



Doctoral Thesis

## Quantitative methods for the economic analysis of liberalized power markets

**Author(s):**

Hildmann, Marcus C.

**Publication Date:**

2014

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010400594> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22311

***Quantitative Methods for the Economic Analysis of  
Liberalized Power Markets***

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

*Marcus Christoph Hildmann*

*Dipl. Ing, Ms. sc. TU-Darmstadt*

born on 17.09.1979

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

*Prof. Dr. Göran Andersson*

*Prof. Dr. Shmuel Oren*

2014

# Abstract

This thesis considers price modeling aspects in European, mainly German power markets. In particular, it focus on day-ahead price modeling, the calculation of the hourly price forward curve and the impact of renewable energy sources on the price profiles and market structures.

The market liberalization in Germany leads to the need of new methodologies and tools to price electricity contracts, measure market risk and enable quantitative analysis of markets and portfolios. This has become even more important since 2006, when the kick-in of the support scheme driven large scale deployment of renewable energy sources occurred in Germany. As a result, the market dynamics and price structures change frequently over time. Several methods and algorithms for price modeling, price forecasting and quantitative analysis are presented.

The first part of the thesis presents methods to model the merit-order-curve based on exponential- and heat-rate models. In addition, we present a model for long term load forecasting with hourly resolution based on weather, seasonal patterns and economic growth. Both together form the basis of the fundamental models of power prices.

The second part consists of methods and algorithms to model the hourly price forward curve. First a modeling approach which is robust against non-normally distributed data and shows significant better performance than models with the normality assumptions is presented. The second contribution is the modeling of the hourly price forward curve for market coupling or nodal pricing markets. In this approach, all hourly price forward curves are estimated together in one optimization problem based on aggregated demand and supply curves. The third aspect is the introduction of systematic quality measurement for the hourly price forward curve. Qualitative and quantitative criteria for the hourly price forward curve test, which ensures a certain quality of the curve, are presented.

The third part is the quantitative analysis of the impact of renewable energy sources on the power market price structures. This thesis presents a new method for non-linear estimation of renewable energy sources feed-in as a basis for our analysis. Based on the previous methods presented in this thesis, an analysis of the merit-order effect as a result of large quantities of feed-in tariff subsidized renewable energy sources is performed. Additionally recommendations for how to overcome the problem in the short term and also in a post-“Erneuerbare-Energien-Gesetz” scenario are presented. Finally the thesis provides an analysis of the effect of renewable energy sources feed-in on the economic value of storage. In this analysis it is shown, that storage facilities are unprofitable with an increase feed-in of photovoltaic.

# Kurzfassung

Diese Doktorarbeit untersucht verschiedene quantitative Modelle für die Europäischen Strommärkte, wobei der Fokus der Modelle auf dem deutschen Strommarkt liegt. Aus der Marktliberalisierung in Deutschland und anderen Staaten resultiert ein Bedarf an neuen Modellen und Werkzeugen für die Bewertung von Verträgen, die Messung von Marktrisiken und die generelle quantitative Analyse von Märkten und Portfolios. Insbesondere die intensiven Subventionen erneuerbarer Energien und der damit verbundene schnelle Ausbau von Wind und Photovoltaik seit 2006 verstärkt die Marktdynamiken und ändert nachhaltig die traditionellen Preisstrukturen an den Strommärkten. Wir diskutieren drei Gruppen von Anwendungen, fundamentale Preismodelle, Berechnungsmodelle für die Hourly Price Forward Curve und Analysen der Effekte der erneuerbaren Energien auf die Märkte und Preisprofile.

Im ersten Teil der Arbeit behandeln wir die Modellierung von Elektrizität als handelbaren Rohstoff und Fundamentalmodelle zur Preismodellierung. Für die Modellierung der Grenzkostenkurve diskutieren wir verschiedene Modelle auf Basis der Exponentialfunktion als auch basierend auf Grenzkosten der fossilen Energieträger. Des Weiteren präsentieren wir ein Modell zur Lastmodellierung auf Stundenbasis welches neben den klassischen Faktoren wie Saisonalität und Wetter das Wirtschaftswachstum in Form von industrieller Produktion in die Vorhersage einbezieht.

Der zweite Teil der Arbeit behandelt verschiedene Modelle und Methoden zur Berechnung der Hourly Price Forward Curve. Die erste Methode beschreibt die Berechnung der Hourly Price Forward Curve als reines Zeitserienmodell. Der Fokus liegt auf Berechnungs- und Schätzmethoden, die robust gegen nicht normalverteilte Daten sind und signifikant bessere Performance zeigt als nicht robuste Modelle.

Der zweite Aspekt ist die Herleitung der Berechnung der Hourly Price Forward Curve in Märkten mit Market Coupling oder Knotenpreisen. Der Algo-

rithmus berechnet alle Hourly Price Forward Curves der beteiligten Märkte basierend auf aggregierten Preiskurven in einem Optimierungsproblem.

Den dritten Aspekt bildet die Qualitätsmessung der Hourly Price Forward Curve. Wir entwickeln den ersten Ansatz systematischer Tests zur Sicherstellung der Qualität der Hourly Price Forward Curve und präsentieren eine Gruppe von qualitativen und quantitativen Regeln zur Qualitätssicherung.

Der dritte Teil der Arbeit enthält quantitative Marktanalysen zu Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf die Strommärkte und die Produktionsportfolios. Der erste Aspekt ist die Analyse des Merit-Order-Effektes, ein Resultat der Fördermechanismen der erneuerbaren Energien, der zu sinkenden Preisen am Day-Ahead Markt führt. Wir präsentieren Analysen zu diesem Effekt und präsentieren Lösungsansätze zur Abschwächung des Effektes in der Zeit der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Des Weiteren analysieren wir die Marktstruktur für die Zeit nach der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz und zeigen, dass unter der Annahme gewisser Kosten für Betrieb und Wartung ein wirtschaftlicher Betrieb in einem kompetitiven Markt möglich ist.

Den zweiten Aspekt bildet die Bewertung von flexiblen Kraftwerken und Speichern mit Fokus auf Pumpspeicherkraftwerke. Wir präsentieren Methoden und Analysen zur Bewertung der Kraftwerke und die Sensitivität auf den Peak/Off-Peak Spreads. Aufgrund der Verringerung des Spreads, hauptsächlich getrieben durch den Ausbau der Photovoltaik geriet das traditionelle Betriebsmodell der Pumpspeicherkraftwerke unter Druck und gefährdet die Wirtschaftlichkeit der Pumpspeicherkraftwerke.