

*Wirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien  
- Impact of Renewable Energy Sources -*



**Untersuchung im Rahmen des Projekts „Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien (ImpRES)“, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

## **Analysen zum Merit-Order Effekt erneuerbarer Energien**

### **Author:**

**Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe,  
Frank Sensfuß**



Karlsruhe, 13.Sept. 2013





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen des Merit-Order-Effektes</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Berechnung des Merit-Order-Effektes</b> .....	<b>3</b>
3.1	Stromerzeugung erneuerbarer Energien .....	3
3.2	Kraftwerkspark im Counterfactual-Szenario .....	5
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>7</b>
	<b>Fazit</b> .....	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>10</b>
5.1	Modellbeschreibung .....	10
5.2	Wichtige Inputpreise für das Jahr 2011 und 2012 .....	12
<b>6</b>	<b>Referenzen</b> .....	<b>13</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Darstellung des Merit-Order-Effektes der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Znergien .....	2
Abbildung 2:	Struktur des PowerACE-Modells .....	11

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Stromerzeugung erneuerbarer Energien 2011 .....	4
Tabelle 2	Stromerzeugung erneuerbarer Energien 2012 .....	4
Tabelle 3	Zusätzlich installierte Leistung für das Szenario ohne EEG Strom in den Jahren 2011 und 2012 .....	7
Tabelle 4	Ergebnis des Merit-Order-Effektes für den Zeitraum 2006-2011 .....	8

## 1 Einleitung

Dieses Gutachten basiert auf den Arbeiten zum Preiseffekt erneuerbarer Energien im Rahmen des Projektes „ImpRES – Wirkungen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien“<sup>1</sup> und den Gutachten „Analysen zum Merit-Order Effekt erneuerbarer Energien-Update für das Jahr 2009“, „Analysen zum Merit-Order Effekt erneuerbarer Energien-Update für das Jahr 2010“. Im Rahmen dieses Gutachtens wird eine Aktualisierung der Darstellung vorgenommen. Dies betrifft insbesondere die zusätzliche Berechnung des Merit-Order Effektes für die Jahre 2011 und 2012.

## 2 Grundlagen des Merit-Order-Effektes

Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien hat Auswirkungen auf die Strompreise. Nach den Regelungen des EEG besteht für Strom aus EEG-Anlagen eine Abnahmeverpflichtung für die Netzbetreiber. Somit wird dieser Strom in jedem Fall priorisiert zur Deckung der Nachfrage eingesetzt. Vereinfachend kann die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien bei unveränderter Angebotskurve als Absenkung der Stromnachfrage an der Börse abgebildet werden.<sup>1</sup> In Abbildung 1 wird die Angebotskurve (Merit-Order-Kurve<sup>2</sup>) als Gerade dargestellt. Solange sie eine positive Steigung hat, führt die durch Erneuerbare Energien reduzierte Nachfrage nach konventionellem Strom zu geringeren Preisen. Da der hier skizzierte Effekt die Marktpreise entlang der Merit-Order-Kurve verschiebt, wird er im Folgenden wie in vorangegangenen Analysen als Merit-Order-Effekt bezeichnet (Sensfuß, Ragwitz 2007; Sensfuß et al. 2008). Es handelt sich um einen Preis- und Verteilungseffekt, der die Einnahmen der Erzeuger reduziert und die Kosten für Stromlieferanten bzw. -verbraucher senkt. Dieser Effekt wird hier als einzelner Effekt betrachtet. Zusätzliche Kostenpositionen für die Endkunden wie die Kosten der EEG Umlage werden an dieser Stelle nicht betrachtet. Sie müssen gesondert im Rahmen einer Gesamtbilanzierung einbezogen werden. Die tat-

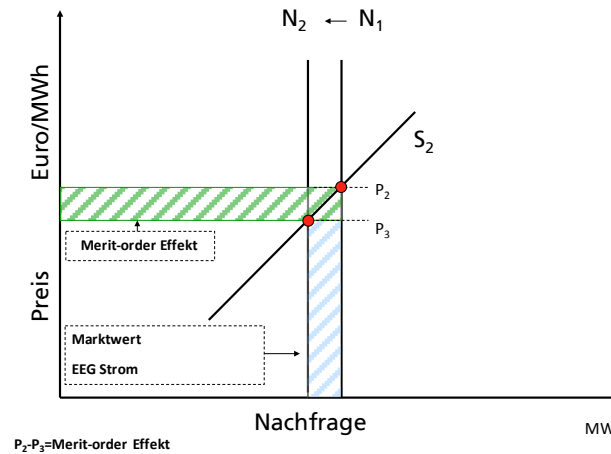
---

1 Der Ausbau Erneuerbarer Energien bewirkt auch unabhängig von der spezifischen Förderung durch das EEG einen Preiseffekt auf dem Großhandelsmarkt für Strom. Aufgrund geringer Grenzkosten kommen z.B. Windkraftanlagen prioritär zum Einsatz. Dieser Effekt kann auch als Verschiebung der Angebotskurve skizziert werden. Dies gilt insbesondere ab dem Jahr 2010. Durch die neue EEG Wälzung, in der keine Bandlieferung an die Vertriebe mehr erfolgt. Bis zum Jahr 2009 dürfte jedoch die Strommenge über die Bandlieferung noch größer gewesen sein als die über den Spotmarkt gehandelten Ausgleichsmengen. Deshalb wird für das Jahr 2009 noch die Darstellung als Verschiebung der Nachfrage gewählt.

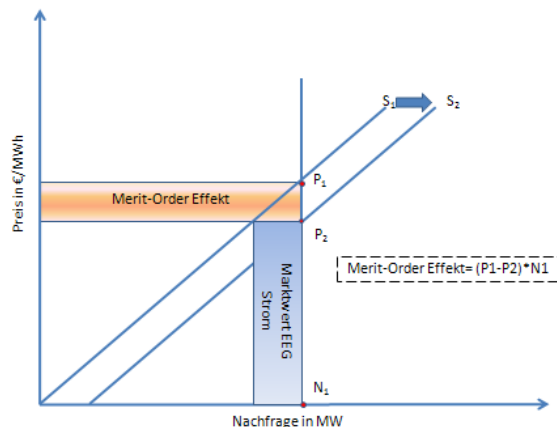
2 Merit-Order ist die Einsatzreihenfolge von Kraftwerken nach deren (kurzfristigen) Grenzkosten.

sächliche Verteilung des Effektes hängt jedoch u.a. zentral von der Wettbewerbssituation auf den Endkundenmärkten für Strom ab.

Darstellung als Verschiebung der Restnachfrage (eher zutreffend vor 2010)



Darstellung als Verschiebung des Angebotes (zutreffend ab 2010)



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 1 Darstellung des Merit-Order-Effektes der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien

Da Stromnachfrage und Stromangebot auf stündlicher Basis variieren, ist eine Abschätzung des Wertes des Merit-Order-Effektes deutlich komplexer als die Abschätzung des eigentlichen Marktwertes. Die Herausforderung bei der Bestimmung des Merit-Order-Effektes ist, dass Marktpreise von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Zu diesen Faktoren gehören u. a. Kraftwerksausfälle, Stromnachfrage, Brennstoffpreise und die Preise für  $\text{CO}_2$ -Zertifikate. Die Konsequenz ist, dass es mit einem statistischen Ansatz nur sehr schwer möglich ist, die Auswirkungen der Einspeisung

aus Erneuerbaren Energien von den anderen genannten Einflussfaktoren zu isolieren. Die Bestimmung des Merit-Order-Effektes setzt voraus, dass die Marktpreise für den Fall eines Stromsystems ohne Erneuerbare Energien dargestellt werden können. Da dieser Fall in den realen Marktdaten nicht abgebildet werden kann, wird ein Computermodell benötigt, um die Strompreise für den Fall eines Stromversorgungsystems ohne Erneuerbare Energien zu simulieren. Aus diesem Grund wird für die folgende Analyse die detaillierte agentenbasierte Strommarktsimulationsplattform PowerACE verwendet, die in der Lage ist, Marktpreise an der Strombörse zu simulieren. Eine Modellbeschreibung findet sich im Anhang.

### 3 Berechnung des Merit-Order-Effektes

Für die Berechnung des Merit-Order-Effektes werden die Strompreise für das analysierte Jahr jeweils mit und ohne EEG-Stromerzeugung („Counterfactual-Szenario“) simuliert. Die Preisbildung erfolgt dabei stundenscharf nach Grenzkosten unter Berücksichtigung der An- und Abfahrkosten. Das Gesamtvolumen des Merit-Order Effektes lässt sich berechnen indem die Preisdifferenz zwischen den beiden Szenarien für jede einzelne Stunde mit der jeweiligen Nachfrage multipliziert und das Ergebnis für das ganze Jahr aufsummiert wird.

Formel 1: Berechnung des Merit-Order Effektes

$$M = \sum_{h=1}^{h=8760} \{N_h * (P_{h,mit EEG} - P_{h,ohne EEG})\}$$

Legende: M=Merit-Order Effekt; N=Stromnachfrage; P=Marktpreis; h=Stunde

#### 3.1 Stromerzeugung erneuerbarer Energien

Die simulierte EEG Stromerzeugung wird auf Basis der verfügbaren Daten der AGEE-Stat ermittelt. Dabei werden Daten um die Kategorien biogene Abfälle und nicht durch das EEG vergütete Wasserkraft bereinigt, da davon ausgegangen wird, dass das EEG keinen Einfluss auf den Ausbau dieser Technologien gehabt hat. Eine Darstellung der verwendeten Daten findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1 Stromerzeugung erneuerbarer Energien 2011

	AGEE-Stat 2011 in GWh <sup>3</sup>	Counterfactual 2011 in GWh
<b>Wasserkraft</b>	19500	14942
<b>Wind</b>	45940	0
<b>Wind offshore</b>	560	0
<b>PV</b>	19000	0
<b>Biomasse (fest)</b>	11300	0
<b>Biogas</b>	17500	0
<b>Biomasse (flüssig)</b>	1400	0
<b>Klärgas</b>	1100	0
<b>Deponiegas</b>	620	0
<b>Geothermie</b>	18,8	0
<b>Biog. Anteil Abfall</b>	5000	5000
<b>Summe</b>	121939	19942

Datenquelle: (AGEE Stat 2012)

Tabelle 2 Stromerzeugung erneuerbarer Energien 2012

	AGEE-Stat 2012 in GWh	Counterfactual 2011 in GWh
<b>Wasserkraft</b>	21200	16240
<b>Wind</b>	45325	0
<b>Wind offshore</b>	675	0
<b>PV</b>	28000	0
<b>Biomasse (fest)</b>	12500	0
<b>Biogas</b>	20500	0
<b>Biomasse (flüssig)</b>	1100	0
<b>Klärgas</b>	1300	0
<b>Deponiegas</b>	550	0
<b>Geothermie</b>	25	0
<b>Biog. Anteil Abfall</b>	4900	4900
<b>Summe</b>	136075	21140

Datenquelle: (AGEE Stat 2013)

<sup>3</sup> Die Strommengen in der veröffentlichten ÜNB Abrechnung für das Jahr 2011 fallen für Wind und PV etwas höher aus. Der Merit-Order Effekt würde unter Berücksichtigung dieser Zahlen ebenfalls leicht höher ausfallen. Link: [http://www.eeg-kwk.net/de/file/EEG-Jahresabrechnung\\_2011.pdf](http://www.eeg-kwk.net/de/file/EEG-Jahresabrechnung_2011.pdf)



### 3.2 Kraftwerkspark im Counterfactual-Szenario

Ein zentraler Diskussionspunkt im Rahmen der wissenschaftlichen Analyse des Merit-Order-Effektes ist die Frage, inwiefern der Ausbau Erneuerbarer Energien eine Veränderung des konventionellen Kraftwerksparkes und damit eine Verschiebung der Merit-Order-Kurve bewirkt, die dem Merit-Order-Effekt entgegenwirkt. Die Analyse dieses Einflusses erfordert eine Bestimmung des alternativen Kraftwerksparkes im fiktiven Vergleichsfall ohne Ausbau Erneuerbarer Energien. Im Rahmen dieser Diskussion haben Wissen et al. darauf hingewiesen, dass möglicherweise durch den Ausbau Erneuerbarer Energien Kraftwerke früher stillgelegt werden bzw. einige Neubauten von Kraftwerken entfallen (Wissen, Nicolosi 2007). Die Autoren führen in ihrem Bericht die stillgelegte Kraftwerksleistung für die Jahre 2001-2005 an. In einer vorangegangenen Analyse wurden die Auswirkungen einer teilweise durch Erneuerbare Energien ausgelösten Kraftwerksstilllegung auf die Höhe des Merit-Order-Effektes analysiert. Ein zentrales Problem in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass die Ursachen für die Stilllegung von Kraftwerken sehr vielseitig sein können und somit ein direkter Wirkungszusammenhang kaum nachzuweisen ist. Dieses Problem wird durch den im Laufe der Jahre weiter fortgesetzten Ausbau Erneuerbarer Energien und die z. T. altersbedingt steigende Zahl von Kraftwerksstilllegungen verschärft. Somit muss für die weitere Berechnung des Merit-Order-Effektes ein Verfahren gefunden werden, wie mit vertretbarem Aufwand der konventionelle Kraftwerkspark, wie er ohne Erneuerbare Energien gewesen wäre, bestimmt werden kann (Counterfactual-Szenario)

In Bezug auf den Neubau von Kraftwerken kann mit hoher Sicherheit angenommen werden, dass der Ausbau Erneuerbarer Energien bis zum Jahre 2006 nicht den Ausbau konventioneller Kraftwerksleistung reduziert hat. Der Grund ist, dass der Zeitraum nach der Liberalisierung des Strommarktes ohnehin durch Überkapazitäten und daraus folgenden Stilllegungen gekennzeichnet war. Ein zweiter Aspekt ist die Tatsache, dass die Marktpreise auf dem Strommarkt bis zum Jahr 2004 keine finanziellen Anreize für einen Kraftwerksneubau gesetzt haben. Selbst unter Berücksichtigung der Preiswirkung der Erneuerbaren Energien ändert sich diese Einschätzung nicht. Erst in den Jahren ab 2005 hat sich am Markt ein Preisniveau gebildet, das auch Kraftwerksneubauten wirtschaftliche Perspektiven eröffnet. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Planung und Bau von Kraftwerken sich über einen Zeitraum von mehreren Jahren erstrecken, kann angenommen werden, dass bis zum Jahr 2006 kein Kraftwerksneubau durch Erneuerbare Energien verdrängt wurde. Diese Einschätzung wird auch von verschiedenen Wissenschaftlern geteilt (Diekmann et al. 2007). Für den Zeitraum nach 2006 kann diese Annahme hingegen nicht mehr verlässlich getroffen werden. Aus diesem Grund wird hier ein Verfahren zur Bestimmung des alternativen Kraftwerksparkes für den fiktiven Vergleichsfall einer Stromversorgung ohne EEG Strom benötigt.

Als vereinfachtes Verfahren wurde im Rahmen vergangener Untersuchungen folgende Lösung vorgeschlagen: Die zusätzlich benötigte installierte Leistung im Szenario ohne EEG-Strom wird bestimmt, indem man die Differenz der maximal benötigten konventionellen Kraftwerksleistung für das Szenario mit und ohne EEG-Strom berechnet. Da einzelne Maximalwerte zwischen den Jahren deutlich schwanken können, wird für die Bestimmung der Leistung der Mittelwert der 10 höchsten Werte der zu deckenden (Rest-)Nachfrage eines Jahres herangezogen, um die jährlichen Schwankungen etwas abzumildern. Dieser Leistungswert wird durch eine durchschnittliche Kraftwerksverfügbarkeit von 98 % geteilt, um die notwendige zusätzlich installierte konventionelle Kraftwerksleistung zu bestimmen. Nach diesem Verfahren ergibt sich für die Jahre 2008 und 2009 eine zusätzliche Kraftwerksleistung von ca. 7000 MW. Im Jahr 2010 erreicht die zusätzliche Kraftwerksleistung ca. 10000 MW. Aufgrund des Kernenergieausstieges im Jahr 2011 kommt es hier zu Sondereffekten. Zur Stabilisierung des Modells ist hier abweichend von der oben genannten Methodik eine zusätzliche Kraftwerksleistung von 11300 MW notwendig. Diese Kraftwerksleistung ist auch im Jahr 2012 ausreichend.

Neben der absoluten Höhe der zusätzlichen Kraftwerksleistung ist auch der Typ der zusätzlichen Kraftwerksleistung von zentraler Bedeutung. Die aktuellen Analysen zur Verdrängung konventioneller Stromerzeugung durch das EEG zeigen (Klobasa et al. 2009), dass ein Großteil der verdrängten Stromerzeugung auf Steinkohle basiert. Für das Jahr 2007 ergibt sich ein Anteil der verdrängten Stromerzeugung durch Steinkohlekraftwerke von 72 %. Als Näherung wird im Folgenden davon ausgegangen, dass ca. 70 % der zusätzlich zu installierenden Kapazität auf Steinkohlekraftwerke entfällt. Jeweils 15 % entfallen auf GUD und Gasturbinen auf Erdgasbasis. Die starken Verzögerungen und Realisierungsprobleme aktueller Kraftwerksprojekte legen zudem nahe, dass im Counterfactual-Szenario nicht die gesamte zusätzliche installierte Leistung von 11,3 GW durch Neubauten abgedeckt würde. Wissen und Nicolosi (2007) zeigen in ihrem Artikel, dass im Zeitraum 2001 bis 2005 mehr als 6,4 GW Kraftwerksleistung stillgelegt wurde. Eine klare Zuordnung der Ursachen dieser Stilllegungen ist nicht möglich. Diese Aufstellung liefert jedoch einen Anhaltspunkt für das erhebliche Leistungspotential, das durch den Weiterbetrieb älterer Kraftwerke zur Verfügung stünde. In Anlehnung an das Gutachten für das Jahr 2010 wird hier unterstellt, dass ca. 5000 MW ältere Kraftwerke weiterbetrieben worden wären. Die restliche Kraftwerksleistung wird mit Neubauten aufgefüllt. Auf Basis dieser Überlegungen ergeben sich folgende Annahmen für die Entwicklung der installierten Leistung im Counterfactual-Szenario.

Tabelle 3                      Zusätzlich installierte Leistung für das Szenario ohne EEG Strom in den Jahren 2011 und 2012

Kraftwerkstyp	Jahr	Leistung in MW	Wirkungsgrad
Steinkohle-Alt	2011/2012	3500	35%
Steinkohle	2011/2012	4400	45%
Gas-GUD-Alt	2011/2012	750	50%
Gas-GUD	2011/2012	950	60%
Gas-GT	2011/2012	750	30%
Gas-GT	2011/2012	950	40%
<b>Gesamt</b>	-	<b>11300</b>	-

Quelle: Eigene Berechnungen & Annahmen

## 4 Ergebnisse

Der errechnete Merit-Order Effekt erreicht im Jahr 2011 ca. 4,6 Mrd. Euro. Damit fällt der Wert deutlich höher aus als die Berechnungen für das Jahr 2010. Eine zentrale Ursache für den 2011 erhöhten Gesamtwert ist die deutlich gestiegene Einspeisung erneuerbarer Energien (insbesondere PV). Die Absenkung des Phelix Day Base durch die zusätzliche EEG Stromerzeugung beträgt ca. 8,7 €/MWh. Im Jahr 2012 steigt der Effekt weiter auf ca. 4,9 Mrd. Euro an. Die Absenkung des Phelix Base beträgt 8,9 €/MWh. Die Steigerung des Effektes ist auch hier durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere der PV, begründet.

Im Unterschied zu früheren Berechnungen werden für die Berechnungen des Merit-Order Effektes ab dem Jahre 2007 die im vorherigen Abschnitt beschriebenen zusätzlichen konventionellen Kraftwerkskapazitäten im Fall ohne EEG-Strom unterstellt. Diese Vorgehensweise führt zu einem niedrigeren Merit-Order-Effekt und kann vor dem Hintergrund der Diskussion über die Anreize und Zeiträume für den Bau von neuen Kraftwerken als konservative Schätzung des Merit-Order Effektes eingestuft werden. (Die Ergebnisse der aktuellen Analyse und ein Vergleich zu Werten früherer Jahre sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4 Ergebnis des Merit-Order-Effektes für den Zeitraum 2006-2011

Jahr	Zusätzliche Stromerzeugung durch EEG	Merit-Order Effekt	Absenkung Phelix Day Base
	TWh	Mrd. €	€/MWh
2006	52,2 ( <sup>4*</sup> )	4,98 (*)	
2007	62,5 (*)	3,71 (*)	5,82 (*)
2008	69,3 (*)	3,58 (*)	5,83 (*)
2009	76,1	3,1	6,09
2010	83,5	2,8	5,27
2011	102,0	4,6	8,72
2012	115,0	4,88	8,91

Quelle: Eigene Berechnungen

## Fazit

Der Merit-Order-Effekt beschreibt einen Preis- und Verteilungseffekt, der durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien ausgelöst wird. Durch sinkende Großhandelspreise werden die Einnahmen der Stromerzeuger zu Gunsten der Stromlieferanten bzw. -verbraucher abgesenkt. Neben den eigenen Berechnungen mit dem PowerACE Modell bestätigen verschiedene Studien, dass der Effekt eine signifikante Größenordnung erreicht. Es zeigt sich, dass der Merit-Order-Effekt auch bei eher konservativen Annahmen im Jahr 2012 in der Größenordnung von 4,88 Mrd. €<sup>5</sup> liegt. Die Absenkung des ungewichteten Marktpreises liegt im Bereich von ca. 8,9 €/MWh. Die Frage, wie hoch die einzelnen Endkunden von diesem Effekt profitieren, hängt letztlich von der Wettbewerbssituation auf diesem Markt und der Struktur der Strombeschaffung ab. Hier dürfte gelten, dass Unternehmen mit hohem Stromverbrauch stärker von diesem Effekt profitieren können. Hierzu gehören insbesondere Unternehmen, die bereits im Rahmen der Privilegierung verringerte EEG-Umlagensätze zahlen. Verbleibende Unsicherheiten im Rahmen der Bestimmung des Merit-Order-Effektes ergeben sich im We-

<sup>4</sup> Bei den mit (\*) gekennzeichneten Werten handelt es sich um nachrichtliche Werte aus früheren Gutachten. Eine Neuberechnung hat nicht stattgefunden. Aufgrund leichter Veränderungen in den Statistiken zur erneuerbaren Einspeisung könnten sich hier aus heutiger Sicht leichte Veränderungen ergeben.

<sup>5</sup> Für diesen Wert wird angenommen, dass die Preisbildung für die gesamte Stromerzeugung auf Basis von variablen Kosten inkl. Anfahrkosten stattfindet.

sentlichen aus dem bisher nicht abbildbaren Einfluss der zunehmenden Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien auf den internationalen Stromaustausch und der Situation auf den Terminmärkten . Hierzu besteht – auch unabhängig von der Ermittlung des Merit-Order-Effektes – noch weiterer Forschungsbedarf.

## 5 Anhang

### 5.1 Modellbeschreibung

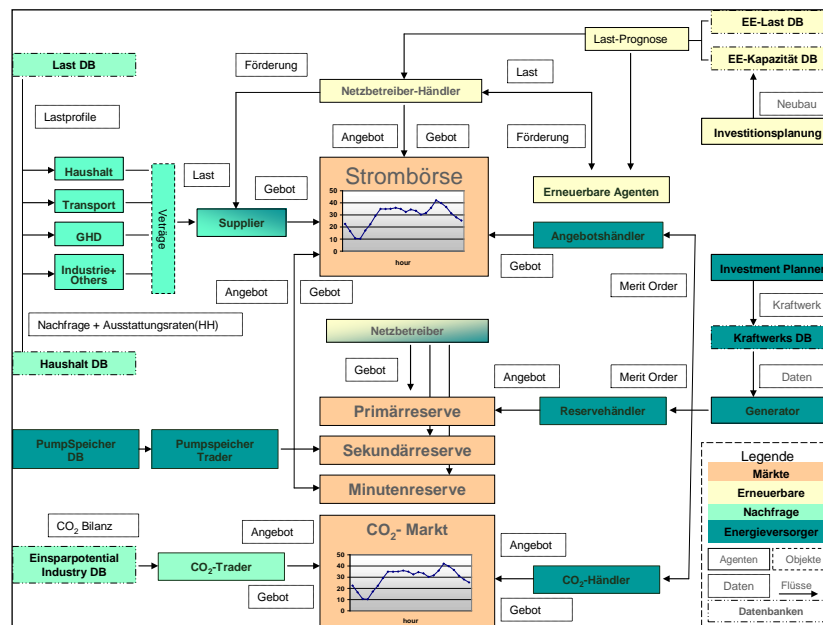
Die PowerACE-Plattform simuliert das Verhalten wichtiger Akteure („Agenten“) des Elektrizitätssektors als Softwareagenten. Zu diesen Agenten gehören Endkunden, Energieversorger, Erzeuger erneuerbaren Stroms, Netzbetreiber, die Regierung und Marktbetreiber. Einige Akteure, wie z. B. Energieversorger, werden aufgrund ihrer Komplexität mit verschiedenen Agenten modelliert, die wichtige Funktionen des Unternehmens wie z. B. Kraftwerkseinsatzplanung und Stromhandel abbilden. Die derzeitige Version des PowerACE-Modells umfasst eine Strombörse, verschiedene Regelenergiemärkte und einen Markt für CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte. Da das zentrale Ziel dieses Berichts die Analyse der Auswirkungen von erneuerbarem Strom auf die Marktpreise der Strombörse ist, werden Veränderungen auf anderen Märkten in diesem Zusammenhang nicht betrachtet.<sup>6</sup> Einen Überblick über die wichtigsten Module und Agenten innerhalb des angewendeten Modells gibt Abbildung 2. Die Simulationsplattform kann in vier Module eingeteilt werden: Märkte, Stromnachfrage, Stromangebot aus konventionellen Energien und Stromangebot aus Erneuerbaren Energien.

Die realistische Simulation der Auswirkungen der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien stellt erhebliche Anforderungen an die zugrunde gelegten Daten. Aus diesem Grund ist die Bereitstellung realistischer Daten zum zeitlichen Verlauf der Stromnachfrage und der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien sowie Daten zum Kraftwerkspark in Deutschland ein zentraler Bestandteil der Modellentwicklung. Die grundlegenden Entscheidungen der Agenten basieren auf diesen fundamentalen Daten.

In dieser Studie wird die Stromnachfrage vereinfachend als preisunelastisch modelliert.

---

<sup>6</sup> Dabei wird auch der mögliche Einfluss des EEG auf die Höhe der CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise und indirekt auf die Strompreise hier nicht berücksichtigt.



Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 2: Struktur des PowerACE-Modells

Die Stromerzeugung wird mit Erzeuger- und Händleragenten simuliert. Die Erzeugeragenten erhalten täglich eine aktuelle Liste der zur Verfügung stehenden Kraftwerke und ihrer wichtigsten Daten. Diese Daten basieren auf einer Datenbank über den deutschen Kraftwerkspark, die mehr als 1200 Kraftwerke mit ihren wichtigsten technischen und ökonomischen Parametern (Kapazität, Kosten, Verfügbarkeit, Technologie, Brennstoff, Wirkungsgrad) enthält<sup>7</sup>. In einem zweiten Schritt prüfen die Erzeugeragenten die Verfügbarkeit ihrer Kraftwerke. Dies wird auf Basis eines gleichverteilten Zufallsgenerators bestimmt. Mit den von den Erzeugeragenten übermittelten Informationen verkaufen die Händleragenten die Stromerzeugung ihrer Kraftwerke auf dem Strommarkt.

Die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien spielt eine wachsende Rolle im deutschen Elektrizitätssektor. Nach den Vorschriften des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes müssen die Netzbetreiber den Strom aus EEG-Anlagen zu einem festgesetzten Tarif abnehmen und vergüten. Auf Grundlage dieser Prognose verkauft der Netzbetreiber die EEG Strommengen an der Börse. Diese Aufgabe wird in PowerACE vom Netzbetreiber-Händleragenten abgebildet. Um die Komplexität der ausgeführten Analyse zu

<sup>7</sup> Die Datenbank wurde auf Basis der „Platts World Electric Power Plants Database 2010“ erstellt und u.A. auf Basis der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur ([http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html)) ergänzt

verringern, wird der Prognosefehler für die Einspeisung Erneuerbarer Energien auf allen Zeitskalen auf Null gesetzt.

## 5.2 Wichtige Inputpreise für das Jahr 2011 und 2012

	2011	2012	Einheit	Auflösung
Erdgas <sup>8</sup>	23,19	25,43	Euro/MWh	Täglich
Steinkohle <sup>9</sup>	15,14	12,47	Euro/MWh	Täglich
Braunkohle <sup>10</sup>	1,44	1,44	Euro/MWh	Jährlich
Kernenergie <sup>11</sup>	8,37	8,37	Euro/MWh	Jährlich
CO <sub>2</sub> <sup>12</sup>	13,8	8,0	Euro/t	Täglich

---

<sup>8</sup> Datenquelle EEX. <http://www.eex.com/de/Marktdaten>

<sup>9</sup> Datenquelle EEX. <http://www.eex.com/de/Marktdaten>

<sup>10</sup> Dieser Wert basiert auf: (EWI et al. 2010)

<sup>11</sup> Dieser Wert enthält eine eigene Schätzung zur Wirkung der Brennelementesteuer

<sup>12</sup> Datenquelle EEX. <http://www.eex.com/de/Marktdaten>



## 6 Referenzen

- AGEE Stat (2012): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand März 2012. Online: [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/msexcel/ee\\_zeitreihe.xls](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/msexcel/ee_zeitreihe.xls) (Stand: 1.07.2012).
- BMU (2010): Einfluss der Förderung erneuerbarer Energien auf den Haushaltsstrompreis in den Jahren 2009 und 2010 -einschl. Ausblick auf das Jahr 2011. [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund\\_ee\\_umlage\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_ee_umlage_bf.pdf) (Stand: 13.7. 2010).
- Diekmann, J.; Krewitt, W.; Musiol, F.; Nicolosi, M.; Ragwitz, M.; Sensfuß, F.; Weber, C.; Wissen, R.; Woll, O. (2007): Fachgespräch zum Merit-Order Effekt: Abestimmtes Thesenpapier: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/thesenpapier\\_meritorder\\_effekt.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/thesenpapier_meritorder_effekt.pdf). (Stand: 20.11.2007).
- EWI; Prognos; GWS (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Online: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszzenarien\\_2010.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszzenarien_2010.pdf) (Stand: 10.02.2011).
- Klobasa, M.; Sensfuß, F.; Ragwitz, M. (2009): CO<sub>2</sub>-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2006 und 2007 – Gutachten – Bericht für die Arbeitsgruppe. (Stand: 01.02.2009).
- Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) im Auftrag des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff- Forschung Baden-Württemberg (ZSW): [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gutachten\\_isi\\_co2\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gutachten_isi_co2_bf.pdf)
- Sensfuß, F.; Ragwitz, M. (2007): Analyse des Preiseffektes der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf die Börsenpreise im deutschen Stromhandel- Analyse für das Jahr 2006-, Gutachten des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Stand: 30.04 2007).
- Sensfuß, F.; Ragwitz, M.; Genoese, M. (2008): The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. In: Energy Policy, 36 (8), S. 3086-3094.
- Sensfuß, F.: (2010): Analysen zum Merit-Order Effekt erneuerbarer Energien Update für das Jahr 2009. [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/meritorder\\_bf.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/meritorder_bf.pdf) (Stand: 1.07.2012).
- Sensfuß, F.: (2011): Analysen zum Merit-Order Effekt erneuerbarer Energien Update für das Jahr 2010. [http://www.erneuerbare-](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/meritorder_bf.pdf)

[enegien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gutachten\\_merit\\_order\\_2010\\_bf.pdf](http://enegien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gutachten_merit_order_2010_bf.pdf) (Stand: 1.07.2012).