



**WWF** *for a living planet*®



**Öko-Institut e.V.**  
Institut für angewandte Ökologie  
Institute for Applied Ecology

## **Atomstrom aus Frankreich? Kurzfristige Abschaltungen deutscher Kernkraftwerke und die Entwicklung des Strom- Austauschs mit dem Ausland**

**Kurzanalyse für die  
Umweltstiftung WWF Deutschland**

**Berlin, April 2011**

Dr. Felix Chr. Matthes

Ralph O. Harthan

Charlotte Loreck

**Öko-Institut e.V.**

**Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7  
D-10179 Berlin  
Tel.: +49-30-40 50 85-380  
Fax: +49-30-40 50 85-388

**Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
D-64295 Darmstadt  
Tel.: +49-61 51-81 91-0  
Fax: +49-61 51-81 91-33

**Geschäftsstelle Freiburg**

Merzhauser Str. 173  
D-79100 Freiburg  
Tel.: +49-761-452 95-0  
Fax: +49-761-452 95 - 88

[www.oeko.de](http://www.oeko.de)



## Executive Summary

The German government's decision in mid-March 2011 to halt – as a result of the Japanese reactor catastrophe in Fukushima – the lifetime extension of its nuclear power plants agreed in 2010 and announce a fundamental change of course in German nuclear energy policy involving the decommissioning of considerable nuclear power plant capacities has led to substantial changes of the electricity supply system. At the end of March only a little over half (52%) of the total capacity of German nuclear power plants (NPPs), corresponding to approx. 20,400 MW, was available for electricity production.

The decommissioning of significant electricity production capacities in the NPPs changes the German electricity supply system. This analysis will focus on the issues of how electricity imports from and exports to neighbouring countries and regions have developed following the above-mentioned decommissioning in Germany, what the main drivers were for the changes, and how the trade in electricity imports and exports is to be classified in terms of the nuclear risk and the impacts on climate protection.

Since mid-March 2011 there have been some clear changes in the trade of electricity imports and exports between Germany and its neighbouring countries and regions. These can be traced back, at least in part, to the new course taken in German nuclear energy policy and the corresponding decommissioning of substantial nuclear power plant capacities. The changes in the balance for electricity imports and exports observable in the short term stem to a relatively small extent (approx. 2000 MW) from increased electricity imports to Germany and to a larger extent (approx. 4000 MW) from fewer electricity exports from Germany to its neighbouring countries and regions. The increased electricity imports primarily concern increased deliveries from France and (temporarily) the Czech Republic while the lower electricity exports mainly originate from fewer deliveries to Austria, Switzerland, the Netherlands and Poland. Electricity imports from and exports to Scandinavia (Denmark and Sweden) have not changed significantly in this time frame. Yet if a long-term comparison is made, the changes in the levels of electricity exports to and imports from the neighbouring countries and regions that can be observed in the short term are nothing out of the ordinary. From 2007 to 2010 variations in export and import levels have been observed which are by all means comparable with the developments in March and April 2011.

At the same time the key driver for the above-mentioned changes in electricity imports and exports cannot be ascribed to a relevant scarcity (in terms of security of supply) arising in the German electricity supply system. During March and April 2011 more than sufficient power plant capacities were continuously available for peak load coverage; the remaining free reserves in the German electricity supply system amounted to between approx. 5000 and 8000 MW in March and April 2011. The observed changes in electricity exports and imports are therefore primarily to be traced back to the market-driven optimisation process of electricity production in the continental European market. This market has found a new equilibrium following the decommissioning of substantial NPP capacities in Germany. In terms of the general trend this means, at least in the short term, fewer electricity exports from Germany and (temporarily) slightly higher electricity imports to Germany. Changes in the framework conditions for the con-

tinental European electricity market (fuel prices, the start-up of new power plants expected in Germany and the Benelux countries in the short term) can and will change this situation again.

The increased electricity imports to Germany mainly came from France and (temporarily) the Czech Republic. However, on the basis of very plausible arguments it can be ruled out that the increased electricity imports involve additional production quantities in foreign power plants. This assessment is based, firstly, on the economic classification of electricity production from NPPs in the merit order of the continental European electricity market; secondly, on observed price effects in the carbon markets; thirdly, on the electricity imports from the Czech Republic which have fallen again significantly in the meantime; and, fourthly, on the comparison of high temporal resolution data on electricity imports from France and on the production of French nuclear power plants respectively. From the perspective of nuclear safety there have been – with comparatively high probability – no problematic or counter-productive effects (“The decommissioning of NPPs in Germany leads to increased imports from foreign NPPs”).

All indications suggest that the additional quantities of electricity imported to Germany were produced in hard coal and natural gas power plants in France and the Netherlands and (temporarily) lignite power plants in the Czech Republic. However, the (short- and medium-term) emission growth from the higher utilisation of these power plants resulting from the quick decommissioning of German nuclear power plants are – due to the regulatory mechanisms of the EU Emissions Trading Scheme – entirely compensated by emission reductions in other plants within the overall scheme. It does not, therefore, lead to an increased impact on the climate. There are no counter-productive effects (“The decommissioning of NPPs in Germany increases the climate burden”) – also not in terms of the climate policy impacts of the decommissioned German nuclear power plants. Such effects are also not to be expected if additional nuclear power plants are decommissioned (as long as it is not accompanied by investments in carbon-intensive electricity production options that are problematic in the long term).

The qualitative, semi-quantitative and quantitative analyses in this paper are inevitably preliminary in nature and require continued research over time and further specification, e.g. based on suitable model analyses. Nevertheless the basic relationships and trends described here are likely to prove very robust.

In particular the findings relating to the classification of the impacts on the nuclear risk and climate protection derived from the analyses on the decommissioning of significant NPP capacities in Germany are also of substantial significance to the general assessment of the accelerated phase-out of nuclear energy in Germany.

## Zusammenfassung

Mit dem Mitte März 2011 – als Folge der Reaktorkatastrophe im japanischen Fukushima – erfolgten Beschluss eines Moratoriums für die 2010 beschlossene Laufzeitverlängerung der deutschen Kernkraftwerke, der Ankündigung eines grundlegenden Kurswechsels in der deutschen Kernenergiepolitik und der nachfolgenden Außerbetriebnahme erheblicher Kernkraftwerks-Kapazitäten in Deutschland haben sich erhebliche Veränderungen des Stromversorgungssystems ergeben. Ende März stand nur noch etwas mehr als die Hälfte (52%) der gesamten Kapazität deutscher Kernkraftwerke (KKW) von etwa 20.400 MW für die Stromerzeugung zur Verfügung.

Die Außerbetriebnahme signifikanter Stromerzeugungskapazitäten in KKW verändert das deutsche Stromversorgungssystem. Die Untersuchung widmet sich speziell den Fragen, wie sich die Stromaustauschbeziehungen mit den Nachbarländern bzw. –regionen nach der Außerbetriebnahme erhebliche KKW-Kapazitäten entwickelt haben, was die wesentlichen Treiber für die Veränderungen waren und wie diese Stromaustauschbeziehungen in Bezug auf das nukleare Risiko bzw. die Auswirkungen auf den Klimaschutz einzuordnen sind.

Seit Mitte März 2011 haben sich teilweise deutliche Veränderungen im Stromaußenhandel zwischen Deutschland und seinen Nachbarstaaten bzw. –regionen ergeben. Diese können zumindest teilweise durchaus auf den Kurswechsel in der deutschen Kernenergiepolitik und die entsprechende Außerbetriebnahme erheblicher Kernkraftwerkskapazitäten zurückgeführt werden. Die kurzfristig beobachtbaren Veränderungen in der Außenhandelsbilanz für Strom ergeben sich zum kleineren Teil (ca. 2000 MW) aus erhöhten Stromimporten nach Deutschland und zum größeren Teil (ca. 4.000 MW) aus verringerten Stromexporten von Deutschland ins benachbarte Ausland. Die erhöhten Stromeinfuhren betreffen dabei vor allem Lieferungen aus Frankreich sowie (temporär) Tschechien. Von verminderten Stromausfuhren waren vor allem Lieferungen nach Österreich und die Schweiz sowie die Niederlande und Polen betroffen. Der Stromaustausch mit Skandinavien (Dänemark und Schweden) veränderte sich nicht signifikant. Im langjährigen Vergleich fallen die kurzfristig beobachteten Niveauveränderungen beim Stromaustausch mit den Nachbarstaaten und –regionen jedoch keineswegs aus dem Rahmen. In den Jahren 2007 bis 2010 sind Variationen von Aus- und Einfuhren beobachtet worden, die durchaus mit den Entwicklungen im März/April 2011 vergleichbar sind.

Der wesentliche Treiber für diese Veränderungen im Stromaustausch ist jedoch kaum auf eine (mit Blick auf die Versorgungssicherheit) relevante Knappheitssituation im deutschen Stromversorgungssystem zurückzuführen. Im Verlauf des März und April 2011 standen jederzeit mehr als ausreichende Kraftwerkskapazitäten zur Spitzenlastdeckung zur Verfügung, die verbleibenden freien Reserven im System liegen im März/April 2011 bei etwa 5.000 bis 8.000 MW. Die veränderten Austauschbeziehungen für Strom sind damit vor allem auf den marktgetriebenen Optimierungsprozess der Stromproduktion im kontinentaleuropäischen Markt zurückzuführen. Dieser Markt hat sich nach der Abschaltung erheblicher KKW-Kapazitäten in Deutschland in ein neues Gleichgewicht eingependelt. Dies beinhaltet im generellen Trend zumindest kurzfristig

offensichtlich weniger Stromausfuhren aus Deutschland und (temporär) leicht erhöhte Stromeinfuhren nach Deutschland. Veränderungen der Rahmenbedingungen für den kontinentaleuropäischen Strommarkt (Brennstoffpreise, kurzfristig erwartbare Inbetriebnahmen neuer Kraftwerke in Deutschland und den Benelux-Staaten) können und werden diese Situation wieder verändern.

Die erhöhten Stromimporte nach Deutschland erfolgten vor allem aus Frankreich und (vorübergehend) aus Tschechien. Es kann jedoch mit sehr plausiblen Argumenten ausgeschlossen werden, dass es sich bei diesen erhöhten Stromeinfuhren um zusätzliche Produktionsmengen in ausländischen Kernkraftwerken handelt. Diese Einschätzung ergibt sich erstens aus der wirtschaftlichen Einordnung der KKW-Stromerzeugung in der Abrufangfolge (Merit Order) des kontinentaleuropäischen Strommarkts, zweitens aus den beobachteten Preiseffekten in den CO<sub>2</sub>-Märkten, drittens aus den inzwischen wieder deutlich zurückgegangenen Stromimporten aus Tschechien sowie viertens aus dem Vergleich der zeitlich hoch aufgelösten Daten zum Stromimport aus Frankreich und den in gleicher Auflösung vorliegenden Produktionsdaten für die französischen Kernkraftwerke. Aus der Perspektive nuklearer Sicherheit sind so mit vergleichsweise hoher Wahrscheinlichkeit keine problematischen oder kontraproduktiven Effekte („KKW-Abschaltungen in Deutschland führen zu erhöhten Importen aus ausländischen KKW“) entstanden.

Alle Indizien sprechen dafür, dass es sich bei den zusätzlich importierten Strommengen um Steinkohlen- bzw. Erdgaskraftwerke in Frankreich oder in den Niederlanden handelt bzw. (temporär) um zusätzliche Strommengen aus Braunkohlenkraftwerken in Tschechien handelt. Die Regelungsmechanismen des EU-Emissionshandelssystems sichern jedoch gleichzeitig ab, dass (kurz- bis mittelfristige) Emissionserhöhungen durch die höhere Auslastung der o.g. Kraftwerke im Zuge der schnellen Außerbetriebnahme von Kernkraftwerken im europäischen Gesamtsystem durch Emissionsminderungen bei anderen Anlagen voll kompensiert werden und damit nicht zu einer verstärkten Klimabelastung führen. So sind auch mit Blick auf die klimapolitischen Aspekte der Abschaltungen deutscher Kernkraftwerke keine kontraproduktiven Effekte („KKW-Abschaltungen in Deutschland führen zu einer stärkeren Belastung des Klimas“) zu erwarten. Dies ist auch für den Fall weiterer Abschaltungen nicht zu erwarten (sofern diese nicht durch langfristig problematische Investitionen in CO<sub>2</sub>-intensive Stromerzeugungsoptionen begleitet werden).

Die vorgestellten qualitativen, halb-quantitativen und quantitativen Analysen sind naturgemäß vorläufiger Natur und bedürfen der Fortführung im Zeitverlauf und der weiteren Spezifikation, z.B. durch geeignete Modellanalysen. Gleichwohl dürften sich die beschriebenen Grundzusammenhänge und –trends als sehr robust erweisen.

Gerade die Erkenntnisse zur Einordnung der beobachteten Effekte mit Blick auf das nukleare Risiko sowie die Klimaschutzeffekte, die sich aus den hier vorgelegten Analysen zur Außerbetriebnahme signifikanter KKW-Kapazitäten in Deutschland ergeben, sind auch für die grundsätzliche Bewertung des beschleunigten Ausstiegs aus der Kernenergie von erheblicher Bedeutung.

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung und Fragestellung ..... 11**
- 2 Die aktuelle Stromerzeugung in deutschen Kernkraftwerken ..... 13**
- 3 Stromimporte nach Deutschland seit der Ankündigung des Moratoriums..... 14**
- 4 Qualitative Analysen der Stromimporte nach Deutschland..... 17**
  - 4.1 Treiber für den Stromaustausch im liberalisierten Strommarkt Kontinentaleuropas ..... 17
  - 4.2 Einordnung von KKW und Kernenergie-Importen in die deutsche Merit Order ..... 19
  - 4.3 Reaktion der Emissionshandelsmärkte ..... 21
- 5 Quantitative Analyse der Stromimporte nach Deutschland ..... 22**
  - 5.1 Vergleich der Importstrommengen mit den Vorjahren ..... 22
  - 5.2 Vergleich der Importstrommengen und der Stromerzeugung in französischen Kernkraftwerken ..... 24
- 6 Schlussfolgerungen ..... 25**
- 7 Referenzen ..... 27**
  - 7.1 Literatur ..... 27
  - 7.2 Verwendete Datenbasen ..... 27
- Anhang ..... 29**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Installierte Leistung und Stromerzeugung der deutschen Kernkraftwerke, 2011 .....	13
Abbildung 2	Stromexporte und Netto-Stromexporte (physische Flüsse) von den Nachbarstaaten nach Deutschland im März und April, 2011 .....	14
Abbildung 3	Schematische Darstellung der Merit-Order und der Grenzkostenpreisbildung im liberalisierten Strommarkt .....	19
Abbildung 4	Entwicklung der Preise für Emissionsberechtigungen im Spot- und Terminmarkt, März und April 2011 .....	21
Abbildung 5	Netto-Stromexporte von den Nachbarstaaten nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 .....	22
Abbildung 6	Netto-Stromexporte von Frankreich nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 .....	23
Abbildung 7	Netto-Stromexporte von Tschechien nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 .....	23
Abbildung 8	Stromexporte von Frankreich nach Deutschland und Stromerzeugung der französischen Kernkraftwerke, 2011 .....	24
Abbildung A- 1	Stromexporte und Netto-Stromexporte von Frankreich nach Deutschland im März und April, 2011 .....	29
Abbildung A- 2	Netto-Stromexporte von Frankreich nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 .....	29
Abbildung A- 3	Stromexporte und Netto-Stromexporte von Tschechien nach Deutschland im März und April, 2011 .....	30
Abbildung A- 4	Netto-Stromexporte von Tschechien nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 .....	30
Abbildung A- 5	Stromexporte und Netto-Stromexporte aus Österreich nach Deutschland im März und April, 2011 .....	31
Abbildung A- 6	Netto-Stromexporte von Österreich nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 .....	31
Abbildung A- 7	Stromexporte und Netto-Stromexporte von der Schweiz nach Deutschland im März und April, 2011 .....	32
Abbildung A- 8	Netto-Stromexporte von der Schweiz nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 .....	32

Abbildung A- 9 Stromexporte und Netto-Stromexporte aus Polen nach Deutschland im März und April, 2011 ..... 33

Abbildung A- 10 Netto-Stromexporte von Polen nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 ..... 33

Abbildung A- 11 Stromexporte und Netto-Stromexporte von den Niederlanden nach Deutschland im März und April, 2011 ..... 34

Abbildung A- 12 Netto-Stromexporte von den Niederlanden nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 ..... 34

Abbildung A- 13 Stromexporte und Netto-Stromexporte von Skandinavien (Dänemark, Schweden) nach Deutschland im März und April, 2011..... 35

Abbildung A- 14 Netto-Stromexporte von Skandinavien (Dänemark, Schweden) nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011 ..... 35

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 Reservesituation im deutschen Stromversorgungssystem, März/April 2011 ..... 17

Tabelle 2 Jährliche und monatliche Höchstlast im deutschen Stromversorgungssystem, 2007 – 2010 ..... 18



## 1 Einleitung und Fragestellung

Mit dem Mitte März 2011 – als Folge der Reaktorkatastrophe im japanischen Fukushima – erfolgten Beschluss eines Moratoriums für die 2010 beschlossene Laufzeitverlängerung der deutschen Kernkraftwerke, dem Beschluss zur grundlegenden sicherheitstechnischen Neubewertung der Kernreaktoren in Deutschland sowie der Ankündigung eines grundlegenden Kurswechsels in der deutschen Kernenergiepolitik ist im deutschen Strommarkt vergleichsweise schlagartig eine neue Situation entstanden. Erhebliche KKW-Kapazitäten gingen im Verlauf weniger Tage vom Netz und mussten durch andere Stromerzeugungsoptionen ersetzt werden.

Diese Situation ist aus zweierlei Perspektive von besonderem Interesse. Einerseits stellt sich die Frage nach den Effekten dieser sehr kurzfristigen Abschaltungen für die Versorgungssicherheit (Öko-Institut 2011) und andererseits wird die Frage aufgeworfen, welche Implikationen mit Blick auf die Minimierung des nuklearen Risikos sowie der Klimagefährdung durch den Ausstoß von zusätzlichen Treibhausgasen zu berücksichtigen sind.

Für beide Fragestellungen bildet die Entwicklung des grenzüberschreitenden Stromaustauschs einen zentralen Aspekt. Gerade in der aktuellen politischen Debatte bildet die Entwicklung des Stromaustauschs seit Verkündung des Kurswechsels hin zu einem beschleunigten Auslaufen der Kernenergienutzung in Deutschland einen neuralgischen Punkt. Zur Abschichtung der entsprechenden Diskussionen ist es sinnvoll, die folgenden Fragestellungen zu differenzieren:

1. Wie hat sich der grenzüberschreitende Stromaustausch nach der Ankündigung eines Kurswechsels in der deutschen Kernenergiepolitik entwickelt und wie ist diese Entwicklung generell einzuordnen?
2. Was waren die zentralen Treiber der Veränderungen im grenzüberschreitenden Stromaustausch, wurden damit gravierende Knappheiten (im Sinne der Versorgungssicherheit) in der deutschen Stromversorgung ausgeglichen oder handelt es sich eher um einen kostenoptimierende Einschwingvorgang im europäischen Strommarkt?
3. Wie sind die veränderten Austauschbeziehungen mit Blick auf übergeordnete Fragestellungen, wie die Minimierung des nuklearen Risikos („Führen KKW-Abschaltungen in Deutschland zu erhöhten Importen aus ausländischen KKW?“) sowie die Effekte für die Klimapolitik („Führen KKW-Abschaltungen in Deutschland zu einer stärkeren Belastung des Klimas?“) zu bewerten?

Mit Blick auf die letztgenannten Fragestellungen ist vor allem die Frage nach Atomstromimporten von besonderer politischer Relevanz, bildet doch die Argumentationsfigur von „Atomstromimporten (aus Frankreich)“ in der deutschen energiepolitischen Diskussion ein immer wiederkehrendes (Droh-) Muster, so bereits in den frühen Diskussionen um die Liberalisierung des europäischen Energiemarktes (Harms et al. 1987) als auch in den Auseinandersetzungen um die Laufzeitbegrenzungen im Vorfeld der Vereinbarung mit den deutschen KKW-Betreibern im Juni 2000 (Simson 1999,

Klinger 1999, von Weizsäcker 1999). In jüngster Zeit hat eine Datenanalyse des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW 2011) zur Entwicklung des Stromaustauschs eine besondere Aufmerksamkeit gefunden, die – obwohl diese Analyse dies an keiner Stelle so ausführlich – überwiegend so interpretiert worden ist, dass die Abschaltung deutscher Kernkraftwerke im Wesentlichen zu Importen aus KKW in Frankreich und Tschechien geführt hat.

In der hier vorgelegten Kurzstudie werden verschiedene Fragestellungen zur Entwicklung des grenzüberschreitenden Stromaustauschs einer vertieften Analyse unterzogen, die dem im Folgenden beschriebenen Untersuchungsgang folgt.

Im Kapitel 2 werden die Ausgangsdaten der außer Betrieb befindlichen bzw. außer Betrieb gesetzten Kernkraftwerke im Zeitverlauf als Grundlage für die nachfolgenden Analysen dokumentiert. Im Kapitel 3 wird die Entwicklung des Stromaustauschs zwischen Deutschland und den Nachbarländern im unmittelbaren Umfeld der Verkündung des Moratoriums bzw. Kurswechsels am 14. März 2011 quantitativ analysiert.

Das Kapitel 4 enthält qualitative bzw. halbquantitative Analysen zu unterschiedlichen Fragenstellungen im Kontext des Stromaustauschs mit den Nachbarländern bzw. -regionen Deutschlands. So wird im Abschnitt 4.1 der Frage nachgegangen, ob die Veränderungen im Stromaustausch eher auf Knappheiten (im Sinne einer Gefährdung der Versorgungssicherheit) im deutschen Stromversorgungssystem oder auf marktgetriebene Prozesse zurückzuführen sind. Im Abschnitt 4.2 wird die Frage analysiert, ob zusätzliche Stromimporte mit Blick auf die Marktstruktur einer zusätzlichen Erzeugung in ausländischen Kernkraftwerken zugerechnet werden können. Im Abschnitt 4.3 wird versucht, aus den Reaktionen der Emissionshandelsmärkte auf die Ankündigung der KKW-Stilllegungen einerseits Schlussfolgerungen auf die Herkunft zusätzlicher Stromimporte zu ziehen und zweitens die Klimaeffekte der KKW-Stilllegungen einzuordnen.

Im Kapitel 5 wird der internationale Stromaustausch ausgewählten quantitativen Analysen unterzogen. In einem ersten Analysegang (Abschnitt 5.1) dazu werden die kurzfristig beobachteten Veränderungen beim Stromaustausch mit den Nachbarländern Deutschlands in den Kontext der in den letzten Jahren beobachteten Austauschbeziehungen gestellt. Darüber hinaus werden im Abschnitt 5.2 die Austauschbeziehungen mit Frankreich im Kontext der Produktionsdaten der französischen Kernkraftwerke gestellt.

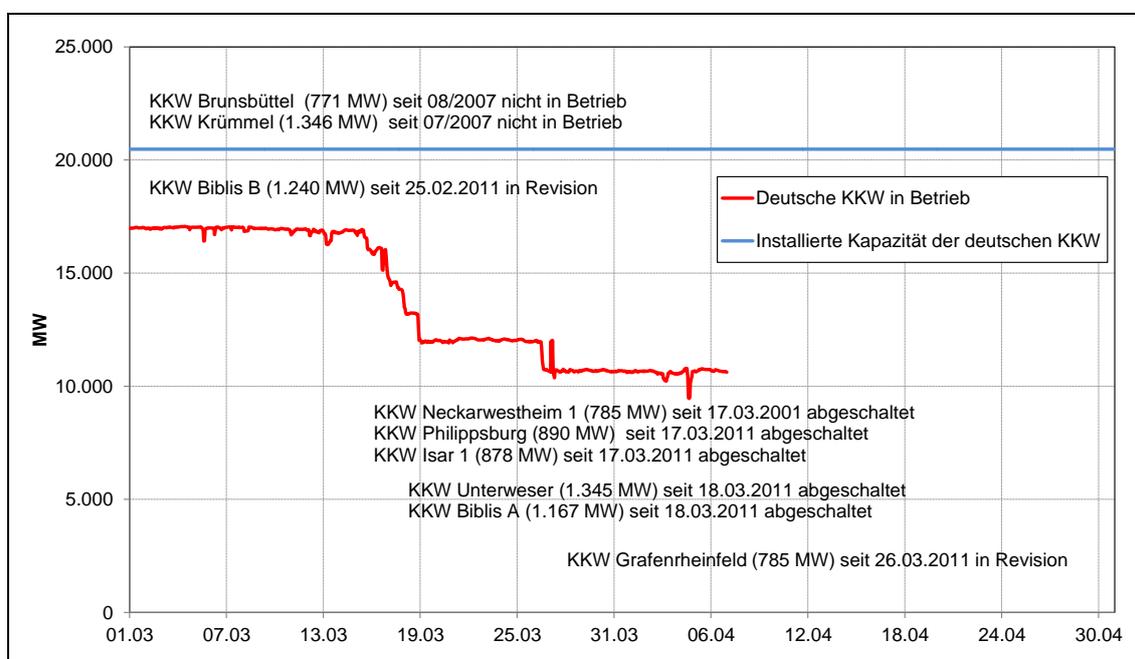
Das abschließende Kapitel 6 enthält einige zentrale Schlussfolgerungen aus den vorstehenden Analysen.

Im Anhang sind ergänzende Daten bzw. ausgewählte Abbildungen zum Stromaustausch zwischen Deutschland und den Nachbarländern zusammengestellt.

## 2 Die aktuelle Stromerzeugung in deutschen Kernkraftwerken

Am 14. März 2011 hat die Bundesregierung als Folge der Reaktorkatastrophe im japanischen Fukushima die mit der 11. Novelle des Atomgesetzes verabschiedete Laufzeitverlängerung für die deutschen Kernkraftwerke im Rahmen eines Moratoriums von 3 Monaten ausgesetzt und eine Neubewertung der Sicherheit aller deutschen Kernkraftwerke angekündigt. Am 17. März 2011 sind als Folge dieses Moratoriums bzw. Kurswechsels 3 Kernkraftwerksblöcke (Neckarwestheim 1, Philippsburg, Isar 1) und am 18. März 2011 zwei weitere Kernkraftwerksblöcke (Unterweser, Biblis A) außer Betrieb genommen worden. Darüber hinaus ging am 26. März 2011 das KKW Grafenrheinfeld revisionsbedingt außer Betrieb (Abbildung 1).

Abbildung 1 *Installierte Leistung und Stromerzeugung der deutschen Kernkraftwerke, 2011*



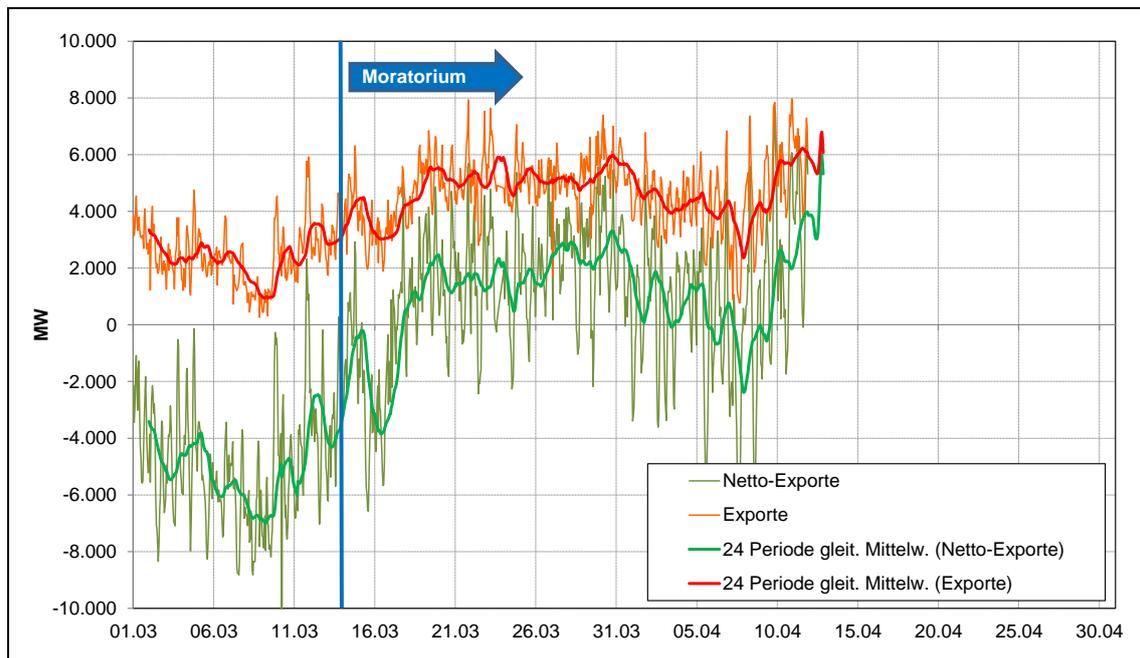
Quelle: *EEX Transparenzdaten, Berechnungen des Öko-Instituts.*

Angesichts der Situation, dass die KKW Brunsbüttel und Krümmel wegen technischer Probleme seit Sommer 2007 durchgängig außer Betrieb sind und das KKW Biblis B seit Ende Februar 2011 revisionsbedingt stillgelegt wurde, befinden sich damit seit dem 18. März 2011 nur noch etwa 60% der Nettoleistung in deutschen KKW in Betrieb. Seit dem 26. März 2011 steht dem Strommarkt nur noch etwas über die Hälfte (52%) der deutschen KKW-Kapazität zur Verfügung. Für die nachfolgenden Analysen ist vor diesem Hintergrund vor allem von Bedeutung, welche Effekte sich für den internationalen Stromaustausch aus der kurzfristigen Außerbetriebnahme von etwa 5.000 MW KKW-Leistung (17./18. März 2011) bzw. über 6.000 MW (ab dem 26. März 2011) ergeben haben.

### 3 Stromimporte nach Deutschland seit der Ankündigung des Moratoriums

In der Abbildung 2 ist die Entwicklung der physischen Stromflüsse zwischen Deutschland und den Nachbarstaaten dargestellt.<sup>1</sup> Grundlage für diese Darstellung bilden die stundengenauen Stromaustauschdaten des Verbandes der europäischen Übertragungsnetzbetreiber (Entso-E – European Network of Transmission System Operators for Electricity).

Abbildung 2 Stromexporte und Netto-Stromexporte (physische Flüsse) von den Nachbarstaaten nach Deutschland im März und April, 2011



Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Die Übersicht verdeutlicht zwei unterschiedliche Entwicklungen:

1. Die Stromimporte von Deutschland aus dem Ausland sind in den Tagen nach Verkündung des Moratoriums deutlich angestiegen. Während sie sich in der ersten Monatshälfte in einer Bandbreite von 1.000 bis 4.000 MW bewegten, stieg das Niveau in der zweiten Monatshälfte deutlich an (4.000 bis 6.000 MW), schwankten dann aber ab Anfang April 2011 sehr stark (1.000 bis 7.000 MW).
2. Eine deutlich stärkere Veränderung ergibt sich für die Nettostromimporte. Die Nettostromimporte bilden den Saldo von Importen und Exporten. In der ersten

<sup>1</sup> Die physischen Lastflüsse sind von den kommerziellen Austauschbeziehungen zu unterscheiden. Sie bilden das Netto-Ergebnis der kommerziellen Austauschbeziehungen.

Monatshälfte des März 2011 war Deutschland durchweg ein Nettoexporteur von Strom, wobei sich die Lieferungen netto in der Bandbreite von etwa 2.000 bis 8.000 MW bewegten. Ab Mitte des Monats veränderte sich die Netto-Exportposition in eine Netto-Importsituation. Die Netto-Importe lagen dabei bis Ende März 2011 überwiegend in der Bandbreite von 0 bis 4.000 MW, gingen dann aber wieder zurück. Ab Anfang April 2011 wurden dann teilweise wieder erhebliche Exportüberschüsse erzielt.

Auch wenn an dieser Stelle (noch) keine weiteren Kausalitätsbetrachtungen angestellt werden, soll darauf hingewiesen werden, dass sich die Veränderungen bei der Entwicklung der Nettostromimporte weniger aus einer Veränderung der Importe nach Deutschland als einer Verringerung der Exporte aus Deutschland in die Nachbarstaaten ergeben. Die Importe aus den Nachbarstaaten haben sich zeitweise moderat erhöht (im Mittel um ca. 2.000 MW), während die Exporte aus Deutschland sich drastisch (im Mittel um ca. 4.000 MW) verringert haben. Ab Anfang April sind sowohl die Importe (im Mittel um etwa 2.000 MW) als auch der Saldo aus Ein- und Ausfuhren (im Mittel um etwa 3.000 MW) wieder zurückgegangen, ohne dass sich dies jedoch bisher als stabiler Trend erweist.

Für die einzelnen Nachbarstaaten bzw. -regionen ergibt sich hinsichtlich des Strom-austauschs jedoch ein differenziertes Bild. Trotz erheblicher Schwankungen in den verschiedenen Tageszeiten und Stunden bzw. über die Woche lassen sich relativ grobe Trends identifizieren (die entsprechenden Abbildungen sind im Anhang zusammengestellt):

- Aus Frankreich wurde in der ersten Märzhälfte ganz überwiegend Strom importiert, Exporte aus Deutschland waren hier eher der Ausnahmefall in wenigen Stunden. Dies änderte sich auch in der zweiten Monatshälfte nicht, das Niveau der Stromimporte stieg jedoch bis Ende März um etwa 2.000 MW an (Abbildung A- 1).
- Im Stromaustausch mit Tschechien war Deutschland in der ersten Märzhälfte nahezu durchgängig Stromimporteur, Lieferungen von Deutschland nach Tschechien erfolgten nur in sehr wenigen Stunden des Monats. Auch hier änderte sich die Situation in der zweiten Monatshälfte nicht, das Niveau der Importe stieg in den Tagen nach der Monatsmitte jedoch um etwa 1.000 MW an, ging aber bis Anfang April etwa wieder auf das Niveau der Importe in der ersten Monatshälfte zurück (Abbildung A- 3).
- Nach Österreich wurde in der ersten Märzhälfte überwiegend Strom exportiert. Diese Situation änderte sich – mit Ausnahme weniger Tage nach der Monatsmitte – auch im weiteren Verlauf des Monats im Grundsatz nicht wesentlich. Gleichwohl sank das Niveau der Stromexporte von Deutschland nach Österreich in der zweiten Monatshälfte um etwa 1.000 MW (Abbildung A- 5).
- Eine ähnliche Situation ergibt sich für den Stromaustausch mit der Schweiz, Deutschland blieb hier im März fast durchweg Stromexporteur, aber auch hier reduzierte sich das Exportniveau um etwa 1.500 MW (Abbildung A- 7).

- Das Profil des Stromaustauschs zwischen Deutschland und Polen ähnelt im März 2011 sehr stark dem des Stromaustauschs mit Österreich. Mit Ausnahme weniger Tage nach der Monatsmitte des März 2011 wurde von Deutschland durchgängig Strom nach Polen exportiert. Das Niveau der Stromexporte reduzierte sich in der zweiten Monatshälfte des März um etwa 500 MW, seit Anfang April liegen die Exporte von Deutschland nach Polen jedoch etwa wieder auf dem Niveau der ersten Märzhälfte (Abbildung A- 9).
- Eine sehr ähnliche Situation ergab sich wiederum für den Stromaustausch mit den Niederlanden. Deutschland war hier fast durchgängig Exporteur. Das Exportniveau sank zwischen der ersten und der zweiten Märzhälfte um etwa 1.000 MW, erreicht aber seit Anfang April fast wieder die Größenordnung der ersten Hälfte des März 2011 (Abbildung A- 11).
- Der Stromaustausch mit Skandinavien (Schweden und Dänemark) veränderte sich im Verlauf des März 2011 nur wenig. Deutschland war sowohl in der ersten als auch in der zweiten Märzhälfte sowie Anfang April 2011 fast durchgängig Netto-Exporteur nach Skandinavien, bei zyklisch schwankenden Exportniveaus ergaben sich nahezu keine Veränderungen in den mittleren Niveaus (Abbildung A- 13).

Als (Zwischen-) Zusammenfassung kann bezüglich der kurzfristigen Änderungen nach der Bekanntgabe des Kernenergie-Moratoriums Mitte 2011 einerseits festgehalten werden, dass sich die Stromimporte nach Deutschland im Vergleich zwischen der ersten und der zweiten Märzhälfte um etwa 2.000 MW erhöht haben. Die entsprechenden Stromlieferungen erfolgten vor allem über Leitungsverbindungen aus Tschechien und Frankreich, wobei die Importe aus Tschechien zunächst schnell zunahmten, dann aber bis Anfang April wieder deutlich zurückgingen, während die Lieferungen aus Frankreich vor allem gegen Ende März 2011 ihren Höhepunkt erreichten. Die größten Effekte auf die Netto-Importbilanz hatten jedoch andererseits die reduzierten Stromlieferungen von Deutschland in benachbarte Staaten in Höhe von etwa 4.000 MW. Die wesentlichen Reduzierungen erfolgten hier im Austausch mit Österreich (etwa 1.000 MW), mit der Schweiz (ca. 1.500 MW), mit Polen (ca. 500 MW) sowie mit den Niederlanden (etwa 1.000 MW), wobei für Polen und die Niederlande bereits seit Anfang April 2010 die Ausfuhrniveaus der ersten Märzhälfte fast wieder erreicht wurden.

Eine ursächliche Verknüpfung der veränderten Situation beim Stromaustausch mit den Nachbarstaaten und -regionen mit dem Moratorium bzw. den Umsteuerungs-Ankündigungen in der deutschen Kernenergie-Politik liegt natürlich intuitiv nahe, in den folgenden Analysen soll jedoch der Frage nachgegangen werden, wie sich die (ggf. temporär) veränderten Austauschbeziehungen in der längeren Perspektive einordnen lassen bzw. welche Schlussfolgerungen sich hinsichtlich der Fragen des nuklearen Risikos sowie des Klimaschutzes ziehen lassen.

## 4 Qualitative Analysen der Stromimporte nach Deutschland

### 4.1 Treiber für den Stromaustausch im liberalisierten Strommarkt Kontinentaleuropas

Wenn sich seit dem Kurswechsel in der deutschen Kernenergie-Politik veränderte Relationen im Stromaustausch mit den Nachbarländern bzw. -regionen ergeben haben, stellt sich zunächst die Frage, was die wesentlichen Treiber für diese Veränderungen waren. Grundsätzlich können hier zwei Hypothesen unterschieden werden. Einerseits könnten sich die veränderten Austauschbeziehungen aus einer Knappheit an Erzeugungskapazitäten im deutschen Stromversorgungssystem ergeben. Andererseits könnten sich die veränderten Austauschbeziehungen aus einem neuen Gleichgewicht im kontinentaleuropäischen Strommarkt erheben haben, wären also weniger auf eine Knappheit, sondern auf eine marktgetriebene (Neu-) Optimierung des Stromversorgungssystems in Mittel- und Westeuropa zurückzuführen.

*Tabelle 1 Reservesituation im deutschen Stromversorgungssystem, März/April 2011*

Verbleibende Leistung Kraftwerkspark 2008 bei Jahreshöchstlast von 80 GW	10,5 GW
Netto-Zubau 2010 gegenüber 2008	1,5 GW
Langfristreserve	-6,6 GW
Annahme Normalbetrieb der KKW Biblis A, Brunsbüttel, Krümmel	3,3 GW
<b>Zwischensumme</b>	<b>8,7 GW</b>
Unterschied der Höchstlast im März/April gegenüber Jahreshöchstlast (Minimum)	6,0-9,0 GW
<b>Kapazitätsreserve im deutschen Stromerzeugungssystem bei Betrieb aller KKW</b>	<b>14,7-17,7 GW</b>
Leistung der stillgelegten bzw. in Revision befindlichen KKW	-9,7 GW
<b>Verbleibende Kapazitätsreserve im deutschen Stromerzeugungssystem</b>	<b>5,0-8,0 GW</b>

Quelle: Öko-Institut.

Der Frage nach einer ggf. knappheitsgetriebenen Veränderung des internationalen Stromaustauschs kann auf geeignete Weise über eine Betrachtung der Reservesituation im deutschen Stromversorgungssystem nachgegangen werden. Auf Grundlage der ausführlicheren Analysen zur Versorgungssicherheitssituation in Deutschland (Öko-Institut 2011) ergibt sich die in Tabelle 1 gezeigte Situation im Überblick:

- Insgesamt ergibt sich für das deutsche Stromversorgungssystem zum Zeitpunkt der Jahreshöchstlast eine frei verfügbare Kapazitätsreserve von 8,7 GW (unter Berücksichtigung aller Reserveanforderungen sowie der vollständigen Verfügbarkeit aller deutschen KKW).
- Berücksichtigt man die typische Höchstlastsituation im März/April eines jedes Jahres (die entsprechenden Daten für die Jahre 2007 bis 2010 sind in Tabelle 2 zusammengestellt), so ergibt sich eine saisonal bedingte Zusatzreserve von 6.000 bis 9.000 MW, so dass die gesamten Reserven des deutschen Kraftwerksparks bei Betrieb aller KKW in diesem Zeitraum etwa 14,7 bis 17,7 GW betragen hätte.

- Abzüglich der seit längerem stillgelegten sowie der seit Mitte März außer Betrieb genommenen Kernkraftwerksblöcke mit einer Gesamtleistung von 9,7 GW ergibt sich eine weiterhin verfügbare Leistung von etwa 5 bis 8 GW.<sup>2</sup>

**Tabelle 2** *Jährliche und monatliche Höchstlast im deutschen Stromversorgungssystem, 2007 – 2010*

	2006	2007	2008	2009	2010
	MW				
Höchstlast					
Jahr	77.918	78.377	76.763	73.233	79.884
Januar	74.611	76.582	76.763	72.826	76.824
Februar	74.526	73.818	75.364	73.233	76.352
März	71.320	72.367	73.518	69.275	74.102
April	69.266	68.594	71.540	65.004	67.615
Mai	68.748	71.539	69.892	69.054	70.829
Juni	67.830	71.156	68.823	64.284	67.913
Juli	68.059	69.815	67.269	63.511	66.931
August	67.848	70.756	68.096	63.359	68.814
September	69.927	72.725	70.553	66.336	70.578
Oktober	72.188	73.659	71.741	69.069	70.907
November	75.182	78.377	75.211	72.893	76.837
Dezember	77.918	78.134	74.467	72.974	79.884
Differenz zur Jahreshöchstlast					
Januar	-3.307	-1.795	0	-407	-3.060
Februar	-3.392	-4.559	-1.399	0	-3.532
März	-6.598	-6.010	-3.245	-3.958	-5.782
April	-8.652	-9.783	-5.223	-8.229	-12.269
Mai	-9.170	-6.838	-6.871	-4.179	-9.055
Juni	-10.088	-7.221	-7.940	-8.949	-11.971
Juli	-9.859	-8.562	-9.494	-9.722	-12.953
August	-10.070	-7.621	-8.667	-9.874	-11.070
September	-7.991	-5.652	-6.210	-6.897	-9.306
Oktober	-5.730	-4.718	-5.022	-4.164	-8.977
November	-2.736	0	-1.552	-340	-3.047
Dezember	0	-243	-2.296	-259	0

Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

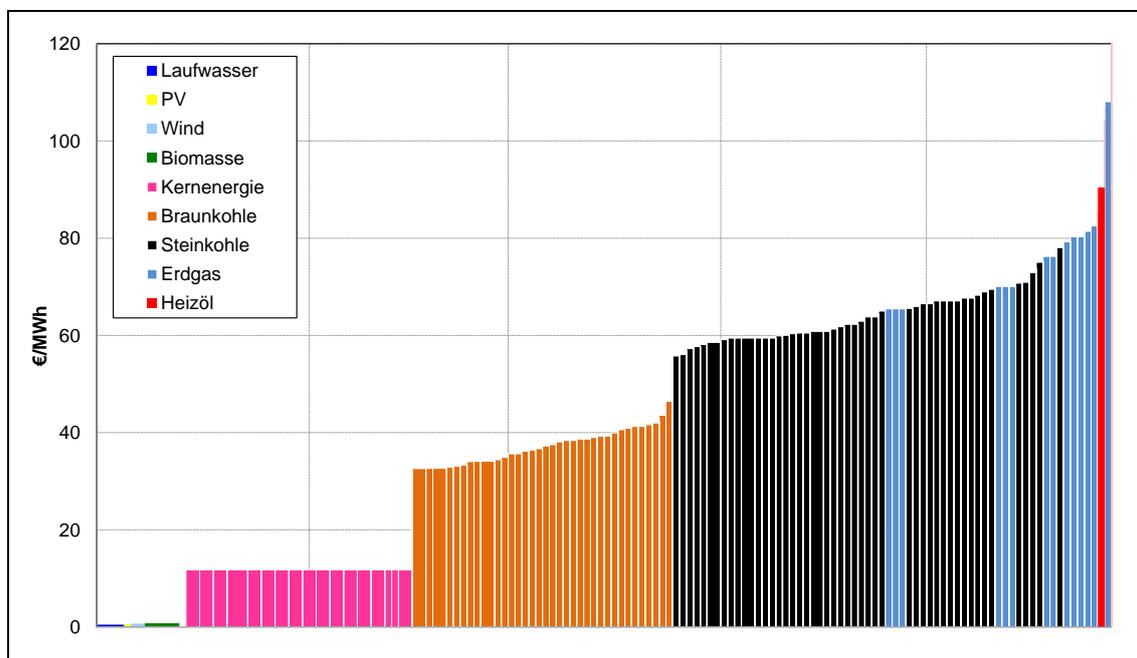
Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass die Kapazitätssituation im deutschen Stromversorgungssystem die Schlussfolgerung erlaubt, dass die veränderten Stromaustauschbeziehungen ab Mitte März 2011 nicht auf eine Knappheit an Kraftwerkskapazitäten in Deutschland (im Sinne einer gefährdeten Versorgungssicherheit) zurückzuführen sein kann. Die veränderten Relationen und Niveaus bei der Ein- und Ausfuhr von Strom müssen also ursächlich durch die Einstellung eines neuen Marktgleichgewichts im kontinentaleuropäischen Kraftwerkspark bedingt sein.

<sup>2</sup> In den Jahren, in denen die Differenz der Höchstlast in den Monaten März und April deutlich unter den genannten Werten von 6 bis 9 GW gelegen hat, zeichnen sich durch vergleichsweise geringe Jahreshöchstlast aus, so dass dieser Ansatz als belastbar erscheint.

## 4.2 Einordnung von KKW und Kernenergie-Importen in die deutsche Merit Order

Im wettbewerblich strukturierten Strommarkt in Kontinentaleuropa ergibt sich die Einsatzweise der Kraftwerke aus der sogenannten Abruf-Rangfolge der Kraftwerke (Merit Order) sowie den entsprechenden Engpässen bei den Übertragungsnetzen, wobei hier vor allem die grenzüberschreitenden Kuppelstellen einen besonderen Engpass bilden. Die Merit Order der einzelnen Kraftwerksblöcke ergibt sich dabei auf Grundlage der kurzfristigen Grenzkosten, die sich wiederum im Wesentlichen aus den Kosten für Brennstoffbeschaffung sowie ggf. die für den Betrieb notwendigen CO<sub>2</sub>-Emissionsberechtigungen (EUA – European Union Allowances) ergeben.

Abbildung 3 Schematische Darstellung der Merit-Oder und der Grenzkostenpreisbildung im liberalisierten Strommarkt



Quelle: PowerFlex-Modell des Öko-Instituts.

Abbildung 3 zeigt eine solche Merit Order für Deutschland (die hinsichtlich der jeweiligen Kostenniveaus auch die Situation auf dem kontinentaleuropäischen Markt beschreibt) in einer schematischen Darstellung. An erster Stelle stehen die ohnehin zu betreibenden Kraftwerke. Dies sind einerseits Einspeisungen aus Wind- und Solar-kraftwerken, andererseits aber wärmegeführte Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung sowie Kraftwerke in sehr spezifischen Anlagenkonstellationen (z.B. Kuppelgas-Kraftwerke im Verbund mit Stahlwerken). In der Einsatzreihenfolge folgen dann Kernkraftwerke, die sich durch besonders niedrige Betriebskosten (in der Größenordnung um 10 €/MWh) auszeichnen. Das nächst höhere Betriebskostenniveau (vor allem aus Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Kosten) im Bereich der Anlagen mit niedrigen kurzfristigen Grenzkosten ergibt sich dann für moderne Braunkohle-Kraftwerke mit höheren Wirkungsgraden (ca. 30 €/MWh). Im Bereich der Kraftwerke mit mittleren Grenzkosten (40 bis

70 €/MWh) sind vor allem Steinkohlenkraftwerke, Gaskraftwerke mit hohen Wirkungsgraden (GuD – Gas- und Dampf-Kraftwerke) und ggf. alte Braunkohlenkraftwerken mit sehr niedrigen Wirkungsgraden relevant. Nur in Spitzenzeiten werden schließlich die Kraftwerke mit (sehr) hohen Grenzkosten (größer 70 €/MWh) eingesetzt, dies sind einerseits Gasturbinen, Heizöl-Kraftwerke sowie Pumpspeicherkraftwerke.

Diese Zusammenstellung zeigt, dass die wegfallenden Kernkraftwerke in Deutschland nur schwerlich durch zusätzliche Importe von Strom aus ausländischen Kernkraftwerken ersetzt werden konnten. Wenn die Leistungsverbindungen und Kuppelstellen entsprechende Lieferungen ermöglichen, dann wären entsprechende Stromlieferungen im Vergleich zum nächsten größeren Kapazitätsblock in der Merit Order (Braunkohlenkraftwerke mit höheren Wirkungsgraden) immer, d.h. auch vor dem Kurswechsel in der deutschen Kernenergiepolitik kostengünstiger gewesen. Für entsprechende Importe hätte es damit keineswegs der Abschaltung von Kernkraftwerken in Deutschland bedurft. Wenn zusätzliche Kernenergieimporte in der ersten Hälfte des März 2011 nicht möglich waren, gibt es keinen Grund anzunehmen, dass sich diese Situation mit Verkündung des Kernenergie-Moratoriums schlagartig geändert hätte.

Die verminderten Stromexporte von Deutschland in die Niederlande sowie nach Polen lassen unter Berücksichtigung der jeweiligen Struktur des Kraftwerksparks<sup>3</sup> darüber hinaus vermuten, dass die durch die Außerbetriebnahme erheblicher KKW-Kapazitäten in Deutschland ausgelösten Verschiebungen in der deutschen Merit Order dazu geführt haben, dass Kraftwerke der oberen Mittellast (also ältere Steinkohlen- und Braunkohlenkraftwerke sowie Erdgaskraftwerke mit eher niedrigeren Wirkungsgraden) stärker ausgelastet wurden und die nächst teuren Kraftwerksblöcke für den Export in Länder mit erheblichen Steinkohle- und Erdgaskraftwerkskapazitäten nicht mehr konkurrenzfähig waren.

Aus dieser qualitativen bzw. halb-quantitativen Analyse kann also geschlossen werden, dass es sich bei den zusätzlichen Stromimporten nach Deutschland eher nicht um Strom aus Kernkraftwerken (in Frankreich oder Tschechien) gehandelt haben kann, sondern dass über die Stromleitungen aus Frankreich und Tschechien eher zusätzlicher Strom aus bis dahin geringer ausgelasteten Kohle- oder Erdgaskraftwerken nach Deutschland eingeführt wurde. Diesbezüglich soll an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass es sich bei Stromlieferungen über französische Grenzkuppelstellen durchaus auch um Stromlieferungen aus den Benelux-Staaten handeln kann.

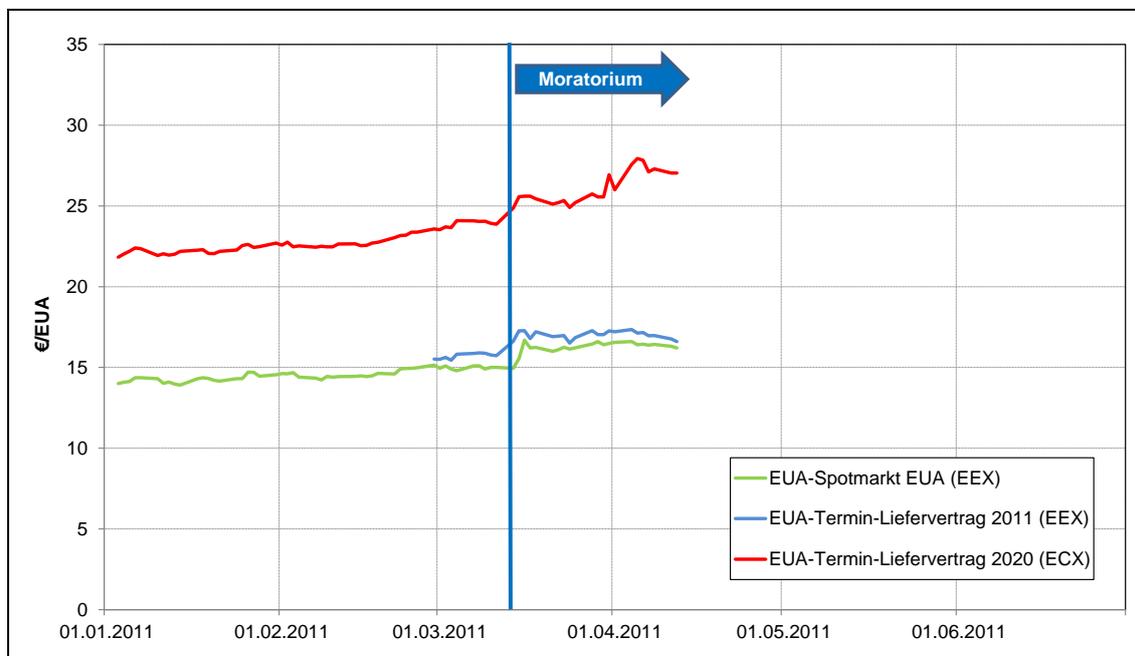
---

<sup>3</sup> In den Niederlanden handelt es sich vor allem um Erdgas- und Steinkohlenkraftwerke, in Polen nahezu vollständig um Braun- und Steinkohlenkraftwerke.

### 4.3 Reaktion der Emissionshandelsmärkte

Das Treibhausgas-Emissionshandelssystem der Europäischen Union bildet einen entscheidenden regulatorischen Rahmen für die Bewertung der Klimaeffekte, die sich aus der Stilllegung von KKW-Kapazitäten ergeben. Mit diesem System wird eine robuste Emissionsbegrenzung geschaffen, deren Erreichung über handelbare Zertifikate flexibilisiert wird. Wenn in einigen Anlagen dieses Systems höhere Emissionen (z.B. durch die Außerbetriebnahme von Kernkraftwerken) auftreten, dann reagiert das Emissionshandelssystem mit einer Veränderung der Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionsberechtigungen. Vermittelt über diese veränderten CO<sub>2</sub>-Preise werden dann die Emissionen im Gesamtsystem (also in Anlagen des gleichen oder anderer Sektoren bzw. durch Anlagen im In- oder Ausland) wieder kostenoptimal auf die Zielvorgabe des Emissionshandelssystems (Cap) eingependelt.

Abbildung 4 Entwicklung der Preise für Emissionsberechtigungen im Spot- und Terminmarkt, März und April 2011



Quelle: EEX, ECX, Berechnungen des Öko-Instituts.

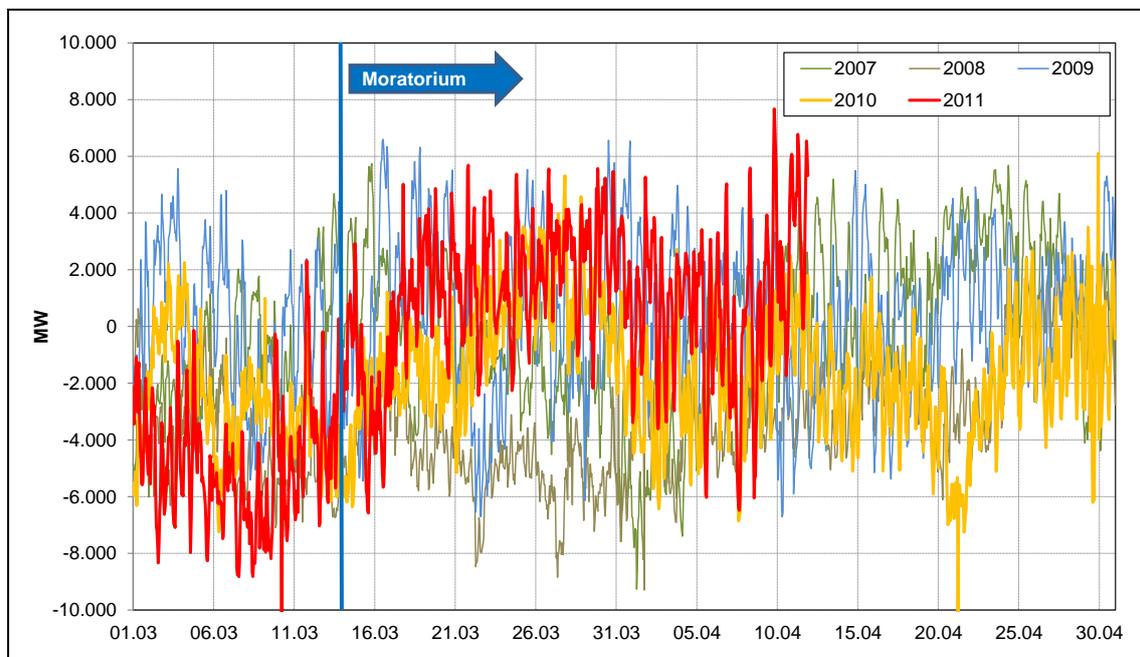
Die Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Preise im Verlauf des Jahres 2011. Die Übersicht verdeutlicht, dass die Bekanntgabe des Kurswechsels in der deutschen Kernenergiepolitik einen leichten Sprung in den CO<sub>2</sub>-Preisen (ca. 2 €/EUA) verursacht hat. Das Emissionshandelssystem hat also sofort ein entsprechendes Preissignal ausgelöst. Aus diesem deutlich erkennbaren Preissignal lassen sich zwei Schlussfolgerungen ziehen. Erstens hat sich gezeigt, dass die Regelungsmechanismen des Systems funktionieren und die Einhaltung der Emissionsziele des Systems gewährleistet ist. Zweitens lässt sich folgern, dass die Produktion der deutschen KKW nicht überwiegend durch andere Kernkraftwerke übernommen worden sein kann – in diesem Fall hätte es im CO<sub>2</sub>-Markt kein erkennbares Preissignal geben können.

## 5 Quantitative Analyse der Stromimporte nach Deutschland

### 5.1 Vergleich der Importstrommengen mit den Vorjahren

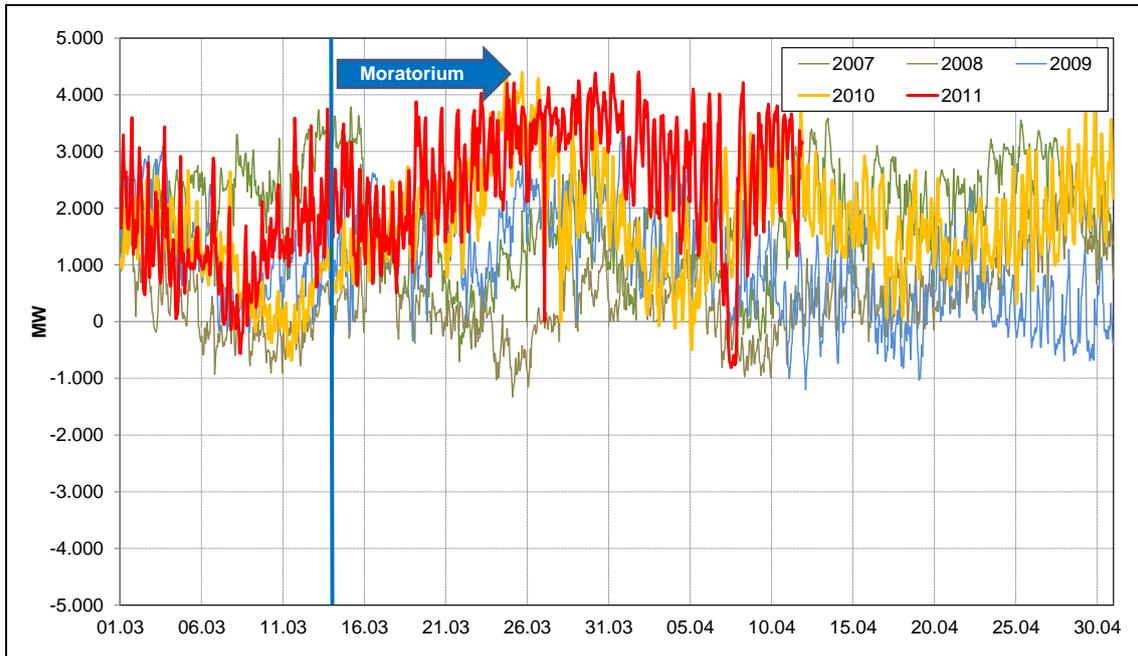
Die bisherigen Analysen zur Entwicklung des Stromaustauschs zwischen Deutschland und den Nachbarländern- und -regionen fokussierten vor allem das vergleichsweise enge Zeitfenster von März bis April 2011. Wenngleich einige auffällige Parallelitäten zwischen dem Kurswechsel in der deutschen Kernenergiepolitik und der Situation bei der Ein- und Ausfuhr von Strom (wie auch auf den Strom- und CO<sub>2</sub>-Märkten) zu verzeichnen sind, so sollten diese jedoch auch in den längerfristigen Zeitrahmen eingeordnet werden. Die Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der deutschen Netto-Stromeinfuhren für die Jahre 2007 bis 2011 (jeweils im März und April). Die Übersicht verdeutlicht sehr eindrücklich, dass die Entwicklung im März und April 2011 (rote Linie) keineswegs eine Sondersituation beschreibt. Auch im Jahr 2010 (gelbe Linie) wurden vergleichbare Niveaus, aber auch vergleichbare Schwankungen des Stromaustauschs verzeichnet. Die Zusammenstellung zeigt aber auch, dass in den Jahren 2007 bis 2009 im Vergleich zur Situation in der zweiten Märzhälfte 2011 sehr wohl auch höhere Netto-Importniveaus für Deutschland aufgetreten sind. Eine ähnliche Situation ergibt für die langjährige Einordnung des Stromaustauschs mit Frankreich (Abbildung 6) und Tschechien (Abbildung 7). Bezüglich des Stromaußenhandels mit Tschechien ist schließlich darauf hinzuweisen, dass die Importe aus Tschechien seit Anfang April eher am unteren Rand der seit 2007 beobachteten Bandbreite liegen.

Abbildung 5 Netto-Stromexporte von den Nachbarstaaten nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



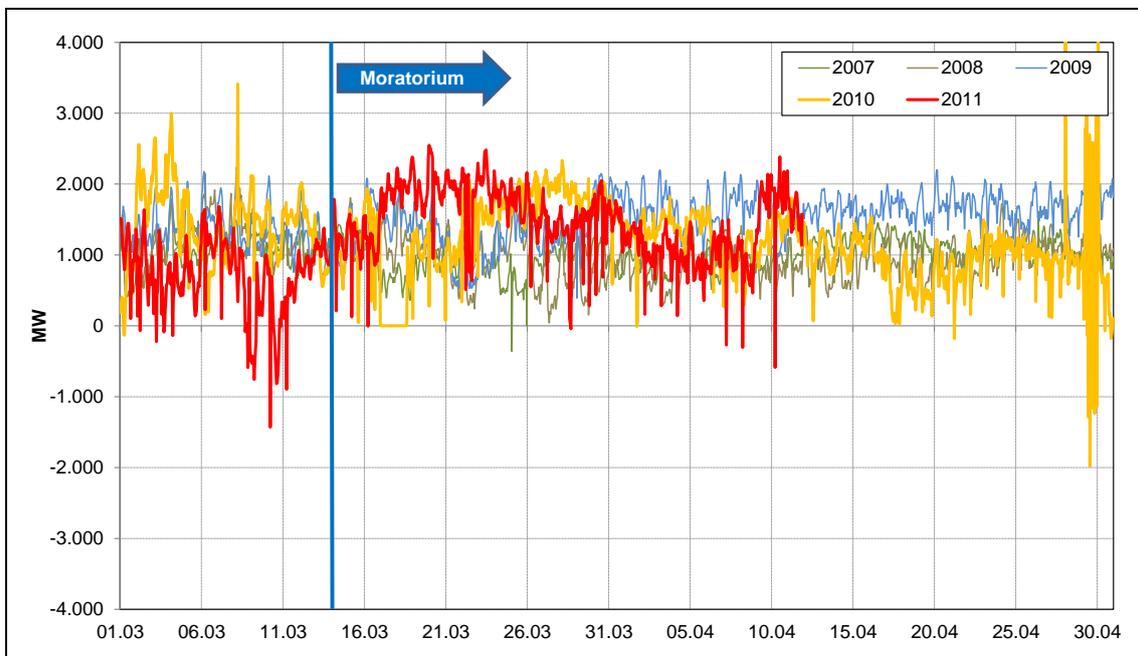
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung 6 Netto-Stromexporte von Frankreich nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung 7 Netto-Stromexporte von Tschechien nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011

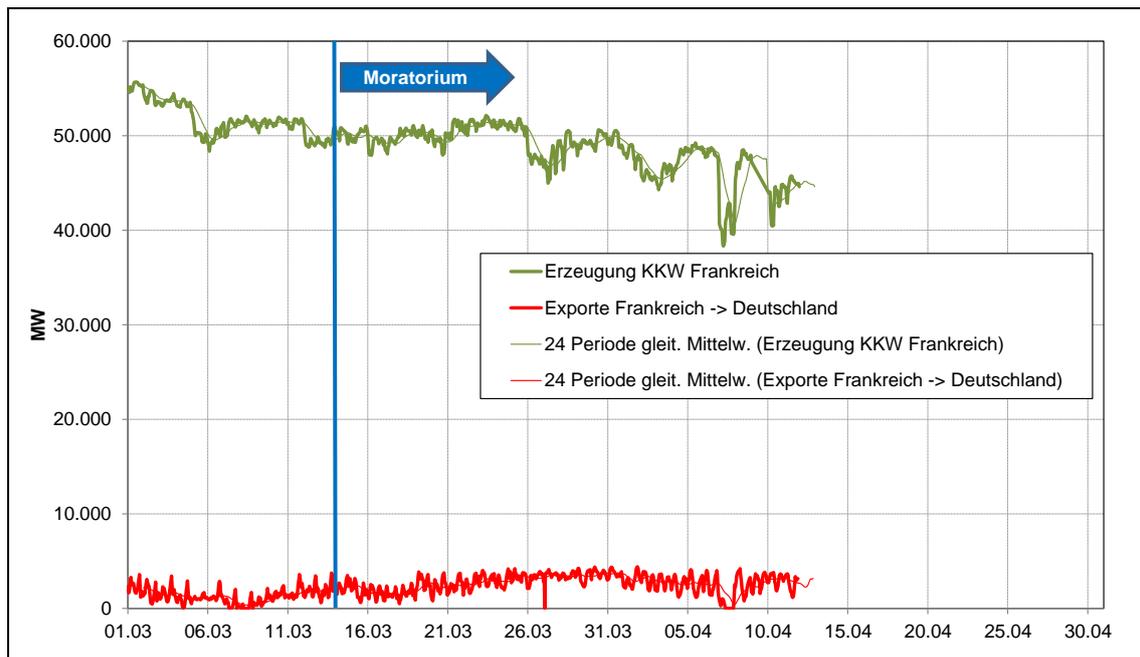


Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

## 5.2 Vergleich der Importstrommengen und der Stromerzeugung in französischen Kernkraftwerken

Eine zweite quantitative Analyse fokussiert das exemplarische – und wegen der möglichen Importe aus Kernkraftwerken politisch besonders sensible – Fallbeispiel Frankreich. Der Datenvergleich bietet sich hier besonders an, da einerseits zeitlich hoch aufgelöste Daten zum Stromaustausch mit entsprechend hoch aufgelösten Produktionsdaten der Kernkraftwerke verglichen werden können.

Abbildung 8 Stromexporte von Frankreich nach Deutschland und Stromerzeugung der französischen Kernkraftwerke, 2011



Quelle: RTE, Berechnungen des Öko-Instituts.

In der Abbildung 8 sind die Transparenzdaten des französischen Übertragungsnetzbetreibers RTE (Réseau de transport d' électricité) und die Austauschdaten des Verbands der europäischen Übertragungsnetzbetreiber (Entso-E) zusammengestellt.

Der Überblick verdeutlicht, dass die Entwicklung des Stromaustauschs über Kuppelstellen zwischen Frankreich und Deutschland in keiner Weise mit der französischen KKW-Stromerzeugung korreliert. Im Gegenteil, den ab Mitte März 2011 tendenziell steigenden Stromlieferungen von Frankreich nach Deutschland steht eine tendenziell sinkende Stromerzeugung in den französischen Kernkraftwerken gegenüber. Auch spiegelt sich die in der zweiten Hälfte des März zunehmend erheblichen Schwankungen unterworfenen KKW-Stromerzeugung in keiner Weise bei den Stromimporten nach Deutschland wider, auch in den Phasen mit leicht sinkender Tendenz für die Stromeinfuhren nach Deutschland. Diese Daten verstärken noch einmal erheblich die These, dass es im Nachgang zur Bekanntgabe des Kurswechsels in der deutschen Kernenergiepolitik keineswegs zu höheren Stromimporten aus französischen Kernkraftwerken nach Deutschland gekommen sein dürfte.

## 6 Schlussfolgerungen

Aus den qualitativen, halb-quantitativen und quantitativen Analysen lassen sich insgesamt die folgenden Schlussfolgerungen zusammenfassen:

- Unter anderem als Folge des Mitte März 2011 angekündigten Kurswechsels in der deutschen Kernenergie-Politik waren Ende März 2011 etwa 9,7 GW nuklearer Kraftwerkskapazitäten nicht am Netz, dies entspricht fast der Hälfte der gesamten Kapazität deutscher Kernkraftwerke.
- Die Veränderungen im Stromaußenhandel zwischen Deutschland und seinen Nachbarstaaten bzw. –regionen im März und April können zumindest teilweise durchaus auf den Kurswechsel in der deutschen Kernenergiepolitik und die entsprechende Außerbetriebnahme erheblicher Kernkraftwerkskapazitäten ab Mitte März 2011 zurückgeführt werden.
- Die kurzfristig beobachtbaren Veränderungen in der Außenhandelsbilanz für Strom ergeben sich zum kleineren Teil (ca. 2000 MW) aus erhöhten Stromimporten nach Deutschland (vor allem aus Frankreich und zeitweise aus Tschechien) und zum größeren Teil (ca. 4.000 MW) über verringerte Stromexporte aus Deutschland ins benachbarte Ausland (Österreich, Schweiz, Polen und die Niederlande).
- Im langjährigen Vergleich fallen die kurzfristig beobachteten Niveauveränderungen beim Stromaustausch mit den Nachbarstaaten und –regionen keineswegs aus dem Rahmen. In Vorjahren sind Variationen von Ausfuhren und Einfuhren beobachtet worden, die durchaus mit den im März/April 2011 beobachteten Entwicklungen vergleichbar sind.
- Der wesentliche Treiber für diese Veränderungen im Stromaustausch ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht in einer Knappheitssituation (im Sinne der Versorgungssicherheit) im deutschen Stromversorgungssystem zu suchen. Im Verlauf des März und April 2011 standen jederzeit mehr als ausreichende freie Kraftwerkskapazitäten (5.000 bis 8.000 MW) zur Spitzenlastdeckung zur Verfügung.
- Die veränderten Austauschbeziehungen für Strom sind damit vor allem auf den marktgetriebenen Optimierungsprozess der Stromproduktion im kontinentaleuropäischen Markt zurückzuführen. Dieser Markt hat sich nach der Abschaltung erheblicher KKW-Kapazitäten in Deutschland in ein neues Gleichgewicht eingependelt. Dieses Gleichgewicht beinhaltet im generellen Trend offensichtlich weniger Stromausfuhren aus Deutschland und (temporär) leicht erhöhte Stromeinfuhren nach Deutschland.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass die (begrenzten) Mehrimporte, v.a. aus Tschechien und Frankreich aus dortigen Kernkraftwerken bereitgestellt wurden ist mit Blick auf die Merit Order im deutschen (und kontinentaleuropäischen) Kraftwerkspark als minimal einzuordnen.

- Die gleiche Schlussfolgerung lässt sich zumindest qualitativ aus den Entwicklungen im EU-Emissionshandelssystem ableiten. Die deutlich erkennbare Preisreaktion auf den Kurswechsel in der deutschen Kernenergie-Politik lässt es als ausgeschlossen erscheinen, dass ein großer Teil der stillgelegten deutschen KKW durch zusätzliche Produktionsmengen aus ausländischen KKW kompensiert worden sein könnte.
- Die Hypothese, dass es sich bei den über Grenzkuppelstellen zu Frankreich gelieferten Zusatzmengen an Strom nicht um Strom aus Kernkraftwerken handelt, wird durch einen Abgleich der Stromaustauschdaten mit den entsprechend zeitlich aufgelösten Produktionsdaten für die französischen Kernkraftwerke gestützt. Es existiert kein erkennbarer Zusammenhang zwischen der Zunahme der Stromimporte über französische Grenzkuppelstellen und der Produktion der französischen KKW.
- Die Regelungsmechanismen des EU-Emissionshandelssystems sichern gleichzeitig ab, dass (kurz- bis mittelfristige) Emissionserhöhungen durch die höhere Auslastung der o.g. Kraftwerke im Zuge der schnellen Außerbetriebnahme von Kernkraftwerken im europäischen Gesamtsystem durch Emissionsminderungen bei anderen Anlagen voll kompensiert werden und damit nicht zu einer verstärkten Klimabelastung führen.

Als eine zentrale Erkenntnis aus den hier präsentierten Analysen ist damit erstens festzuhalten, dass aus der Perspektive nuklearer Sicherheit mit vergleichsweise hoher Sicherheit keine problematischen oder kontraproduktiven Effekte („KKW-Abschaltungen in Deutschland führen zu erhöhten Importen aus ausländischen KKW“) entstanden sind. Zweitens sind auch mit Blick auf die klimapolitischen Aspekte der Abschaltungen deutscher Kernkraftwerke keine kontraproduktiven Effekte („KKW-Abschaltungen in Deutschland führen zu einer stärkeren Belastung des Klimas“). Dies ist auch für den Fall weiterer Abschaltungen nicht zu erwarten (sofern diese nicht durch langfristig problematische Investitionen in CO<sub>2</sub>-intensive Stromerzeugungsoptionen begleitet werden).

Gerade die Erkenntnisse zur Einordnung der beobachteten Effekte mit Blick auf das nukleare Risiko sowie die Klimaschutzeffekte, die sich aus den hier vorgelegten Analysen zur Außerbetriebnahme signifikanter KKW-Kapazitäten in Deutschland ergeben, sind auch für die grundsätzliche Bewertung des beschleunigten Ausstiegs aus der Kernenergie von erheblicher Bedeutung.

Die vorgestellten qualitativen und halb-quantitativen Analysen sind naturgemäß vorläufiger Natur und bedürfen der Fortführung im Zeitverlauf und der weiteren Spezifikation, z.B. durch geeignete Modellanalysen. Gleichwohl dürften sich die beschriebenen Grundzusammenhänge und –trends als sehr robust erweisen.

## 7 Referenzen

### 7.1 Literatur

- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2011): Energie-Info. Entwicklung von Stromerzeugung, Stromaustausch und Großhandelspreisen im März 2011. Berlin, 4. April 2011.
- Harms, W., von Stebut, D., Westermann, H.P. (1987): Atomstrom aus Frankreich? Vorträge und Diskussionen des Energierechts-Gesprächs am 12./13. Mai 1987. Köln, Berlin, Bonn, München: Carl Heymanns Verlag.
- Klinger, H. (1999): Kernenergie kann auch importiert werden. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 18.12.1999.
- Öko-Institut (2011): Schneller Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland. Kurzfristige Ersatzoptionen, Strom- und CO<sub>2</sub>-Preiseffekte. Kurzanalyse für die Umweltstiftung WWF Deutschland. Berlin, März 2011.
- Simson, W. (1999): Herausforderungen an die Kernenergie in Deutschland. Referat anlässlich der Wintertagung des Deutschen Atomforums. Bonn, 26. Januar 1999.
- von Weizsäcker, C.C. (1999): Kommt nach der Kernenergie wieder Kernenergie? Wirtschaftswoche, 11. Februar 1999.

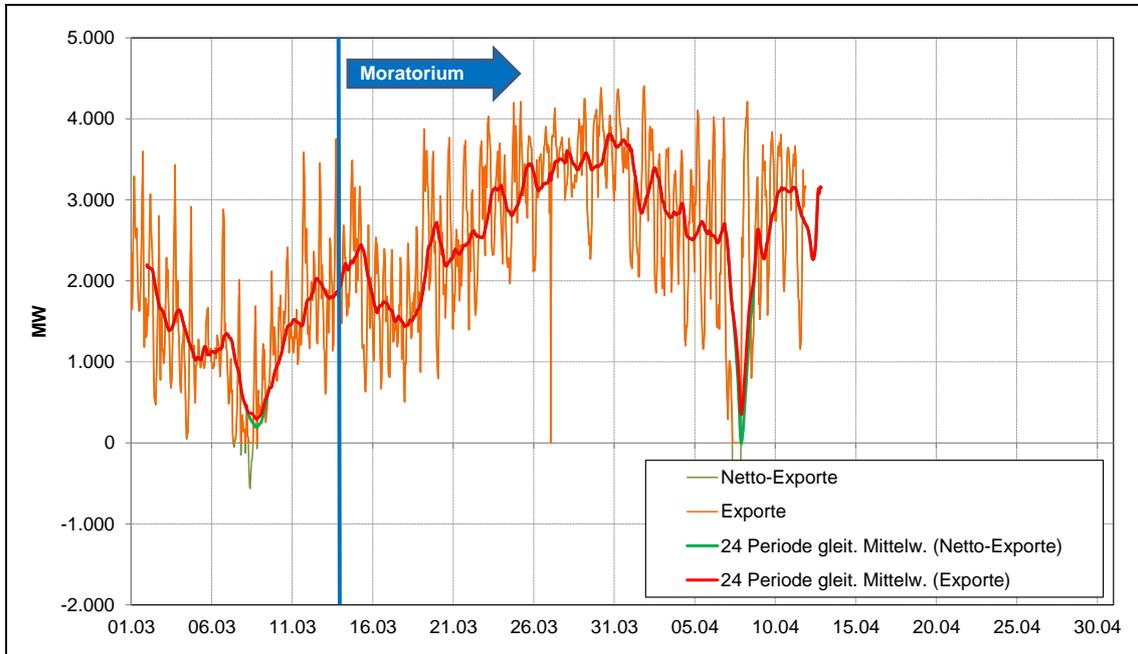
### 7.2 Verwendete Datenbasen

- European Energy Exchange (EEX): Market Data. Emission Allowances. Leipzig.
- European Energy Exchange (EEX): Transparency in Energy Markets. Voluntary Commitment of the Market Participants. Ex-post data. Previous day production. Leipzig.
- European Network of Transmission System Operators for Electricity (Entso-E): Congestion management. Operational. Cross border physical flows. Brussels.
- ICE European Climate Exchange (ECX): Market Data. ECX EUA Futures. London.
- Réseau de transport d'électricité (RTE): Operational Data. Generation in France. Actual Generation. Paris.



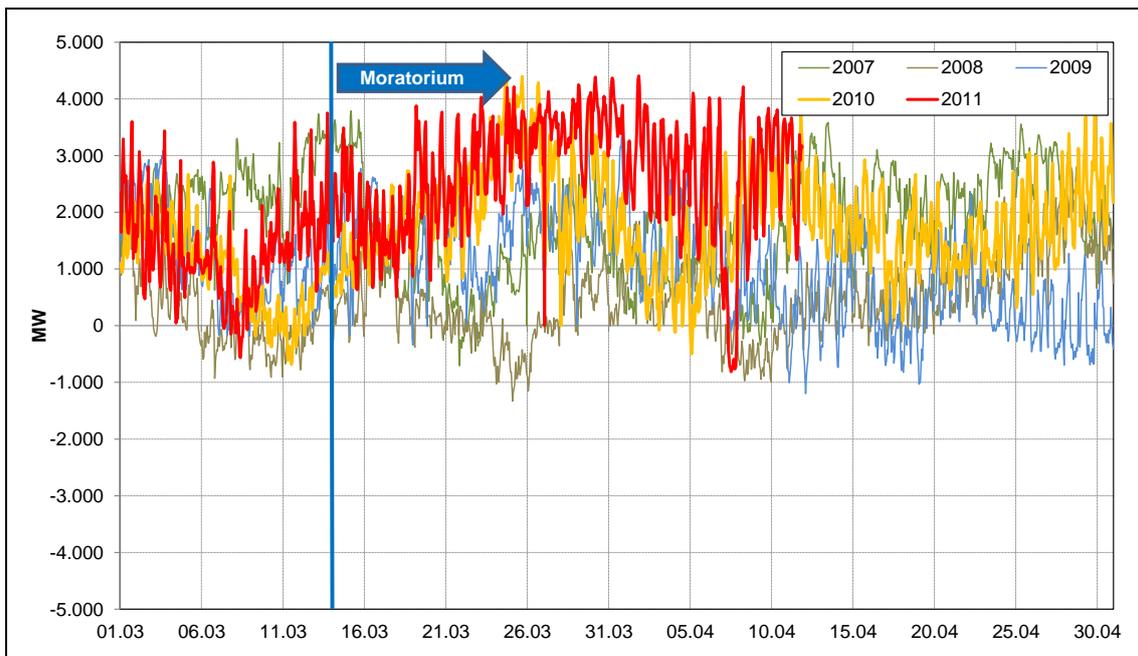
## Anhang

Abbildung A- 1 Stromexporte und Netto-Stromexporte von Frankreich nach Deutschland im März und April, 2011



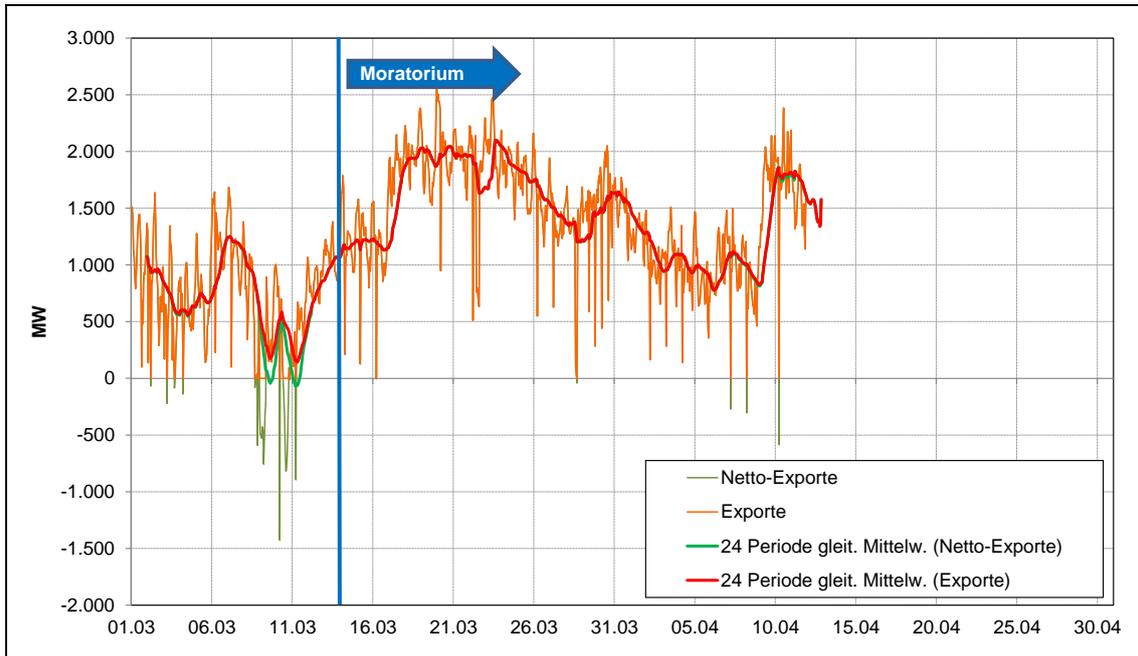
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 2 Netto-Stromexporte von Frankreich nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



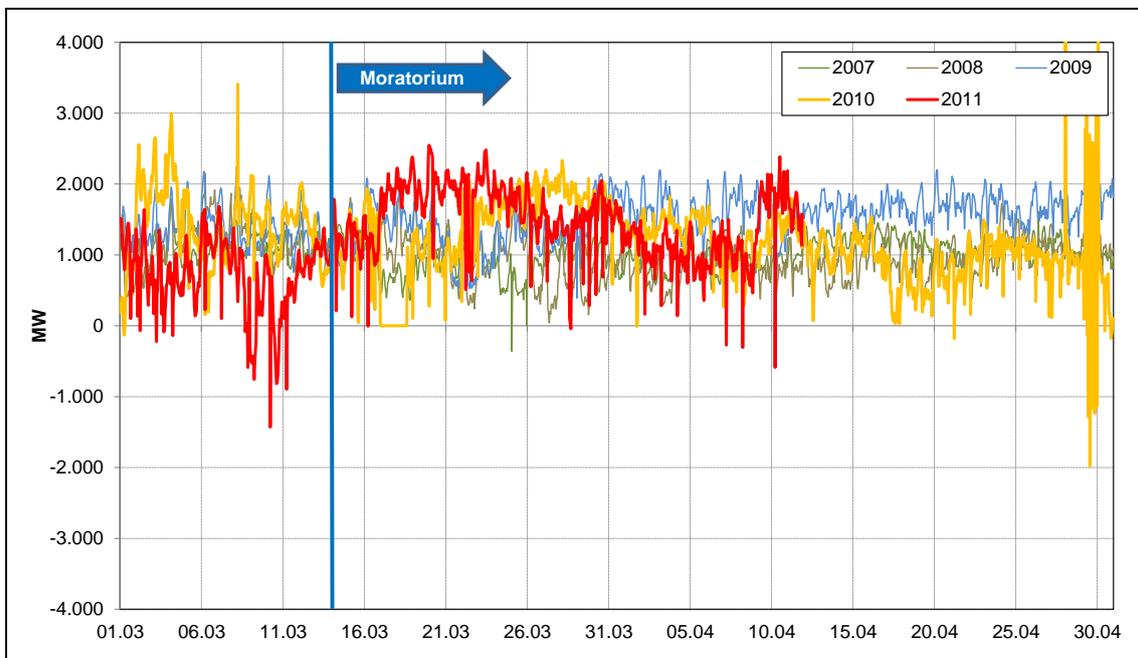
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A-3 Stromexporte und Netto-Stromexporte von Tschechien nach Deutschland im März und April, 2011



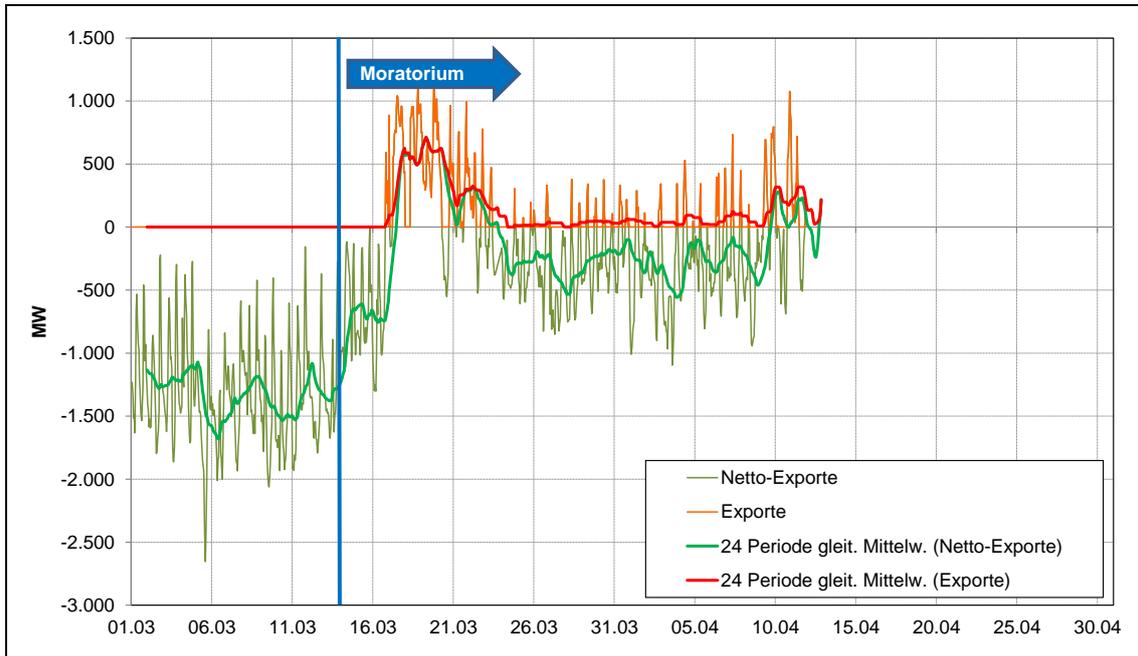
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A-4 Netto-Stromexporte von Tschechien nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



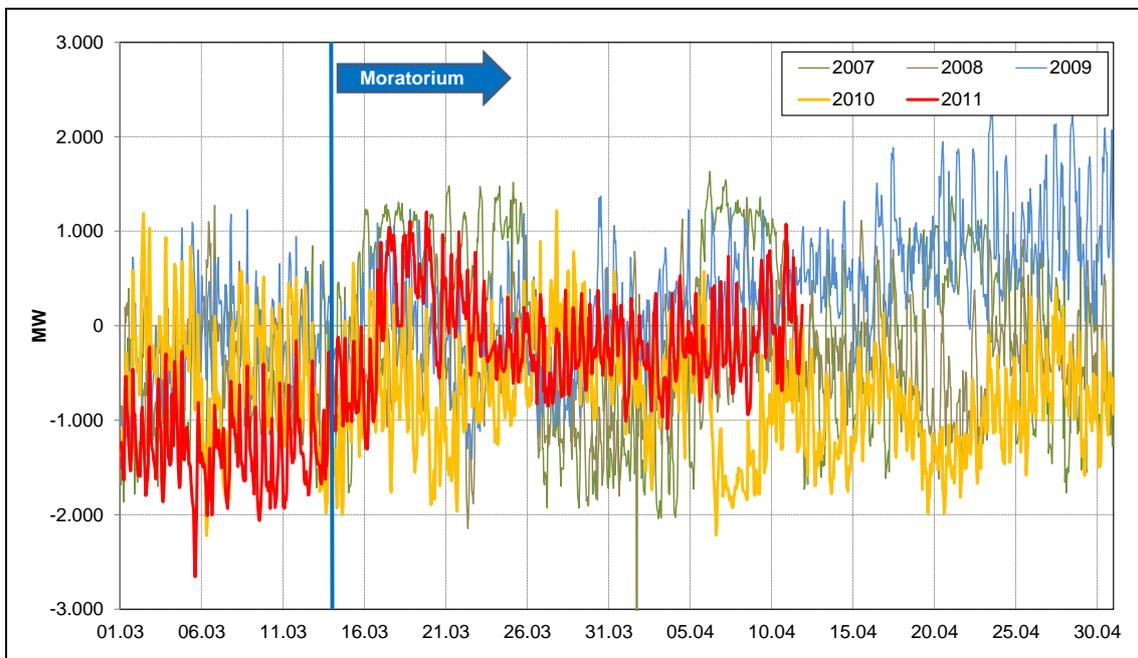
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 5 Stromexporte und Netto-Stromexporte aus Österreich nach Deutschland im März und April, 2011



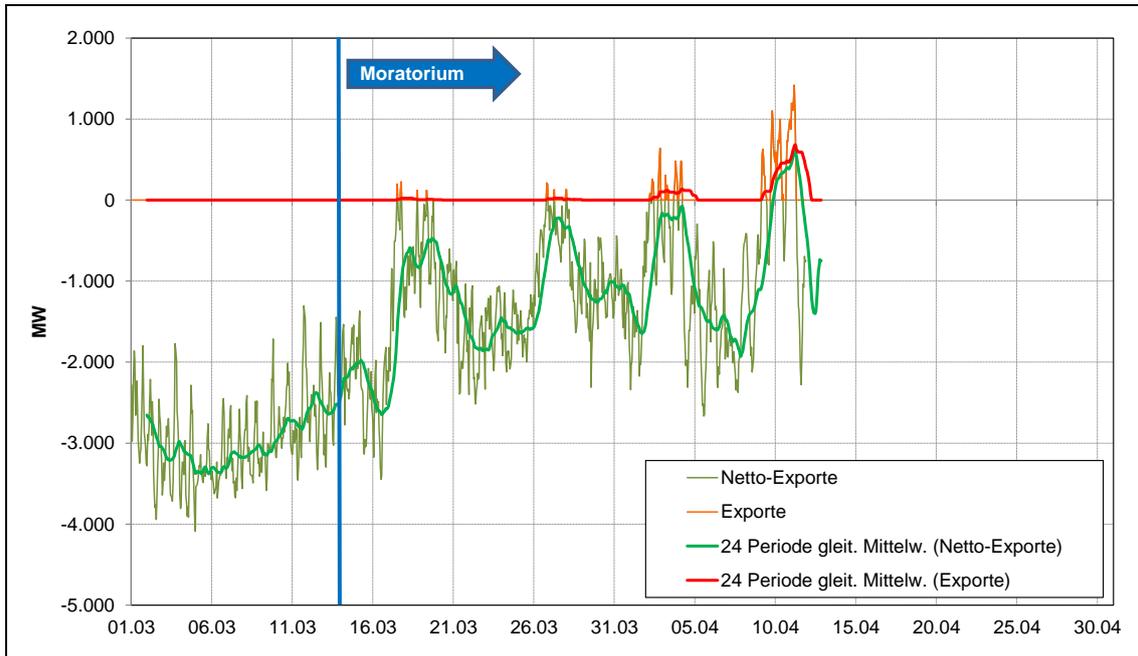
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 6 Netto-Stromexporte von Österreich nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



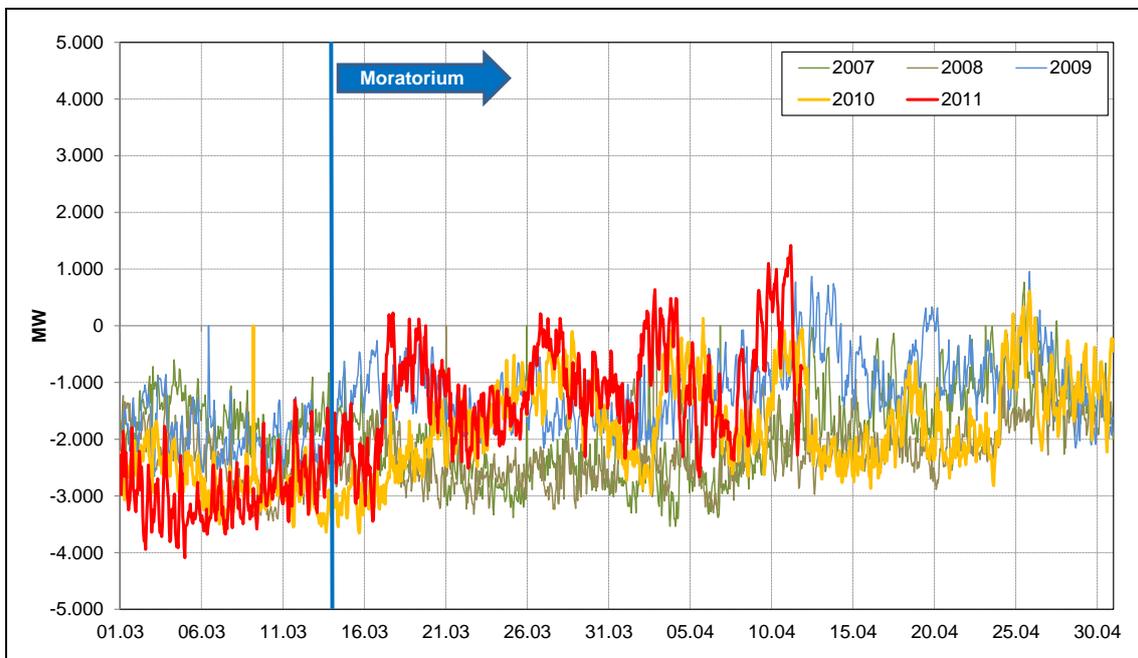
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A-7 Stromexporte und Netto-Stromexporte von der Schweiz nach Deutschland im März und April, 2011



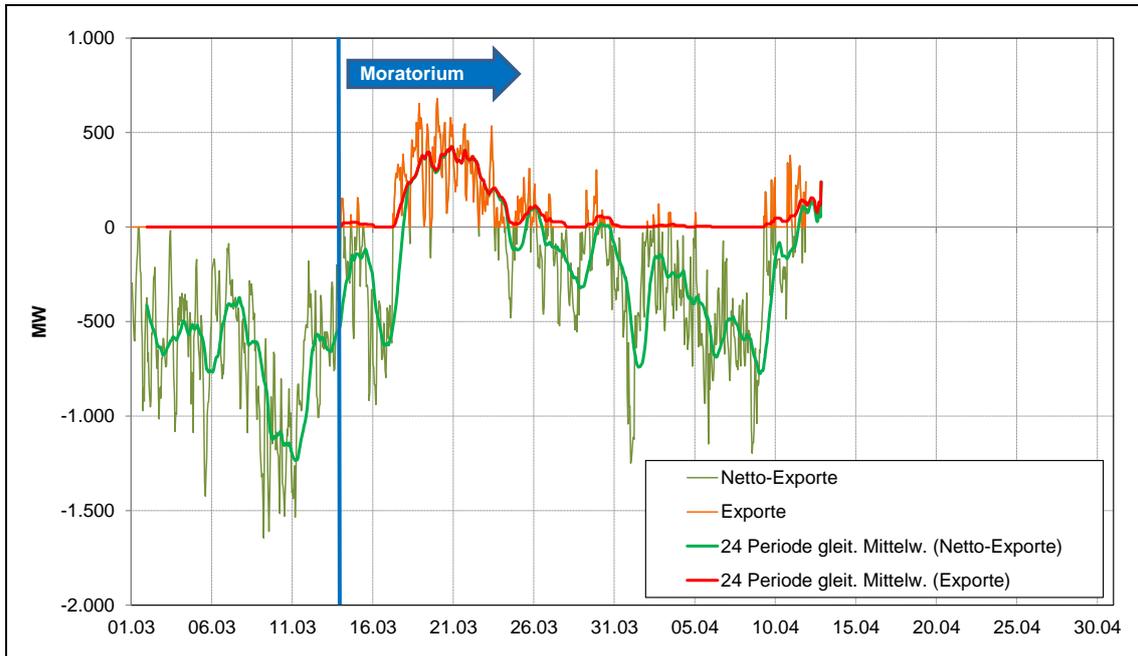
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A-8 Netto-Stromexporte von der Schweiz nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



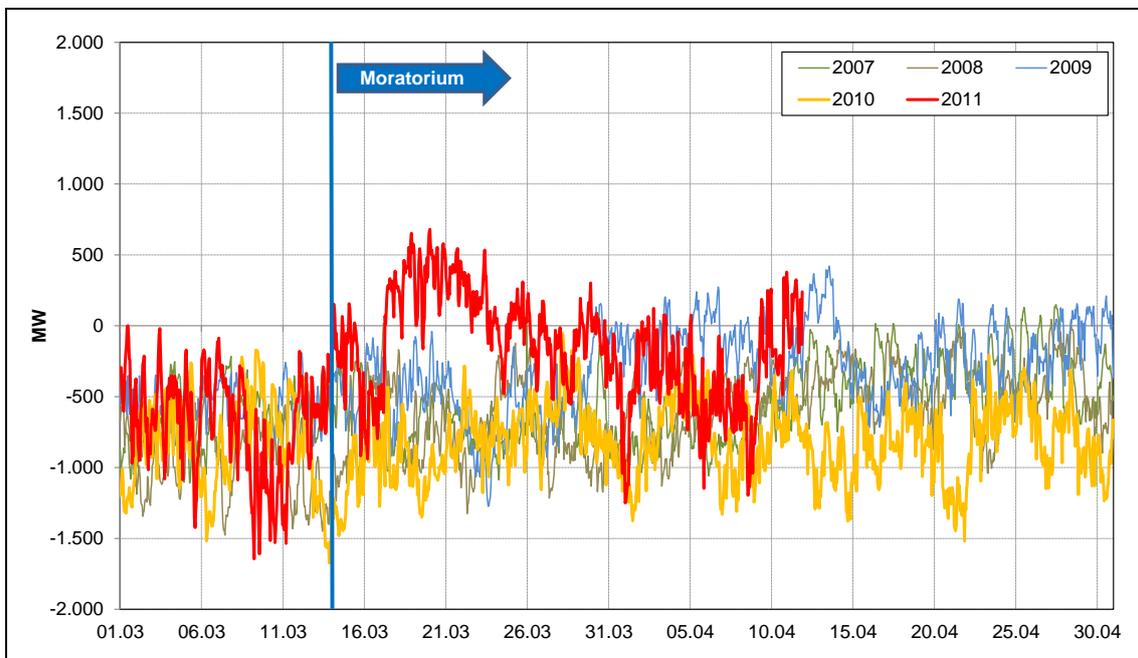
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 9 Stromexporte und Netto-Stromexporte aus Polen nach Deutschland im März und April, 2011



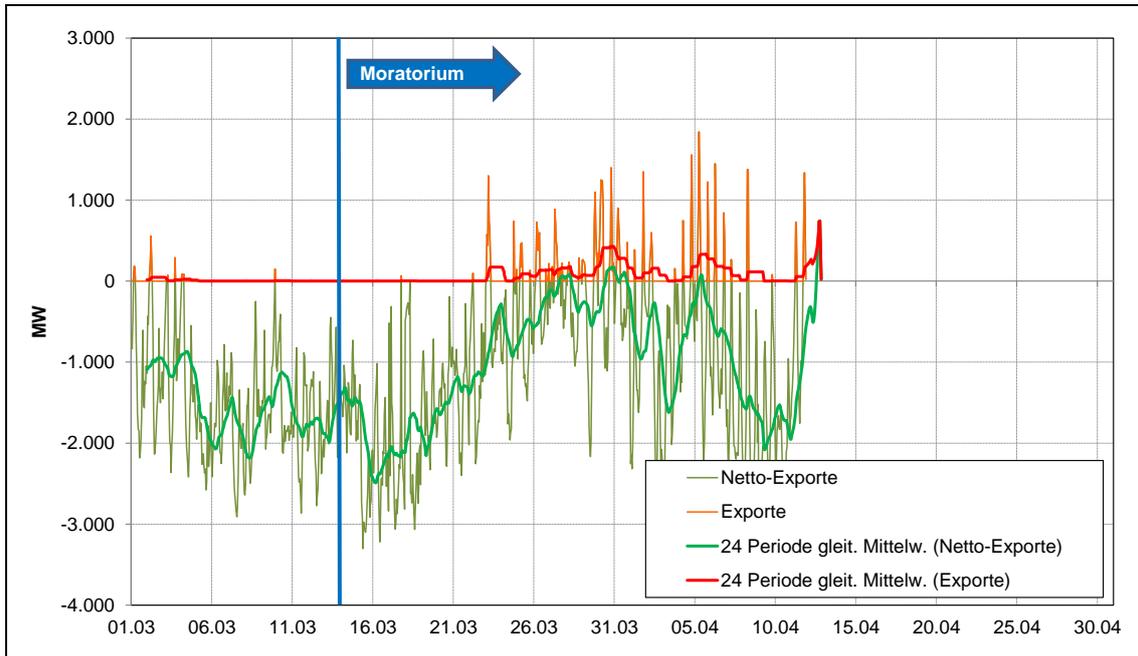
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 10 Netto-Stromexporte von Polen nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



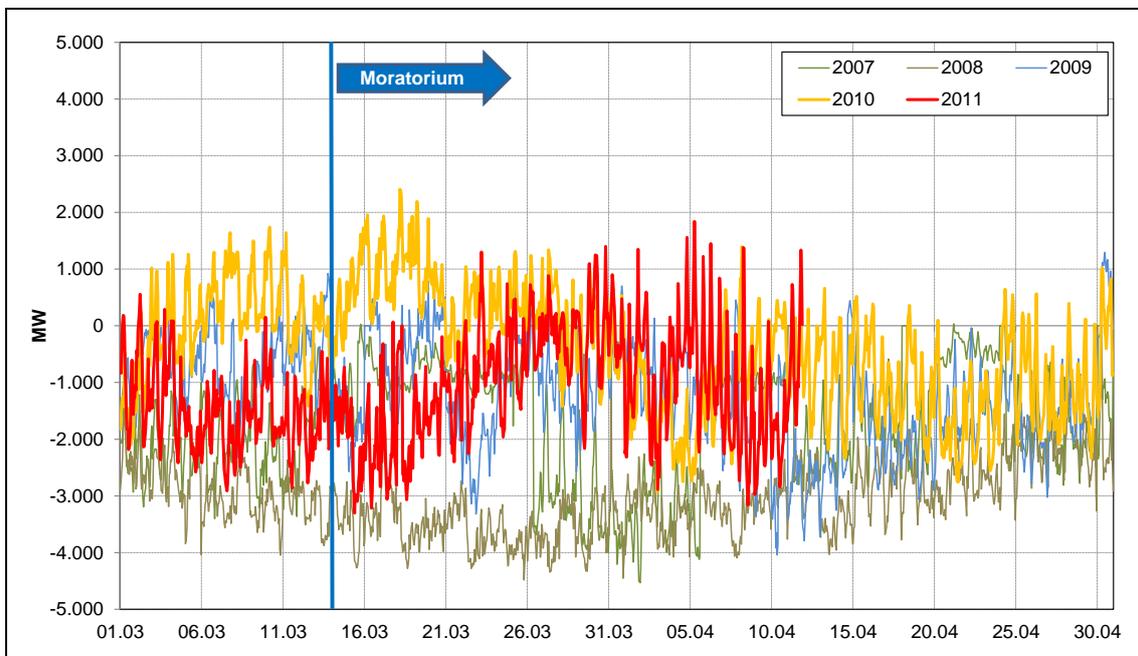
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 11 Stromexporte und Netto-Stromexporte von den Niederlanden nach Deutschland im März und April, 2011



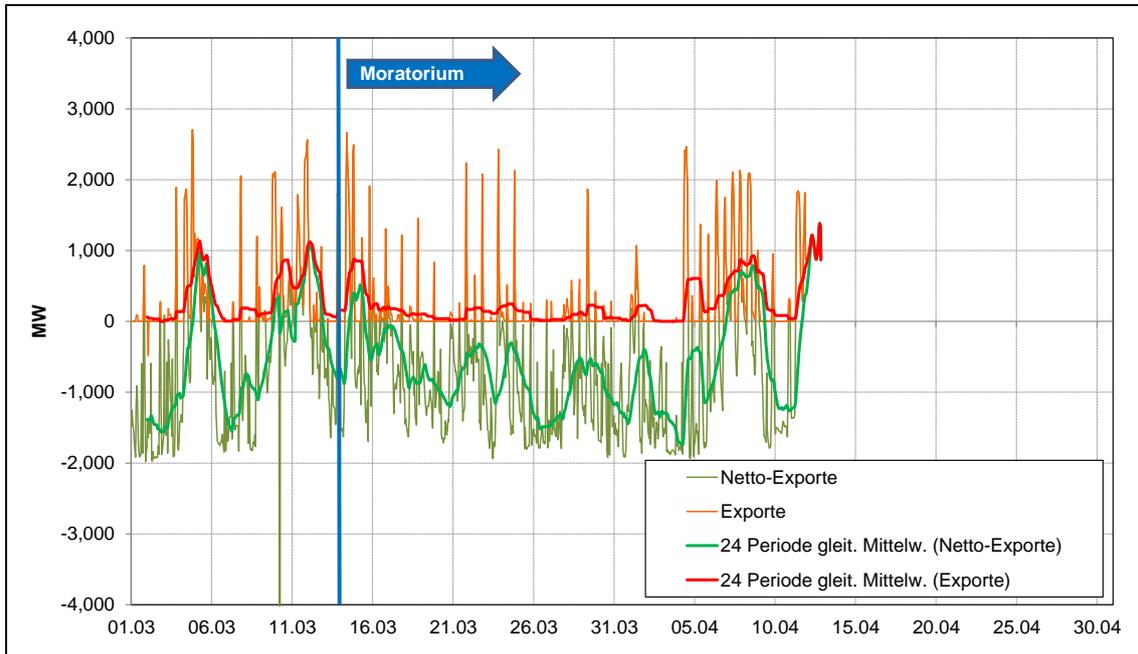
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 12 Netto-Stromexporte von den Niederlanden nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



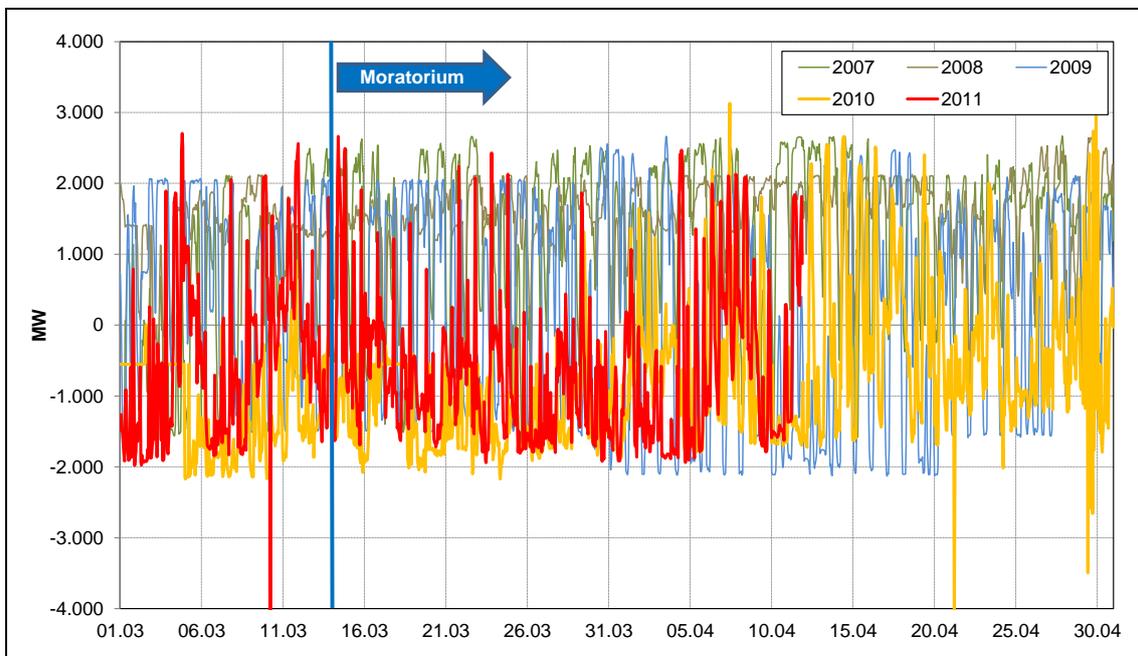
Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 13 Stromexporte und Netto-Stromexporte von Skandinavien (Dänemark, Schweden) nach Deutschland im März und April, 2011



Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.

Abbildung A- 14 Netto-Stromexporte von Skandinavien (Dänemark, Schweden) nach Deutschland im März und April, 2007 – 2011



Quelle: Entso-E, Berechnungen des Öko-Instituts.