



Doctoral Thesis

Computing economic equilibria and its application to international trade of CO₂ permits an agent-based approach

Author(s):

Büeler, Benno Paul

Publication Date:

1997

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001895598> →

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](#).

**COMPUTING ECONOMIC EQUILIBRIA
AND ITS APPLICATION TO
INTERNATIONAL TRADE OF CO₂ PERMITS:
AN AGENT-BASED APPROACH**

Dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH, SWITZERLAND

for the degree of
Doktor der Mathematik

presented by
BENNO PAUL BÜELER
Dipl. Math. ETH, Dipl. Ing.-Agr. ETH
born December 13, 1961
citizen of Schwyz (SZ)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H.-J. Lüthi, examiner
Prof. Dr. B. Schips, co-examiner
Prof. Dr. J.-P. Vial, co-examiner

Zusammenfassung

Seit der Postulierung der berühmten 'unsichtbaren Hand' von Adam Smith vor 200 Jahren haben Ökonomen eine ambivalente Haltung gegenüber Wettbewerbsgleichgewichten. Einerseits ist es *das* grundlegende Konzept der Marktwirtschaft und intuitiv einfach zugänglich, andererseits stellt dessen formale Handhabung grosse Probleme. So gelang z.B. erst in den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts ein erster Existenzbeweis von Gleichgewichten für bestimmte Modelle. Aber auch die algorithmische Handhabung selbst einfacher Modelle erweist sich vielfach als schwierig und erfordert im allgemeinen ein genaues Verständnis der Modellstrukturen.

Von den zahlreichen Möglichkeiten, Wettbewerbsgleichgewichte formal zu behandeln, wird in dieser Arbeit der Fokus auf Agenten und deren Reaktion auf Preissignale gelegt. Dabei kann ein Agent je nach Situation verschiedenes repräsentieren: ein Konsument, ein Produzent, ein ganzer Wirtschaftssektor, eine geographische Einheit (Land), usw. Bei gegebenem Preis ist die Reaktion der Agenten definiert als Netto-Verkauf (Angebot minus Nachfrage, oder Export minus Import), was summiert über alle Agenten als Exzessfunktion bezeichnet wird.

Ein Wettbewerbsgleichgewicht mit einem nichtnegativen Gleichgewichtspreis ist dann gefunden, wenn entweder das Angebot und die Nachfrage übereinstimmen, oder aber das Angebot grösser als die Nachfrage und zugleich der zugehörige Preis Null ist.

Motiviert wird die Wahl, Wettbewerbsgleichgewichte auf der Ebene von Exzessfunktionen zu betrachten, durch eine Reihe von spezifischen Vorteilen: dazu zählen die breite Anwendbarkeit auf verschiedenste Gleichgewichtsprobleme, die einfache Integrierbarkeit bestehender beliebig heterogener Agenten in ein übergeordnetes Gleichgewichtsmodell, oder die offensichtliche Parallelisierungsmöglichkeit in der Behandlung der einzelnen Agenten. Dabei stellten sich die zwei letzten Punkte als entscheidend für das in dieser Arbeit konkret betrachtete Energie-Ökonomie-Modell MM^{mr} (Markal-Macro multi-region) dar. Diese Vorteile dürften auch für viele andere Modelle relevant sein. Allerdings erweist sich als einer der gravierendsten Nachteile dieser Sichtweise die für einen Konvergenzbeweis der angewandten Algorithmen im allgemeinen nicht gegebenen Struktur-Voraussetzungen der Exzessfunktion.

Aufgrund der entscheidenden Vorteile werden in dieser Arbeit zwei Heuristiken

entwickelt, die das Gleichgewichtsproblem basierend auf der Exzessfunktion lösen. Zum einen ist das ein Schnittebenenverfahren, welches im Rahmen von Variationsproblemen diskutiert wird, und zum anderen ein Fixpunktverfahren. Ein Beitrag dieser Arbeit findet sich dabei in der Diskussion der Monotonie der Exzessfunktion, welche sich als zentral für die Konvergenz des ersten Verfahrens herausstellt. Weiter wird die Behandlung der Unbeschränktheit der Lagrange-Funktion in gewissen Fällen untersucht. Diese Unbeschränktheit tritt bei der Dekomposition des Optimierungsproblem auf, welches dem Fixpunktverfahren zugrundeliegt. Als erstes interessantes empirisches Resultat erscheint dabei die Robustheit des Fixpunktverfahrens, sofern eine spezifische primal-duale Beziehung zwischen den zwei Verfahren ausgenützt wird.

Um Algorithmen sinnvollerweise einzusetzen muss sichergestellt sein, dass eine Gleichgewichtslösung überhaupt existiert. In einer vergleichenden Diskussion werden verschiedene Beweisstrategien mit einigen Verallgemeinerungen und Ergänzungen für die Existenz eines Gleichgewichtes einander gegenübergestellt. Eine davon wird schliesslich an MM^{nr} angewandt.

Der mehr ökonomisch ausgerichtete Teil der Arbeit beginnt mit einem Exkurs zu Energie-Ökonomie Modellen unter dem Gesichtspunkt von CO_2 Emissions-Beschränkungen. Diskussionsbeiträge finden sich hier im Bereich des 'burden-sharing' und der Implementation von CO_2 Emissions-Zertifikaten.

Aufbauend auf nationalen Energie-Ökonomie Modellen (Markal-Macro) werden unterschiedliche Konzepte zur Modellierung von CO_2 Emissions-Zertifikaten vorgestellt. Diese werden einerseits zur Integration der nationalen Markal-Macro Modelle im Mehrländermodell MM^{nr} benutzt. Andererseits werden die Konsequenzen der unterschiedlichen Zertifikats-Modellierung in diesem Kontext auch analysiert.

Beruhend auf Daten von Schweden, den Niederlanden und der Schweiz wurden die zwei entwickelten Heuristiken schliesslich an MM^{nr} erfolgreich getestet. Vorbehaltlich der bei Modellrechnungen zu machenden Relativierung der numerischen Resultate ergeben sich doch einige interessante ökonomische Einsichten. So erscheint der auf das Jahr 2000 diskontierte Preis für solche Zertifikate umgerechnet bei etwa 20 Rappen pro Liter Treibstoff zu liegen, wenn eine 40%-ige Abnahme der Emissionen bis ins Jahr 2040 vorgegeben wird. Für dieses Szenario liegen die Verluste des BNP (Brutto-Nationalprodukt) im Bereich von 2% gegenüber einem Referenz-Szenario ohne Emissionsbeschränkung. Diese Verluste können um etwa einen Fünftel verringert werden, wenn statt fixen länderweisen Emissions-Beschränkungen handelbare Zertifikate eingeführt werden. Bemerkenswert ist auch die länderweise unterschiedliche Verteilung der Verluste gemessen am BNP. Da diese Verteilung der Verluste durch die Erstaussstattung mit Zertifikaten direkt steuerbar ist, können solche Modelle bei der Aushandlung der Erstaussstattung sowie möglicher Transferleistungen eine wichtige Entscheidungshilfe leisten.

Summary

Since Adam Smith postulated the 'invisible hand' 200 years ago, economists have had an ambivalent position towards competitive economic equilibria. On the one hand it is *the* fundamental paradigm of the market economy system and intuitively easy to understand. On the other hand its formal treatment poses considerable difficulties. The first proof of existence for certain models was possible only in the 1930's; but the algorithmic treatment of even simple models has often proved to be hard due to the need of an accurate insight into the concrete model-structure which can be hard to obtain.

There are various ways to formalize equilibria; in this work equilibria are formalized through the reaction of economic agents to price signals. Here 'agent' is used to denote different things, depending on the context: a consumer, a producer, a whole economic sector, or a geographic unit like a country, etcetera. The 'reaction' of an agent is defined as the net selling (supply minus demand, export minus import) which is determined by price. The summing of the reaction of all agents is called (market) excess.

An equilibrium with non-negative price is found when either supply equals demand or supply exceeds demand and the corresponding price is zero.

The choice to study equilibria on the level of the excess-function was motivated by a number of specific advantages including its broad applicability to different economic equilibrium problems, its simplicity of integrating existing and arbitrarily heterogeneous agents in an overall equilibrium model, and its possibility to treat agents in parallel. For MM^m (Markal-Macro multi-region), the energy-economy model studied in this work, the last two advantages are of decisive value. A serious disadvantage of this excess-based view is the possible lacking of structural properties of the excess-function which are required for proving convergence of related algorithms to equilibria.

The above mentioned advantages, however, necessitated the development of two main heuristics to solve the equilibrium problem based on the excess-function approach. The first, the Cutting Plane Method (CPM), is derived from a formulation of the equilibrium problem as a Variational Inequality Problem (VIP). The second heuristic is a fixed point method.

Contributions to the solution of equilibrium problems include the mathematical analysis of monotonicity of the excess-function, the clarification of the central

role of monotonicity when applying CPM, and the treatment of unboundedness of the Lagrangian-function in some cases. This unboundedness appears in the decomposition of the optimization problem which underlies the fixed point problem. Another contribution is the discussion and extension of different strategies to prove the existence of an equilibrium. One of these strategies is finally applied to MM^{mr} .

One of the study's empirical result is the robustness and convergence of the fixed point method when a specific dual relationship to the VIP is utilized.

The economically oriented part of this study starts with a discourse upon energy-economy models from the perspective of CO₂ emission bounds. Specific attention is given to burden sharing and the implementation of CO₂ emission-permits.

Based on national energy-economy models (Markal-Macro), different possibilities to model CO₂-permits are developed. First, the permits are used to integrate the national models in the international model MM^{mr} . Second, the consequences of the different permit strategies are analyzed.

Using data from Sweden, the Netherlands and Switzerland, the two heuristics are finally successfully tested. Even though the resulting numbers must be interpreted cautiously, some interesting economic trends can be observed. Assuming a CO₂ emission scenario which reduces linearly the emission by 40 % from 2000 to 2040, the average permit price is calculated to be 14 US cents per liter of fuel if discounted back to the year 2000. Furthermore, the GNP-losses are around 2 % compared to a reference case without emission bounds. In our model these losses can be reduced by one fifth if tradable permits instead of fixed national emission bounds are introduced. Significant economic differences were observed between nations. Because the distribution of gains and losses can be influenced directly by the initial endowment with permits, models like MM^{mr} can be useful as a decision support tool when initial endowments or transfer payments are negotiated.