₂-Emissionen sinken durch die Verlängerung der Kernenergielaufzeiten gegenüber dem Ausstiegsszenario kumuliert über den Betrachtungszeitraum bis 2030 um 393 Mio. Tonnen.

Szenario Laufzeitverlängerung mit vorzeitiger Stilllegung von Altanlagen

Im Falle der vorzeitigen Stilllegung von alten Kraftwerken der Kernkraftwerksbetreiber finden Neuinvestitionen bereits ab 2016 statt. Das Investitionsvolumen steigt mit einem Kapazitätsbedarf von knapp 19 GW bis zum Jahr 2024 etwa auf das beim Kernenergieausstieg benötigte Niveau.

Durch die kontinuierliche Investitionstätigkeit können neue CO₂-arme Technologien fortlaufend entwickelt, zur Anwendung gebracht und erprobt werden. Modernste serienreife Technologien sind eine Grundvoraussetzung für die weltweite Technologieführerschaft Deutschlands im Kraftwerkssektor. Wichtiger noch, es kommt zu einem beschleunigten Umbau in eine CO₂-arme Stromerzeugung.

Die Reduktion der CO₂-Emissionen verdoppelt sich kumuliert über den Betrachtungszeitraum bis 2030 von 393 auf 790 Mio. Tonnen.

2 Aufgabenstellung

Das Regierungsbündnis der Bundesrepublik Deutschland beschloss im Herbst 2009 in seinem Koalitionsvertrag, die Laufzeiten deutscher Kernkraftwerke unter Einhaltung von Sicherheitsstandards zu verlängern. Die Koalition rückt somit von der energiepolitischen Grundhaltung der Vorgängerregierung, wie im *Integrierten Energie- und Klimaprogramm* aus dem Jahr 2007 formuliert, ab.

Aufgabe dieses Gutachtens ist, die Auswirkungen eines solchen energiepolitischen Richtungswechsels in mehreren zentralen Aspekten zu untersuchen. Betrachtet werden die Auswirkungen einer Laufzeitverlängerung auf:

1. das Investitionsaufkommen im deutschen Kraftwerkssektor,
2. den Wettbewerb in der Stromerzeugung in Deutschland,
3. das Emissionsaufkommen von CO₂ aus der Stromerzeugung,
4. Innovationen im deutschen Kraftwerksbau.

Grundlage der hier vorgenommenen Untersuchungen sind die Ergebnisse der Berechnungen dreier Energiemarktszenarien mit dem BET-Energiemarktmodells. Es sollten hierbei die Entwicklungen des Energiemarktes aufgezeigt werden, wie sie sich aller Voraussicht nach unter folgenden Prämissen ergeben werden:

- I. Kernenergieausstieg, wie im gegenwärtigen Atomgesetz beschrieben,
- II. Laufzeitverlängerung aller deutschen Kernkraftwerke auf 40 Jahre
- III. Laufzeitverlängerung unter Maßgabe einer erzwungenen Stilllegung alter Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke. Diese werden in einem Umfang stillgelegt, dass der hierdurch erzwungene Produktionsrückgang über den Betrachtungszeitraum bis 2030 etwa der Mehrproduktion durch die Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke entspricht.

3 Rahmenbedingungen der gewählten Szenarien

3.1 Allgemeine Rahmenbedingungen

Folgende Rahmenbedingungen werden in allen drei Szenarien in identischer Weise angenommen.

3.1.1 Entwicklung der Brennstoffpreise

Unterstellt wird eine Entwicklung der europäischen Energiepreise wie zuletzt von der International Energy Agency in Ihrem *World Energy Outlook 2009* veröffentlicht.

3.1.2 Kohlendioxid-Abscheidung und -lagerung (CCS)

Es wird angenommen, CCS sei als Technologie für Braun- und Steinkohleverstromung ab 2020 einsatzfähig. Hierbei ist CCS aber nicht verpflichtend, sondern kommt bei hohen CO₂-Preisen zum Einsatz.

3.1.3 Neuinvestitionen in Kraftwerke

Im Modell wurde angenommen, dass alle derzeit im Bau befindlichen Kraftwerke realisiert werden. In der Planung befindliche Kraftwerke gehen mit einem auf der Wahrscheinlichkeit ihrer Realisierung basierten Anteil der geplanten Leistung in das Modell ein.

3.1.4 Ausbau der Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien

Den Modellrechnungen wird ein Erreichen des Ausbauzieles der Bundesregierung mit Hinblick auf den Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung auf mindestens 30 % bis 2020 sowie einer kontinuierlichen Steigerung nach 2020 zugrunde gelegt.

3.1.5 Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung

Es wird ein Ausbau der Stromerzeugung in wärmegeführten KWK-Anlagen von gegenwärtig 50 auf 76 TWh/a in 2030 angenommen.

3.1.6 Entwicklung des Strombedarfs der Bundesrepublik Deutschland

Im Modell wird ein moderater Anstieg des Strombedarfs mit tendenziell abnehmenden Steigerungsraten unterstellt. Das Entwicklungsszenario der Nachfrage orientiert sich an diversen einschlägigen Studien¹.

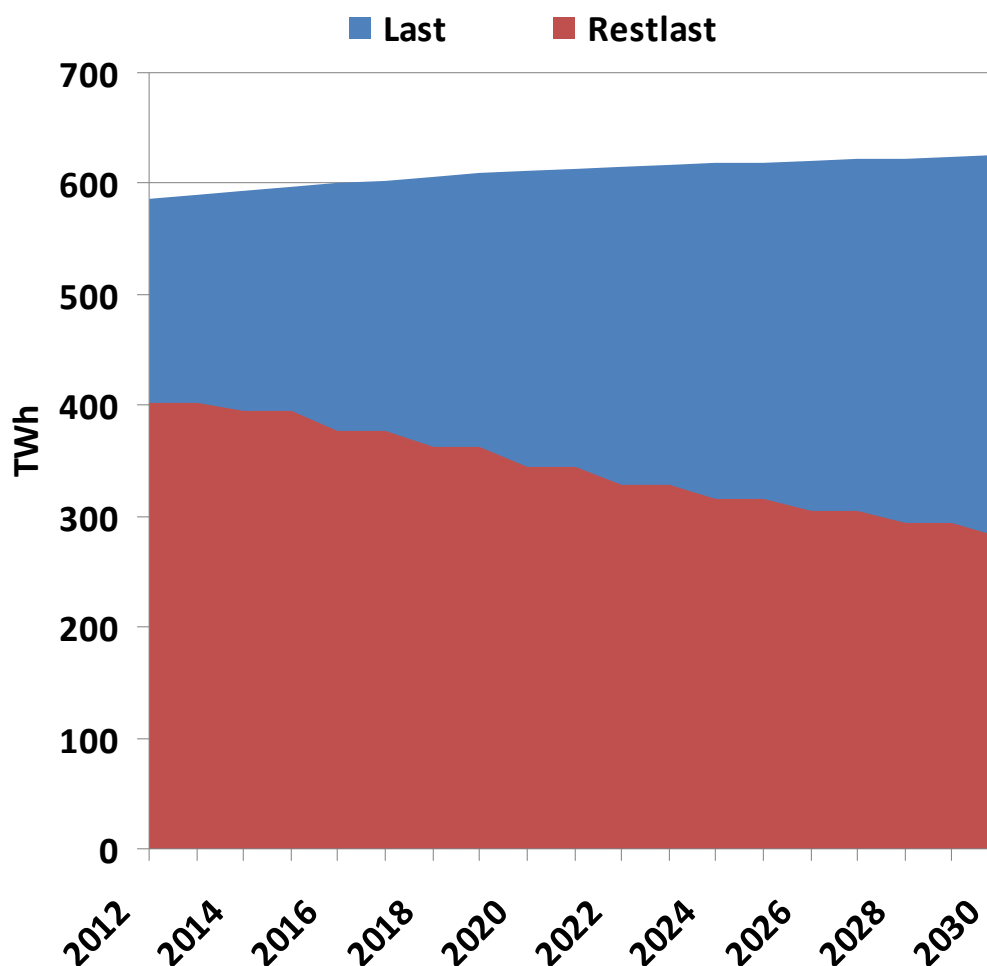


Abbildung 1 Entwicklung der Last und der Restlast (nach Abzug EE & KWK)

Oben stehender Grafik kann man die Entwicklung der Last gemäß Modelleinstellung entnehmen. Die deutliche Erhöhung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien und KWK führt zu einem merklichen Rückgang der durch thermische Kraftwerke zu deckenden Restlast von ca. 70% auf 45% der Endenergie. Der Grafik kann man auch die Entwicklung des Lastverlaufs mit zunächst steigender und im weiteren Verlauf stagnierender Tendenz entnehmen.

¹ European Energy and Transport Trends to 2030 - Update 2007; UCTE System Adequacy Forecast 2009-2020; VDE: Effizienz- und Einsparpotenziale elektrischer Energie in Deutschland.

3.2 Szenario I - Kernenergieausstieg

Es wird der Kernenergieausstieg wie zuletzt geplant zugrunde gelegt (Siehe Tabelle 2 unten im Szenario II).

3.3 Szenario II - Laufzeitverlängerung aller Kernkraftwerke auf 40 Jahre

Alle derzeitig noch in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke erhalten eine Laufzeitverlängerung bis zum Erreichen ihres vierzigsten Betriebsjahres.

Tabelle 1 Stilllegungszeitpunkte für KKW nach Szenario I sowie Szenario II und III

Kraftwerk	Stilllegung gemäß Kernenergieausstieg	Stilllegung bei Laufzeit-verlängerung auf 40 Jahre
Biblis A	2011	2015
Biblis B	2012	2016
Brokdorf	2020	2026
Brunsbüttel	2012	2017
Emsland	2021	2028
Grafenrheinfeld	2015	2022
Grohnde	2019	2025
Gundremmingen B	2016	2024
Gundremmingen C	2017	2024
Isar 1	2012	2019
Isar 2	2020	2028
Krümmel	2020	2024
Neckarwestheim 1	2010	2016
Neckarwestheim 2	2023	2029
Philippsburg 1	2013	2020
Philippsburg 2	2019	2025
Unterweser	2013	2019

3.4 Szenario III - Laufzeitverlängerung aller Kernkraftwerke bei gleichzeitiger Stilllegung alter Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke

Dieses Szenario gleicht Szenario II in dem Aspekt der Laufzeitverlängerung. Es wurde jedoch eine forcierte Stilllegung alter Braun- und Steinkohlekraftwerke unterstellt. Diese werden bis 2014 in einem Umfang stillgelegt, so dass die stillgelegte Leistung jeweils der zusätzlich verfügbaren Leistung aus den verlängerten Kernenergielaufzeiten entspricht (siehe Abbildung 1 - Jahre 2011-2014). Ab 2015 werden Braun- und Steinkohlekraftwerk in stärkerem Maße stillgelegt, und zwar in dem Umfang, dass die im Betrachtungszeitraum bis 2030 zurückgenommene fossile Produktion eben genau jener durch Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke gegenüber Szenario I hinzugekommenen nuklearen Produktion entspricht. Dieses stufenartige Vorgehen wurde gewählt, um in den Jahren bis 2015 ein Leistungsdefizit aufgrund noch fehlender Neuanlagen zu verhindern.

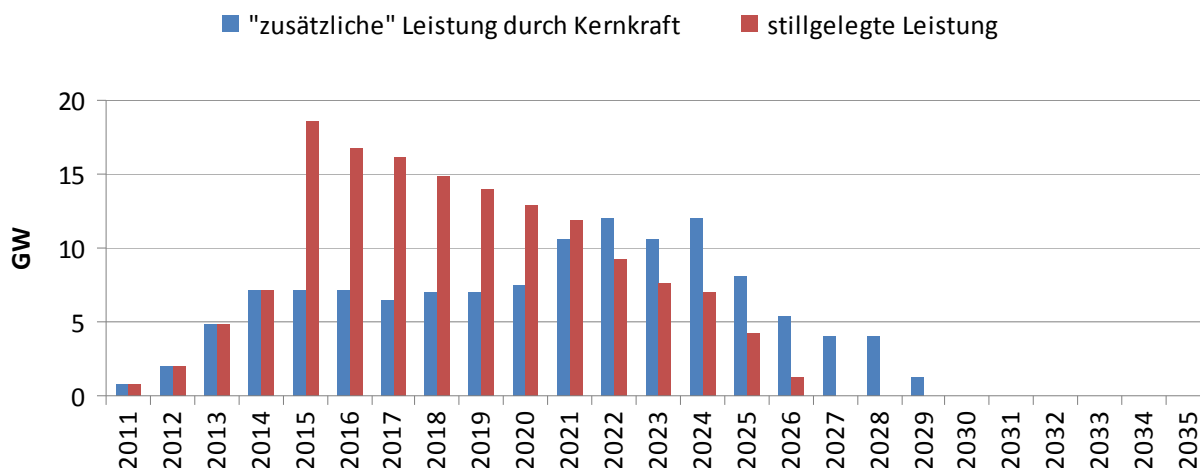


Abbildung 2 Stilllegung nach Kraftwerksleistung

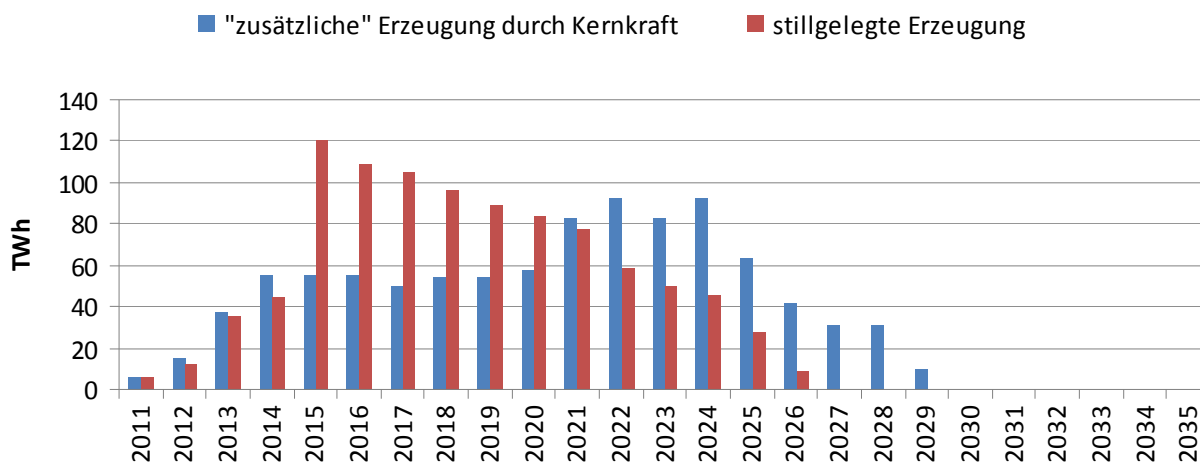


Abbildung 3 Stilllegung nach Erzeugung

4 Auswirkungen auf das Investitionsaufkommen im deutschen Kraftwerkssektor

Das Modell errechnete im Szenario II gegenüber dem Atomausstieg einen deutlich verminderten Zubau an neuen Kraftwerken. Unterstellt wurde, wie eingangs erwähnt, dass die im Bau befindlichen Kraftwerke sowie diejenigen Anlagen mit einer Baugenehmigung und einem fortgeschrittenen Planungsstand realisiert werden.

Durch die Laufzeitverlängerung werden im Zeitraum bis 2020 keine zusätzlichen Kraftwerke ans Netz gehen. Erst ab 2020 werden wieder Kohlekraftwerke als Ersatzanlagen für auslaufende Kernkraftwerke und ältere Braunkohlekraftwerke nachgebaut. In den Jahren 2020 bis 2024 werden insgesamt 13,5 GW Kohlekraftwerkskapazität neu installiert.

Ab 2024 werden verstärkt Gasturbinenanlagen (keine GuD) benötigt, da zu diesem Zeitpunkt aufgrund des starken Zubaus fluktuierender regenerativer Erzeugung vor allem Spitzenlastkraftwerke notwendig sein werden.

Die Laufzeitverlängerung führt damit zu einem effektiven Marktverschluss für neue Marktteilnehmer bis 2020.

Dieser Befund wird auch vom BDI-Gutachten² bestätigt:

Somit führt eine Laufzeitverlängerung auf 40 Jahre zu einer zeitlichen Verschiebung der Zubauten und Stilllegungen um die Länge der zusätzlichen Laufzeit der Kernkraftwerke. Die Mehrerzeugung der Kernkraftwerke ersetzt dabei im Jahr 2020 zu gleichen Teilen Steinkohle und Gas befeuerte Erzeugung sowie Importe aus dem Ausland.

Unabhängig von diesem Ergebnis können neue Kraftwerksprojekte in Einzelfällen trotzdem noch wirtschaftlich attraktiv sein, wenn sie besondere Standortvorteile aufweisen, insbesondere bei einer nennenswerten Wärmeauskopplung, wodurch zusätzliche Erlöse aus Wärmeverkauf, aus Zuschlägen aus dem KWK-Gesetz und aus der CO₂-Gratisallokation für Wärme aus KWK-Anlagen generiert werden können.

Eine zwangsweise Stilllegung alter konventioneller Kraftwerke führt zu einem deutlich früheren Neubau. Neuinvestitionen erfolgen hier etwa vier Jahre früher als im Szenario II. Bereits im Jahr 2016 werden 5,8 GW an Neuanlagen in Betrieb genommen. Bis zum Jahr 2024 werden 18,9 GW zugebaut. Es kommt somit zu einer deutlich erhöhten und kontinuierlichen Investitionstätigkeit im Kraftwerkssektor über den gesamten Betrachtungszeitraum.

Mit der vorzeitigen Stilllegung alter Stein- und Braunkohlekraftwerke kann somit dem durch die Verlängerung der Kernenergielaufzeiten verursachten Investitionsstopp und damit der Markteintrittsbarriere für neue Marktteilnehmer wirksam begegnet werden.

2 R2B & EEFA: Ökonomische Auswirkungen einer Laufzeitverlängerung deutscher Kernkraftwerke (2010)

5 Auswirkungen auf das Emissionsaufkommen von CO₂ aus der Stromerzeugung

Im CO₂-Aufkommen aus der deutschen Stromproduktion stellt der Atomausstieg das Szenario mit den höchsten CO₂-Emissionen dar. Es werden im Durchschnitt über den Zeitraum 2012-2030 jährlich etwa 273 Mio. Tonnen CO₂ durch Stromproduktion emittiert³.

Durch die Laufzeitverlängerung vermindert sich das jährliche CO₂-Aufkommen des Stromsektors um 7% auf ca. 253 Mio. Tonnen/Jahr.

Durch die forcierte Stilllegung alter Braun- und Steinkohleanlagen verbessert sich das CO₂-Aufkommen nochmals auf ca. 232 Mio. Tonnen pro Jahr durch die zusätzliche Erneuerung des Kraftwerksparks. Die über den Betrachtungszeitraum kumulierten CO₂-Einsparungen erhöhen sich, wie in folgender Grafik dargestellt, durch die vorzeitigen Stilllegungen der alten Kohlekraftwerke von 393 auf 790 Mio. Tonnen.

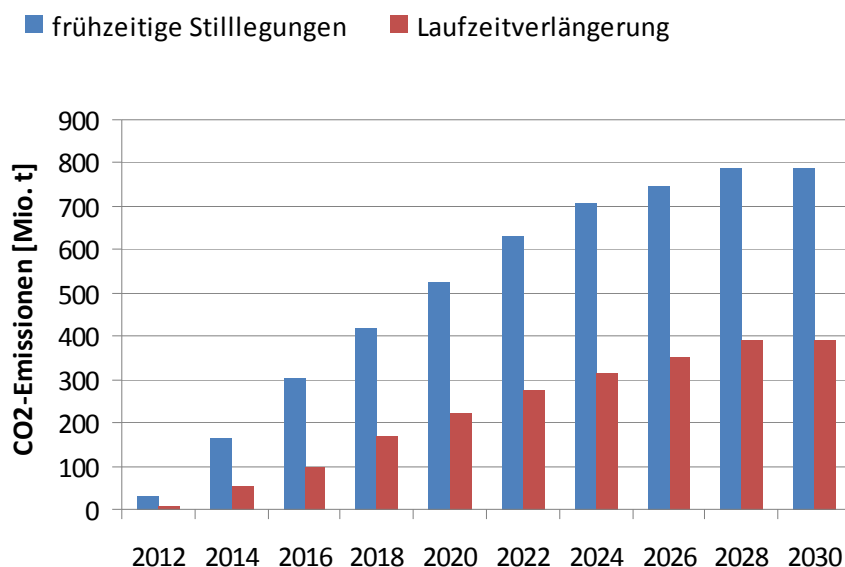


Abbildung 4 Kumulierte Einsparungen an CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung

³ Ohne Emissionen aus KWK-Erzeugung

6 Auswirkungen auf das Innovationspotenzial im deutschen Kraftwerksbau

Aufgrund der Emissionsproblematik wurde von Seiten der Anlagenbauer bereits in weiter Vergangenheit der Versuch unternommen, die CO₂-Nachteile der Kohle zu vermindern. Hierbei stehen zwei Ansätze im Vordergrund:

1. die Erhöhung der Wirkungsgrade durch Einsatz moderner Materialien für den überkritischen Betrieb,
2. der Einsatz von CCS (Carbon Capture and Storage)⁴.

Daneben werden moderne Kohlekraftwerke vor allem auf flexiblen Einsatz hin entwickelt. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien mit ihrem fluktuierendem Dargebot erfordert von thermischen Kraftwerken eine gute Regelbarkeit mit hohen Wirkungsgraden über weite Teile des Auslastungsbandes (Mindestlast bis herunter auf 10 %). Gleichzeitig muss eine KWK-Nutzung möglich und nachrüstbar sein.

In Deutschland wurde aufgrund des durch den Atomausstieg absehbaren Bedarfs an neuen Kapazitäten weiter an optimalen Brennertechnologien, an der optimalen Balance zwischen Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen bei der Entstickung, sowie am Einsatz moderner Stähle geforscht. Letztere Forschungsbemühungen zielen auf die Anhebung der Dampfparameter von 600°C und 285 bar (erlaubt einen Wirkungsgrad von ca. 46 %) auf 700°C und 350 bar. Stähle mit erhöhtem Nickelanteil sollen diesen Drücken und Temperaturen widerstehen. Kluger und Titzman⁵ führen hierzu aus:

Sollten sich die Werkstoffe als geeignet herausstellen, wäre ein elektrischer Nettowirkungsgrad von 50 % bei Steinkohlekraftwerken möglich.

Ein möglicher CCS-Einsatz würde den Wirkungsgrad um ca. 7 % verringern. Das wären aber mit 43 % nur ca. 3 % unter heutigem Stand, wohlgemerkt mit einer 90 % CO₂-Abscheidung. Aktuelle Entwicklungsprojekte zielen auf eine solche quantensprungartige Verbesserung der Umweltverträglichkeit neuer Kohlekraftwerke ab.

Es stellt sich die Frage, ob solche Entwicklungsprojekte noch mit Nachdruck in Deutschland betrieben werden, wenn die nächsten Investitionen in Kohlekraftwerke erst 2020 getätigt würden. Für die Entwicklung solcher Technologien ist es notwendig, sie unter realen Betriebsbedingungen zur Anwendung zu bringen und zur Serienreife zu entwickeln. Erst dann werden diese Technologien exportfähig. Ausländische Investoren scheuen die Auftragsvergabe bei Technologien, die ihre Einsatztauglichkeit noch nicht unter Beweis gestellt haben. Dazu müssen aber kontinuierlich neue Kraftwerksprojekte angegangen werden. Eine Lauf-

4 Kohlendioxid-Abscheidung und -Speicherung

5 BWk (2009) Nr. 12 "Dampferzeuger für Kohlekraftwerke"

zeitverlängerung wird voraussichtlich wegen mangelnder Investitionsanreize zu einem Baustopp und somit auch zu einem Innovationsstopp für moderne Kraftwerkstechnologien in Deutschland führen. Der Forschungs- und Industriestandort Deutschland wird hierdurch beeinträchtigt.

Genauso wichtig ist es anzuführen, dass ein Durchbruch bei der Kohletechnologie in Verbindung mit CCS weltweit immense CO₂-Minderungspotenziale hätte. Die IEA geht von einem Anstieg der Kohleförderung von derzeit ca. 4,6 Mrd. t auf knapp 7 Mrd. t in 2030 aus⁶. Ein überwiegender Teil hiervon wird in die Verstromung gehen. Die Abscheidung von 90% CO₂ hätte eine spürbare und nachhaltige Verbesserung des Klimas zufolge. Dies wäre ein wichtiger Beitrag Deutschlands für den Klimaschutz und für die Sicherung heimischer Arbeitsplätze.

Auch das BMU kommt in seinem Hintergrundpapier zum Atomausstieg⁷ zu ähnlichen Schlussfolgerungen:

Langfristig kann eine Laufzeitverlängerung hingegen sogar kontraproduktiv für den Klimaschutz sein. Eine Laufzeitverlängerung würde kurzfristig billige CO₂-Vermeidungsoptionen vortäuschen. Dies würde zu zurückhaltenden Investitionen in ein zukunftsfähiges Energiesystem führen. Damit würde es nach dem Ende der verlängerten Restlaufzeiten der Atomkraftwerke immer schwieriger und teurer, das Energiesystem umzubauen.

Die zügige Entwicklung innovativer Technologien zu fördern, sollte die Zielsetzung der Bundesregierung sein. Hierzu bedarf es einer möglichst laufenden Neubautätigkeit. Eine forcierte Abschaltung von alter Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken würde diesen Neubaubedarf frühzeitig aufkommen lassen und die weitere kontinuierliche Entwicklungsarbeit an modernen Kraftwerkstechnologien ermöglichen.

6 WEO 2009 S. 80

7 BMU: Beschleunigter Atomausstieg - Hintergrundinformationen; 10. Juli 2009