



Doctoral Thesis

## Evaluating Congestion Management Schemes in Liberalized Electricity Markets Applying Agent-based Computational Economics

**Author(s):**

Krause, Thilo

**Publication Date:**

2006

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005388154> →

**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. 16928

# Evaluating Congestion Management Schemes in Liberalized Electricity Markets Applying Agent-based Computational Economics

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by  
THILO KRAUSE  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. (TU Dresden)  
born April 29, 1977  
in Dresden, Germany

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Göran Andersson, examiner  
Prof. Dr. Louis Wehenkel, co-examiner  
Dr. Martin Eschle, co-examiner

2007

# Abstract

With the beginning of the liberalization process in the early 1990s, electricity markets headed into extensive changes. Moving away from vertically integrated monopolies, power delivery can nowadays be regarded as consisting of several services, mainly including generation, transmission and distribution. The unbundling of the value creation chain is a common feature of liberalized markets worldwide, although different countries follow different schemes for market organization. While e.g. parts of the United States, Singapore and Chile rely on centralized, pool-based trading concepts, in continental Europe decentralized structures seem to receive higher attention. Nonetheless, crucial to all proposed market designs is the transmission network. Electricity grids exhibit large economies of scale and must be physically interconnected for maximum trading efficiency, making the grid a natural monopoly within a defined region. Although transmission access and tariffs are subject to regulation, there is a growing need for market-based pricing concepts in transmission networks. Ideally, these concepts give not only correct economic incentives, but will also facilitate the physical operation of the network. In this regard, congestion management and pricing methodologies have been subject to intensive research, as these methodologies are crucial for the efficient operation of electricity markets. Looking at the worldwide implementation of congestion management schemes, different approaches can be identified. A pool-based or centralized market design allows for the use of locational marginal pricing, zonal pricing concepts such as market splitting or flow-based market coupling try to increase market liquidity by still relying on centralized elements, whereas explicit auctioning of transmission capacity exhibits the lowest degree of centralization, and thus, provides the greatest freedom to market participants. The different international implementation suggests that there is no definite first-best congestion management system. Every scheme

has to be evaluated with regard to the specific network topology, the generation portfolio, the strategic possibilities of market players as well as previous market developments, as in different countries there exist historical factors influencing possible restructuring efforts.

The contribution of this thesis is the development and implementation of an agent-based simulator for evaluating different congestion management methods in liberalized electricity markets. By modeling market participants as adaptive agents in oligopolistic structures, the possibility of strategic behavior and the existence/exercise of market power is explicitly considered. The simulator is capable of evaluating locational marginal pricing, zonal pricing (market splitting and flow-based market coupling) and explicit auctions. For the assessment of the congestion management schemes, evaluation criteria are developed together with a set of indicators regarding social welfare as well as market power. The thesis is concluded with two case studies, the first analyzing a sample network consisting of Switzerland, France and Italy, the second comparing agent-based modeling and Nash equilibria analysis as modeling concepts for liberalized electricity markets.

# Kurzfassung

Im Zuge der Liberalisierung der europäischen Elektrizitätsmärkte ist es möglich geworden, sowohl national als auch international elektrische Energie flexibel zu handeln. Erzeugungsunternehmen und Kunden in verschiedenen Ländern können direkt Verträge abschließen oder elektrische Energie auf Strombörsen anbieten respektive ersteigern. Durch die Erfüllung der abgeschlossenen Lieferverträge kann es zu grenzüberschreitenden Flüssen kommen, wobei die begrenzten Übertragungskapazitäten zwischen und innerhalb der betroffenen Länder berücksichtigt werden müssen. Um Situationen zu vermeiden, in denen die Nachfrage nach Übertragungskapazität die physikalischen Möglichkeiten des Netzes übersteigt, werden das Übertragungsnetz und die verschiedenen Marktplätze mit Hilfe von Engpassmanagementmethoden aufeinander abgestimmt. Dabei sind je nach Markt- oder Netzstruktur verschiedene Konzepte implementiert. Während in den Vereinigten Staaten, in Neuseeland, Singapur als auch Irland zentralisierte Engpassmanagementkonzepte favorisiert werden, kommen in Mitteleuropa dezentrale Modelle zur Anwendung, wie zum Beispiel explizite Auktionen. Die verschiedenen Ansätze zur Handhabung von Netzengpässen legen die Vermutung nahe, dass es kein absolut effizientes System gibt, sondern dass verschiedenste Aspekte betrachtet werden müssen, um geeignete nationale als auch grenzüberschreitende Marktarchitekturen zu etablieren. Eine zusätzliche Komplikation im Hinblick auf Modellierung und Analyse von Engpassmanagementkonzepten stellt das Risiko wettbewerbsverzerrenden Verhaltens durch bestimmte Marktteilnehmer dar. Bedingt durch zumeist vorherrschende Oligopolstrukturen kann es Marktteilnehmern unter Ausnutzung von Marktmacht möglich sein, Preisentwicklungen zu beeinflussen, um den eigenen Gewinn zu erhöhen. Durch dieses Verhalten wird der Markt "unterwandert", was zu Einbußen bei Versorgungszuverlässigkeit und Wohlfahrt führen kann.

Um derartiges antikompetitives Verhalten zu modellieren und zu verstehen, werden vermehrt Multiagenten-Systeme als eine Form von verteilter künstlicher Intelligenz eingesetzt. Mit Hilfe solcher Modelle können Einblicke in das strategische Verhalten von Marktteilnehmern und die Auswirkungen auf den Gesamtmarkt gewonnen werden. Insbesondere im Hinblick auf die komplexen Strukturen und Abhängigkeiten in Elektrizitätsmärkten scheint ein dezentraler Modellierungsansatz, wie ihn ein Multiagenten-System bietet, geeignet. In diesem Sinne leistet vorliegende Arbeit folgende Beiträge:

- Die Formulierung eines einheitlichen Modellierungsansatzes für Engpassmanagementkonzepte als auch die Definition von qualitativen und quantitativen Kenngrößen zum Konzeptvergleich.
- Die Entwicklung eines Multiagenten-Systems zur Simulation und Analyse von impliziten und expliziten Engpassmanagementkonzepten unter Berücksichtigung der Annahmen des perfekten Wettbewerbs sowie möglichen strategischen Verhaltens.
- Vergleich von Multiagenten-Systemen und Methoden der Gleichgewichtsanalyse im Hinblick auf die Eignung zur Modellierung von Elektrizitätsmärkten als auch die Darstellung der Abhängigkeiten beider Ansätze.