

Sabine Hüttner

## **Verbesserte Markt- und Systemintegration von Erneuerbaren Energien im Strombereich**

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2009 Diplomica Verlag GmbH  
ISBN: 9783836638456

**Verbesserte Markt- und Systemintegration von Erneuerbaren Energien im Strombereich**



Sabine Hüttner

## **Verbesserte Markt- und Systemintegration von Erneuerbaren Energien im Strombereich**

Sabine Hüttner

**Verbesserte Markt- und Systemintegration von Erneuerbaren Energien im Strombereich**

ISBN: 978-3-8366-3845-6

Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2010

Zugl. Universität Koblenz-Landau, Abt. Koblenz, Koblenz, Deutschland, MA-Thesis /  
Master, 2009

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zu widerhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und der Verlag, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

# **Inhaltsverzeichnis**

---

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>1      Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1     Problemstellung	1
1.2     Ziel der Arbeit	3
1.3     Aufbau der Arbeit	4
<b>2      Erneuerbare Energien im Energiesystem</b>	<b>5</b>
2.1     Grundlagen der Erneuerbaren Energien	5
2.2     Das Förderinstrument EEG	8
2.2.1     EEG 2004	8
2.2.2     EEG-Novelle 2009	14
<b>3      Voraussetzungen und Ziele der Integration Erneuerbarer Energien</b>	<b>17</b>
3.1     Voraussetzungen für die Integration der Erneuerbaren Energien	17
3.2     Ziele der System- und Marktintegration	19

<b>4</b>	<b>Systemintegration</b>	<b>22</b>
4.1	Technische Maßnahmen zur Systemintegration	22
4.1.1	Netzeinbindung	22
4.1.1.1	Netzoptimierung und -erweiterung	24
4.1.1.2	Einspeisemanagement	27
4.1.1.3	Systemdienstleistungen	29
4.1.2	Einsatz von Speichertechnologien	31
4.1.2.1	Pumpspeicherkraftwerke	32
4.1.2.2	Druckluftspeicherkraftwerke	33
4.1.2.3	Einsatz von Batteriesystemen im Rahmen der Elektromobilität	34
4.1.2.4	Nutzung von Speichern zur Erhöhung der garantierten Windleistung	35
4.1.3	Einsatz von Lastmanagement	37
4.1.3.1	Beeinflussung der Nachfrage	37
4.1.3.2	Voraussetzungen und Hemmnisse	38
4.1.3.3	Lastverlagerungspotenziale	40
4.2	Systemische Analyse	42
4.2.1	Analyse des Flexibilisierungs- und Systemanpassungsbedarfs	42
4.2.2	Bewertung von Ausgleichsoptionen aus systemtechnischer Sicht	45
<b>5</b>	<b>Marktintegration</b>	<b>49</b>
5.1	Ökonomische Maßnahmen zur Marktintegration	49
5.1.1	Modelle zur Änderung der Vermarktung	49
5.1.1.1	Drittvermarktung	50
5.1.1.2	Direktvermarktung ohne Prämie	50
5.1.1.3	Prämienmodell	52
5.1.1.4	Quotenmodell	54
5.1.1.5	Integrationsbonus	55

5.1.1.6	Vermarktung auf dem Regelenergiemarkt	58
5.1.2	Modelle zur Änderung der Wälzung und Profilveredelung	60
5.1.2.1	Versorgermodell	62
5.1.2.2	Wälzung über ein fixes Band	63
5.1.2.3	Wegfall der physischen Wälzung	63
5.1.2.4	Ausschreibung des Profilservices	64
5.1.2.5	Börsenmodell	65
5.2	Energiewirtschaftliche Analyse	66
5.2.1	Bewertung und Modellwahl	66
5.2.2	Ausgestaltung der gewählten Modelle	69
5.2.3	Auswirkungen der Modellwahl auf die Strompreise	71
5.2.4	Entwicklung einer Merit-Order der Ausgleichsoptionen	74
5.2.5	Zukünftige Entwicklung der Direktvermarktung	78
<b>6</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b>	<b>85</b>
6.1	Handlungsempfehlungen zur Systemintegration	85
6.2	Handlungsempfehlungen zur Marktintegration	90
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>94</b>
7.1	Zusammenfassung	94
7.2	Ausblick	95

## **Quellenverzeichnis 97**

---

Anlage 1: Leistung der Erneuerbaren Energie	114
Anlage 2: Stromerzeugung der Erneuerbaren Energie	115
Anlage 3: Auktionierungsergebnisse an den Kuppelstellen	116
Anlage 4: Durchschnittliche EEG-Vergütungssätze der gewählten Vergütungskategorie sowie Entwicklung der Teilnahme am Prämienmodell in Prozent	117

---

## Abkürzungsverzeichnis

AB	Anlagenbetreiber
avNB	aufnahme- und vergütungspflichtiger Netzbetreiber
bbl	Barrel (159 Liter)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BNetzA	Bundesnetzagentur
CAES	Compressed Air Energy Storage
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
dena	Deutsche Energie Agentur
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEG 2004	Erneuerbare-Energien-Gesetz in der Fassung vom 01.08.2004
EEG 2009	Erneuerbare-Energien-Gesetz in der Fassung vom 01.01.2009
EEX	European Exchange (Energiebörse in Leipzig)
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
ETSO	European Transmission System Operators (Zusammenschluss europäischer Übertragungsnetzbetreiber)
EU	Europäische Union
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GuD	Gas- und Dampf-Prozess
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde

HGÜ	Hochspannungs-Gleichstromübertragungsleitung
ISET	Fraunhofer Institut für Solare Energieversorgungstechnik
ISI	Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung
IWR	Internationales Wirtschaftsforum Regenerativer Energien
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MENA	Middle East/North Africa
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
NB	Netzbetreiber
NNE	Netznutzungsentgelte
PV	Photovoltaik
rÜNB	regelverantwortlicher Übertragungsnetzbetreiber
TSO	Transmission System Operator (=ÜNB)
TW	Terrawatt
TWh	Terrawattstunde
UCTE	Union pour la Coordination du Transport de l'Electricité (Verbund der europäischen Übertragungsnetzbetreiber)
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VNB	Verteilnetzbetreiber
WEA	Windenergieanlage

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien .....	8
Abbildung 2.2: Wälzungsmechanismus gemäß EEG 2004 .....	10
Abbildung 2.3: Schematische Darstellung des Merit-Order-Effektes .....	13
Abbildung 3.1: Windenergieeinspeisung im Dezember 2008 in der E.ON-Regelzone .....	19
Abbildung 3.2 : Ziele der System- und Marktintegration .....	21
Abbildung 4.1: Entwicklung der Restnachfrage .....	44
Abbildung 4.2: Regionale Lastflüsse bei Schwachlast und Starkwind im Jahr 2015 .....	45
Abbildung 5.1: Einsatz der Regelenergiearten .....	59
Abbildung 5.2: Konzeptionelle Weiterentwicklung des EEG .....	68
Abbildung 5.3: Zukünftige EE-Vermarktung .....	71
Abbildung 5.4: Korrelation von Strompreis und Windeinspeisung für Dezember 2008.....	73
Abbildung 5.5: Preisentwicklung der Jahresdurchschnittspreise am Spotmarkt .....	74
Abbildung 5.6: Merit Order der Ausgleichsoptionen .....	77
Abbildung 5.7: Beispiel der Direktvermarktung im Prämienmodell für eine WEA.....	78
Abbildung 5.8: Markterlöse und EEG-Vergütungssätzen für Neuanlagen.....	79
Abbildung 5.9: Entwicklung der EE-Mengen innerhalb und außerhalb des EEG .....	82
Abbildung 5.10: Entwicklung der Zahlungsströme in einem EEG-Konto .....	83
Abbildung 5.11: Entwicklung der EEG-Umlage .....	84

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Positive Wirkungen und Schwächen des EEG .....	11
Tabelle 2.2: Aktueller Beitrag und langfristiges Potenzial der EE in Deutschland .....	12
Tabelle 4.1: Netzausbau und -verstärkung.....	24
Tabelle 4.2: Überblick über Stromspeicher-Technologien .....	32
Tabelle 4.3: Lastmanagementpotenziale.....	41
Tabelle 4.4: Annahmen zur systemischen Analyse.....	43
Tabelle 4.5: Ermittlung zusätzlicher Speicherkapazitäten .....	48
Tabelle 5.1: Teilnahme an der Direktvermarktung nach § 17 EEG 2009 .....	51
Tabelle 5.2: Bewertung der verschiedenen Modelle zur Marktintegration.....	67
Tabelle 5.3: Komponenten des Bonusmodells gemäß ISI-Vorschlag.....	70
Tabelle 6.1: Handlungsempfehlungen zur Systemintegration .....	89
Tabelle 6.2: Handlungsempfehlungen zur Marktintegration .....	93