

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



Untersuchung im Rahmen des Projekts

**„Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien (ImpRES)“,**  
gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

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

**Update für die Jahre 2013 und 2014**

Dr. Frank Sensfuß

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Karlsruhe, August 2015





---

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1</b>	<b>Einleitung ..... 1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen des Merit-Order-Effektes ..... 2</b>
<b>3</b>	<b>Berechnung des Merit-Order-Effektes ..... 4</b>
3.1	Stromerzeugung erneuerbarer Energien ..... 4
3.2	Kraftwerkspark im Counterfactual-Szenario ..... 5
<b>4</b>	<b>Ergebnisse ..... 7</b>
<b>5</b>	<b>Fazit ..... 8</b>
<b>6</b>	<b>Anhang ..... 9</b>
6.1	Modellbeschreibung ..... 9
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis ..... 12</b>

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Darstellung des Merit-Order-Effektes der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.....	2
Abbildung 2: Genutztes Regionenmodell.....	10
Abbildung 3: Modellstruktur PowerACE Europe.....	11

---

## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1:	Stromerzeugung erneuerbarer Energien 2013..... 4
Tabelle 2:	Stromerzeugung erneuerbarer Energien 2014..... 5
Tabelle 3:	Zusätzlich installierte Leistung für das Szenario ohne EEG-Strom in den Jahren 2011 und 2012 ..... 6
Tabelle 4:	Zusätzlich installierte Leistung für das Szenario ohne EEG-Strom in den Jahren 2013 und 2014 ..... 6
Tabelle 5:	Ergebnis des Merit-Order-Effektes für den Zeitraum 2013-2014 ..... 7



## **1 Einleitung**

Dieses Gutachten basiert auf den Arbeiten zum Preiseffekt erneuerbarer Energien im Rahmen des Projektes „ImpRES – Wirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien“. Im Rahmen dieses Gutachtens wird eine Aktualisierung der Darstellung und eine grundsätzliche Überarbeitung der Methodik vorgenommen, um die immer größer werdende Bedeutung des internationalen Stromhandels zu berücksichtigen.

## 2 Grundlagen des Merit-Order-Effektes

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien hat Auswirkungen auf die Strompreise. Vereinfachend kann die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei unveränderter Nachfragekurve als Verschiebung der Angebotskurve dargestellt werden. In Abbildung 1 wird die Angebotskurve (Merit-Order-Kurve<sup>1</sup>) als Gerade dargestellt. Die Verschiebung der Angebotskurve führt zu einem niedrigeren Preis in der betreffenden Stunde. 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. 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 tatsächliche Verteilung des Effektes hängt jedoch u. a. zentral von der Wettbewerbssituation auf den Endkundenmärkten für Strom ab.

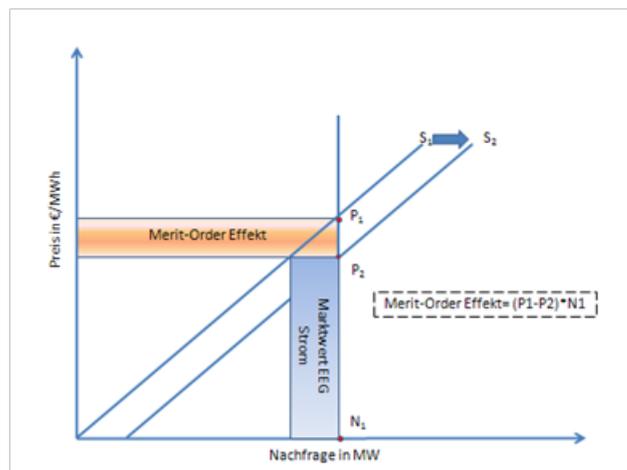


Abbildung 1: Darstellung des Merit-Order-Effektes der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Quelle: eigene Darstellung

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 CO<sub>2</sub>-Zertifikate. Die Konsequenz ist, dass es mit einem

<sup>1</sup> Merit-Order ist die Einsatzreihenfolge von Kraftwerken nach deren (kurzfristigen) Grenzkosten.

---

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 Stromversorgungssystems ohne erneuerbare Energien zu simulieren. Aus diesem Grund wurde in den vorherigen Studien die Analyse mit Hilfe der agentenbasierten Strommarktsimulationsplattform PowerACE vorgenommen, die in der Lage ist, Marktpreise an der Strombörse zu simulieren. Der fortschreitende Ausbau erneuerbarer Energien hat jedoch zwei zentrale Effekte, die im Laufe der Zeit an Bedeutung gewinnen. Der erste Effekt ist, dass davon ausgegangen werden kann, dass der Ausbau erneuerbarer Energien in zunehmendem Maß das Außenhandelsaldo des deutschen Stromsektors verändert und damit zu stärkeren Exporten führt. Dieser Aspekt wird insbesondere im Zusammenhang mit der Zielerreichung der deutschen Klimaschutzziele zunehmend diskutiert (Litz und Rosenkranz 2015). Der zweite Effekt betrifft die Kraftwerksleistung, die ggf. in einer Welt ohne erneuerbare Energien zusätzlich vorhanden sein müsste. Dieser zweite Effekt wird ebenfalls mit zunehmendem Ausbau erneuerbarer Energien größer. Vor dem Hintergrund der geschilderten Effekte wurde in diesem Gutachten die Berechnung der Preise auf ein Optimierungsmodell PowerACE-Opt umgestellt. Dieses Modell ist in der Lage, das europäische Stromversorgungssystem und die Handelsflüsse zwischen den einzelnen Ländern abzubilden. Mit dem Wechsel auf ein europäisches Modell ist jedoch ein deutlich gesteigerter Aufwand verbunden, da die Kalibrierung und Datenbeschaffung nun für eine Vielzahl von Ländern erfolgen muss. Eine kurze Beschreibung des Modells 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 auf Basis des Schattenpreises der Kostenfunktion des Optimiermodells. 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 2013

	AGEE-Stat 2013 in GWh	Counterfactual 2013 in GWh
<b>Wasserkraft</b>	22998	17600
<b>Wind</b>	50803	0
<b>Wind offshore</b>	905	0
<b>PV</b>	31010	0
<b>Biomasse (fest)</b>	11643	0
<b>Biogas</b>	27452	0
<b>Biomasse (flüssig)</b>	279	0
<b>Klärgas</b>	1308	0
<b>Deponiegas</b>	474	0
<b>Geothermie</b>	80	0
<b>Biog. Anteil Abfall</b>	5415	5415
<b>Summe</b>	152367	23015

Datenquelle: (AGEE-Stat 2015)

Tabelle 2: Stromerzeugung erneuerbarer Energien 2014

	<b>AGEE-Stat 2014 in GWh</b>	<b>Counterfactual 2014 in GWh</b>
<b>Wasserkraft</b>	20500	15700
<b>Wind</b>	54660	0
<b>Wind offshore</b>	1310	0
<b>PV</b>	34930	0
<b>Biomasse (fest)</b>	11900	0
<b>Biogas</b>	29000	0
<b>Biomasse (flüssig)</b>	300	0
<b>Klärgas</b>	1380	0
<b>Deponiegas</b>	420	0
<b>Geothermie</b>	110	0
<b>Biog. Anteil Abfall</b>	6100	6100
<b>Summe</b>	160610	21800

Datenquelle: (AGEE-Stat 2015)

### 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 Kraftwerksparks 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. In den vorangegangenen Gutachten wurden verschiedene Verfahren verwendet um die Entwicklung des Kraftwerksparkes im „Counterfactual-Szenario“ zu ermitteln. Die bestimmte Leistung im Counterfactual-Szenario muss dabei verschiedene Anforderungen erfüllen. Das erste wichtige Kriterium ist dabei, dass der Kraftwerkspark im Counterfactual-Szenario ausreichend groß dimensioniert ist, um eine Deckung des Strombedarfs auch ohne EEG-Strom zu ermöglichen. Weitere Kriterien ergeben sich aus der Plausibilität der Zusammensetzung des Kraftwerksparkes (Kraftwerkstypen) und der plausiblen Entwicklung über die Zeit. Im Rahmen des Gutachtens für das Jahr 2011/2012 wurden dabei folgende Leistungen unterstellt.

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: (Sensfuß 2013)

Durch den Wechsel der Berechnungsmethodik auf ein europäisches Strommarktmodell sind diese Werte überdimensioniert. Durch den europäischen Ausgleich von Angebot und Nachfrage wird insgesamt weniger Kraftwerkskapazität benötigt. Aus diesem Grund werden die Werte des Gutachtens 2011/2012 für das Gutachten 2012/2013 um 20 Prozent reduziert. Somit ergeben sich folgende Kraftwerksleistungen.

Tabelle 4: Zusätzlich installierte Leistung für das Szenario ohne EEG-Strom in den Jahren 2013 und 2014

Kraftwerkstyp	Jahr	Leistung in MW	Wirkungsgrad
Steinkohle-Alt	2013/2014	2800	35%
Steinkohle	2013/2014	3520	45%
Gas-GUD-Alt	2013/2014	600	50%
Gas-GUD	2013/2014	760	60%
Gas-GT	2013/2014	600	30%
Gas-GT	2013/2014	760	40%
<b>Gesamt</b>	-	<b>9040</b>	-

Prinzipiell könnte für die Bestimmung des Kraftwerksparkes auch das Optimierungsmodell eingesetzt werden. Allerdings führt dies bei Berechnungen einzelner Jahre zu sehr sprunghaften Ausbauentscheidungen. Für zukünftige Berechnungen des Merit-Order-Effektes könnte durch langfristige Berechnungen über mehrere Jahre ggf. ein besseres Verfahren entwickelt werden. Der Aufwand der Berechnungen steigt damit jedoch insgesamt noch einmal deutlich.

## 4 Ergebnisse

Der errechnete Merit-Order-Effekt erreicht im Jahr 2013 ca. 3,3 Mrd. Euro in Deutschland. Damit fällt der Wert deutlich niedriger aus als in den vorangegangenen Jahren. Ein zentraler Grund ist die Umstellung der Berechnungsmethodik. Die Außenhandelsbilanz des deutschen Stromsektors ändert sich im Counterfactual-Szenario ohne erneuerbare Energien deutlich. Deutschland wird in diesem Szenario zum Nettoimporteur von Strom. Dieser Veränderung dämpft die Preiswirkung der erneuerbaren Energien in Deutschland deutlich. Gleichzeitig wird durch diesen Wirkungsmechanismus ein signifikanter Teil des Merit-Order-Effektes ins Ausland exportiert. Insgesamt fällt der Merit-Order-Effekt bezogen auf das gesamte modellierte Marktgebiet nach ersten Analysen mehr als doppelt so hoch aus als der Wert für Deutschland aus.

Der berechnete Wert des Merit-Order-Effektes in Deutschland für das Jahr 2014 beträgt 3,0 Mrd. Euro. Somit sinkt der Effekt trotz gesteigener Erzeugung aus erneuerbaren Energien. Diese Reduktion ergibt sich aufgrund von zwei zentralen Effekten. Insgesamt fiel der Stromverbrauch in Deutschland im Jahr 2014 mit ca. 505 TWh deutlich niedriger aus (-25 TWh) als im Jahr 2013. In Verbindung mit gefallenem Brennstoffpreisen führt dies generell zu einem sehr niedrigen Preisniveau. Somit fällt der Preiseffekt der erneuerbaren Energien ebenfalls geringer aus. Der Effekt für das gesamte Marktgebiet sinkt ebenfalls in einer ähnlichen Größenordnung. Die Ergebnisse der aktuellen Analyse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnis des Merit-Order-Effektes für den Zeitraum 2013-2014

Jahr	Zusätzliche Stromerzeugung durch EEG TWh	Merit-Order-Effekt in Deutschland Mrd. €	Absenkung Phelix Day Base €/MWh
2013	129,5	3,3	6.2
2014	138,7	3,0	5,8

Quelle: Eigene Berechnungen

## 5 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 zugunsten 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 in Deutschland auch bei eher konservativen Annahmen und unter Berücksichtigung des europäischen Außenhandels in den Jahren 2013/2014 in der Größenordnung von 3,3 bzw. 3 Mrd. Euro liegt. Die Absenkung des ungewichteten Marktpreises liegt im Bereich von ca. 6,2 bzw. 5,8 €/MWh. Insgesamt zeigt die europäische Betrachtung, dass der Merit-Order-Effekt des deutschen EEG durch gestiegene Stromexporte auch im Ausland eine signifikante Größenordnung erreicht. 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. Weitere methodische Herausforderungen im Rahmen der Bestimmung des Merit-Order-Effektes ergeben sich im Wesentlichen aus der Bestimmung des alternativen Kraftwerksparkes für das Counterfactual-Szenario ohne EEG Strom. Hierzu besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

## 6 Anhang

### 6.1 Modellbeschreibung

PowerACE Europe ist ein lineares Optimierungsmodell, das zur Analyse des europäischen Stromsystems entwickelt wurde. In der Konfiguration für die vorliegende Studie werden der kostenoptimale Kraftwerkseinsatz (in stündlicher Auflösung) und die kostenoptimalen Investitionen in neue Erzeugungstechnologien unter der Annahme des vollkommenen Wettbewerbs berechnet.

Neben der Zielfunktion der Systemkostenminimierung werden im Modell zahlreiche technische und ökonomische Wirkungsmechanismen des Strommarkts beim Ausgleich von Angebot und Nachfrage über Nebenbedingungen abgebildet.

Die Modellstruktur mit den wichtigsten Eingangsdaten und Modellergebnissen ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Ein zentralerer Aspekt der Modellierung ist die regionale Ausdehnung. Die Modellierung erfolgt in dieser Studie für den europäischen Raum mit Einfluss auf den deutschen Strommarkt. Das verwendete Regionenmodell ist in Abbildung 2 dargestellt.

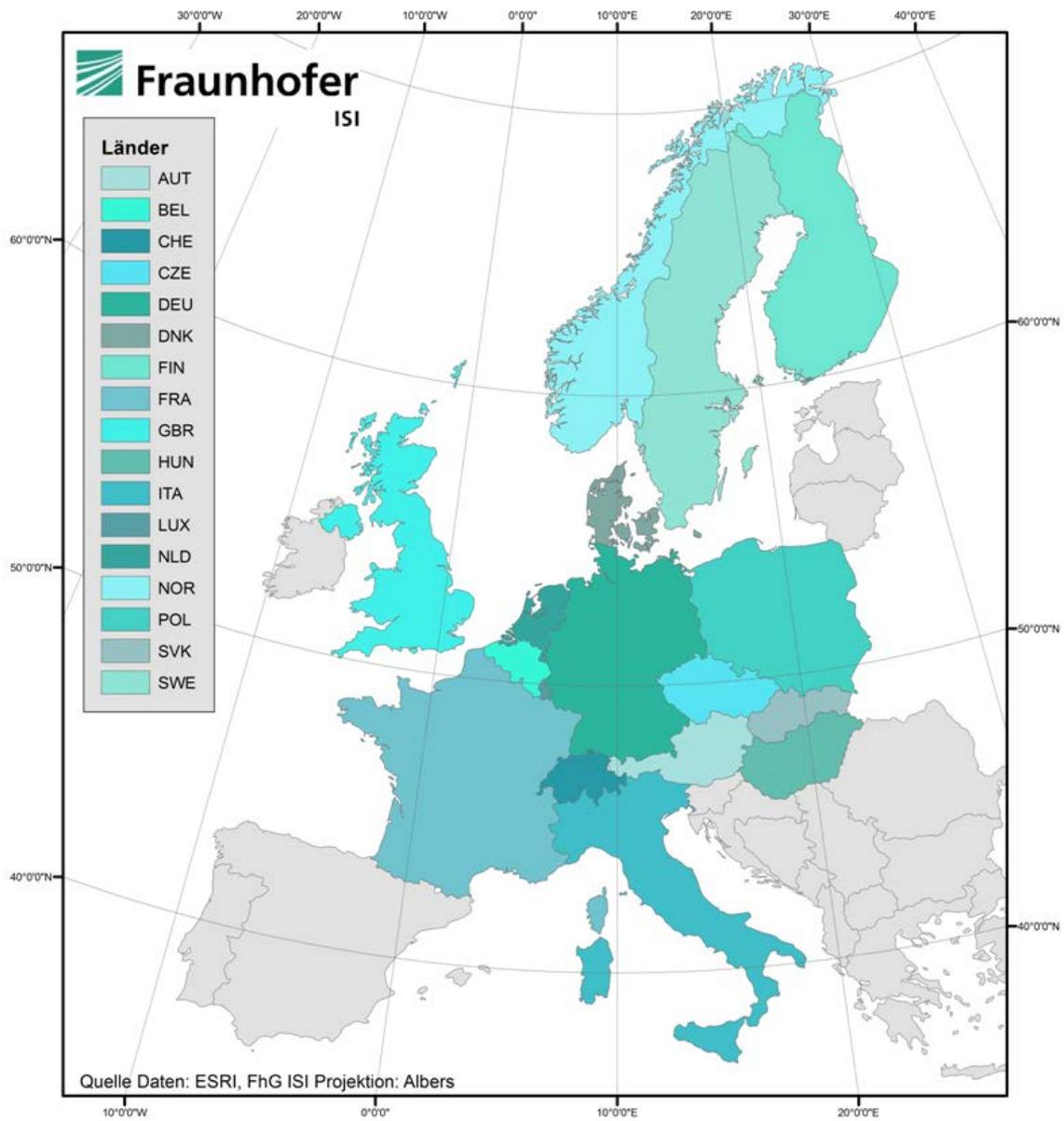


Abbildung 2: Genutztes Regionenmodell

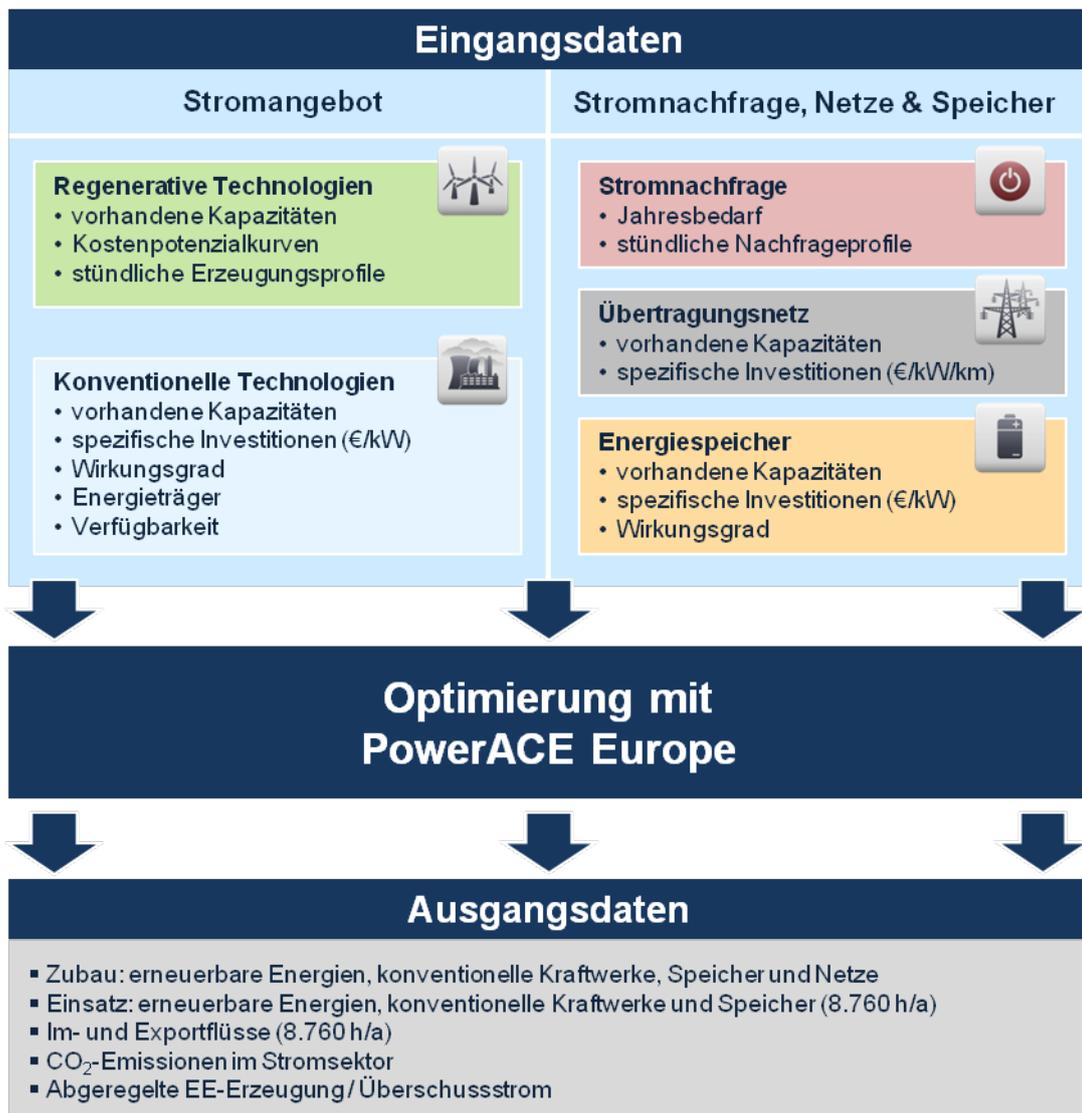


Abbildung 3: Modellstruktur PowerACE Europe

## 7 Literaturverzeichnis

AGEE-Stat (2015): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland Stand Februar 2015. AGEE-Stat. Online verfügbar unter [http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2014-excel.xlsx?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2014-excel.xlsx?__blob=publicationFile&v=2).

Litz, Philipp; Rosenkranz, Gerd (2015): Analyse der Wechselwirkungen von Stromhandel und Emissionsentwicklung im fortgeschrittenen europäischen Strommarkt. Online verfügbar unter [http://www.agora-energien.de.de/fileadmin/Projekte/2015/Stromexport\\_Klimaschutz\\_Energiewende/Agora\\_Hintergrund\\_Stromexport\\_und\\_Klimawandel\\_web.pdf](http://www.agora-energien.de.de/fileadmin/Projekte/2015/Stromexport_Klimaschutz_Energiewende/Agora_Hintergrund_Stromexport_und_Klimawandel_web.pdf), zuletzt geprüft am 20.08.2015.

Sensfuß, Frank (2013): Analysen zum Merit-Order Effekt erneuerbarer Energien. Online verfügbar unter [https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAAahUKEwiAwN781sHHAhWGWiwKHSzDD9I&url=http%3A%2F%2Fwww.impres-projekt.de%2Fimpres-wAssets%2Fdocs%2FMerit-Order-2012\\_final.pdf&ei=kwjbVcCqCoa1sQGshr-QDQ&usg=AFQjCNHJRH6gYa5dH6ED-YscT03zKbY0pA&cad=rja](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAAahUKEwiAwN781sHHAhWGWiwKHSzDD9I&url=http%3A%2F%2Fwww.impres-projekt.de%2Fimpres-wAssets%2Fdocs%2FMerit-Order-2012_final.pdf&ei=kwjbVcCqCoa1sQGshr-QDQ&usg=AFQjCNHJRH6gYa5dH6ED-YscT03zKbY0pA&cad=rja), zuletzt geprüft am 20.08.2015.