ETH zürich

ETH Library

Market design for emission trading schemes

Doctoral Thesis

Author(s):
Fehr, Max

Publication date:
2009

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-005921457

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. 18634

Market Design for Emission Trading Schemes

A dissertation submitted to

ETH Zurich

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Max Fehr
Dipl. Phys. ETH
born 10th March 1979
citizen of Sweden
and Winterthur (ZH)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Hans-Jakob Lüthi, examiner
Prof. Dr. René Carmona, co-examiner
Prof. Dr. Juri Hinz, co-examiner

2009

Abstract

Emission trading schemes are regulatory frameworks designed to reduce and to control pollution level by creation of economic incentives for responsible emission sources. Currently, there are several systems of this type in operation, with the European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) as the largest multi-national mandatory mechanism for trading of carbon dioxide allowances. This thesis is concerned with the mathematical analysis of cap-and-trade schemes and other emissions regulations. We review the existing quantitative analysis on the subject and introduce some of the mathematical challenges posed by the implementation of the new phase of the European Union Emissions Trading Scheme as well as the cap-and-trade schemes touted by the US, Canada, Australia and Japan. From a theoretical point of view, the main thrust of the thesis is the introduction of a new mathematical framework for competitive equilibrium, in which a broad range of emission regulations can be analyzed. From a practical point of view, particular focus is given to the design and numerical analysis of new cap-and-trade schemes for the control and the reduction of atmospheric pollution. We develop tools intended to help policy makers and regulators understand the pros and cons of different regulations.

As some fundamental differences between regulations do not occur in a deterministic setting we propose a stochastic equilibrium model for an economy where firms produce goods to satisfy an inelastic demand and are endowed with permits in order to offset their pollution at compliance time and avoid having to pay a penalty. Thereby we consider risk neutral (as opposed to risk averse) firms with the aim to obtain stronger equivalence results between different emission regulations. Firms that can easily reduce emissions do so, while those for which it is harder buy

permits from firms which anticipate they will not need all their permits, creating a financial market for pollution credits. Our equilibrium model elucidates the joint price formation mechanism for goods and pollution allowances, capturing most of the features of the first phase of the European Union Emissions Trading Scheme. We show existence of an equilibrium and show that its solution reduces to an optimal stochastic control problem. We also prove uniqueness of emission credit prices and characterize the equilibrium prices of goods as well as the optimal production and trading strategies of the firms.

Thereby it is shown that standard cap-and-trade schemes, designed in the spirit of the EU ETS are socially optimal (also in a stochastic setting!). However this does not imply that such schemes are inexpensive for consumers. In particular it is proven that standard cap-and-trade schemes increase consumer costs through a notable price increase for products, whose production causes pollution (for instance electrical power for EU ETS). This observation is evident, since the regulation shifts production towards cleaner, hence more expensive technologies, while the cost of pollution is factored into the prices of those products.

One of the main targets of this thesis is to quantify such effects as well as other qualitative properties of emission regulations in a realistic framework. To this end we use the Japanese electricity market to numerically simulate the equilibrium in different regulatory settings. For this market it turns out that on one hand reduction costs are astonishingly low while on the other hand it is shown that consumers burden exceeds by far the overall reduction costs, giving rise for huge windfall profits for electricity companies, which was also observed in EU ETS. Moreover we use this numerical illustration to show that even tax based regulations and standard cap-and-trade schemes with a 100% auction can fail to reduce windfall profits to a reasonable level.

This fact demonstrates the strong need for an improvement of generic cap-and-trade mechanisms. We show how to adapt the regulatory framework of an emission trading scheme in such a way that the final consumer costs are reasonably low, preserving the social optimality of the mechanism at the same time. The resulting relative and hybrid allocation schemes demonstrate that an apparently innocuous small change in the design can have a dramatic economic impact.

Zusammenfassung

Emissionshandelssysteme sind regulatorische Instrumente, die geschaffen wurden, um Schadstoffemissionen durch ökonomische Anreize für die verantwortlichen Emittenten zu kontrollieren. Derzeit gibt es mehrere Systeme dieser Art. Dabei ist das Europäische Emissionshandelssystem (EU ETS) der grösste verbindliche Mechanismus für den Handel mit Emissionszertifikaten. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der mathematischen Analyse von Cap and Trade Systemen und anderen Emissionsregulationen. Wir fassen die bestehenden quantitativen Analysen zu diesem Thema zusammen und stellen einige der mathematischen Herausforderungen bei der Umsetzung der nächsten Phase des Europäischen Emissionshandelssystems und der geplanten Systeme in den USA, Kanada, Australien und Japan vor.

Aus theoretischer Sicht ist das Hauptziel der Arbeit die Einführung eines neuen mathematischen Rahmens für kompetitive Gleichgewichte, in dem ein breites Spektrum von Emissionsregulationen analysiert werden kann. Aus praktischer Sicht wird ein besonderes Augenmerk auf das Design und die numerische Analyse von neuen Emissionshandelssystemen für die Kontrolle und die Verringerung der Luftverschmutzung gerichtet. Wir entwickeln Werkzeuge, die politischen Entscheidungsträgern und Regulierungsbehörden helfen sollen, die Vor- und Nachteile von verschiedenen Emissionsregulationen zu verstehen.

Da einige grundlegende Unterschiede zwischen den Regulationen in einem deterministischen Model nicht auftreten, betrachten wir ein stochastisches Gleichgewichtsmodel für eine Ökonomie, in der Unternehmen Waren produzieren und eine unelastische Nachfrage decken. Dabei betrachten wir risikoneutrale (anstatt risikoscheue) Agenten, um stärkere

Äquivalenzresultate zwischen unterschiedlichen Regulationen zu erhalten. Die einzelnen Firmen sind mit Emissionszertifikaten ausgestattet, mit denen Sie ihre Emissionen kompensieren können. Falls eine Firma mehr ausstösst als sie Zertifikate abrechnet, muss sie eine Strafe bezahlen. Um diese Strafe zu vermeiden, hat das Unternehmen zwei Möglichkeiten. Es kann entweder seinen Ausstoss reduzieren oder Zertifikate am Markt einkaufen. Diejenigen Firmen, die billig Emissionen reduzieren können, werden dies tun und können ihre Zertifikate an Firmen mit teuren Reduktionskosten verkaufen, was zur sozialen Optimalität (d.h. die Treibhausgasemissionen werden unter minimalen volkswirtschaftlichen Kosten gesenkt) des Mechanismus führt. Unser Gleichgewichtsmodell erklärt den Preisbildungsmechanismus für Zertifikate und für Waren, deren Produktion Emissionen verursacht. Ausserdem erfasst es die meisten Funktionen der ersten Phase des EU ETS. Wir leiten die Existenz eines Gleichgewichts her und zeigen, dass dessen Berechnung zu einem optimalen stochastischen Steuerungsproblem reduziert werden kann. Wir beweisen auch, dass die Zertifikatspreisprozesse eindeutig sind und charakterisieren Gleichgewichtspreise von Waren sowie die optimalen Produktions- und Handelsstrategien der Unternehmen.

Dabei wird gezeigt, dass Standard-Emissionshandelssysteme im Sinne des EU-ETS sozial optimal sind (auch in einem stochastischen Model!). Dies bedeutet jedoch nicht, dass solche Systeme für den Endverbraucher billig sind. Insbesondere wird gezeigt, dass Standard-Emissionshandelssysteme zwangsläufig die Verbraucherkosten, durch einen deutlichen Anstieg der Preise für Produkte, deren Herstellung Emissionen verursacht (z. B. elektrische Energie im Falle des EU-ETS), erhöhen. Dies ist offensichtlich, da die Regulation zu einer umweltfreundlicheren Produktion und damit zu höheren Produktionskosten führt, während die Zertifikate in die Produkte eingepreist werden.

Eines der Hauptziele dieser Arbeit ist, diese Effekte sowie weitere qualitative Eigenschaften von Emissionsregulationen in einem realistischen Rahmen zu quantifizieren. Zu diesem Zweck berechnen wir numerisch das Marktgleichgewicht für unterschiedliche Regulationen am Beispiel des japanischen Strommarktes.

Für diesen Markt stellt sich heraus, dass einerseits die Reduktionskosten erstaunlich niedrig sind, während auf der anderen Seite die Kon-

sumentenkosten, die durch den erhöhten Strompreis entstehen, diese bei weitem überschreiten. Für Stromproduzenten führt dies zu hohen extra Gewinnen, so genannten Windfall Profits, welche auch in der ersten Phase des EU ETS beobachtet wurden. Darüber hinaus nutzen wir unsere Japan-Fallstudie, um zu zeigen, dass weder eine Emissionssteuer noch ein Standard-Emissionshandelssystem, in dem die gesamte Anfangsallokation versteigert wird, die Windfall Profits auf ein vernünftiges Niveau reduzieren können.

Diese Tatsache zeigt, dass es notwendig ist die Standard-Emissionshandelssysteme zu verbessern. Wir zeigen, wie man Emissionshandelssysteme in einer Weise ändert, so dass die Verbraucherkosten relativ niedrig ausfallen, während gleichzeitig die soziale Optimalität des Standard-Systems erhalten bleibt. Die resultierenden relativen und hybriden Systeme zeigen, dass eine scheinbar kleine Änderung in der Regulation eine dramatische wirtschaftliche Auswirkung haben kann.