

Der Emissionshandel als Instrument der Umweltpolitik

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Wirtschaftsinformatik

eingereicht von

Manfred Spitzwieser

Matrikelnummer 0425745

an der
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuung
Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dr. Bernhard Böhm

Wien, 24.11.2011

(Unterschrift Verfasser)

(Unterschrift Betreuer)

Erklärung zur Fassung der Arbeit

Manfred Spitzwieser, Fillmannsbach 13, 5144 St. Georgen, Österreich

„Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen –, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.“

Wien, 24.11.2011

Kurzfassung

Seit Einführung des ‚European Union Emissions Trading System‘ ist der Emissionshandel als umweltpolitisches Instrument einer breiten Öffentlichkeit bekannt geworden. In dieser Arbeit wird der Emissionshandel gegenüber anderer umweltpolitischer Instrumente abgegrenzt und seine Wirkungsweise analysiert. Hier wird speziell auf die Rahmenbedingungen eingegangen, welche vorherrschen müssen damit sich durch den Emissionshandel eine effiziente Lösung einstellen kann. Des Weiteren wird das EU-ETS als praktisches Beispiel herangezogen um die Umsetzung eines solchen Systems mit der Theorie zu vergleichen. Es wird speziell auf die Probleme, die bei Einführung eines Emissionshandelssystems auftreten können, eingegangen und analysiert welche Parameter Einfluss auf die Wirkungsweise des Systems haben. Dies wird im letzten Teil der Arbeit mit Hilfe der agentenbasierten Programmiersprache NetLogo für ein vereinfachtes Emissionshandelssystem untersucht. Anhand dieser Simulation kann man beobachten wie das System auf verschiedenste Einstellungsparameter reagiert.

Abstract

Since the rollout of the European Union Emissions Trading System, more people got aware of the emissions trading concept. This thesis analyzes emissions trading in theory and distinguishes it to other concepts like standards and taxes. The analysis focuses on the requirements under which the emissions trading system provides an efficient result. To compare the theoretical concept of emissions trading to a concrete example, the EU-ETS will be analyzed under the theoretical assumptions. Especially the general requirements during the implementation of the EU-ETS are examined and how those influenced the overall working of the system. In the last chapter of the thesis the agent based programming language NetLogo was used to develop a simulation of a simple emissions trading system. In this simulation the user can investigate how the calibration of certain parameters can influence the result of such an emissions trading system.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation	6
1.2	Fragestellung	7
1.3	Methodik	7
1.4	Aufbau der Arbeit.....	8
2	Theoretischer Teil.....	9
2.1	Ökonomie und Umwelt	9
2.1.1	Öffentliche Güter.....	9
2.1.2	Internalisierung externer Effekte	10
2.1.3	Eigentumsrechte und der Marktmechanismus.....	12
2.1.4	Praktisches Beispiel.....	15
2.2	Umweltpolitische Instrumente.....	16
2.2.1	Auflagen	16
2.2.2	Abgaben.....	18
2.2.3	Zertifikate	21
2.3	Theorie der Emissionszertifikate	22
2.3.1	Theoretischer Ansatz	22
2.3.2	Illustration anhand eines Beispiels	26
2.3.3	Typen von Emissionshandelssystemen	28
2.3.4	Allokation der Zertifikate	29
2.3.5	„Banking“ und „borrowing“	30
3	Internationale Umweltpolitik in der Praxis	31
3.1	Entwicklung internationaler Umweltpolitik	31
3.2	Das Kyoto Protokoll	31
3.2.1	Reduktionsziele	32
3.2.2	Reduktionsziele in der EU.....	33
3.2.3	Flexible Mechanismen.....	33

3.3	Erste Erfahrungen mit Emissionshandelssystemen in den USA	35
3.3.1	Besondere Eigenschaften von Treibhausgasen.....	35
3.3.2	Acid Rain Programm.....	35
3.3.3	RECLAIM Program	38
3.3.4	„Lesson Learned“	40
3.4	Der EU-Emissionshandel	43
3.4.1	Rahmenbedingungen des Systems	43
3.4.2	Pilotphase 2005 – 2007	46
3.4.3	Handelsperiode 2008 – 2012	51
3.4.4	Handelsperiode 2013 – 2020	53
3.4.5	Ergebnisse	55
4	Simulation eines Emissionshandelssystems	57
4.1	NetLogo - Agentenbasierte Programmierung.....	57
4.2	Spezifikation.....	58
4.2.1	Das Interface.....	58
4.2.2	Initialisierungsprozess / Setup.....	66
4.2.3	Agentenlogik	69
4.2.4	Angebot und Nachfrage.....	73
4.2.5	Green Technology	75
4.2.6	Reduktion der Gesamtzertifikate	76
4.3	Fallbeispiele.....	77
4.3.1	Preisknick.....	77
4.3.2	Reduktion der Gesamtzertifikate	78
4.3.3	Grüne Technologien und ihr Einfluss.....	80
4.3.4	Auktion.....	82
4.4	Fazit zur Simulation und NetLogo	84

5 Zusammenfassung	85
Abbildungsverzeichnis	88
Tabellenverzeichnis	90
Akronyme	91
Literaturverzeichnis	92
Anhang: Inhalt der Daten DVD:	94

1 Einleitung

Vor 30 Jahren wurde der Klimawandel noch als strittige Theorie angesehen. Mittlerweile stimmen die führenden Wissenschaftler auf diesem Gebiet überein und bestätigen, dass wir uns in einer Phase der globalen Erwärmung befinden. Wenn man sich mit dem Klimawandel auseinandersetzt, und merkt welche dramatischen Auswirkungen dieser auf unseren Planeten haben kann, muss man sich die Frage stellen wie wir diesen Prozess stoppen oder zumindest verlangsamen können.

Bis zum Jahre 2100 sehen wir uns mit einer zusätzlichen Erwärmung von 1,8 bis 4 Grad Celsius konfrontiert. Dies würde bedeuten das 20 bis 30 Prozent unsere Pflanzen- und Tierwelt verschwinden würde. Der Meeresspiegel würde sich, wegen dem Abschmelzen der Polkappen, um 18 bis 59 Zentimeter erhöhen. (UNFCCC, 2011) Auswirkungen auf einzelne Ökosysteme sind unvorhersehbar, diese komplexen Systeme sind oft schon von kleinen Veränderungen stark betroffen.

Schenkt man den düsteren Prognosen von Wissenschaftlern, Politikern oder Finanzexperten glauben, können die Konsequenzen unseres jetzigen Handelns unvorstellbare Folgen für uns alle haben. Seit der Industrialisierung sind unsere Wirtschaftsaktivitäten so stark gestiegen das wir kein vergleichbares Beispiel in der Menschheitsgeschichte finden. All dies stützt sich zum großen Teil auf die endlichen fossilen Ressourcen die wir täglich verfeuern. Natürlich lässt sich so eine Entwicklung nicht von heute auf Morgen ändern, aber es ist Zeit Lösungen zu suchen.

1.1 Motivation

Sieht man dem Klimawandel und dessen Folgen ins Auge muss man versuchen neue Wege zu finden um dieses Problem anzugehen. Wenn man sich ansieht wie die Gesetzgeber im Normalfall auf Umweltproblematiken reagieren sieht man zumeist, dass sie den Verursachern Auflagen erteilen oder Abgaben einfordern. Nimmt man regionale Umweltprobleme als Beispiel mag dies ein effektiver und einfacher Weg sein um die Situation zu verbessern.

Nehmen wir jedoch die Emission von Treibhausgasen ins Zentrum unserer Betrachtung scheint es sich hier um ein Problem anderer Größenordnung zu handeln. Es ist ein Problem das wir aus globaler Sicht betrachten müssen. Egal wo die Emission von Treibhausgasen geschieht, die Folgen werden global zu spüren sein. Darum ist es interessant über andere umweltpolitische Instrumente zur Reduktion von Treibhausgasen nachzudenken.

Es bietet sich hier neben den klassischen Methoden, Auflagen und Abgaben, der Zertifikatshandel an. Dieses Instrument nutzt den Marktmechanismus um eine effiziente Lösung zu finden. Nicht mehr der Gesetzgeber sondern die Unternehmen selbst entscheiden über Investitionen in umweltfreundliche Technologien. Basierend auf dem Preis der Zertifikate ist ein Handelsteilnehmer veranlasst über seine Umweltstrategie nachzudenken. Die Aufgabe des Gesetzgebers liegt darin, für die Rahmenbedingungen eines solchen Emissionshandelssystems zu sorgen. Da sich die Treibhausgase mit ihren Eigenschaften besonders für dieses System eignen, ist hier eine vielversprechende Zukunft im Zertifikatshandel zu sehen.

1.2 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit soll den Themenbereich Emissionshandel untersuchen. Als umweltpolitisches Instrument seine Wirksamkeit untersuchen und mit anderen Instrumenten vergleichen. Im Besonderen soll die Wirkungsweise der Zertifikatslösung untersucht werden und gegenüber Auflagen und Abgaben abgegrenzt werden. Des Weiteren soll auf die Rahmenbedingungen eingegangen werden, die ein Emissionshandelssystem benötigt um eine effiziente Lösung darzustellen.

Nachdem die theoretische Basis dieses Instruments erarbeitet wurde, soll dies mit den praktischen Beispielen der letzten 20 Jahre verglichen werden. Über die ersten Versuche im amerikanischen Raum bis hin zum viel diskutierten EU-Emissionshandel. Es soll gezeigt werden inwieweit die theoretischen Rahmenbedingungen eines solchen Emissionshandelssystems in der Praxis umgesetzt wurden. All die damit verbundenen Probleme sollen analysiert werden und zeigen wie sie die Wirkung des Systems beeinflussen.

Im anschließenden Teil der Arbeit sollen die Möglichkeiten der agentenbasierten Programmierung, hinsichtlich der Simulation eines Emissionshandelssystems, untersucht werden. Mit Hilfe der NetLogo Programmierumgebung sollen einige grundlegende Aspekte eines Emissionshandelssystems als agentenbasierte Simulation aufgesetzt werden. Es soll gezeigt werden wo die Möglichkeiten und Grenzen dieser Programmiertechnik liegen.

1.3 Methodik

Mit einer gründlichen Literaturrecherche soll die Theorie des Emissionshandels behandelt werden. Der Unterschied der umweltpolitischen Instrumente muss genau analysiert werden. Die Zertifikatslösung wird gegen Auflagen und Abgaben auf Effizienz geprüft. Um im zweiten Teil der Arbeit die praktischen Beispiele zu bewerten wird im Theorieteil speziell auf die Rahmenbedingungen eines Emissionshandelssystems eingegangen.

Über die praktischen Beispiele im zweiten Teil der Arbeit soll der Link zur Theorie aufgebaut werden. Es soll ebenfalls ein Lernprozess von Beginn der ersten Systeme bis zum EU-Emissionshandel gezeigt werden. Anhand der Theorie sollen die Problematiken in der Praxis erklärt werden und somit ein Fazit über die bestehenden Systeme abgegeben werden.

Im dritten Teil der Arbeit soll mit der Umsetzung einer Simulation des Emissionshandelssystems die Möglichkeiten der agentenbasierten Programmierung aufgezeigt werden. Die Umsetzung soll sich an der Theorie des Zertifikatshandels anlehnen und dabei die Besonderheiten der agentenbasierten Programmierung ausnutzen. Das Verhalten der Agenten soll denen eines Handelsteilnehmers nachempfunden werden. Um NetLogo und diese Programmiertechnik zu bewerten wird die Simulation gegen Theorie und Praxis getestet.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit weist neben der Einleitung und Zusammenfassung drei Teilbereiche auf. Wie in der Fragestellung beschrieben decken diese die Themen Theorie, Praktische Beispiele und agentenbasierte Programmierung ab.

Kapitel 2 soll die theoretische Basis für die Arbeit darstellen. Über Literaturrecherche werden die umweltpolitischen Instrumente Auflagen, Abgaben und Zertifikate beschrieben. Im Besonderen wird die Theorie und Wirkungsweise des Zertifikatshandels erörtert.

Kapitel 3 zeigt praktische Beispiele für Emissionshandelssysteme auf. Über die Erfahrungen der Emissionshandelssysteme in den USA und EU sollen die theoretischen Rahmenbedingungen mit den Problemen in der Praxis verglichen werden.

Kapitel 4 beschreibt die Umsetzung einer Simulation eines Emissionshandelssystems mit Hilfe von agentenbasierter Programmierung. Es werden die Möglichkeiten und Grenzen der agentenbasierten Programmierung in NetLogo aufgezeigt.

2 Theoretischer Teil

Um einen theoretischen Hintergrund zu erhalten, soll dieser Teil der Arbeit über eine kurze Einführung der Umweltökonomie zu den wesentlichen theoretischen Ansätzen des Emissionshandels führen. Im Zuge dieses Kapitels wird die Funktionsweise der Zertifikatslösung analysiert und mit den klassischen Methoden wie Auflagen und Abgaben verglichen.

2.1 Ökonomie und Umwelt

Wenn wir uns mit den derzeitigen Umweltproblemen wie dem Klimawandel auseinandersetzen, sehen wir einen eindeutigen Zusammenhang zwischen unserer wirtschaftlichen Tätigkeit und den Veränderungen in unserer Umwelt. Wir müssen realisieren dass die Ressourcen die wir verwenden oft endlicher Natur sind. Durch den Produktionsprozess werden immer in irgendeiner Weise Emissionen entstehen. Die Interaktion der Wirtschaftstätigkeit und des Umweltsystems ist also nicht wegzudenken.

Nun wird mehr und mehr realisiert, dass durch die Schädigung unserer Umwelt früher oder später immense Kosten auf uns zukommen werden. In der Umweltökonomie will man versuchen diese Probleme aus einer ökonomischen Sichtweise zu adressieren. Es wird in verschiedener Weise versucht die Umwelt als Gut zu betrachten und dieses auch in unsere wirtschaftlichen Kalkulationen mit einzubeziehen.

2.1.1 Öffentliche Güter

In der Umweltproblematik haben wir es oft mit öffentlichen Gütern zu tun und müssen uns aus diesem Grund mit den besonderen Eigenschaften dieser Güter vertraut machen. Bei reinen öffentlichen Gütern finden wir zwei Charakteristika vor, die Nicht-Ausschließbarkeit und die Nicht-Rivalität. Durch die Eigenschaften des Gutes kann man einzelne Individuen nicht am Konsum des Gutes ausschließen. Man kann zum Beispiel niemanden am Konsum von saubere Luft ausschließen jedoch ist jeder von ihr abhängig. Ebenso reduziert der Konsum des einzelnen nicht nachhaltig die Verfügbarkeit des Gutes. Auch wenn jeder die saubere Luft konsumiert sollte dies keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit von sauberer Luft haben und somit den Konsum der anderen Individuen nicht beeinflussen. Durch diese Eigenschaften sind öffentliche Güter besonders durch externe Effekte beeinflusst. (Wiesmeth, 2003)

Beschäftigt man sich mit Umweltgütern wird man erkennen, dass diese durch die Eigenschaften von öffentlicher Güter gekennzeichnet sind. Die Nicht-Rivalität, in der Verwendung der Güter, ist jedoch oftmals nicht gegeben da Umweltgüter oft nur erschöpfend zur Verfügung stehen. Die Entscheidung eines Individuums kann das Wohlergehen aller beeinflussen. Leider stehen öffentliche Güter wie sauber Luft oder klares Wasser nicht unbegrenzt zur Verfügung und werden somit Thema der Umweltproblematik. (Wiesmeth, 2003)

2.1.2 Internalisierung externer Effekte

Betrachten wir Umweltprobleme aus der Sicht der Ökonomie müssen wir uns unweigerlich mit externen Effekten auseinandersetzen. Es handelt sich um einen externen Effekt bzw. um externe Kosten wenn (Pearce & Turner, 1990):

- die Aktivitäten eines Subjekts einen Wohlfahrtsverlust bei einem anderen Subjekt hervorrufen
- der Wohlfahrtsverlust nicht kompensiert wird

Beide Eigenschaften sind essentiell wenn man von externen Effekten spricht. Wird jedoch ein Weg gefunden den Wohlfahrtsverlust zu kompensieren spricht man von der Internalisierung externer Effekte.

Wenn man hier von einer Externalität im Sinn von Verschmutzung ausgeht, ist zu beachten, dass nicht die ganze Verschmutzung als schlecht zu verurteilen ist. Bei Produktionsunternehmen werden durch Wertschöpfungsprozesse immer in irgendeiner Weise Abfälle entstehen. Wenn der Ausstoß von Abfällen im umweltverträglichen Bereich geschieht ist überhaupt fraglich ob man von Verschmutzung sprechen kann. Es geht hier vielmehr um das Finden des optimalen Niveaus der Externalität.

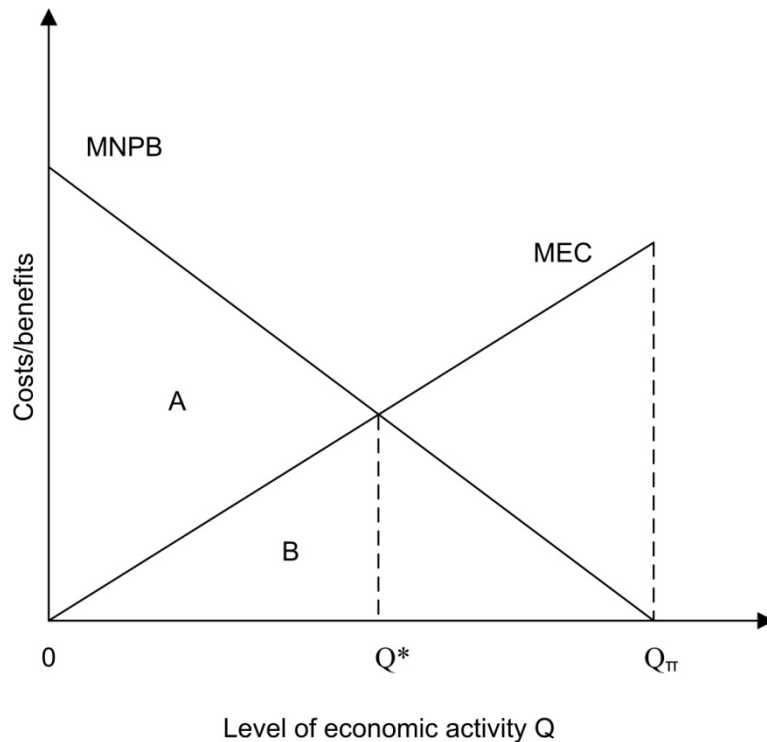


Abbildung 2.1 Wert der optimalen Externalität

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

Abbildung 2.1 illustriert diesen Zusammenhang. Auf der horizontalen Achse ist die Aktivität Q der Firma aufgetragen und auf der vertikalen Achse die Kosten bzw. der Nutzen in Geldeinheiten. Abbildung 2.1 zeigt die MNPB ‚marginal net private benefits‘ der Firma, welche die Einkünfte für eine zusätzlich produzierte Einheit darstellen. Im Gegensatz dazu sieht man die MEC ‚marginal external cost‘, welche die Kosten der Verschmutzung einer zusätzlichen Einheit zeigt.

Um den optimalen Wert für die Externalität herauszufinden müssen wir Abbildung 2.1 genauer analysieren. Würde die Firma die uneingeschränkte Entscheidung über ihre Aktivitäten haben, würde sie bis zur Stufe Q_{π} ausbauen, da sie bis zu dieser Grenze aus jeder weiteren produzierten Einheit Einkünfte zu erwarten hätte. Bewertet man aber die Verschmutzung für die Gesellschaft als gleichwertig gegenüber den Einkünften der Firma müssen die MEC beachtet werden. Da die Flächen A bzw. B jeweils die Einkünfte bzw. die Kosten darstellen, sieht man, dass die Kosten ab der Menge Q^* die Einkünfte übersteigen würden. Hier findet man also im Schnittpunkt von MNPB und MEC den Wert der optimalen Externalität.

Die formale Herleitung ist wie folgt möglich:

Im Punkt Q^* ist

$$MNPB = MEC$$

MNPB ist definiert als

$$MNPB = P - MC$$

Der ‚marginal net private benefit‘ ist der Preis weniger der marginalen Kosten der Produktion.

$$P - MC = MEC$$

Oder

$$P = MC + MEC$$

Die Summe der marginalen Kosten und der marginalen externen Kosten wird auch als MSC ‚marginal social cost‘ bezeichnet.

$$MNPB = MEC, P = MSC$$

Der Preis des Produkts ist also gleich den sozialen Grenzkosten die daraus resultieren. Es ist ebenfalls von einem Pareto Optimum zu sprechen, da keine Partei besser gestellt werden kann ohne dass eine andere Partei Einbußen zu befürchten hat. (Pearce & Turner, 1990)

2.1.3 Eigentumsrechte und der Marktmechanismus

Um eine Lösung in der Situation zu finden müssen wir uns mit Eigentumsrechten auseinandersetzen. Die Frage ist, wer grundsätzlich das Recht zur Nutzung des Landes, des Wassers oder der Luft hat. Wie diese Rechte verteilt werden sollen und welche Auswirkungen dies mit sich bringt. Ronald Coase hat 1960 dazu mit ‚The Problem of Social Cost‘ einen revolutionären Artikel präsentiert. (Coase, 1960)

Wie wir aus Abbildung 2.1 gesehen haben, würde ohne Regulierung die Firma ihren Nutzen maximieren und die Produktion bis Q^* ausbauen. Es wird also der externe Effekt missachtet und die sozialen Kosten nicht berücksichtigt. Nun kann das Eigentumsrecht entweder der Firma oder dem Geschädigten zugesprochen werden. Nehmen wir nun an der Geschädigte hat das Eigentumsrecht. Natürlich wird der Geschädigte überhaupt keine Verschmutzung bevorzugen. In dieser Situation würde der Firma kein Output gestattet werden und somit keine Produktion möglich sein. Wenn man nun die zwei Parteien verhandeln lässt, wird sich je nach Nutzenfunktion die Situation ändern.

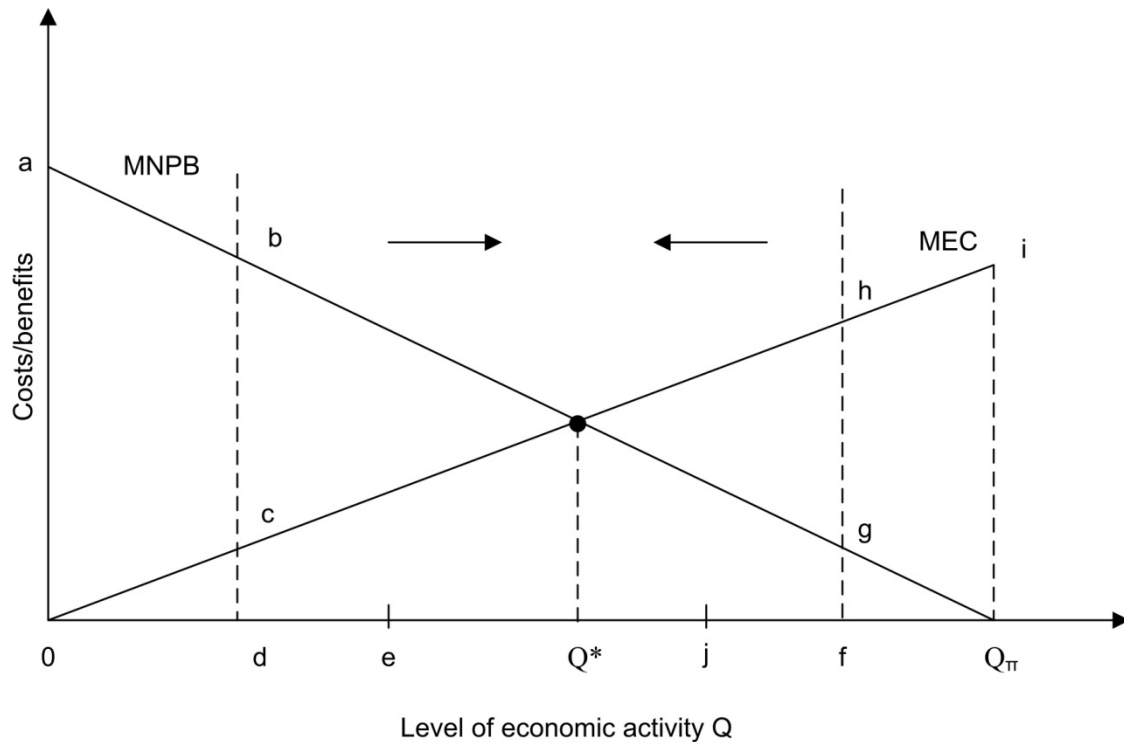


Abbildung 2.2 Verhandlungsergebnis bei zugeteilten Eigentumsrechten

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

Wenn wir uns Abbildung 2.2 ansehen ist nun die Frage ob durch Verhandlungen ein Output von d möglich wäre. Die Fläche unterhalb der MNPB Kurve spiegelt den Nutzen der Firma wider wobei die Fläche unterhalb der MEC Kurve den Wohlfahrtsverlust für die geschädigte Partei entspricht. Wenn nun die Firma eine Kompensationszahlung größer als die Fläche $c-d-0$ anbietet, ist der Geschädigte in einer besseren Situation als ohne Verschmutzung. Er wird also das Angebot annehmen und sich trotz der Verschmutzung in einer besseren Situation befinden. Auf der anderen Seite hat die Firma auch mit Kalkulation der Kompensationszahlung noch immer einen Nettogewinn zu verzeichnen. Die Verschiebung zum Punkt d nennt man auch ‚pareto improvement‘ da beide Parteien ihren Nutzen erhöhen konnten und keiner einen Verlust erlitten hat.

Das gleiche Gedankenexperiment kann man auch für den Punkt e anwenden. Es wird ersichtlich, dass die Verhandlungen auf den Punkt Q^* hinauslaufen werden da dort die marginalen Kosten dem marginalen Nutzen der Firma entsprechen. Somit kann die Firma keine ausreichenden Kompensationszahlungen mehr anbieten. Die Verhandlung hat ein Gleichgewicht gefunden welches dem sozialen Optimum entspricht.

Geht man von der gegensätzlichen Situation aus, dass das Eigentumsrecht bei der Firma ist und diese also das Recht zur Verschmutzung hat, ergibt sich eine andere Verhandlungsbasis. Wie schon beschrieben würde die Firma versuchen ihren Nutzen zu maximieren und die Produktion bis Q_π ausbauen. Gehen die Parteien in Verhandlungen ergibt sich in dieser Konstellation die Möglichkeit für

den Geschädigten der Firma eine Zahlung anzubieten. Wenn also der Output auf f reduziert werden soll muss der Firma eine Zahlung größer $f-g-Q_{\pi}$ angeboten werden und sie wird auf die zusätzliche Produktion verzichten, da ihr Nutzen damit steigt. Aus Abbildung 2.2 ist ersichtlich, dass auch der Punkt j wegen der hohen externen Kosten erreicht werden kann. Das Verhandlungsergebnis in dieser Situation wird ebenfalls den Output Q^* als Resultat haben und somit das soziale Optimum erreichen. (Pearce & Turner, 1990)

Dieser Mechanismus ist im Artikel ‚The Problem of Social Cost‘ von Ronald Coase erläutert worden und als ‚Coase Theorem‘ bekannt. Es müssen die Eigentumsrechte klar verteilt sein und es spielt auch keine Rolle welcher Partei diese zugesprochen werden. Es wird immer das soziale Optimum erreicht. (Coase, 1960)

Nach dieser Ausführung ist klarzustellen, dass dies eine theoretische Überlegung ist und sich in der Praxis einige Probleme ergeben. Es sollen nun die wichtigsten Kritikpunkte in diesem Zusammenhang dargestellt werden.

2.1.3.1 Perfekter Wettbewerb

Es wird perfekter Wettbewerb vorausgesetzt, nur dann gilt

$$MNPB = P - MC$$

Die Firma fällt die Entscheidungen in den Verhandlungen aufgrund dieser MNPB Kurve. Ist aber der perfekte Wettbewerb nicht gegeben entsteht für die Firma eine andere MNPB Kurve.

$$MNPB = MR - MC$$

Die neue MNPB Kurve stellt sich nicht mehr auf Grund des Preises ein sondern aufgrund des Grenzerlöses MR ‚marginal revenue‘. Da diese Kurve in der Regel höher liegt, ist unter diesen Umständen das soziale Optimum nicht mehr zu erreichen. (Pearce & Turner, 1990)

2.1.3.2 Transaktionskosten

Ein weiteres Problem ist bei der Betrachtung praktischer Beispiele das Auftreten von Transaktionskosten. Diese Kosten entstehen beim Identifizieren der Parteien, beim Organisieren von Verhandlungen und bei den Verhandlungen selbst. Wenn nun diese Transaktionskosten zu hoch sind werden die Parteien erst gar nicht in Verhandlungen treten weil möglicherweise die Transaktionskosten den erwarteten Nutzen übersteigen. Offensichtlich verbleiben dann die Kosten bei der Partei ohne Eigentumsrechte. Diese Situation spricht für eine Intervention des Gesetzgebers, da sonst keine optimale Lösung gefunden werden kann. (Pearce & Turner, 1990)

2.1.3.3 Identifizieren der Gruppen

Wenn Umweltverschmutzung auftritt sind die Effekte oft bis weit in die Zukunft spürbar oder wirken sich überhaupt erst in der Zukunft aus. Hier hat man das Problem, dass zukünftige Generationen die Effekte zu spüren bekommen aber diese nicht in Verhandlungen treten können. Hier müsste wieder der Gesetzgeber im Sinne einer nachhaltigen Politik intervenieren.

Ein weiteres Problem tritt bei Allgemeingütern auf. Nimmt man zum Beispiel die saubere Luft, wird man feststellen, dass diese Güter sehr schwierig zu handhaben sind. Es gibt niemanden mit einem zugesprochenen Recht auf saubere Luft, also können keine Verhandlungen zustande kommen.

Zu beachten ist auch, dass schon durch das Identifizieren der Parteien und des Schadens Kosten entstehen. Diese müssen ebenfalls den Transaktionskosten zugerechnet werden. (Pearce & Turner, 1990)

2.1.4 Praktisches Beispiel

Nun wollen wir diesen Sachverhalt anhand eines Beispiels zweier Firmen erläutern. Wird die Nutzensituation einer Firma A, ohne einen Marktmechanismus, durch die Aktivitäten einer Firma B beeinflusst spricht man also von einem externen Effekt (Endres, 2007). Da das Ergebnis einer solchen Situation im Allgemeinen nicht mehr als effizient betrachtet werden kann wird oftmals versucht korrigierend einzugreifen. Es kommt zur Beeinträchtigung des Allokationsprozesses des Marktsystems. (Wiesmeth, 2003)

Ein bekanntes Beispiel diesbezüglich ist die Situation einer Papierfabrik und einer Fischzucht die am gleichen Fluss angesiedelt sind. Der Papierproduzent leitet Abwasser in den Fluss und die flussabwärts angesiedelte Fischzucht wird dadurch beeinflusst. Leitet nun die Papierfabrik mehr Abwasser in den Fluss als die Selbstreinigungskraft des Flusses bewältigen kann, handelt es sich um einen externen Effekt. Die Fischzucht, welche auf das saubere Wasser im Fluss angewiesen ist, wird durch die Verschmutzung beeinflusst. In dieser Situation muss ein umweltpolitisches Instrument angewandt werden um die Wasserqualität zu gewährleisten. (Endres, 2007)

Die entscheidende Frage ist nun wie der Markt modifiziert werden soll um den externen Effekten Rechnung zu tragen. Die externen Effekte sollen internalisiert werden und somit trotz ihrer Existenz eine effiziente Allokation erreicht werden. Im Zentrum der Überlegung steht die Einführung eines passenden Marktsystems um eine effiziente Lösung zu finden. Berücksichtigt man die Eigenschaften eines konkreten Praxisbeispiels gibt es verschiedensten Möglichkeiten wie Handel mit Zertifikaten, Verschmutzungsrechte oder einfache Verträge die eine Lösung darstellen. (Wiesmeth, 2003)

Mit der Einrichtung neuer Märkte geht auch die Vergabe von Eigentumsrechten einher. Im Beispiel der Papierfabrik und der Fischzucht, geht es um die Zuteilung des Umweltgutes sauberes Wasser. Zu

beachten ist, dass es sich um ein reziprokes Problem handelt. So wie offensichtlich die Fischzucht die Wasserverschmutzung der Papierfabrik anprangern kann, so kann auch die Papierfabrik die schlechte Standortwahl der Fischzucht als Produktionseinschränkung ihrerseits beanstanden. Es kann nun das Recht auf die Nutzung des Wassers der Papierfabrik zugesprochen werden, sodass die Fischzucht in Verhandlungen mit der Papierfabrik treten muss. Ist das Recht auf die Nutzung des Gewässers auf Seiten der Fischzucht, so muss die Papierfabrik Verschmutzungsrechte bei der Fischzucht erwerben. Mit Zuteilung der Eigentumsrechte stellt sich somit ein Markt für das Umweltgut ein. (Wiesmeth, 2003) (vgl. auch (Coase, 1960))

2.2 Umweltpolitische Instrumente

Um nun die angesprochenen Probleme im Zusammenhang mit Umweltgütern zu behandeln, gibt es von Seiten des Gesetzgebers verschiedene Ansätze. Um ein gewünschtes Ergebnis zu erhalten kann man nun intuitive Methoden wie spezielle Auflagen erstellen oder den Markt nutzen und über Zertifikate das Problem lösen. Es gibt keine generelle Standardlösung da die Wahl des Instruments sehr stark von der Situation abhängt. Da die besonderen Eigenschaften des Treibhausgases CO₂ für den Handel mit Emissionszertifikaten besonders geeignet sind, wird diese Theorie genauer analysiert.

2.2.1 Auflagen

Bedient man sich der Auflagen, bedeutet dies eine direkte Intervention beim Verursacher. Eine Auflagenregelung kann zum Beispiel absolute Emissionshöchstgrenzen für einzelne Betriebe vorschreiben. Hier müssen immer die neuen technischen Möglichkeiten mit einbezogen werden. Es handelt sich also um einen dynamischen Prozess wobei immer auf neue Errungenschaften in der Umwelttechnik Rücksicht genommen werden muss. Eine Kontroverse ergibt sich bei den Genehmigungsverfahren von Neuanlagen. Durch die neuen technischen Möglichkeiten fällt die Regulierung oft strenger aus als bei bestehenden Altanlagen. (Endres, 2007)

Ein Manko dieser Vorgehensweise ist die Tatsache, dass sich der Gesetzgeber ständig ein Bild über neue technische Lösungen machen muss. Eine effiziente Lösung ist also direkt von seinen Entscheidungen abhängig. Es muss aber auch unterschieden werden ob konkrete Technologien oder Grenzwerte vorgegeben werden.

2.2.1.1 Probleme beim Setzen der Standards und der möglichen Strafzahlungen

Wenn der Gesetzgeber einen Standard festlegen soll, muss er genauestens über die Grenzkostenfunktion der Firmen Bescheid wissen. Da dies in der Praxis nahezu unmöglich ist, wird mit einem Standard kaum das angestrebte Soziale Optimum erreicht.

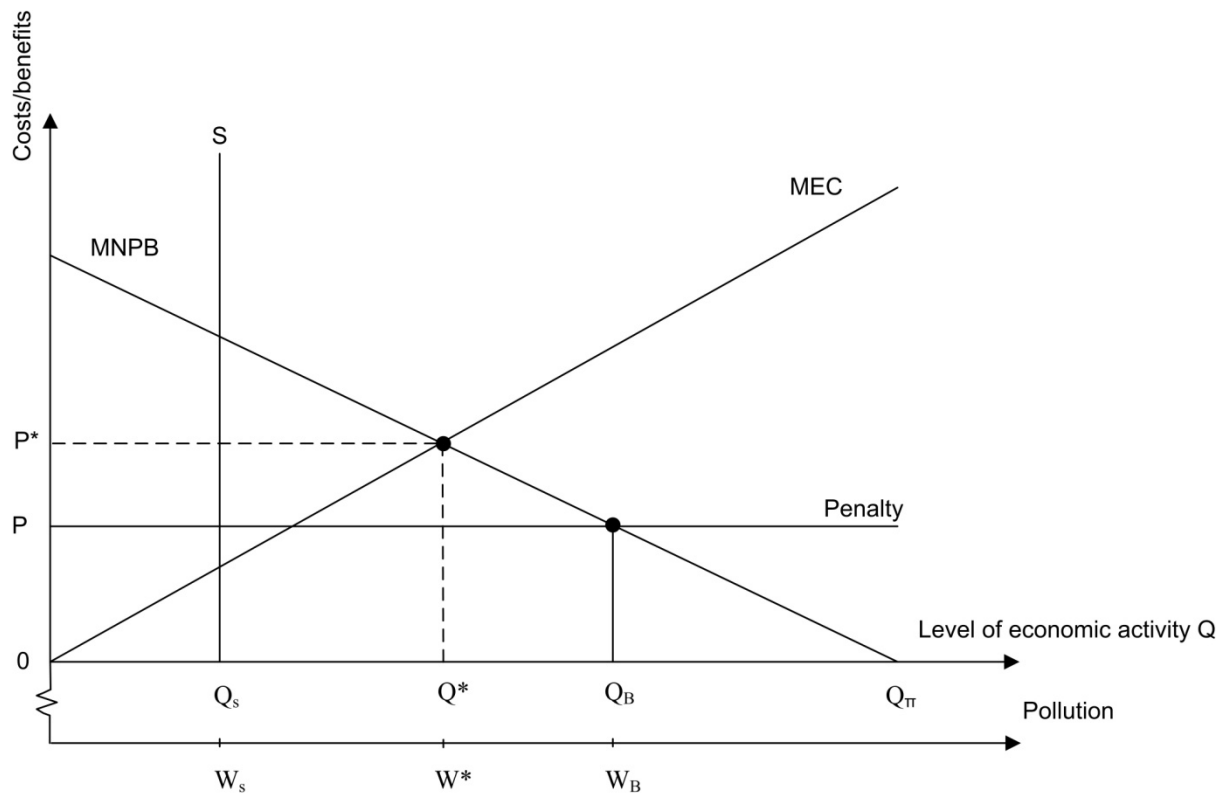


Abbildung 2.3 Die Problematik mit dem Setzen eines Standards

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

Anhand von Abbildung 2.3 können wir die Auswirkungen eines nicht idealen Standards erkennen. Nehmen wir an ein Standard W_s wird gesetzt, was einem Output von Q_s entspricht, welcher unterhalb des Sozialen Optimums liegt. Dadurch ist ein Wohlfahrtsverlust entstanden, da eigentlich bis zum Optimum bei W^*/Q^* produziert werden könnte. Da es in der Regel auch einen Grund zur Einhaltung dieses Standards geben muss, werden oft Strafzahlungen bei Überschreitung eingeführt. Auch diese sind schwer zu setzen weil die firmenspezifischen Informationen fehlen. Wenn die Strafzahlung auf einen Preis P gesetzt wird, welcher unterhalb von P^* ist, welcher im Optimum liegt, ergibt sich ein neuer Effekt. Da der marginale Nutzen $MNPB$ bis zum Punkt Q_b/W_b immer noch höher ist als die Strafzahlung P wird der Unternehmer auch bis zu diesem Output produzieren. Es stellt sich also ein Level höher als das soziale Optimum ein.

Wir sehen also, das Setzen des Standards und die damit verbundenen Strafzahlungen beeinflussen das System wesentlich. Durch die Tatsache, dass es für Dritte immer schwierig ist die firmeninternen Entscheidungsfunktionen zu kennen ist auch der Standard selbst umstritten. Die Effizienz dieser Methode ist hier in Frage zu stellen.

2.2.2 Abgaben

Hierbei handelt es sich um einen indirekten Ansatz, welcher umweltbelastende Faktoren mit Kosten belegt. Der Schadstoffausstoß soll zu einem Produktionsfaktor gemacht werden und somit in die betriebswirtschaftliche Planung des Unternehmens einfließen.

Die Schwierigkeit bei diesem Ansatz liegt bei der Wahl der Abgabe pro Emissionseinheit. Je höher die Abgaben desto stärker werden die betroffenen Firmen reagieren. Um einen angestrebten Emissionszielwert zu erreichen muss also indirekt der Weg über Abgaben gegangen werden. Dies ist oft schwierig da man zu Beginn keine Referenzwerte kennt und somit die Abgaben entweder zu niedrig oder zu hoch angesetzt werden. Erst nach einer gewissen Erfahrungsperiode kann man die Abgaben entsprechend nachjustieren. (Endres, 2007)

Im Gegensatz zu dem Instrument der Auflagen kann hier jede Firma, nach Vergleich der Kosten der Schadstoffe, frei über Maßnahmen zur Schadstoffreduktion entscheiden. Hier wird also die Verwendung von Umwelttechnologie erst ab einem gewissen Niveau der Abgaben für die Firma rentabel. Sind die Abgaben sehr gering gibt es keinen Anreiz umweltfreundliche Technologien einzusetzen. Auf der anderen Seite kann ein ganzer Industriezweig durch zu hohe Abgaben unrentabel werden und die Produktion in andere Länder verlagert werden. (Endres, 2007)

2.2.2.1 Pigou-Steuer

Das bekannteste Konzept in diesem Zusammenhang ist die Pigou-Steuer die von Arthur C. Pigou vorgestellt wurde. (Pigou, 1920) Hier handelt es sich um eine Steuer auf den externen Effekt. Die Pigou-Steuer ist als sogenannte Lenkungssteuer zu sehen. Das heißt sie hat nicht die Steuereinnahme zum Ziel sondern verfolgt einen Lenkungseffekt. (Pearce & Turner, 1990)

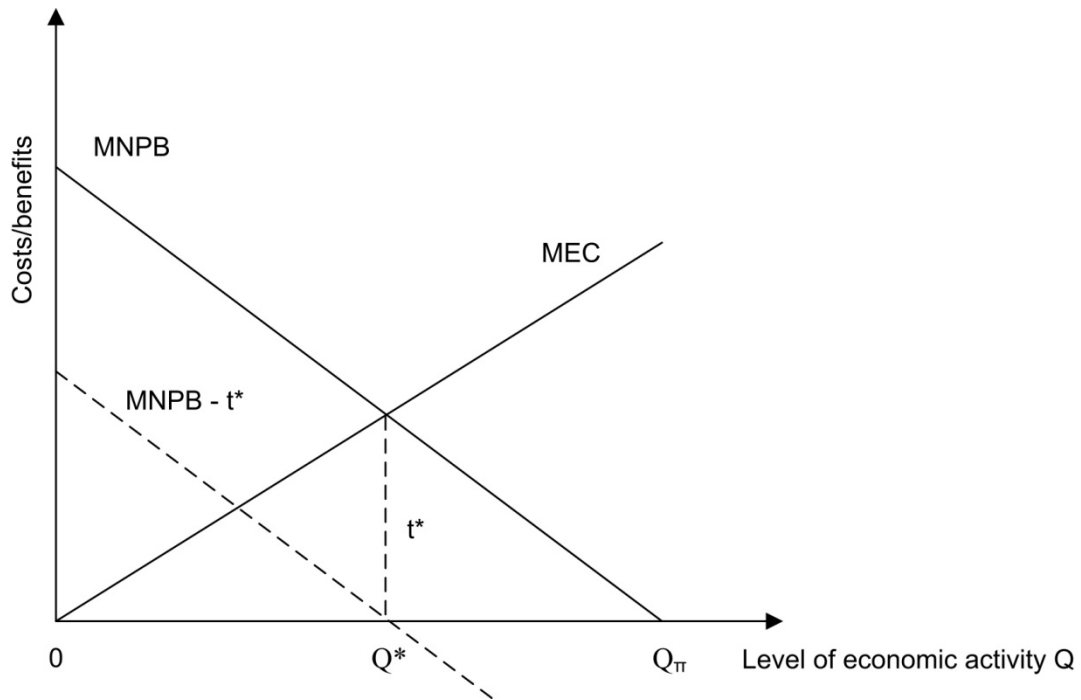


Abbildung 2.4 Darstellung der Pigou-Steuer

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

Anhand von Abbildung 2.4 sieht man wie die Pigou-Steuer wirkt. Wenn eine Steuer in der Höhe von t^* eingeführt wird, verändert dies die MNPB Kurve der Firma um den Faktor der Steuer. In diesem Beispiel würde nun die Firma nach gewinnmaximierenden Kriterien einen Output von Q^* wählen. Mit der Steuer t^* ist der optimale Steuersatz gewählt da dieser genau das Soziale Optimum erreicht. Die Steuer muss also gleich MEC im Optimum sein, genau dann wird das Soziale Optimum eingestellt. Die Schwierigkeit ist natürlich den Grad der Verschmutzung festzustellen und somit die MEC Funktion zu ermitteln. Abgesehen davon ist es nötig, dass der Gesetzgeber die MNPB Funktion der Firma kennt. Da der Gesetzgeber als Außenstehender einen Informationsnachteil hat, ist auch diese Funktion schwer zu ermitteln. In der Praxis wird jedoch nicht in erster Linie das Soziale Optimum gesucht, sondern durch die Steuer die Verschmutzung auf ein tolerierbares Niveau gedrückt.

2.2.2.2 Steuern versus Auflagen

Anhand einer graphischen Überlegung wollen wir nun herausfinden ob das Erheben von Steuern oder die Einführung eines Standards kosteneffizienter ist.

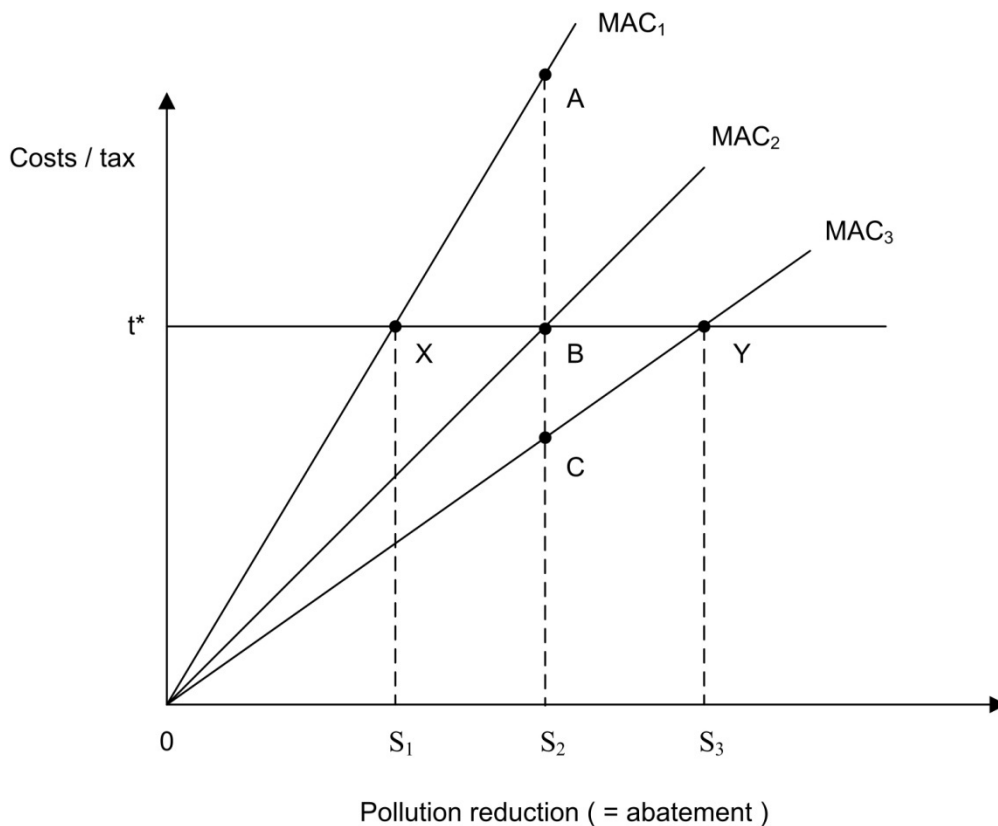


Abbildung 2.5 Ein Kostenvergleich von Standard- und Steueransatz

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

Abbildung 2.5 zeigt die Vermeidungskosten MAC ‚marginal abatement costs‘ dreier verschiedener Firmen. Zu beachten ist hier, dass die horizontale Achse die Reduktion der Verschmutzung erfasst und somit die MAC Kurven steigend verlaufen. Die drei Firmen haben aus verschiedenen Gründen unterschiedliche Vermeidungskosten, wobei Firma 1 die höchsten Kosten hat und Firma 3 die niedrigsten. Dies kann zum Beispiel aus unterschiedlichen Technologien zustande kommen.

Der Einfachheit halber nehmen wir an das der Abstand $S_1 S_2$ gleich dem von $S_2 S_3$ ist und $S_1+S_2+S_3=3S_2$. Würde man nun einen Standard S_2 für alle drei Firmen einführen würden diese die Kosten A, B bzw. C, entsprechend ihrer Kostenfunktion, haben. Im Gegensatz dazu würde eine Steuer t^* alle Firmen mit den gleichen Kosten belasten, jedoch müssen die drei Firmen dazu unterschiedliche Reduktionen X, G und Y leisten. Wo sich bei dem Standard die Kosten der Firmen unterschiedlich ausprägen sieht man den Unterschied bei dem Steueransatz in der Reduktion die die Firmen zu einem entsprechenden Steuersatz leisten müssen. Wenn man nun die Gesamtreduktion betrachtet ergibt sich bei beiden Methoden eine Reduktion von $3 S_2$. Hier kann man also noch keines der beiden Systeme dem andern vorziehen.

Um den Unterschied zu erkennen muss man die Einhaltungskosten berechnen. Die Einhaltungskosten der Firmen entsprechen den Flächen unter den zugehörigen MAC Kurven.

Standard Lösung

Gesamte Vermeidungskosten ,total abatement costs‘:

$$TAC_{st} = 0AS_2 + 0BS_2 + 0CS_2$$

Steuerlösung

Gesamte Vermeidungskosten ,total abatement costs‘:

$$TAC_{tax} = 0XS_1 + 0BS_2 + 0YS_3$$

Die beiden Vermeidungskosten TAC_{st} und TAC_{tax} sind nicht gleich

$$TAC_{st} - TAC_{tax} = S_1XAS_2 - S_2CYS_3$$

S_1XAS_2 ist offensichtlich größer als S_2CYS_3 und somit

$$TAC_{st} > TAC_{tax}.$$

Anhand dieser Demonstration wird ersichtlich, dass unter dem gleichen Reduktionsziel der Standard höhere Vermeidungskosten verursacht als die vergleichbare Steuerlösung.

2.2.3 Zertifikate

Bei diesem Ansatz werden marktfähige Rechte, sogenannte Emissionszertifikate, eingesetzt. Der wesentliche Unterschied dieser Variante ist, dass der Gesetzgeber einen Emissionsgesamtwert festlegt. Diesem Rahmen entsprechend werden Rechte für die Umweltnutzung vergeben. Es wird also die gesamte Emissionsmenge, die durch eine konkrete Obergrenze festgelegt ist, in einzelne Emissionszertifikate aufgespalten und an die Zielgruppe verteilt. Die einzelnen Firmen sind nur dann zur Emission von Schadstoffen berechtigt wenn sie die entsprechende Menge an Zertifikaten besitzen. Will der Gesetzgeber die Gesamtemissionen in der folgenden Periode verringern, werden einfach weniger Zertifikate ausgegeben. Somit kann man direkt an der Gesamtemissionsmenge ansetzen. Hier sieht man einen wesentlichen Unterschied zu Auflagen oder Abgaben wo man erst auf den Effekt warten muss. (Endres, 2007)

Bei diesem Konzept ergeben sich zwei wichtige Aspekte die berücksichtigt werden müssen. In erster Linie muss eine Entscheidung über die Verteilung der Zertifikate getroffen werden. Der Gesetzgeber kann die Zertifikate zum Beispiel versteigern oder, mit Rücksichtnahme auf die bisherigen Emissionswerte, verteilen. Die sogenannte Allokation ist eine sehr systemrelevante Entscheidung. Dieser Prozess kann wesentliche Auswirkungen auf den späteren Erfolg des Systems haben. Versteigert man die Zertifikate zum Beispiel, erfahren die Teilnehmer einen momentanen Anstieg ihrer Kosten. Hingegen können bei der Verteilung hinsichtlich vergangener Emissionen ungerechte Situationen zustande kommen. Wenn ein Teilnehmer bereits umweltfreundliche Technologien einsetzt und deswegen geringere Emissionswerte hat, bekäme er weniger Zertifikate im Vergleich zu seinem Konkurrenten mit alter Technologie und hohen Emissionswerten. Trifft man bei der Verteilung der Zertifikate falsche Entscheidungen kann dies das System zum Scheitern bringen. Man sieht also, dass der Allokationsprozess ein entscheidender Faktor in der Einführung eines Zertifikatshandels ist.

Der zweite wichtige Punkt betrifft den Handel mit Zertifikaten. Da es sich bei den Zertifikaten um ein künstliches Produkt handelt existiert auch kein Markt dafür. Der Gesetzgeber muss die gesetzlichen Rahmenbedingungen für einen Markt schaffen. Erst dann haben die teilnehmenden Firmen die Möglichkeit mit den Zertifikaten zu handeln und der Markt kann seine Wirkung zeigen. Diese Überlegungen werden im folgenden Teil der Arbeit im Detail behandelt.

2.3 Theorie der Emissionszertifikate

Die ersten wissenschaftlichen Überlegungen in diesem Zusammenhange gehen zurück auf John H. Dales (Dales, 1968). Er hat weitere Überlegungen zum Coase Theorem (Coase, 1960) angestellt und somit den Grundstein für die Theorie zu Emissionszertifikaten gelegt. Im Gegensatz zu den oben vorgestellten Maßnahmen wie Abgaben oder Auflagen wird hier ein gesamter Emissionswert gesetzt. Dieses Emissionsziel wird erreicht indem der Gesamtwert für eine Periode in einzelne, handelbare Zertifikate, zerlegt wird. Es wird dann durch die Preisbildung am Markt eine kosteneffiziente Lösung angestrebt. Durch diese neue Herangehensweise werden Aspekte rund um die Bildung des Marktes relevant, welche im folgenden Teil diskutiert werden.

2.3.1 Theoretischer Ansatz

Um den theoretische Hintergrund zu verstehen, wollen wir wie schon bei den Auflagen und Abgaben die Funktionsweise der Zertifikatslösung grafisch diskutieren.

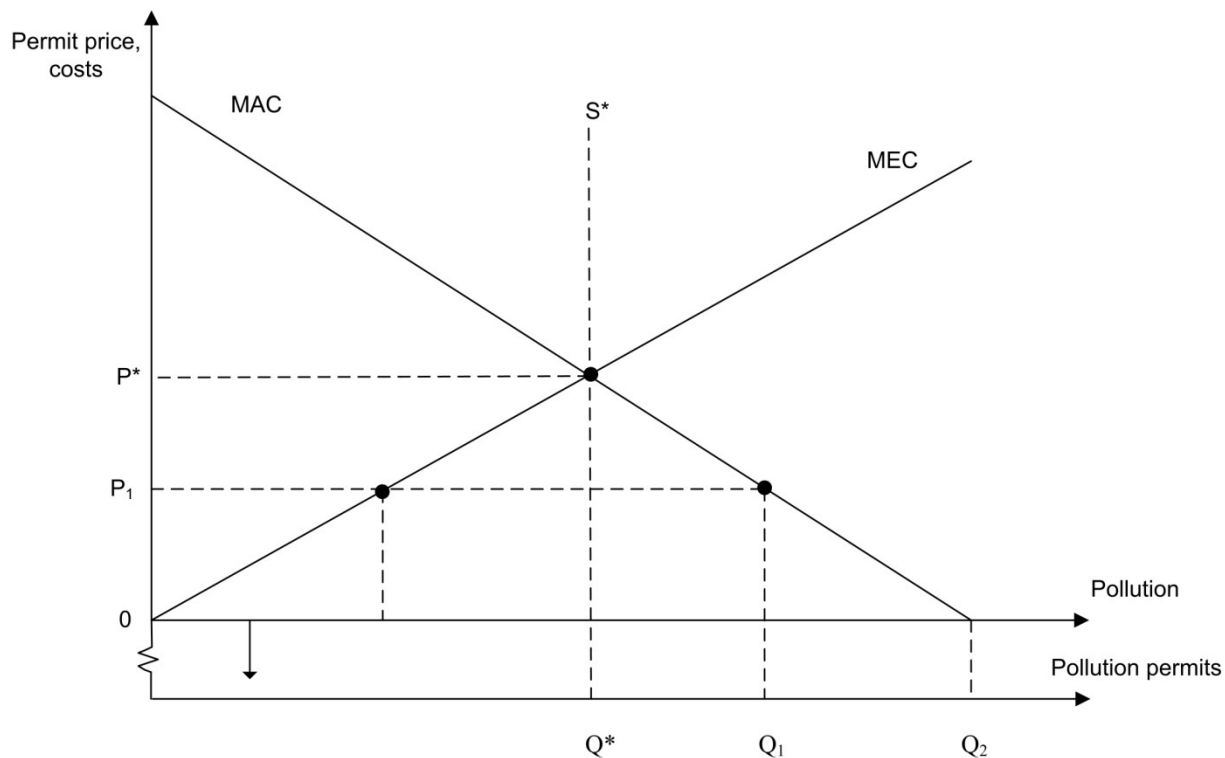


Abbildung 2.6 Prinzip des Zertifikatehandels

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

In Abbildung 2.6 sind neben den marginalen Externalitätskosten MEC sind die marginalen Vermeidungskosten MAC dargestellt. S^* stellt das Angebot der Zertifikate dar, welches mit Q^* fixiert ist und nicht vom Preis abhängig ist. Die MAC Kurve stellt gleichzeitig die Nachfrage Kurve der Zertifikate dar. Wenn der Preis P_1 für ein Zertifikat gilt würde Q_1 gekauft werden. Es ist aber von Q_1 zu Q^* immer noch günstiger Zertifikate zu kaufen als die Emission zu reduzieren. Es wird sich also ein Preis von P^* einstellen.

In Abbildung 2.7 sehen wir die MAC bzw. Nachfrage Kurven von zwei Emittenten und zusätzlich die aufsummierte Nachfrage. Nach einer Vergabe von Q^* Zertifikaten ergibt sich ein Preis von P^* . Auf Grunde dieses Preises kaufen die Emittenten Zertifikate. Da Firma 2 höhere Vermeidungskosten hat und somit eine höhere Nachfrage hat, werden Q_1 Zertifikate benötigt. Firma 1 mit geringeren Vermeidungskosten wird zu diesem Preis lediglich Q_2 Zertifikate kaufen. Auf Basis eines Marktes können die einzelnen Firmen über Kauf oder Verkauf von Zertifikaten verhandeln.

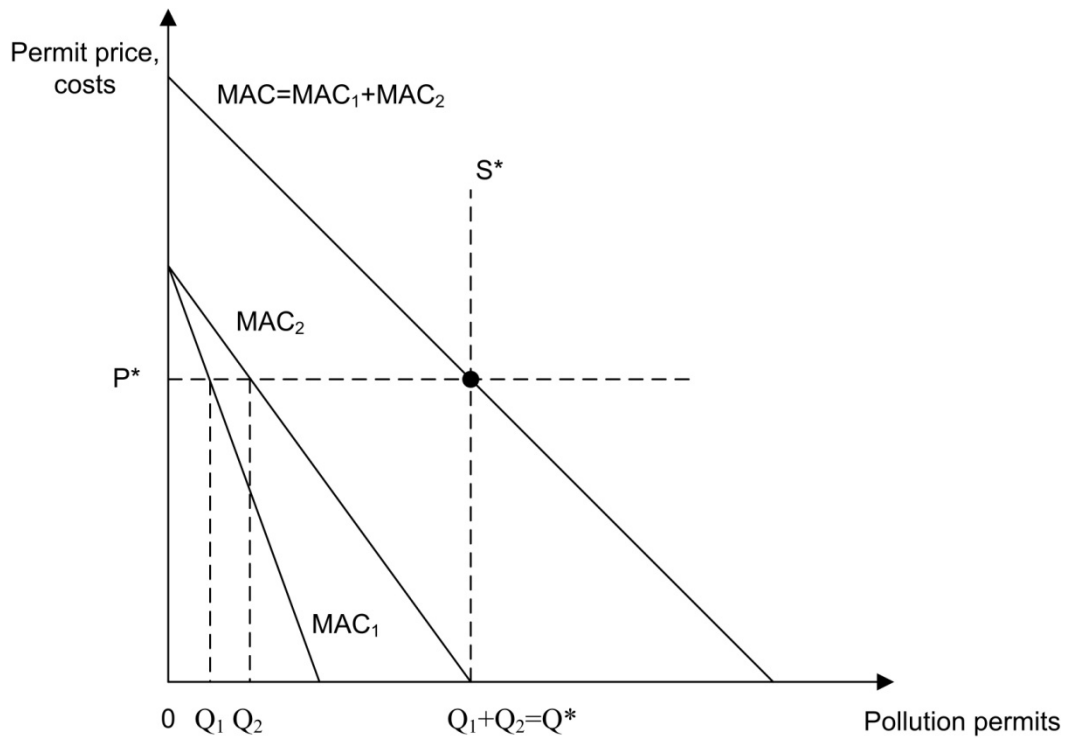


Abbildung 2.7 Kostenminimierung

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

2.3.1.1 Markteinstieg neuer Emittenten

Da sich der Markt immer dynamisch verändert, muss man auch mit dem Einstieg neuer Emittenten rechnen. Nimmt man an der Gesetzgeber bleibt bei der festgelegten Gesamtmenge von Q^* so wird der Preis für Zertifikate steigen. Abbildung 2.8 zeigt dies mit einer Verschiebung der Nachfragekurve aus welcher sich der neue Preis P^{**} ergibt. Durch den hohen Preis kann es bei neuen Emittenten günstiger sein auf Technologien zu setzen, welche die Emissionen verringern.

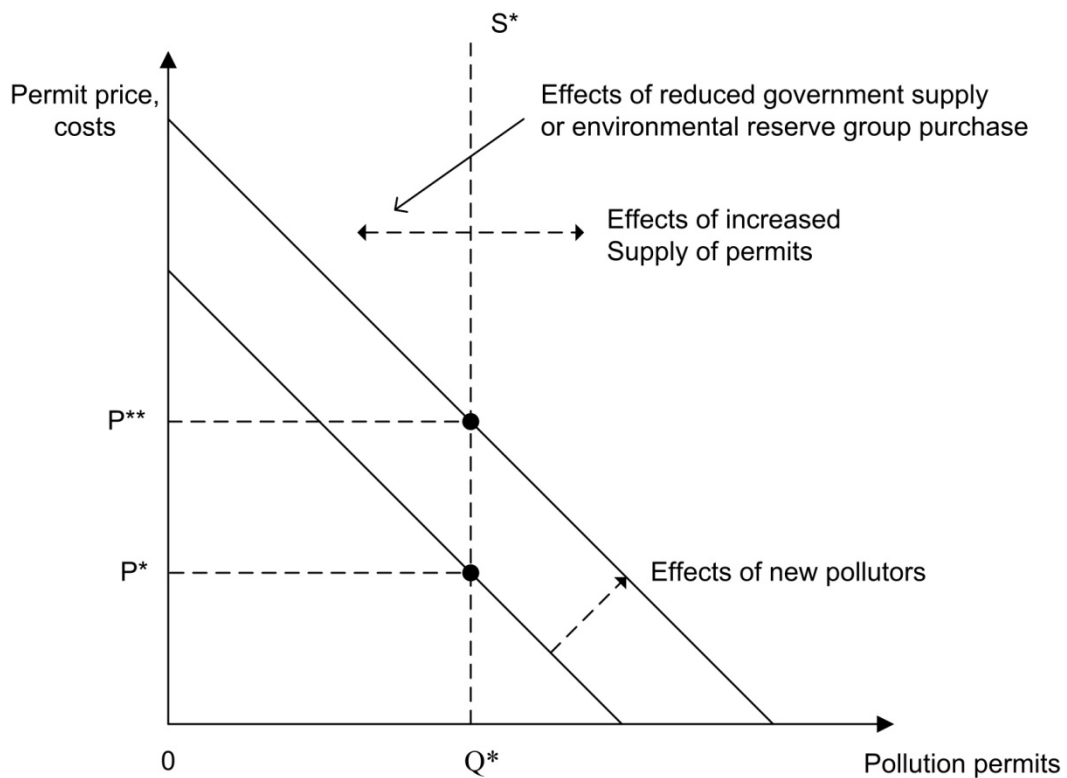


Abbildung 2.8 Veränderung von Angebot und Nachfrage

Adaptiert von (Pearce & Turner, 1990)

Der Gesetzgeber kann aber auch die Gesamtmenge erhöhen, was in Abbildung 2.8 eine Verschiebung der S^* Kurve nach rechts entsprechen würde. Im Gegensatz dazu kann der Gesetzgeber Zertifikate selbst am Markt zukaufen und somit die Gesamtmenge wieder reduzieren. Er kann somit wie eine Zentralbank den Markt beeinflussen.

2.3.1.2 Möglichkeiten für Nicht-Emittenten

Wenn der Markt für Zertifikate frei zugänglich ist können sich auch Individuen oder Gruppierungen, die keine Emittenten sind, am Marktgeschehen beteiligen. Zum Beispiel könnten Umweltorganisationen Zertifikate am Markt zukaufen und diese zurückhalten. In diesem Fall reduzieren sie die Gesamtmenge an Zertifikaten und somit indirekt die Ausstoßmenge. Dies ist ebenfalls als effizient zu betrachten da die Umweltorganisation dazu bereit ist zum Marktpreis Zertifikate zu kaufen und somit die Präferenz zu weniger Emissionen widerspiegelt. Da dies ein Eingriff in die vom Gesetzgeber gesetzte Obergrenze darstellt ist dieser dazu verleitet einfach weitere Zertifikate auszugeben. Somit wäre der Effekt durch die zugekauften Zertifikate wieder kompensiert. (Pearce & Turner, 1990)

2.3.1.3 Inflation und Anpassung

Ein wesentlicher Vorteil der Zertifikatslösung gegenüber Standards oder Steuern ist die Möglichkeit direkt den Gesamtemissionswert festzulegen. Bei der Steuerlösung sind anfangs die Auswirkungen eines bestimmten Steuersatzes nie genau bekannt. Eine Anpassung ist möglicherweise nötig um den Effekt zu korrigieren. Dies ist durch den direkten Ansatz bei der Zertifikatslösung nicht notwendig. Zusätzlich wird auch bei einer Inflation keine Anpassung notwendig, da sich der Preis am Markt durch Angebot und Nachfrage bildet und somit diese Faktoren inkludiert. (Pearce & Turner, 1990)

2.3.2 Illustration anhand eines Beispiels

In diesem Beispiel wird den teilnehmenden Firmen die Möglichkeit gegeben, die ihnen zugeteilten Verschmutzungsrechte mit den anderen Teilnehmern, am Markt zu handeln und somit eine effiziente Verteilung zu gewährleisten. Anhand dieses einfachen Aufbaus wird dieses Prinzip ersichtlich. Es wird angenommen dass zwei Fabrikanlagen, mit unterschiedlicher Technologie, in diesem Szenario existieren. Wie in Abbildung 2.9 ersichtlich entstehen bei Anlage 1 Kosten in der Höhe von \$500 um den Ausstoß von CO₂ um eine Tonne zu reduzieren, wobei sich bei Anlage 2 die Kosten für die Reduktion um dieselbe Menge mit \$3000 zu Buche schlagen. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

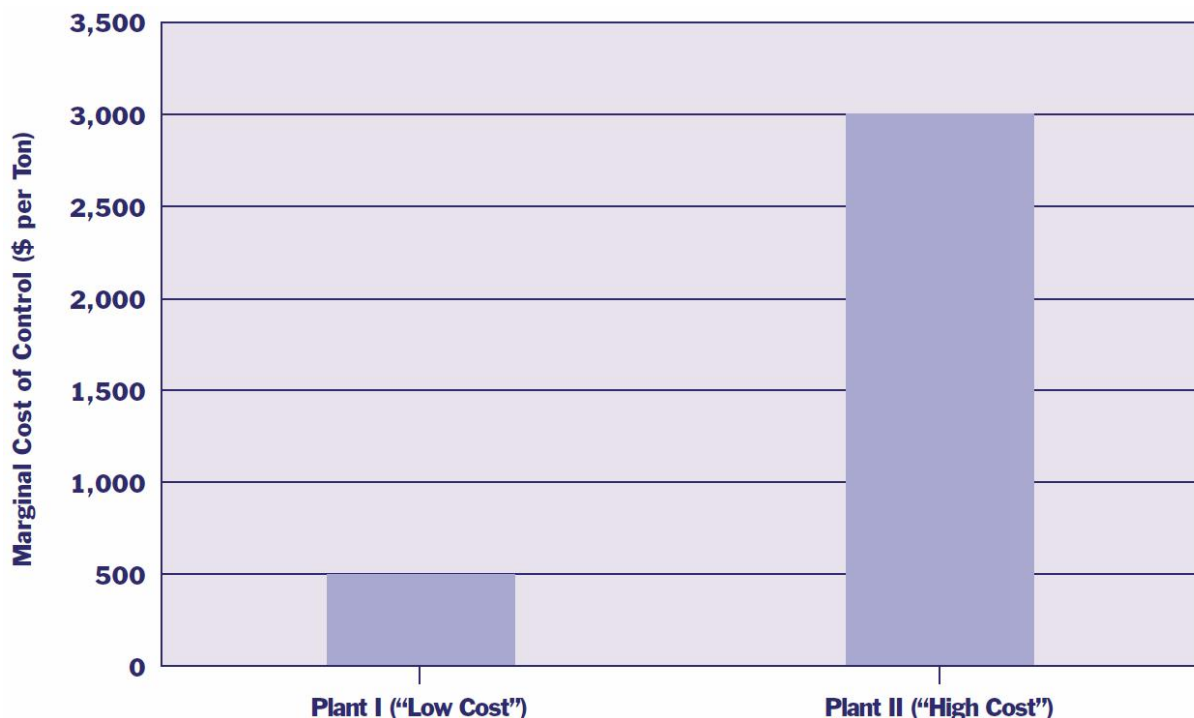


Abbildung 2.9 Kosten um den Ausstoß von CO₂ um eine Tonne zu reduzieren

Quelle: (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Es kann sich hierbei um Anlagen aus verschiedenen Regionen, verschiedener Sektoren oder schlicht mit verschiedenem technologischem Stand handeln. Um nun die Reduzierung der Emissionen mit Hilfe von Auflagen zu behandeln spielt der unterschiedliche Kostenfaktor eine entscheidende Rolle. Nun ist eine generelle Reduktion der Emissionsmenge ein enormer Eingriff in die Wirtschaft und kann Wettbewerbsverhältnisse verändern. Eine andere Möglichkeit ist es die Anlagen separat zu betrachten und individuelle Auflagen zur Reduktion zu erlassen. Dies würde aber ein detailliertes technologisches Wissen über die einzelnen Anlagen voraussetzen, was einem kostspieligen bürokratischen Aufwand entsprechen würde. Da die Informationen bei den Firmen liegen und diese selbst am besten mit ihre Kosten kalkulieren können, bringt dies die Überlegung zu handelbaren Zertifikaten. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Mit der Einführung eines Emissionshandels braucht die regulierende Behörde nunmehr keine spezifischen technischen Informationen mehr. Man gibt den Teilnehmern die Möglichkeit die Zertifikate frei am Markt zu handeln. Nach Vergleich mit den internen Kosten werden die Marktteilnehmer entscheiden ob es profitabler ist die Emissionen zu reduzieren und die übrigen Zertifikate zu verkaufen oder ob es profitabler ist Zertifikate zuzukaufen und weiterhin auf hohem Niveau zu emittieren. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Wird nun das Beispiel um diese Überlegung erweitert, wird ersichtlich welche veränderte Situation sich ergibt. Nimmt man an es ergibt sich ein Marktpreis von \$2000 für eine Tonne CO₂ und die Firmen wurden durch eine Ausgabe an Zertifikaten entsprechende ihrer Emissionshistorie ausgestattet so ergibt sich folgende Situation. Abbildung 2.10 zeigt, dass beide Teilnehmer einen Kostenvorteil generieren können. Der Betreiber der Anlage 1 kann durch Reduktion mehr als der Standard vorschreibt übrige Zertifikate an den Betreiber der Anlage 2 verkaufen. Kalkuliert man die \$500 für die Reduktion der Emission um eine Tonne bei Anlage 1, ergibt sich mit einem Marktpreis von \$2000 ein Gewinn von \$1500 pro Tonne CO₂. Betrachte man die Situation des Betreibers von Anlage 2 ergibt sich auch für ihn ein Kostenvorteil. Rechnet man mit den \$3000 die bei Anlage 2 pro Reduktion um eine Tonne CO₂ anfallen, kann nun für \$2000 Verschmutzungsrechte zugekauft werden und somit \$1000 pro Tonne gespart werden. In diesem einfachen Beispiel sieht man, dass die Kosten geteilt werden und beide Marktteilnehmer davon profitieren können. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

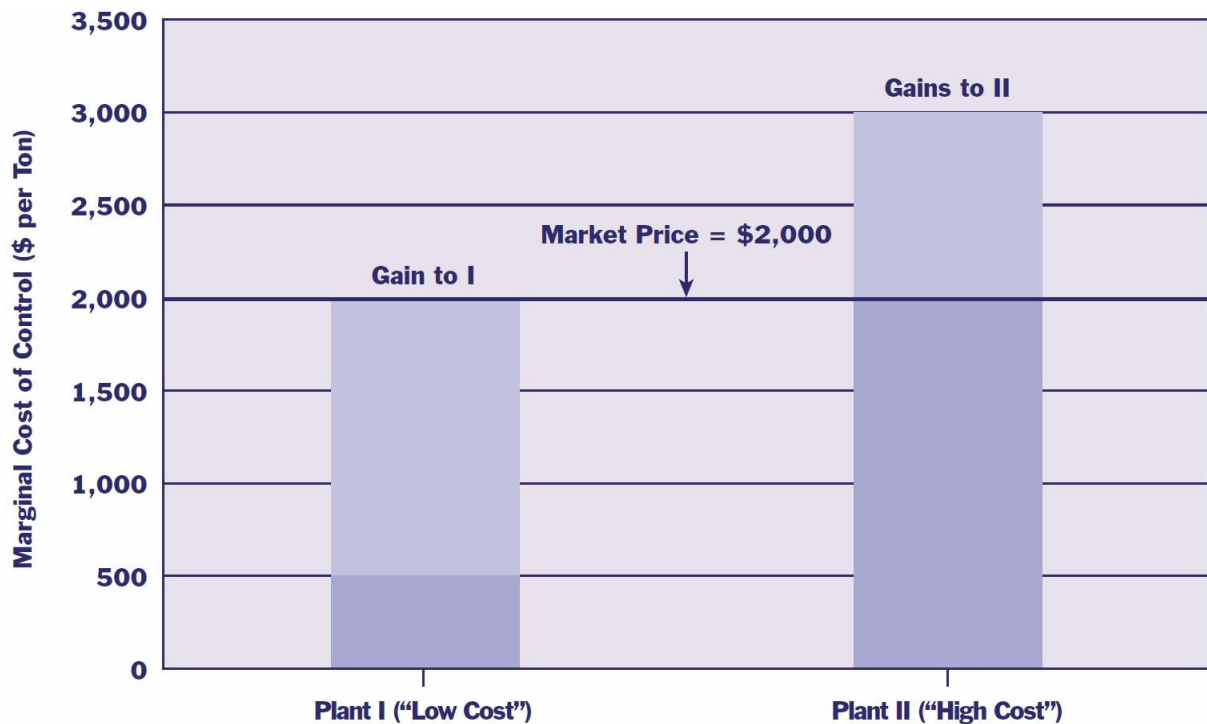


Abbildung 2.10 Kosten nach Einführung handelbarer Zertifikate

Quelle: (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

2.3.3 Typen von Emissionshandelssystemen

Es existieren drei grundlegende Typen von Emissionshandelssystemen ‚reduction credit‘ Programme, ‚averaging‘ Programme und ‚cap-and-trade‘ Programme. Jedes dieser Systeme hat als Grundlage handelbare Zertifikat.

Bei ‚reduction credit‘ Programmen werden Anlagen, die eine Reduktion der Emissionen durchgeführt haben mit Zertifikaten belohnt, welche sie an Marktteilnehmer verkaufen können. Hierbei muss mit einem entsprechenden administrativen Prozess die Reduktion, entsprechend bestimmter Regulierungen, der einzelnen Anlagen herausgefunden werden um diese mit Zertifikaten auszustatten. Bei ‚averaging‘ Programmen ist dies ähnlich, nur liegt der wesentliche Unterschied in der Zuteilung der Zertifikate, welche hier automatisch funktioniert.

‚Cap-and-trade‘ Programme sind hingegen anders organisiert. Bei diesem Konzept wird eine generelle Obergrenze der emittierten Schadstoffe festgelegt. Die gesamte Schadstoffmenge wird in einzelne Zertifikate zerlegt und muss über einen entsprechenden Mechanismus an die Emittenten verteilt werden. Jeder Teilnehmer muss entsprechend seiner emittierten Schadstoffmenge Zertifikate besitzen, welche er gegebenenfalls am Markt kaufen oder verkaufen kann. Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass nicht die einzelnen Anlagen zertifiziert werden müssen, sondern dass eine erstmalige Allokation der Zertifikate durchgeführt wird. In der Praxis kann es auch Mischformen geben entsprechend der Situation. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

2.3.4 Allokation der Zertifikate

Die Überlegungen zur Allokation der Zertifikate ist ein zentraler Aspekt bei der Einführung eines Emissionshandelssystems. Es werden die Kosten und die Effizienz des Systems beeinflusst. Mit der Entscheidung zu kostenpflichtiger oder kostenloser Zuteilung der Zertifikate wird auch die Wettbewerbssituation entscheidend verändert. (Zöchbauer, 2006)

Man kann bei der Allokation grundsätzlich zwei verschiedene Methoden verfolgen. Einerseits ist es möglich die Zertifikate frei zu vergeben oder diese über eine Auktion zu versteigern.

2.3.4.1 Auktion

Wenn die Auktionsmethode zur Verteilung der Zertifikate verwendet wird, wird die gesamte Menge an Zertifikaten zu Beginn der Emissionsperiode zur Versteigerung freigegeben. Hierbei müssen die einzelnen Unternehmen im vorhinaus für ihre Emissionen zahlen. Dies würde einen beträchtlichen Anstieg der Kosten nach sich ziehen. Es würde die Wettbewerbssituation beträchtlich beeinflussen und die Unternehmen sind dazu angehalten ihre Kosten direkt an den Kunden weiterzugeben. Da diese Methode eine solch radikale Veränderung der Kosten verursachen würde, kann man auch eine Mischform mit freier Vergabe und Auktion einführen. Da der Gesetzgeber beträchtliche Einnahmen durch die Versteigerung zu erwarten hat, kann er auch Teile davon als Förderungen der Industrie zurückgeben. Somit könnten gewisse positive Vorbedingungen der Unternehmen honoriert werden.

2.3.4.2 ‚Grandfathering‘

Im Gegensatz zu einer kostenpflichtigen Vergabe der Zertifikate kann auch eine kostenlose Vergabe gewählt werden. Hierbei hat der Gesetzgeber keine Einnahmen zu erwarten aber auch der Unternehmer hat keine sofortigen Kosten zu befürchten. Eine Methode dieser Kategorie ist das ‚grandfathering‘. Hierbei werden die historischen Emissionswerte eines Unternehmens genau untersucht. Eine dem bisherigen Emissionswert entsprechende Anzahl an Zertifikaten wird dem Unternehmen als Anfangsbedingung zugestanden.

Es gibt hierbei einige Kontroversen. Zum Beispiel stellt sich die Frage wie neue Emittenten behandelt werden sollen. Diese haben keine historischen Emissionsdaten. Wenn sie aus diesem Grund auch keinen Anspruch auf freie Zertifikate haben, würden sie von Anfang an einen wesentlichen Wettbewerbsnachteil haben. Diese Problematik kann gelöst werden indem der Gesetzgeber einen Teil der Zertifikate für neue Emittenten zurückhält. Ein anderes Problem das sich ergibt ist die Gleichbehandlung von Altanlagen und umweltfreundlichen Anlagen. Es würde ein Unternehmen welches vor der Einführung des Systems auf umweltfreundliche Technologien umgerüstet hat indirekt dafür bestraft werden. Es muss hier also differenziert werden ob man Zertifikate an Altanlagen vergibt oder neue Anlagen. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

2.3.5 ,Banking' und ,borrowing'

Beim ,banking' gibt man den ,emittierenden Unternehmen die Möglichkeit ihre Investitionen flexibler zu gestalten. Es ist erlaubt in einer bestimmten Emissionsperiode übrige Zertifikate zu sparen und diese in späteren Perioden zu verwenden. Dies hilft den Unternehmen Unsicherheiten besser abzufangen und es hat sich auch gezeigt, dass dies die Performance des Systems erhöht.

Im anderen Fall kann es auch sein das ein Unternehmen mit einer Investition warten will. Hier kommt das sogenannte ,borrowing' ins Spiel. Hierbei ist es möglich, dass ein Emittent in einer Emissionsperiode mehr emittiert als er eigentlich dürfte. Dies gibt ihm also die Flexibilität in die andere Richtung. Das Unternehmen kann Investitionen aufschieben muss sich aber später stärker einschränken da es einige seiner Zertifikate vorgezogen hat. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

3 Internationale Umweltpolitik in der Praxis

3.1 Entwicklung internationaler Umweltpolitik

Die Klimarahmenkonvention¹ der Vereinten Nationen ist ein internationales Abkommen welches sich mit den Problemen des Klimawandels beschäftigt. Das 1992 in New York beschlossene Übereinkommen behandelt die Störungen im Zusammenhang mit dem globalen Klimasystem und das zentrale Ziel ist es die Erderwärmung zu verlangsamen. Es schafft auch die faktische Grundlage für wissenschaftliche Analysen, indem sich die Mitglieder verpflichten Daten über ihre Treibhausgasemissionen zu erfassen und zu veröffentlichen. (UNFCCC, Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, 1992)

Im selben Jahr fand die erste Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung² in Rio de Janeiro statt. In der Rio-Deklaration wurden 27 Grundsätze in Bezug auf Umwelt und Entwicklung erstellt. (UN, Rio-Erklärung, 1992) Im Weiteren wurde mit der Agenda 21 (UN, Agenda 21, 1992) ein Leitfaden für eine nachhaltige Entwicklung in der Umweltpolitik erstellt. Mit dieser internationalen Konferenz, welche sowohl von 172 Staaten und vielen weiteren nichtstaatlichen Organisationen besucht wurde, ist ein erster Grundstein für weitere Maßnahmen in der internationale Umweltpolitik gesetzt worden. Es wurden in diesen ersten Schritten leider nur Grundsätze und Richtlinien aufgestellt aber was fehlte waren konkrete verbindliche Maßnahmen.

3.2 Das Kyoto Protokoll

1997 kamen die Vertreter der Klimarahmenkonvention im japanischen Kyoto zusammen um ein Zusatzprotokoll mit konkreten Zielen, bezüglich des Klimawandels, zu erarbeiten. Dieses Abkommen befasst sich speziell mit den Treibhausgasen welche die globale Erwärmung verursachen. Es wurde den Industriestaaten erstmals quantitative Emissionsobergrenzen auferlegt welche völkerrechtlich bindend sind. Die Treibhausgase der industrialisierten Länder sollten im Zeitraum von 2008 bis 2012 um mindestens 5,2 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990 gesenkt werden. Durch die größere Verantwortlichkeit der Industriestaaten sieht die Übereinkunft vor, dass die Schwellen- und

¹ in engl.: United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC

² in engl.: United Nations Conference on Environment and Development, UNCED

Entwicklungsländer von verbindlichen Reduktionen derweilen ausgenommen sind. (UN, Kyoto Protokoll, 1997)

Das Inkrafttreten des Kyoto Protokoll war geregelt, indem mindestens 55 Vertragsparteien, mit insgesamt 55 Prozent des CO₂ Ausstoßes, dies national ratifizieren. (UN, Kyoto Protokoll, 1997) Durch den Ausstieg der USA war das Inkrafttreten des Protokolls jedoch erheblich gefährdet. Der Beitritt Russlands ermöglichte es jedoch, dass das Kyoto Protokoll am 16. Februar 2005 in Kraft treten konnte. Bis heute haben 189 Staaten das Protokoll in nationales Recht übernommen. (UNFCCC, Kyoto Protocol, Status of Ratification, 2009)

3.2.1 Reduktionsziele

Als Treibhausgase wurden CO₂, CH₄, HFC_s, N₂O, PFC_s und SF₆ definiert. Diese gilt es von 2008 bis 2012 um 5,2 Prozent des Niveaus von 1990 zu senken. Wobei die verschiedenen Staaten mit unterschiedlichen Reduktionszielen belegt wurden. Welche aus Tabelle 3.1 ersichtlich sind.

Australien	108	Monaco	92
Belgien	92	Neuseeland	100
Bulgarien*	92	Niederlande	92
Dänemark	92	Norwegen	101
Deutschland	92	Österreich	92
Estland*	92	Polen*	94
Europäische Gemeinschaft	92	Portugal	92
Finnland	92	Rumänien*	92
Frankreich	92	Russische Föderation	100
Griechenland	92	Schweden	92
Irland	92	Schweiz	92
Island	110	Slowakei*	92
Italien	92	Slowenien*	92
Japan	94	Spanien	92
Kanada	94	Tschechische Republik	92
Kroatien*	95	Ukraine*	100
Lettland*	92	Ungarn*	94
Liechtenstein	92	USA	93
Litauen*	92	UK	92
Luxemburg	92		

Tabelle 3.1 Reduktionsziele nach dem Kyoto Protokoll

* Länder, die sich im Übergang zur Marktwirtschaft befinden.

Quelle: (UN, Kyoto Protokoll, 1997), (Umweltbundesamt, Umweltbundesamt Österreich, 2009), (UNFCCC, National greenhouse gas inventory data for the period 1990–2007, 2009)

3.2.2 Reduktionsziele in der EU

Für die Europäische Union ist im Zeitraum von 2008 bis 2012 eine Reduktion um 8 Prozent vorgesehen. Bis 2020 ist eine Reduktion um 20 Prozent das Ziel der EU. Nach dem Klima- und Energiepaket vom Dezember 2008 ist es möglich diesen Zielwert, unter gewissen Umständen, auf 30 Prozent zu erhöhen. Eine Voraussetzung hierfür wäre, dass sich Industriestaaten wie die USA und Schwellenländer mit hohen Emissionswerten, wie China und Indien, ebenfalls zu einer angemessenen Reduktion der Treibhausgase verpflichten. (Umweltbundesamt, Klimaschutzbericht, 2009)

Um das Reduktionziel in der EU zu erfüllen, wurde auf eine EU-interne Lastenaufteilung gesetzt. Diese sieht zum Beispiel für Österreich im Kyoto Zeitraum eine Reduktion von 13 Prozent vor. Andererseits wurden Staaten wie Griechenland, Spanien und Irland Emissionserhöhungen zugestanden. Es wurden die Staaten nach deren wirtschaftlichen Besonderheiten bemessen und entsprechend mit Emissionszielwerten belegt. So sollte auf die Unterschiede der Staaten Rücksicht genommen werden aber trotzdem EU-weit die 8 Prozent von Kyoto erreicht werden. Dies wird im Kyoto Protokoll als ‚burden sharing‘ bezeichnet und kann bei einem Staatenverbund als Instrument zur Erfüllung des gemeinsamen Reduktionszieles benutzt werden. (Europäische Kommission, 2009) (Umweltbundesamt, Klimaschutzbericht, 2009)

3.2.3 Flexible Mechanismen

Um die Ziel des Kyoto Protokolls zu erreichen wurde die Möglichkeit mehrerer flexibler Mechanismen eingeführt. Es sollten marktwirtschaftliche Instrumente eingeführt werden um die Emissionsziele kosteneffizient zu erreichen. Neben dem Emissionshandel, welcher ohnehin weitreichend in dieser Arbeit behandelt wird, gibt es noch weitere Mechanismen zur Zusammenarbeit verschiedener Staaten. Es handelt sich um ‚Joint Implementation‘ und ‚Clean Development Mechanism‘ Projekte. Hierbei soll vor allem die Zusammenarbeit von Industriestaaten und Entwicklungsländern gefördert werden. (ACCC, 2009)

Joint Implementation – JI

Ji Projekte sind im Kyoto Protokoll Artikel 6 festgelegt. Es ermöglicht Industriestaaten mit anderen Industriestaaten oder Transformationsländern über ein gemeinsames Projekt Emissionen zu reduzieren. So kann ein Land durch ein Projekt in einem anderen Land seine eigenen Emissionsziele teilweise erfüllen. Es können so Staaten mit hohen Emissionen ihre Emissionsbilanz verbessern indem sie in emissionsreduzierende Projekte in anderen Staaten investieren. Dieser Mechanismus ist als Zertifikatshandel zwischen zwei Staaten, die dem Kyoto Protokoll unterliegen, zu sehen. Es werden hier Emissionsreduktionen eines Projektlands dem Investitionsland gutgeschrieben. (Hack, 2011)

Clean Development Mechanism – CDM

Wobei es sich bei JI Projekte um Kooperationen von sogenannten Annex-I Staaten handelt, wird bei CDM Projekte die Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern gefördert. Es ermöglicht einem Industrieland in emissionsreduzierende Projekte eines Entwicklungslands zu investieren. Der Investor bekommt im Gegenzug Emissionsrechte auf nationaler Ebene gutgeschrieben. Hierbei ist zu beachten, dass keine Emissionszertifikate verschoben werden sondern Zertifikate neu entstehen. Das Entwicklungsland hat keinerlei Kyoto Auflagen und muss dem Investitionsland keine Emissionszertifikate überschreiben. Es entstehen zwar zusätzliche Zertifikate, aber aus globaler Sicht sind die Treibhausgasemissionen reduziert worden. Da es sich beim Treibhauseffekt um ein globales Problem handelt ist an diesem Mechanismen grundsätzlich nichts auszusetzen. Es sind jedoch diese Projekte schon mehrmals wegen undurchsichtiger Strukturen ins Kreuzfeuer der Kritik geraten. (Hack, 2011) (ACCC, 2009)

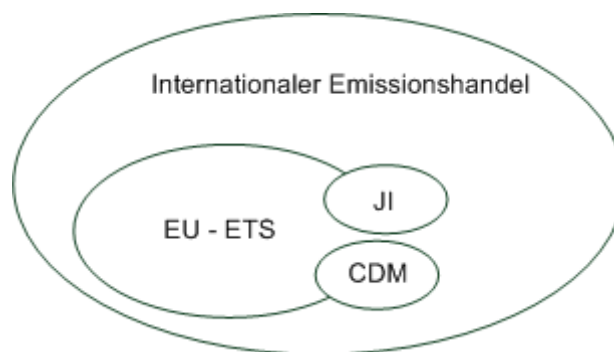


Abbildung 3.1 Kyoto-Kooperationsmechanismen

Adaptiert von (Hack, 2011)

3.3 Erste Erfahrungen mit Emissionshandelssystemen in den USA

In diesem Abschnitt der Arbeit werden die amerikanischen Emissionshandelssysteme, welche schon vor zwei Jahrzehnten eingeführt wurden, untersucht. Anhand der Daten sollen wertvolle Schlussfolgerung für zukünftige Bemühungen im Emissionshandel erlangt werden.

3.3.1 Besondere Eigenschaften von Treibhausgasen

Wenn man sich mit der Einführung eines Emissionshandelssystems befasst, muss man die Eigenschaften des gehandelten Gutes analysieren. Bei den Erfahrungen mit den amerikanischen Systemen handelte es sich zum Beispiel um SO₂ oder NO₂. Bei diesen Gasen ist der Einfluss auf einen regionalen Bereich beschränkt und das Wetter hat einen Einfluss auf die Ausbreitung der Gase. Es macht einen Unterschied ob die Emission im Sommer oder Winter passiert und auch der Wind beeinflusst die Wirkung. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Betrachtet man hingegen das Treibhausgas CO₂ und den damit verbundenen Treibhauseffekt stehen wir einem globalen Problem gegenüber. Hier sind regionale Aspekte nicht von Interesse. Im Weiteren ist auch der Zeitpunkt der Emission nicht weiter von Bedeutung. Dies spricht für die ‚banking‘ und ‚borrowing‘ Möglichkeit in Emissionshandelssystemen. Für das langfristige Reduktionsziel ist also das Wo und Wann nicht von Bedeutung. Die Emissionswerte können von Land zu Land variieren und müssen auch nicht im Jahresvergleich fallen, sondern nur über die angepeilte Periode. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Da die Messung und Überwachung der Emissionen über Indikatoren geschieht ist mit geringen Kosten zu rechnen. Durch die Messung des Mineralölverbrauchs oder anderer Emissionsfaktoren kann auf die Gesamtemission zurückgeschlossen werden. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

3.3.2 Acid Rain Programm

Beim Acid Rain Programm handelt es sich um das erfolgreichste und am besten untersuchte Emissionshandelssystem der USA. Es handelt sich hierbei um ein SO₂ ‚cap-and-trade‘ Programm, welches im Zuge des ‚Clean Air Act‘ von 1990 eingeführt wurde. Als Grenzwert wurde ein nationaler Emissionswert von 9 Millionen Tonnen SO₂ festgelegt, welcher in zwei Phasen zu erreichen sein sollte. In der ersten Phase von 1995 bis 1999 wurden die Elektrizitätskraftwerke eingebunden, da diese den höchsten SO₂ Ausstoß haben. Das Ziel war 2,5 Pfund SO₂ pro Million Btu³ Wärmezufuhr. In der zweiten Phase ab dem Jahr 2000 wurden zusätzlich alle Einrichtungen, die fossile Brennstoffe verfeuern, aufgenommen. Des Weiteren wurde ein Limit von 1,2 Pfund SO₂ pro Million Btu gesetzt,

³ Btu = British thermal unit, es handelt sich um eine Einheit der Wärmeenergie

somit wird das nationale Limit von 9 Millionen Tonnen SO₂ eingehalten. Aus dieser Kalkulation ergibt sich, dass ab der zweiten Phase die Elektrizitätswirtschaft nur mehr halb so viel SO₂ emittieren durfte als noch in den frühen 1980er Jahren. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Die gesamten nationalen 9 Millionen Tonnen SO₂ wurden in handelbare ‚allowances‘, die das emittieren von einer Tonne SO₂ erlauben, aufgeteilt. Jede Einrichtung muss entsprechend dem SO₂ Ausstoß eine gewisse Anzahl an ‚allowances‘ nachweisen. Werden die ‚allowances‘ in einer Periode nicht verbraucht ist das sogenannte ‚banking‘ vorgesehen, welches erlaubt die ‚allowances‘ in kommenden Perioden zu nutzen. Die Allokation der ‚allowances‘ zu Beginn des Programms wurde anhand durchschnittlicher Emissionen zur Basisperiode von 1985 bis 1987 berechnet und den Unternehmen frei zugeteilt. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

In Abbildung 3.2 ist die Performance des Acid Rain Programms zu sehen. Es werden die zwei Phasen des Programms abgebildet, die gesamte Emissionsmenge und die Emissionsmenge die vom Programm einbezogen wird. Des Weiteren sind die jährlich ausgegebenen ‚allowances‘ und die zurückgehaltenen ‚allowances‘ unter ‚banking‘ zu beobachten.

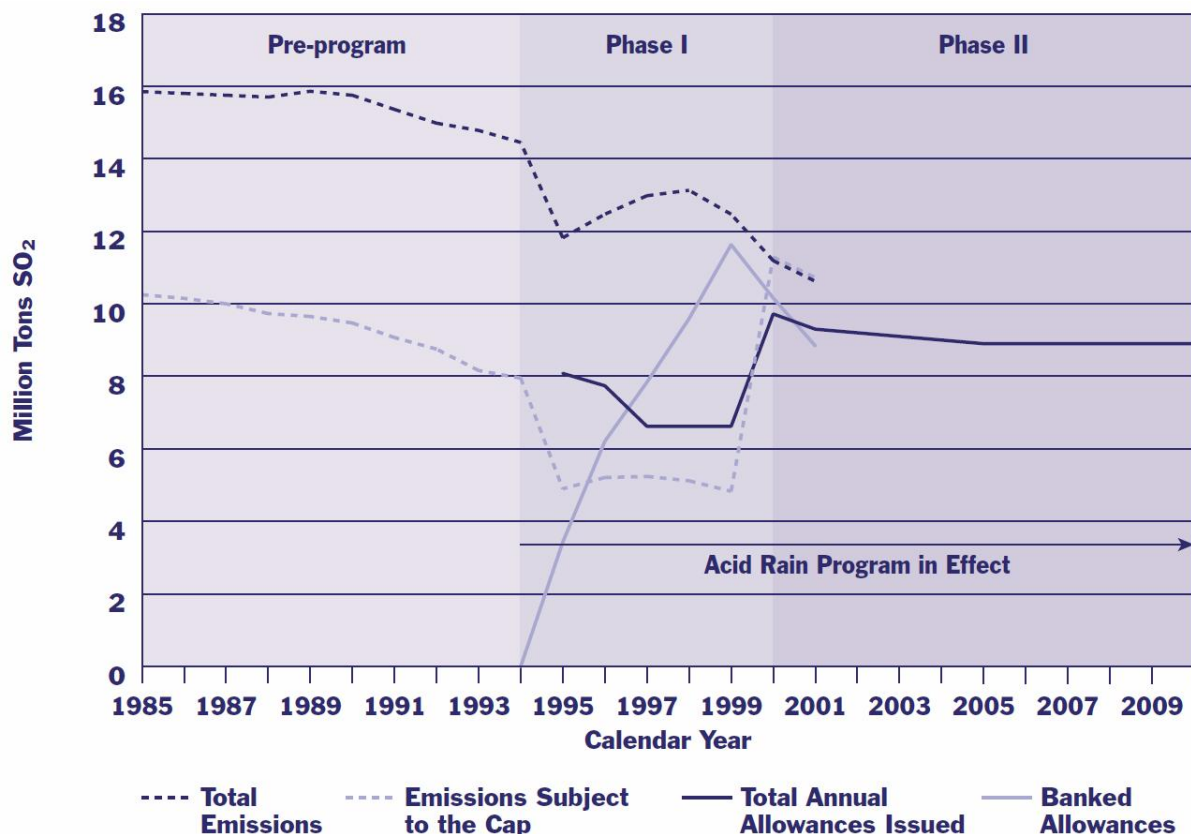


Abbildung 3.2 Performance des Acid Rain Programms

Quelle: (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

In der ersten Phase sieht man, dass die Anzahl der ‚allowances‘ (Total Annual Allowances Issued) niedriger ist als in der zweiten Phase. Dies ergibt sich, aus der Situation, dass in der ersten Phase nur

die Hälfte der nationalen Emissionen berücksichtigt wurde. Wie schon beschrieben ist nur die Elektrizitätswirtschaft berücksichtigt worden. Anhand der unterbrochenen dunklen Kurve sieht man die gesamte SO₂ Emission und die hellere der beiden zeigt die Emissionen der im Programm aufgenommenen Anlagen. Man sieht, dass diese ab dem Jahr 2000 zusammenlaufen, was aus der Aufnahme aller SO₂ emittierenden Anlagen in das Programm resultiert. Es fällt auch auf, dass die Anzahl der zurückgehaltenen ‚allowances‘ stetig steigt aber mit Übergang zur zweiten Phase fällt.

Wenn man die Emissionskurve betrachtet, erkennt man das zwar schon in den 80ern ein leichter Rückgang zu verzeichnen ist, aber mit Inkrafttreten des ‚Clean Air Act‘ gibt es einen drastischen Einbruch zwischen 1994 und 1995. Dies ist auf die Planung der Anlagenbetreiber zurückzuführen. Diese wussten, dass in der zweiten Phase des Programms die Emission von SO₂ erheblich kostspieliger wird und setzten somit auf die ‚banking‘ Möglichkeit und hielten so eine Menge ihrer Zertifikate zurück. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Schon in der ersten Phase wurden von einem Drittel der Unternehmen Zertifikate zugekauft. Es hat sich so ein Kostenvorteil bei Anlagen mit hohen Vermeidungskosten ergeben. Andererseits konnten Unternehmen mit Anlagen, welche niedrige Vermeidungskosten hatten, zusätzliche Erträge durch den Verkauf von Zertifikate lukrieren. Diese Vorteile sind im Vergleich zu ‚command-and-control‘ Programmen hervorzuheben. Es hat sich beim Acid Rain Programm in kurzer Zeit ein guter Markt entwickelt, auch weil die EPA⁴ die Rahmenbedingungen für eine transparente Preisbildung eingestellt hat. Es hat sich gezeigt, dass die ‚banking‘ Möglichkeit zu einer Kostenersparnis bei den Marktteilnehmern geführt hat. In Abbildung 3.3 sieht man eine genaue Aufschlüsselung der berechneten Kostenersparnis im Acid Rain Programm.

	Abatement Cost With Trading	Abatement Cost Without Trading	Cost Savings from Emissions Trading				Savings as a Percentage of Cost Without Trading
			Phase I Spatial Trading	Banking	Phase II Spatial Trading	Total Cost Savings	
Average Phase I Year (1995–99)	735	1,093	358			358	33%
Average Phase II Year (2000–07)	1,400	3,682		167	2,115	2,282	62%
13-Year Sum	14,875	34,925	1,792	1,339	16,919	20,050	57%

Source: Adapted from Ellerman et al. (2000).

Note: All costs are in millions of present-value U.S. 1995 dollars. Estimates are based on economic reasoning assuming reasonably efficient markets based on observed allowance prices and abatement (as explained in chapter 10 of the source). A cost estimate is provided for only the first eight years of Phase II since this is the time period when most of the cost savings from banking were thought likely to be realized.

Abbildung 3.3 Acid Rain Programm Handelsdetails

Quelle: (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

⁴ Environmental Protection Agency

3.3.3 RECLAIM Program

Das in Los Angeles entwickelte RECLAIM ‚Regional Clean Air Incentives Market‘ Programm ist ein weiteres bekanntes Beispiel für ein ‚cap-and-trade‘ Programm der ersten Jahre. Hier wurde das erste auf regionaler Rechtsprechung basierende Programm zur Reduktion von NO_x und SO₂ entwickelt. Bei dem mit 1994 freigegebenem Programm wurden die Grenzwerte anfangs höher gesetzt wie die zu erwartenden Emissionen, aber in den nachfolgenden Jahren kontinuierlich reduziert. Im Jahre 2003 konnte somit eine Reduktion um 50 Prozent zum Vergleichszeitraum der 1990er Jahre erzielt werden. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Beim RECLAIM Programm ist im Unterschied zum Acid Rain Programm eine heterogene Gruppe von Fabriken, Raffinerien und anderer Industrien beteiligt gewesen. Ein weiterer Unterschied ergibt sich durch die besonderen geographischen Umstände, dass sich die emittierten Gase von Los Angeles landeinwärts bewegen. Aus diesem Grund wurden Anlagen in Küstennähe anders behandelt als Anlagen im Landesinneren. Als dritter wesentlicher Unterschied ist das nicht implementierte ‚banking‘ zu nennen. Es gab Bedenken, dass sich die Emissionen mit einer Verzögerung in späteren Jahren erhöhen könnten und somit kein durchgehender Qualitätsstandard gehalten werden kann. Ein umstrittener Punkt bei der Entwicklung des Programms war der Allokationsprozess. Es wurden wie beim Acid Rain Programm die ‚credits‘ kostenfrei verteilt. Dies kam nach einem Kompromiss der Aufsichtsbehörde mit den Beteiligten zustande.

Es zeigte sich beim RECLAIM Programm, dass sich der Handel hauptsächlich innerhalb von Unternehmen abspielte. Es wurden Zertifikate lediglich zwischen den einzelnen Anlagen eines Unternehmens verschoben. Da die Emissionsziele in den ersten Jahren des Programms nicht bindend waren, welche auch signifikant überschritten wurden, verschoben sich die Zertifikate im Bezug auf zukünftige Pläne zur Emissionsreduktion. Das erklärt die abnehmende Handelsaktivität über die ersten Jahre.

Die mit diesem Programm einhergehenden Erfahrungen sind weitestgehend erfolgreich gewesen. Der NO_x Teilbereich des Programms hatte jedoch mit wesentlichen Schwierigkeiten zu kämpfen. Abbildung 3.4 zeigt, wie im Übergangszeitraum 2000/2001 der Preis für NO_x Zertifikate (RECLAIM Trading Credits - RTC) außergewöhnlich hohe Ausmaße annahm. Dies ging einher mit den steigenden Preisen am Spotmarkt des kalifornischen Elektrizitätshandels. Dieses Problem resultierte aus einem besonderen Umstand am Elektrizitätsmarkt. Die im Sommer 2000 von Kalifornien importierte Elektrizität der Nachbarstaaten fiel erheblich. Aus diesem Grund mussten die alten Generatoren, welche mit Gas befeuert werden und einen hohen NO_x Ausstoß haben, wieder aktiviert werden.

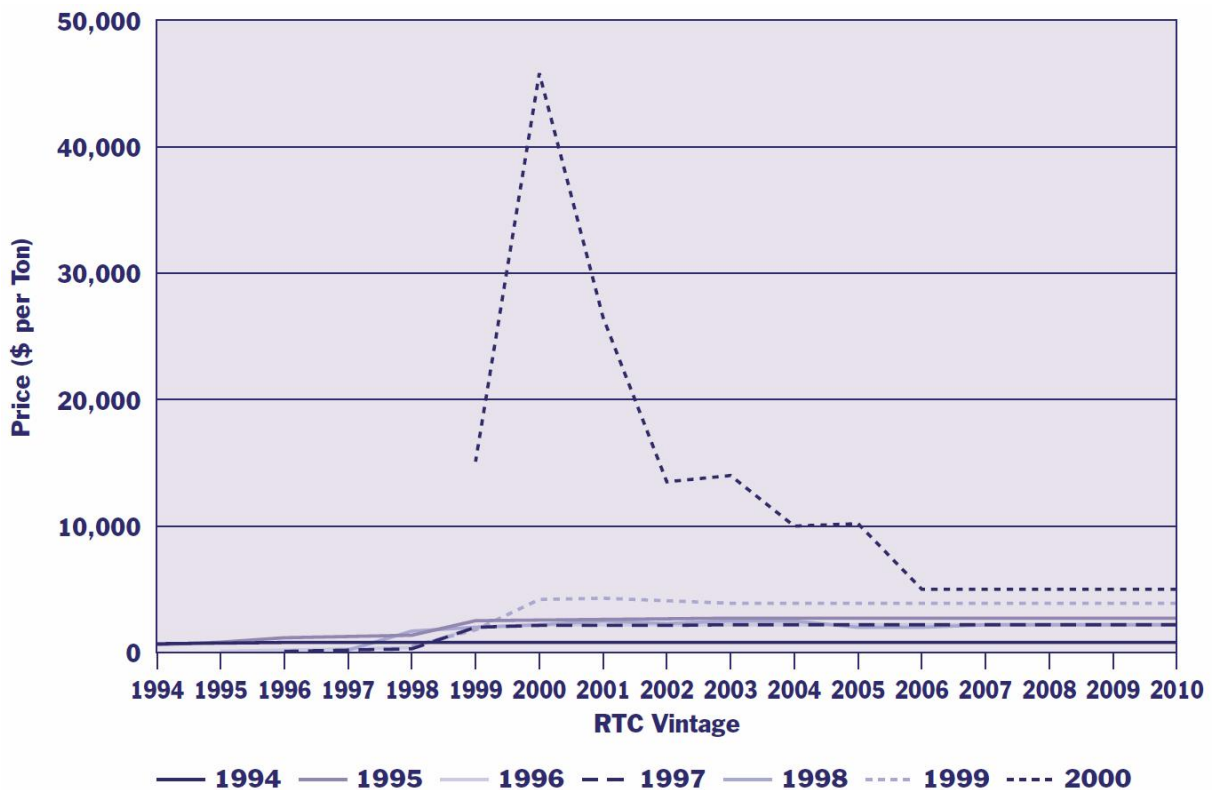


Abbildung 3.4 NO_x Preisentwicklung

Quelle: (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Aus diesem Grund wurden die Emissionsgrenzen im Jahre 2000 um 6 Prozent überschritten. Es ging soweit, dass die Stromerzeuger vorübergehend vom Programm ausgenommen worden sind und unter dem alten ‚command-and-control‘ liefen. Diese Probleme werden aber nicht dem ‚cap-and-trade‘ System zugerechnet sondern würden unter diesen Umständen ebenso in einem ‚command-and-control‘ System passieren. Die Ursache ist in diesem Zusammenhang bei der nicht lange zuvor deregulierten kalifornischen Elektrizitätswirtschaft zu suchen. Die Umstellung eines monopolisierten Systems zu einem mit Wettbewerb ist in diesem Fall schlecht geplant gewesen. Es liegt auf der Hand, dass bei einem starken Anstieg des Elektrizitätsbedarfs, der NO_x Ausstoß ansteigt und somit die Preise für die ‚allowances‘ ebenfalls steigen. Man kann also keinesfalls von einem Versagen des RECLAIM Programms sprechen. Durch diese Krise im RECLAIM Programm hat man jedoch gelernt, dass bei starken Preisschwankungen, was immer wieder auftreten kann, die Möglichkeit des ‚banking‘ helfen kann. Die ausgleichende Wirkung, durch das Aufsparen von ‚allowances‘, kann einen Preisanstieg dieser Art abdämpfen und man muss nicht das komplette System kurzfristig aussetzen. Über eine gesamte Periode gerechnet kommt man, trotz der Spitzenwerte, durch das ‚banking‘ auf das geplante Gesamtreduktionsziel. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Der Erfolg des RECLAIM Programm ergibt sich, wenn man die Kostenersparnis zum alternativen ‚command-and-control‘ System heranzieht. Es wurde eine Kostenreduktion durch den Umstieg auf das ‚cap-and-trade‘ Programm von 40 Prozent geschätzt. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

3.3.4 ‚Lesson Learned‘

Um den Erfolg eines Emissionshandelssystems zu bewerten hat man verschiedene Möglichkeiten die Ergebnisse zu betrachten. Man kann von der wirtschaftlichen Seite die Kosteneffizienz betrachten, als auch von Seiten der Umwelt die erzielte Emissionsreduktion. Das Ganze muss man situationsabhängig mit allen Rahmenbedingungen bewerten.

Hinsichtlich der Kosteneffizienz geben die bisherigen Projekte eine Bestätigung, dass das ‚cap-and-trade‘ System dem ‚command-and-control‘ System überlegen ist. Die hohe Anzahl an gehandelten Zertifikaten zeigt, dass die Teilnehmer die Möglichkeit zur Kostenreduktion genutzt haben. Beim Acid Rain Programm, welches am genauesten untersucht wurde, gab es einige spezifische Studien die den Kostenvorteil des ‚cap-and-trade‘ System zeigen. Die Studien ergaben, dass ein Kostenvorteil durch das Acid Rain Programm von 50 Prozent gegenüber einem ‚command-and-control‘ System entstanden ist. Natürlich hängt die Kostenersparnis direkt mit der Aktivität der Teilnehmer am Markt zusammen. Nur über das Handeln der Zertifikate kann eine effiziente Lösung erzielt werden. Aus diesem Grund ist das Funktionieren des Marktes ein Hauptziel. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

Neben den wirtschaftlichen Zielen ist auch der ökologische Effekt des Systems zu überprüfen. Das ‚cap-and-trade‘ System ist hier ein weitaus flexibleres System als das ‚command-and-control‘. Der erste große Vorteil ist, dass man durch das Setzen einer Gesamtemissionsmenge für eine Periode genau das angepeilte Ziel einstellen kann. Es wird die geplante Gesamtemission in einzelne ‚allowances‘ aufgeteilt und somit klargestellt, dass dieser Wert nicht überschritten wird. Es hat sich auch gezeigt, dass sich die Möglichkeit des ‚banking‘ positiv ausgewirkt hat. Es wird zwar einerseits den Teilnehmer erlaubt sich ‚allowances‘ aufzusparen und somit in einer anderen Periode mehr zu emittieren aber es wirkt sich nicht negativ auf das Gesamtziel aus. Es ist lediglich eine Chance für die Teilnehmer die Planung ihrer Umweltstrategie flexibler zu gestalten.

Ein wesentlicher Unterschied zum ‚command-and-control‘ System sieht man beim Umstieg auf neue umweltfreundlichere Technologien. Es wird beim ‚cap-and-trade‘ System kein Standard oder spezielle Technologien vorgeschrieben. Es ist den Firmen überlassen, nach Kostenvergleich, über einen Technologiewechsel nachzudenken. Einerseits können sich Firmen, mit sehr hohen Vermeidungskosten, durch das Zukaufen von ‚allowances‘ von ihrer Pflicht freikaufen wobei andere mit dem Verkauf von ‚allowances‘ und dem Umstieg auf neue Technologien zusätzliche Erträge erzielen können. Es wird also nur denen ein Anreiz zum Umstieg gegeben, bei denen es sich auch betriebswirtschaftlich rechnet.

Im Unterschied zu ‚command-and-control‘ Systemen wo jede Anlage untersucht werden muss und bewertet wird, ist dies bei ‚cap-and-trade‘ Systemen nicht notwendig. Das Emissionszertifikat stellt ein homogenes Produkt dar, welches von jeder Emissionsquelle verwendet werden kann. Es können dann auch Risikomanagement Produkte wie Optionen, Swaps oder Forwards entstehen. Es muss

natürlich klar gestellt sein, dass der Handel transparent abläuft. Zusätzlich sollen keine wesentlichen Transaktionskosten auf die Teilnehmer zu kommen. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

3.3.4.1 Banking

Die untersuchten Programme haben gezeigt, dass die ‚banking‘ Möglichkeit eine wesentliche Rolle spielt und das Ergebnis der Programme in der Regel verbessert. Das RECLAIM Programm hat zum Beispiel sogar darunter gelitten, dass kein ‚banking‘ möglich war. Es zeigte sich, dass sich mit der ‚banking‘ Möglichkeit eine Kostenersparnis erzielen lässt. Es gibt den Unternehmen mehr Flexibilität auf unsichere Nachfrage in zukünftigen Perioden zu reagieren. Somit können auch Preisspitzen oder starke Volatilität vermieden werden. Speziell bei Treibhausgasen, wo der konkrete Emissionszeitpunkt auf lange Sicht keine Rolle spielt, ist die Einführung einer ‚banking‘ Option sinnvoll. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

3.3.4.2 Allokation

Der Allokationsprozess ist eine politische Entscheidung des Gesetzgebers, hat aber auch hohen Einfluss auf das System. Es wird ein Produkt mit einem gewissen Wert bereitgestellt. Man erzeugt somit indirekt Eigentumsrechte. Werden die Zertifikate versteigert, erlegt man den Unternehmer direkt Kosten auf und der Staat bekommt die Einnahmen. Diese Umweltdividende sollte dann in Folge vom Gesetzgeber eingesetzt werden um die Umweltpolitik zu fördern.

Auf der anderen Seite wird durch ‚grandfathering‘ den Teilnehmern ein Produkt kostenlos zugestanden. Da jeder politische Entscheidungsprozess von den Interessensgruppen der großen Industriebranchen genau verfolgt wird, muss auch mit Lobbyismus Arbeit der verschiedenen Branchen gerechnet werden. Um ein funktionierendes System zu gewährleisten, ist es wichtig, dass sich die politischen Entscheidungsträger hier nicht auf zu viele Kompromisse einlassen. Gibt es eine Überallokation an die Unternehmen, wird der Preis der Emissionszertifikate fallen und somit wird kein Anreiz für sauberes Wirtschaften erzielt.

Beide untersuchten Programme haben die ‚grandfathering‘ Methode für die Allokation gewählt. Lediglich das Acid Rain Programm hat unwesentliche Teile zur Auktion freigegeben. Diese Allokation, auf Basis von historischen Werten, ist jedoch umstritten da es mögliche Benachteiligungen von Neueinsteigern geben kann. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

3.3.4.3 Schlussfolgerungen für den Emissionshandel mit Treibhausgasen

Die Eigenschaften eines Umweltproblems hängen direkt mit den möglichen Regulierungen zusammen. Beim Treibhauseffekt gibt es keine regionalen Aspekte. Der Ausstoß der Treibhausgase ist global zu betrachten. Somit ergibt sich ein Problem, dass sich über Landesgrenzen hinweg entwickelt. Der Ansatz muss also ein globaler sein. Zusätzlich sind die Treibhausgase lange Zeit in der Atmosphäre gebunden und beeinflussen das Klima. Damit ist die ‚banking‘ Möglichkeit kein Problem

in solch einem System. Wie schon angesprochen ist auch das Messen der Emissionen leicht zu bewerkstelligen. Man bedient sich indirekter Faktoren wie dem Konsum von fossilen Brennstoffen.

Man begegnet jedoch einem Problem wenn man alle Emissionsquellen identifizieren will. Die Emission von Treibhausgasen geschieht im Privathaushalt als auch in Industriegroßanlagen. Man muss in diesem Zusammenhang eine Zielgruppe spezifizieren weil die Identifikation und Messung ansonsten nicht zu bewerkstelligen wäre. Ebenfalls würden die Transaktionskosten steigen. In globaler Sicht ergeben sich auch Probleme mit dem Unterschied von reichen und armen Ländern. Dies zeigt, dass es sich hier auch um ein sehr politisch brisantes Thema handelt und internationale Diplomatie gefordert ist. (Ellermann, Joskow, & Harrison, 2003)

3.4 Der EU-Emissionshandel

Im Hinblick auf das Kyoto Protokoll entschied die Europäische Union 2001 die Einführung eines Emissionshandelsystems. Es sollte das weltweit erste CO₂ ‚cap-and-trade‘ System werden und 2005 starten. In den ersten drei Jahren von 2005 bis 2007 sollte eine Einführungsphase laufen. Diese sollte noch kein Reduktionsziel verfolgen, sondern die Initialisierungsphase darstellen. Im Zuge dieser Einführungsphase ist es der Europäischen Union gelungen ein stabiles multinationales Emissionshandelssystem einzuführen. Diese erste Handelsphase ist aber nicht ohne Probleme vorübergegangen. Es sind einige Probleme aufgetaucht, auf die man bei der Einführung eines solchen Systems stoßen kann. In diesem Teil der Arbeit werden die Erfolge und Probleme im Zusammenhang mit der Einführung des EU-Emissionshandels (EU-ETS) genauer analysiert. (Ellerman & Joskow, 2008)

3.4.1 Rahmenbedingungen des Systems

Um die Reduktionsziele der Europäischen Union, welche im Kyoto Protokoll festgelegt wurden, zu erreichen wurde der Start des Systems bereits auf den 1. Jänner 2005 gesetzt. Man wollte somit eine gewisse Vorlaufzeit erreichen um dann 2008, mit in Kraft treten der Kyoto Reduktionsziele, ein etabliertes und funktionierendes Emissionshandelssystem zu haben.

Es wurde hierbei auf ein ‚cap-and-trade‘ System gesetzt bei welchem ein absolutes Gesamtemissionsziel festgelegt werden kann. Im Unterschied zu den früheren US Emissionshandelssystemen wurde die Verteilung dezentral durchgeführt. Es wurde zwar ein Gesamtemissionsziel von der Kommission gesetzt, die Verteilung der Zertifikate unterlag jedoch den 27 Mitgliedsstaaten. (Köppl, Thenius, & Schleicher, 2008) (Ellerman & Joskow, 2008)

Im EU-ETS sind derzeit 12.000 Unternehmen eingebunden, welche als Schadstoffemittenten gelten. Dies deckt in etwa 46 Prozent der Gesamtemission der Europäischen Union ab. (Hack, 2011) Um handelbare Zertifikate zu erhalten musste eine standardisierte Einheit gefunden werden. Die sogenannten ‚European Union Allowances‘ EUAs spiegeln die Emission von einer Tonne CO₂ wieder. Im EU-ETS ist der Handel mit anderen Treibhausgasen wie CH₄, N₂O, HFC_s oder SF₆ möglich, aber derzeit technisch schwer umsetzbar. Es würde das EU-ETS zusätzlich in Marktbreite und Handelsvolumen komplexer machen. CO₂ ist über Indikatoren leicht messbar und somit für das EU-ETS am besten geeignet.

Nun haben wir ein Handelsgut welches erlaubt eine Tonne CO₂ über einen Jahresverlauf zu emittieren. Die CO₂-Zertifikate sind immer auf Basis von einem Jahr festgelegt. Da sich hier der Planungshorizont einschränkt, ist vorgesehen, dass die Zertifikate über eine Handelsphase (mehrere

Jahre) aufgespart oder vorgezogen werden können. Diese ‚banking‘ und ‚borrowing‘ Option gibt den Handelsteilnehmer mehr Flexibilität in der Planung. (Hack, 2011)

Da nun die einzelnen Zertifikate in Mengeneinheiten geführt werden ist somit ein Gesamtemissionswert zu errechnen und einzustellen. Dieser Prozess zur Festlegung einer Gesamtemissionsmenge ist sehr kritisch für das spätere Funktionieren des Handelssystems. Mit Einstellung eines Zielwertes wird die Verknappung des Handelsguts erreicht und indirekt der Preis beeinflusst. Ist das Angebot zu groß, verfällt der Preis und es stellt sich kein Anreiz zur Emissionsreduktion ein. Im Gegensatz dazu würde eine zu starke Verknappung den Preis in die Höhe treiben und die gesamte Industrie würde darunter leiden. Im EU-ETS wurde aus diesem Grund der Handel schon vor der Kyoto Verpflichtungsphase eröffnet und den Handelsteilnehmern keine Emissionsreduktion auferlegt. Im späteren Teil dieses Kapitels wird diese erste Handelsphase genauer betrachtet.

3.4.1.1 Allokation der Zertifikate

Die Verteilung der Zertifikate geschieht grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten. Es gibt den Primärmarkt über den die Emittenten selbst mit Zertifikaten versorgt werden und den Sekundärmarkt wo die Emittenten diese Zertifikate handeln können. Am Primärmarkt entscheidet der Gesetzgeber wie die einzelnen Berechtigungen verteilt werden und stattet somit die Emittenten mit dem Handelsgut für den Sekundärmarkt aus. Um das Reduktionsziel für die gesamte EU zu erreichen werden von der EU Kommission die einzelnen Mitgliedsstaaten mit nationalen Emissionsberechtigungen ausgestattet. Das Gesamtemissionsziel wird je nach industrieller Situation des jeweiligen Mitgliedslands unterschiedlich gewählt. Hierbei werden zum Beispiel Mitgliedsstaaten im zweistelligen Prozentbereich belastet, wobei andere Staaten sogar mehr Emissionen als in den 1990ern zugesprochen werden. (Hack, 2011)

Es liegt dann im Ermessen des jeweiligen Landes wie dieses die Aufteilung der Zertifikate vornimmt. Grundsätzlich stellt das EU-ETS den Mitgliedsstaaten mehrere Methoden zur Verteilung zur Verfügung. Es ist vorgesehen die Berechtigungen über Auktionen an den Meistbietenden zu versteigern oder die gesamten Zertifikate zu einem Fixpreis den Teilnehmern anzubieten. Die Zertifikate sind aber bisher fast ausschließlich über das sogenannte ‚grandfathering‘ verteilt worden. Hier wird, über die historischen Emissionswerte des Unternehmens, ermittelt wie viele Zertifikate das Unternehmen bekommt. Es handelt sich hiermit um eine kostenlose Zuteilung der Zertifikate. Da dies die Methode ist, bei welcher der geringste Widerstand von der Industrie zu erwarten ist, wurde diese Methode von allen Mitgliedsstaaten angewendet. (Hack, 2011)

3.4.1.2 Handelsteilnehmer und Handelsmöglichkeiten

Da Quellen von CO₂ in vielen Bereichen unseres Lebens zu finden sind, musste man sich bei Einführung des EU-ETS auf definierte Gruppe von Schadstoffemittenten einigen. Es entstehen CO₂ Emissionen bei der Schwerindustrie sowie beim täglichen Gebrauch des PKWs. Das Ziel war, mit

möglichst kleinem bürokratischem Aufwand, den Großteil der Emittenten ins Handelssystem einzubinden. Die größten Emissionswerte sind bei Kraftwerken, die fossile Brennstoffe zu Energie und Wärme umwandeln, zu finden. Laut der EU-ETS Richtlinien sind Kraftwerke und Industriebranchen mit mehr als 20 MW Leistung zu erfassen. In dieser Gruppe findet man Raffinerien, Eisen- und Stahlerzeuger, Zementklinker, Glas- und Keramikindustrien und die Papierindustrie. Diese Gruppe ist verantwortlich für die Hälfte der EU-weiten CO₂ Emissionen und ca. 40 Prozent aller Treibhausgase der EU (Ellerman & Joskow, 2008). Neben diesen Industriebranchen mit hohem Energie bzw. Wärmeverbrauch ist auch die Berücksichtigung des Luftfahrtsektors vorgesehen. Die Einbindung ist aber bis auf weiteres auf die dritte Handelsphase aufgeschoben. (Hack, 2011)

All diese Unternehmen sind zum Handel mit Emissionszertifikaten befugt. Um eine höhere Marktliquidität bekommen und Interessen außerhalb der Industrie mit einzubeziehen, können auch Investoren, Rohstoffhändler oder Umweltorganisationen am Handel teilnehmen. Mit dieser Option gibt man auch Nicht-Emittenten die Möglichkeit ihre Interessen einzubringen. Somit haben Organisationen die Umweltinteressen und das Gemeinwohl verfolgen, die Möglichkeit mit dem Ankauf von Zertifikaten den Preis für Zertifikate zu beeinflussen. (Hack, 2011)

Für den Handel selbst ist im EU-ETS keine spezielle Marktform vorgesehen. Die Organisation des Handels wird nicht von staatlicher Seite vorgenommen. Den Unternehmen ist es selbst überlassen eine effiziente Form des Handels zu wählen. Um die Transaktionskosten niedrig zu halten und von vorhandenen Strukturen zu profitieren werden oft bestehende Rohstoffbörsen für den Handel genutzt. Die wichtigsten Handelsplätze in Europa sind

- NordPool, Oslo
- European Energy Exchange (EEX), Leipzig
- European Climate Exchange, Amsterdam
- PowerNext, Paris
- Energy Exchange Austria (EXAA), Wien

Neben den bewährten Handelsplätzen können die Marktteilnehmer auch OTC ‚over-the-counter‘ Geschäfte abwickeln. Das Geschäft selbst kann im klassischen Sinn ein Kassageschäft darstellen aber es können auch Termingeschäfte umgesetzt werden. Wie bei anderen Wertpapieren ist so eine Absicherung gegenüber Preisschwankungen möglich. (Hack, 2011)

Handlungsmöglichkeiten außerhalb des Systems

Einerseits ist das EU-ETS ein geschlossenes System andererseits sind die vom Kyoto Protokoll vorgesehenen CDM und JI Kooperationen möglich. Jedoch sind gewisse Einschränkungen vorgenommen worden. CO₂ Reduktionen die aus Atomkraft oder Kohlenstoffsensoren resultieren, sind nicht akzeptiert. Im Kyoto Protokoll ist keine spezielle Einschränkung auf ‚Certified Emission

Reductions‘ (CERs) und ‚Emission Reduction Units‘ (ERUs), welche aus CDM und JI Kooperationen entstehen, vorgesehen. Es heißt lediglich, dass ein wesentlicher Teil des Reduktionsziels im eigenen Land zu leisten ist. Für das EU-ETS sind genaue Obergrenzen für die Verwendung von CERs und ERUs gesetzt, diese sind jedoch in den einzelnen nationalen Allokationsplänen (NAP) festgelegt und variieren von Staat zu Staat. (Ellerman & Joskow, 2008)

3.4.1.3 Überwachung und Kontrolle

Die Überwachung der Handelsteilnehmer ist ein wesentlicher Teil des Systems. Ohne Kontrolle würde es kein Vertrauen in das System geben und es würde somit nicht akzeptiert. Alle Transaktionen der Handelsteilnehmer sind über ein Informationssystem absolut transparent und für jeden einzusehen. Es existieren nationale elektronische Handelsregister welche jede Besitzänderung der Zertifikate mit protokolliert. Als zweite Informationsquelle über die Transaktionen ist das CITL (Community Independent Transaction Log) zu nennen. Bei diesem Protokoll werden auf EU Ebene alle Handelsvorgänge registriert. Falls Unregelmäßigkeiten im Handel auftreten, wird dies den nationalen Behörden mitgeteilt. Abgesehen von den Handelsteilnehmern, welche vom EU-ETS erfasst sind, werden andere Akteure wie Investoren oder Broker nicht überwacht und unterliegen nur den nationalen Börsenaufsichtsbehörden. Im Falle einer nicht ausreichenden Ausstattung von Emissionszertifikaten, sind neben dem Nachkauf von Zertifikaten auch Strafzahlungen und Veröffentlichungen vorgesehen. (Hack, 2011)

Wenn man dieses System mit dem amerikanischen SO₂ ‚cap-and-trade‘ System vergleicht sieht man, dass hier eine weitere Ebene existiert. Beim SO₂ System arbeiten die Unternehmen direkt mit der Bundesbehörde EPA ‚Environmental Protection Agency‘ zusammen, wobei beim EU-ETS alles über die nationalen Behörden läuft. Aufgrund der unterschiedlichen Struktur der zwei Staatenbünde, ergibt sich bei der EU, mit ihren starken nationalen Regierungen, eine dezentralere Aufteilung. (Ellerman & Joskow, 2008)

3.4.2 Pilotphase 2005 – 2007

3.4.2.1 Einführung

In der ersten Handelsphase befanden sich die Vertragspartner vor dem Kyoto Verpflichtungszeitraum, der 2008 startete. Die Idee das EU-ETS schon vorzeitig einzuführen, war gedacht um die Infrastruktur für ein solches multinationales Handelssystem einrichten zu können. Von den neuen Handelsmöglichkeiten bzw. Handelsplätzen bis hin zur Datenerhebung in den nationalen Einrichtungen gab es keine wirklichen Erfahrungen, somit war all dies mehr oder weniger Neuland. Die erste Handelsperiode von 2005 bis 2007 sollte hierfür eine Probephase sein, bevor sich die Teilnehmer den Kyoto Reduktionszielen stellen.

In der EU gab es vor Einführung des EU-ETS praktisch keine Erfahrungswerte im Zusammenhang mit marktbasierter Instrumente in der Umweltpolitik. Erst im Juli 2003 wurde mit dem ‚Emissions Trading Directive‘ eine EU Behörde mit den rechtlichen Möglichkeiten ausgestattet um das EU-ETS einzuführen. Diese Behörde musste anschließend auf nationaler Ebene legitimiert werden. Die Frist zum Einreichen der einzelnen nationalen Allokationspläne (NAP) war mit Ende März 2004 festgelegt. Da aber die EU mit Mai 2004 10 neue osteuropäische Staaten in den Staatenbund aufnahm, musste der Zeitplan neu überarbeitet werden. Obwohl die Pilotphase mit 1. Jänner 2005 startete dauerte es bis Mitte 2005 bis der letzte NAP von Griechenland durch die EU abgesegnet worden ist. Mit den nationalen Handelsregistern verhielt es sich ähnlich. Mit Start des Handelssystems war Dänemark das einzige Land welches sein nationales Register implementiert hatte. Es sollte weitere eineinhalb Jahre dauern bis alle weiteren Register einsehbar waren. Trotz dieser Verzögerungen ist es bemerkenswert, dass in diesem kurzen Zeitraum all dies umgesetzt werden konnte. Um einen Vergleich zu haben, beim vorher beschriebenen amerikanischen SO₂ ‚cap-and-trade‘ System dauerte es sieben Jahre bis es starten konnte. (Ellerman & Joskow, 2008)

3.4.2.2 Performance

Nach Einführung aller Rahmenbedingungen und nachdem alle Zertifikate zugeteilt worden waren, hatte natürlich der Preis die volle Aufmerksamkeit. Die Frage war, ob es gelungen ist eine Umgebung zu schaffen wo sich ein Preis für die Zertifikate einstellt, welcher wirtschaftlich tragbar ist und gleichzeitig einen Anreiz zur Emissionsreduktion gibt.

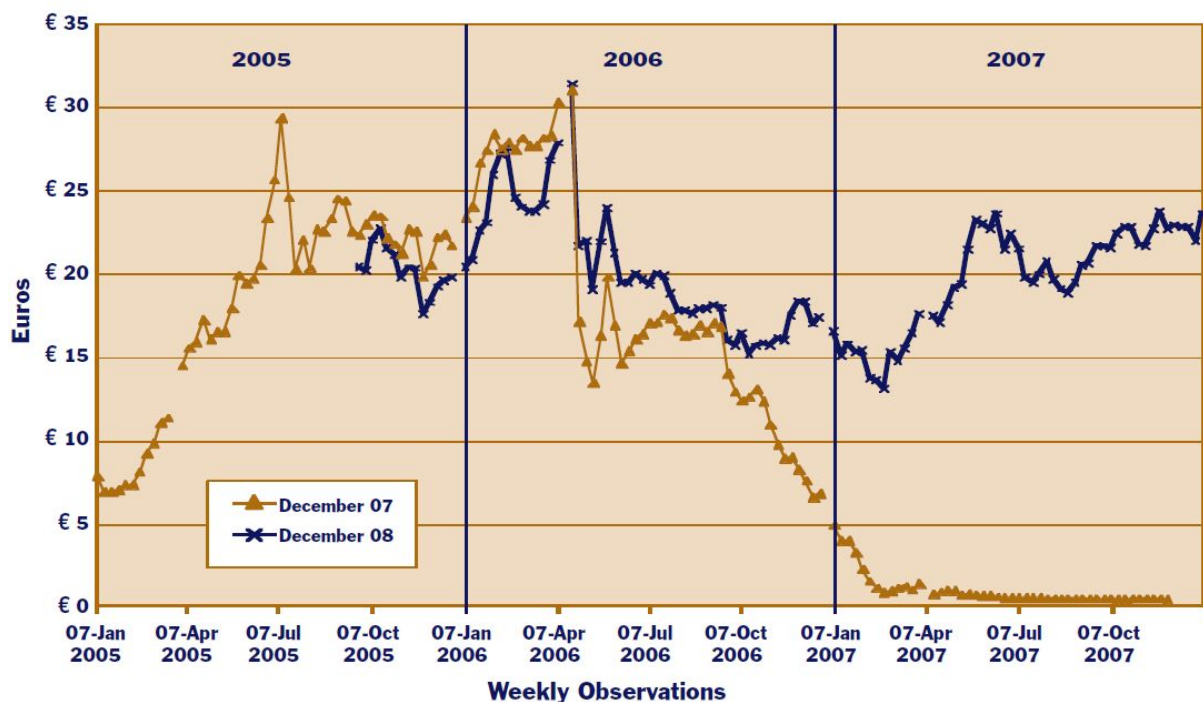


Abbildung 3.5 Preisentwicklung der EUA in der Pilotphase

Quelle: (Ellerman & Joskow, 2008)

In Abbildung 3.5 sehen wir die Preisentwicklung in der Pilotphase. Die zwei unterschiedlichen Preiskurven sind, einmal Zertifikate welche im Dezember 2007 einzulösen waren und welche die für Dezember 2008 bestimmt waren. Schon nach Einführung der 2008 EUAs im September 2005 entstanden zwei unterschiedliche Preise, besonders deutlich wurde dies ab September 2006 als die 2007 EUAs ihren Abwärtstrend begannen. Wie schon erwähnt gab es zwischen der Pilotphase und der anschließenden Handelsphase 2008 bis 2012 keine Möglichkeit des ‚banking‘ oder ‚borrowing‘. Aus diesem Grund ging der Preis der 2007 EUAs gegen Ende der Pilotphase gegen Null. (Ellerman & Joskow, 2008)

Ein sehr auffälliger Preisverfall geschah im April 2006. In nur einer Woche verloren die EUAs 33 bzw. 50 Prozent ihres Werts. Dies geschah nachdem einige Mitgliedsstaaten ihre tatsächlichen Emissionswerte veröffentlichten, welche signifikant unterhalb der erwarteten Werte lagen. Das Problem war nicht der Gesamtemissionswert, der bei einem ‚cap-and-trade‘ System von vornherein bekannt ist, sondern die tatsächliche Nachfrage nach EUAs. Die sprunghafte Preisanpassung nach ersten Veröffentlichungen der Emissionswerte haben wir auch im amerikanischen SO₂ Handelssystem gesehen. Nachdem den Unternehmen Informationen über die Nachfrage vorlagen, stellte sich ein stabilerer Preisverlauf ein. (Ellerman & Joskow, 2008)

Im Allgemeinen wurde vor Einführung des Handelssystems kein so hoher Preis für EUAs erwartet. Analysten gingen von einem Preis zwischen €8 und €12 aus. Wie in Abbildung 3.5 zu sehen ist der Preis jedoch schon nach fünf Monaten auf über €20 gestiegen. Dies wird oft mit einem langen Winter 2005 und einem trockenen Sommer in Südeuropa in Zusammenhang gebracht.

Eine weitere Erklärung für den frühen Anstieg im Preis der EUAs und dem späteren raschen Abfall ist auch in einem institutionellen Ungleichgewicht im System zu finden. Viele der EU-15 Staaten haben im Zuge der nationalen Allokation der Zertifikate den Energiesektor mit weniger Zertifikaten ausgestattet als die sonstige Industrie. Dies geschah aus der Überlegung heraus, dass der Energiesektor die Möglichkeit hat zwischen Kohle- und Gasverbrennung zu wechseln. Aus diesem Grunde würde es dem Energiesektor leichter fallen Emissionen einzusparen. Zusätzlich hat der Energiesektor auch keine Konkurrenz außerhalb der EU zu befürchten. Im Großen und Ganzen wurde hier versucht die Industrie und somit den Export zu schützen. Als Folge dieses Ungleichgewichts entstand eine starke Nachfrage und aktive Handelstätigkeit von Seiten des Energiesektors. Die restliche Industrie, welche überschüssige Zertifikate gehabt hätte, ist aber sehr passiv am Markt aufgetreten. Viele haben vorerst abgewartet oder sind schlicht zu klein gewesen um sich diesem Thema von Anfang an zu widmen. All dies hatte den Preis der EUAs in die Höhe getrieben. Als aber dann die Berichte über die tatsächlichen Emissionen veröffentlicht wurden, wendete sich das Blatt. Viele Industrieunternehmen versuchten ihre überflüssigen Zertifikate abzustoßen und zusätzliche Einnahmen zu generieren. Der Preis war zwar schon um vieles niedriger als zu Beginn der Pilotphase, aber die EUAs der Pilotphase würden am Ende der Handelsperiode ohnehin nichts mehr wert sein. (Ellerman & Joskow, 2008)

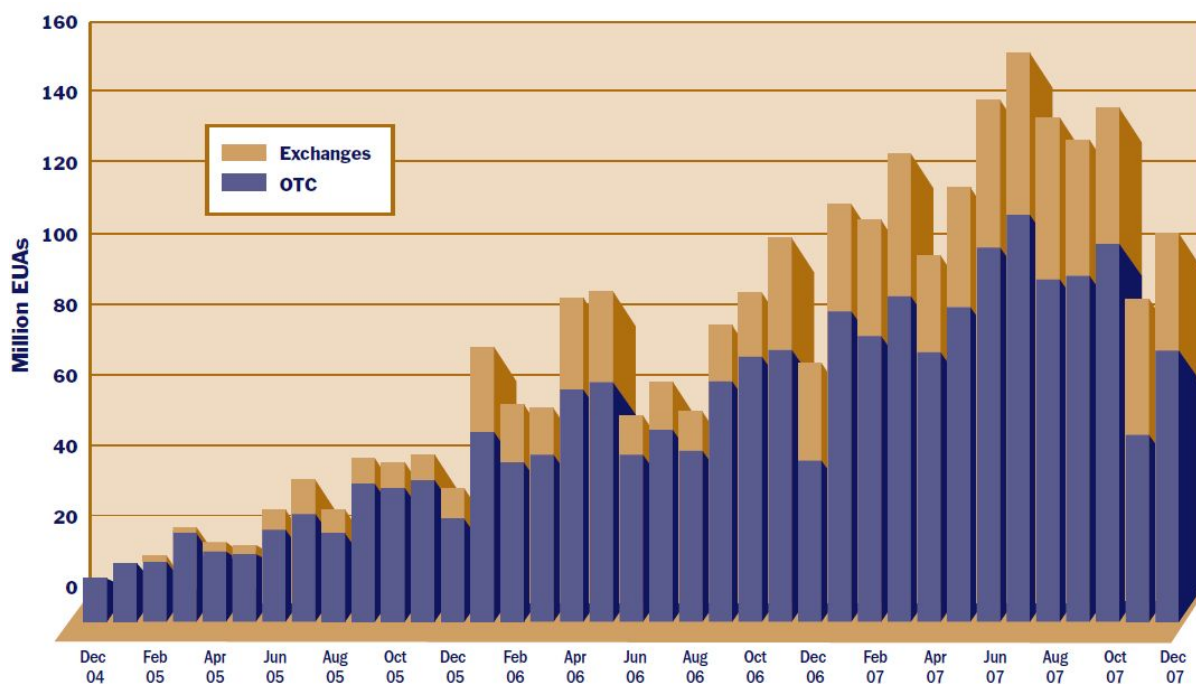


Abbildung 3.6 Handelsvolumen in der Pilotphase

Quelle: (Ellerman & Joskow, 2008)

Wenn man das Handelsaufkommen in Abbildung 3.6 betrachtet, sieht man, dass die Handelstätigkeit in der Pilotphase konstant gewachsen ist. Nach Einführung des EU-ETS sind nur etwas 10 Millionen EUA Handelsgeschäfte pro Monat zu verzeichnen gewesen, aber schon zur Mitte der Handelsperiode stieg dieser Wert auf über 100 Millionen pro Monat. Ein interessanter Aspekt ist auch, dass sich der Börsenhandel der Zertifikate relativ schnell behauptete. Wo am Anfang nur OTC Geschäfte zu verzeichnen waren, sind am Ende der Handelsperiode etwa ein Drittel der EUAs über Börsen gehandelt worden. Nachdem sich die Nordpool in Oslo relativ schnell etablierte, sind zusätzlich die Handelsplätze Leipzig, London, Paris und Wien hinzugekommen. Im Vergleich dazu waren beim SO₂ Handelssystem in den USA praktisch alle Geschäfte OTC Handelsgeschäfte. (Ellerman & Joskow, 2008)

Wie schon erwähnt gab es ein Ungleichgewicht zwischen den Industriebranchen im Bezug auf die Ausstattung mit EUAs. Es ist jedoch auch auf Ebene der Mitgliedsstaaten eine heterogene Verteilung zustande gekommen. Betrachten wir die ‚Short‘ und ‚Long‘ Positionen (Käufer und Verkäufer) der einzelnen Staaten in Abbildung 3.7 so sehen wir, dass dies keineswegs ausgeglichen war. Mit dunklerer Farbe hinterlegt sehen wir auch die ‚Net Short‘ oder ‚Net Long‘ Positionen. Es fällt hier Großbritannien mit der ‚Net Long‘ Position von über 40 Millionen EUAs auf. Diese große Nachfrage konnte nur von Polen, Frankreich, Deutschland und Tschechien kompensiert werden. Zusammen hatten sie 64 Prozent der ‚Net Long‘ Positionen inne. Diese starken ‚Short‘ oder ‚Long‘ Positionen

wie wir sie am oberen und unteren Teil der Abbildung 3.7 sehen, entstand durch die unterschiedliche Zuteilung der EUAs an die Mitgliedsstaaten und die dezentralen NAPs. (Ellerman & Joskow, 2008)

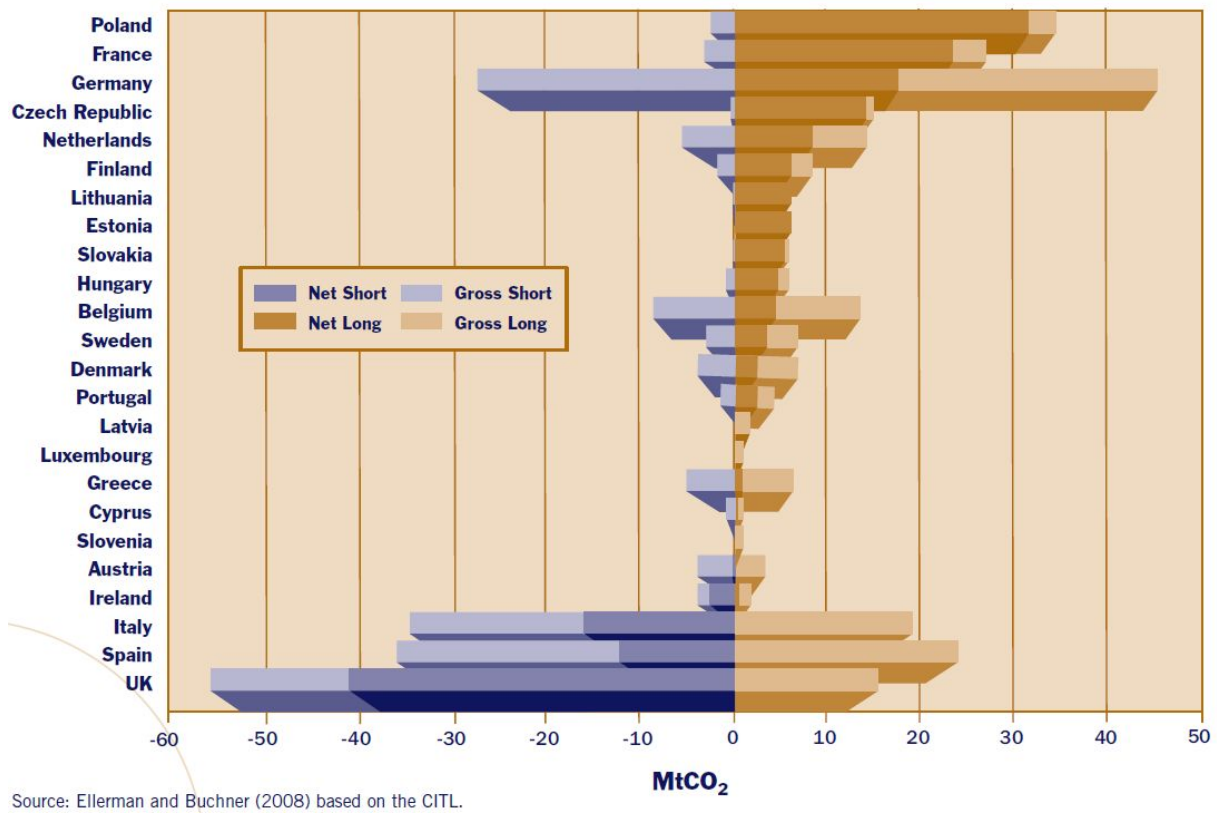


Abbildung 3.7 Verteilung der ‚Long‘ und ‚Short‘ Positionen der Mitgliedsländer

Quelle: (Ellerman & Joskow, 2008)

Die gleiche Gegenüberstellung können wir uns in Abbildung 3.8 anhand der Industriebranchen ansehen. Es wird ersichtlich, dass praktisch die ganze Nachfrage nach EUAs aus dem Energiesektor kam. Diese starke Unterallokation des Energiesektors wurde von vielen Mitgliedsstaaten bewusst in Kauf genommen um die anderen Branchen zu schützen.

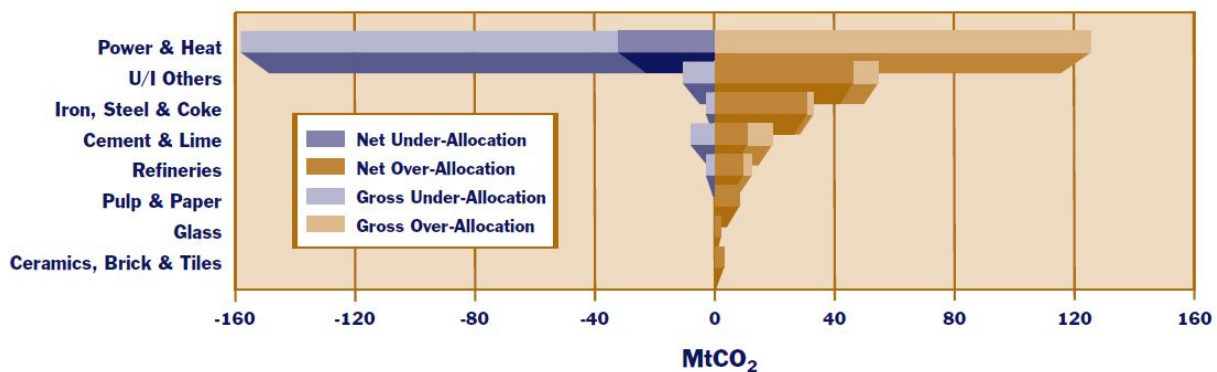


Abbildung 3.8 Verteilung der ‚Long‘ und ‚Short‘ Positionen nach Sektoren

Quelle: (Ellerman & Joskow, 2008)

3.4.3 Handelsperiode 2008 – 2012

Mit 1. Jänner 2008 startete die zweite Handelsperiode welche die verbindlichen Emissionsreduktionen vom Kyoto Protokoll einbezieht. Die Pilotphase war abgeschlossen und da kein ‚banking‘ oder ‚borrowing‘ gegenüber der zweiten Handelsperiode möglich war, war der 1. Jänner 2008 im Bezug auf das Gesamtemissionsziel ein klarer Neubeginn. Positiv war, dass die EUAs für Ende 2008 schon in der Pilotphase gehandelt wurden und sich schon ein Preis einstellen konnte. (FutureCamp Climate GmbH, 2010)

3.4.3.1 Auswirkungen der Wirtschaftskrise

Die zweite Handelsperiode war ab dem Jahr 2009 stark von der Finanz- und Wirtschaftskrise geprägt. Durch die schwache Konjunktur gab es einen europaweiten Überschuss an EUAs. Besonderes in den Branchen die stark von der konjunkturellen Entwicklung betroffen waren, gab es auf Grund von Produktionsrückgängen große Überschüsse an EUAs.

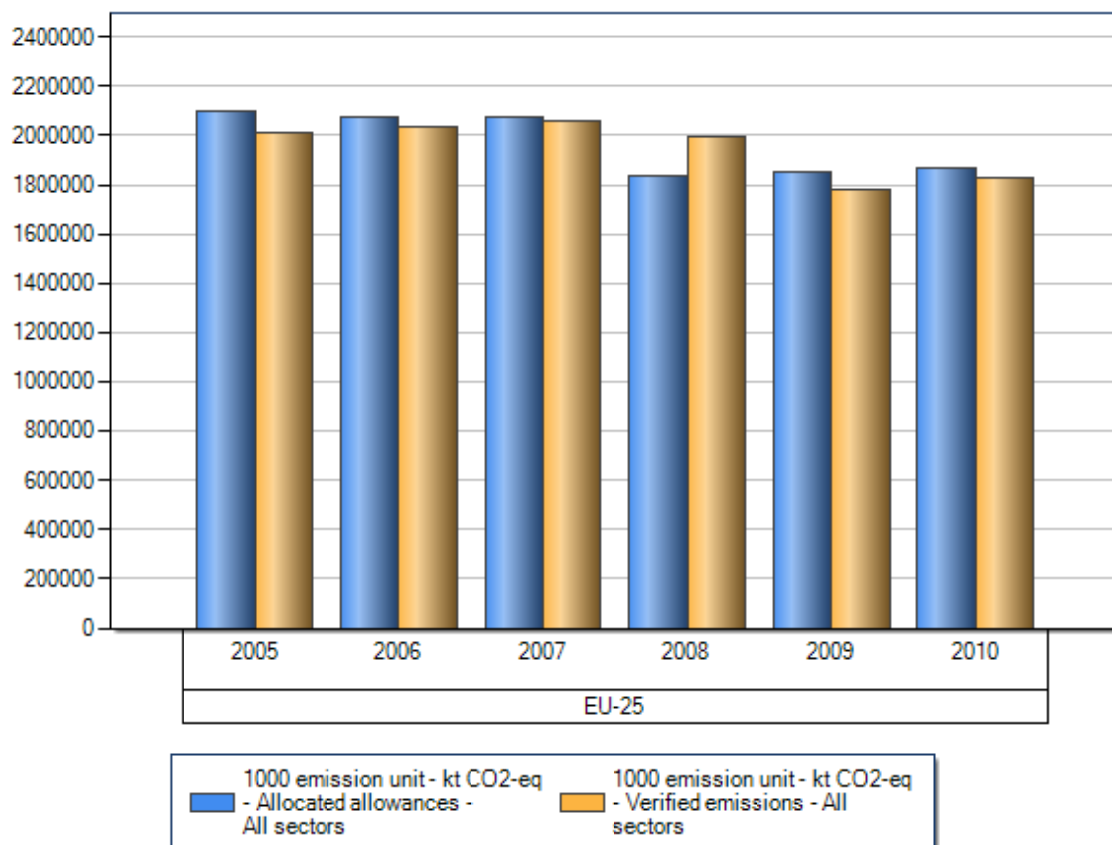


Abbildung 3.9 EUAs und Emissionen, alle Sektoren

Quelle: (European Environment Agency, 2011)

Wie in Abbildung 3.9 zu sehen gab es 2009 einen starken Rückgang der Gesamtemissionen und damit fiel dieser Wert unter die Gesamtanzahl ausgeteilter EUAs. Trotz dieses Produktionsrückgangs und des damit verbundenen reduzierten Energieverbrauchs, gab es im Energiesektor weiterhin Nachfrage nach EUAs. (siehe Abbildung 3.10) Dies bestätigt ein weiteres Mal die ungleiche Verteilung der EUAs der Mitgliedsstaaten.

Da nun die Anlagenbetreiber durch die Wirtschaftskrise einen Überschuss an Zertifikaten vorwiesen, stand natürlich die Angst eines Preisverfalls im Raum. Was dem positiv entgegenwirkte war die ‚banking‘ Möglichkeit. Somit werden wir vermutlich keinen zu starken Preisverfall zu Ende dieser Handelsperiode erfahren. (FutureCamp Climate GmbH, 2010)

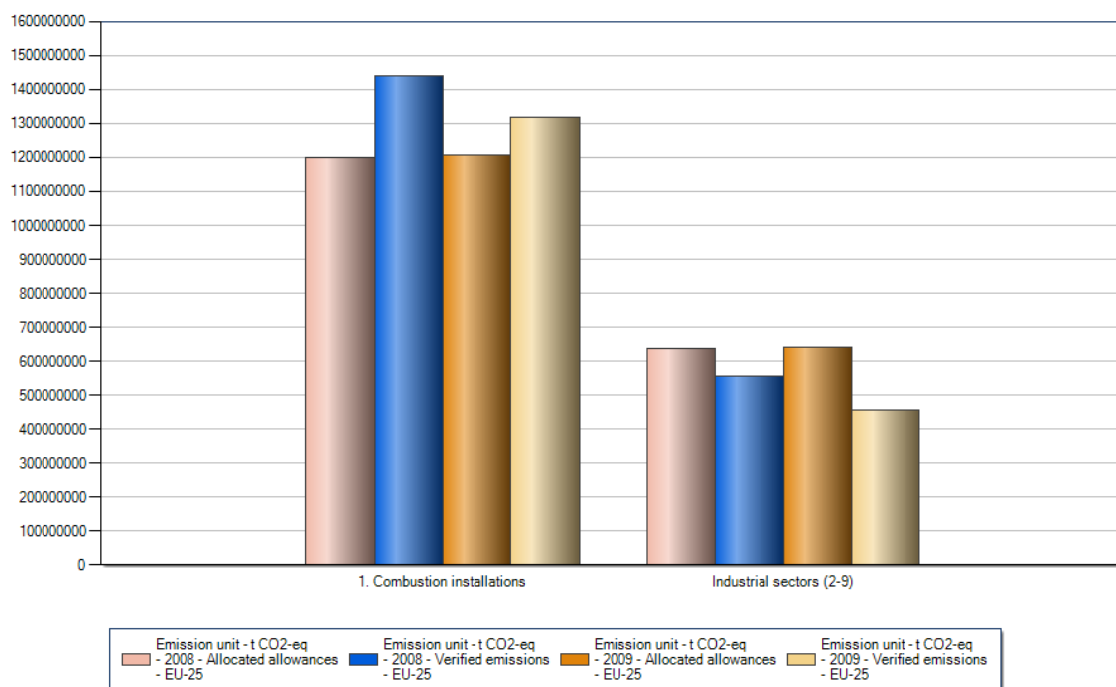


Abbildung 3.10 EUAs vs. Emissionen, Energie vs. Industrie, 2008 - 2009

Quelle: (European Environment Agency, 2011)

3.4.3.2 Preisentwicklung

Anhand der Preisentwicklung der EUAs (siehe Abbildung 3.11) kann man den Wirtschaftseinbruch 2008 sehr genau erkennen. Im Zeitraum von Mitte 2008 bis Ende 2008 sehen wir einen Preisverfall von EUA 2009 und EUA 2011 von über 50 Prozent. Es handelt sich um einen ähnlich dramatischen

Preiseinbruch wie in der Pilotphase als die tatsächliche Nachfrage nach EUAs erkennbar wurde. Es war wiederum ein starkes Nachlassen der Nachfrage, aber nicht aufgrund unsicherer Informationen, sondern weil es tatsächlich Produktionsrückgänge gab. Im Jahr 2009 pendelte sich ein Preis von etwa €15 für EUAs ein. Es ist fraglich ob dieser Preis ausreicht um einen Anreiz zu schaffen, damit die Unternehmen in umweltfreundliche Technologien investieren.

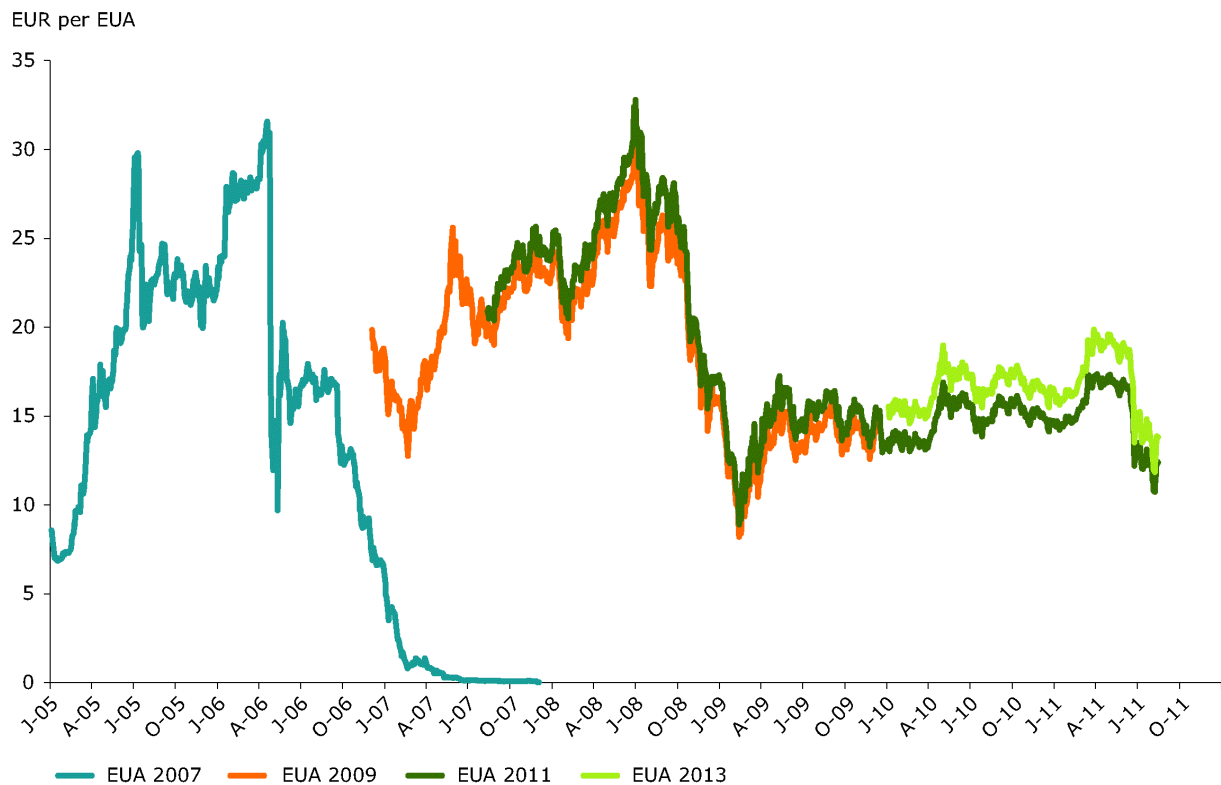


Abbildung 3.11 EUA Preisentwicklung 2005 - 2011

Quelle: (European Environment Agency, 2011)

Es ist in Abbildung 3.11 ein interessanter Unterschied zwischen den EUA 2007 und EUA 2009 erkennbar. Wie schon beschrieben wurde die ‚banking‘ Möglichkeit eingeführt (auch über Handelsperioden hinweg), somit gibt es zu Ablauf der EUAs keinen Preisverfall mehr da sie einfach in die Folgejahre mitgenommen werden können.

3.4.4 Handelsperiode 2013 – 2020

In der dritten Handelsperiode wird es eine EU-weite Emissionsobergrenze geben, welche linear abgesenkt werden soll. Es soll den Mitgliedsstaaten der Spielraum in der Allokation der EUAs genommen werden. Einheitliche Zuteilungsregeln sowie die Allokation selbst soll besser geregelt werden. Die Emissionsberechtigungen sollen zum größten Teil versteigert werden. Im Weiteren sollen neben dem Flugverkehr auch weitere Anlagen in das EU-ETS aufgenommen werden. Zusätzlich sollen die bis heute skeptisch betrachtete CO₂ Speicherung erprobt werden. Mit Ende der dritten

Handelsperiode 2020 soll das Emissionsziel, einer Reduktion der Gesamtemission um 20 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990, erreicht werden. (FutureCamp Climate GmbH, 2010) (European Environment Agency, 2011)

3.4.4.1 Flugverkehr

Der Flugverkehr ist für 3 Prozent der EU-weiten Emissionen von Treibhausgasen verantwortlich und ein weiteres Wachstum ist zu erwarten. Beim Großteil der Flüge handelt es sich um internationale Flüge zwischen zwei Mitgliedsstaaten oder einem Mitgliedsstaat und einem Nicht EU Land. Die EU plant alle in der EU startenden oder landenden Flüge ins EU-ETS aufzunehmen. Es ist mit zusätzlichen 200 Millionen EUAs zu rechnen. 82 Prozent dieser EUAs werden frei vergeben und 15 Prozent über Auktionen versteigert. Die übrigen 3 Prozent werden für Neueinsteiger reserviert.

Dieser Plan, den Flugverkehr in die Verantwortung zu nehmen, stößt jedoch schon vor der Einführung auf heftige Kritik. Im Besonderen amerikanische und chinesische Airlines kritisieren in das EU-ETS miteinbezogen zu werden. Es befassen sich derzeit die Gerichte mit den Klagen der ‚Air Transport Association of America‘ und der ‚China Air Transport Association‘. Es wird sich zeigen ob der Druck der Fluggesellschaften ausreicht um sich weiterhin nicht beteiligen zu müssen. (Worldbank, 2011)

3.4.4.2 Emissionsziel 2020 und darüber hinaus

In der dritten Handelsperiode bis 2020 soll das Kyoto Ziel von 20 Prozent Emissionsreduktion erreicht werden. Die EU Kommission sieht hierfür eine lineare Reduktion von jährlich 1,74 Prozent vor. Auch darüber hinaus soll dieser jährliche Faktor beibehalten werden, aber spätestens 2025 überprüft werden. In Abbildung 3.12 ist zu sehen, dass mit diesem Reduktionsziel theoretisch eine Reduktion der CO₂ Emissionen von 71 Prozent (auf Basis von 2005) möglich wäre. Sollte sich die EU jedoch wie schon angekündigt zu dem 30 Prozent Reduktionsziel bis 2020 verpflichten, wird der Faktor entsprechend angepasst. Hierzu müssten aber Länder wie die USA, China und Indien in Sachen verpflichtender Reduktionsziele, Bewegung in den zu erwartenden Verhandlungen zeigen. (FutureCamp Climate GmbH, 2010)

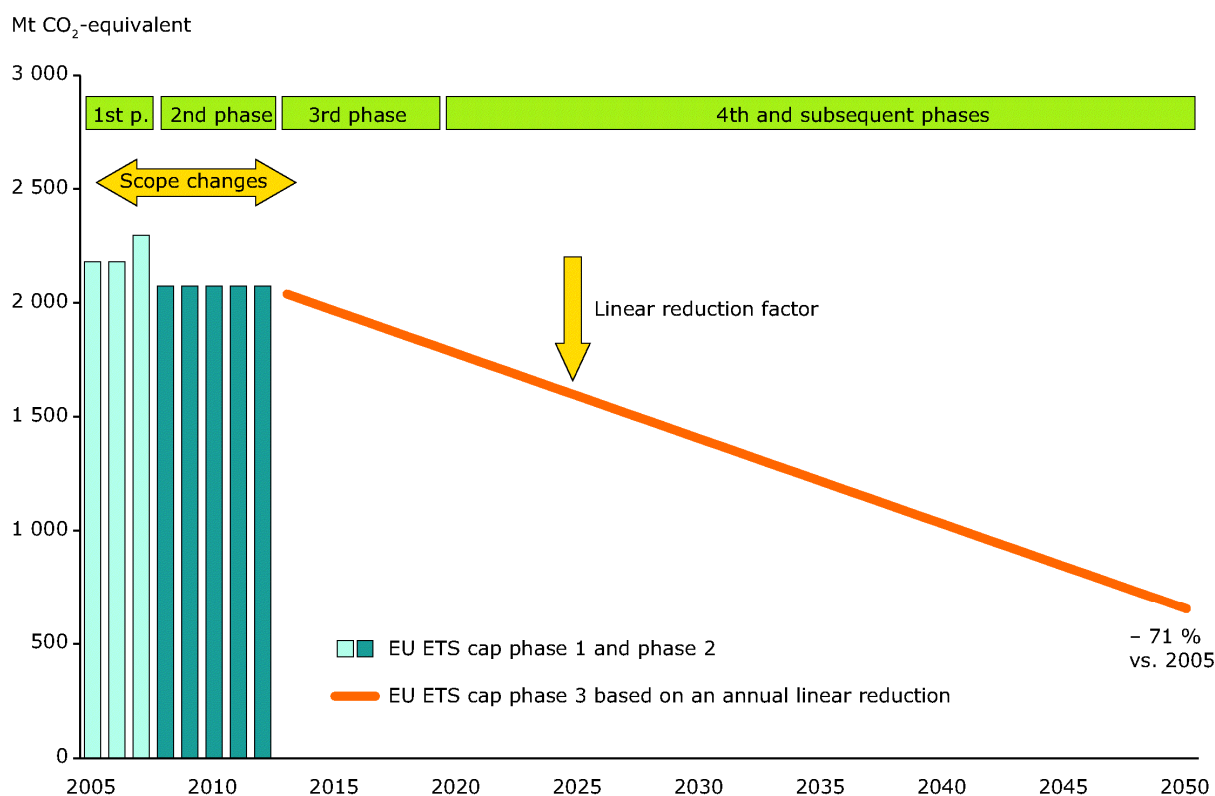


Abbildung 3.12 Geplante Entwicklung der EU-ETS ‚caps‘ bis 2050

Quelle: (European Environment Agency, 2011)

3.4.5 Ergebnisse

Das EU-ETS ist nachwievor weltweit das größte Emissionshandelssystem. Während sich auf globaler Ebene noch keine Einigung über den Handel mit Treibhausgasen finden konnte, hat es Europa geschafft in nur wenigen Jahren ein stabiles Handelssystem aufzubauen. Es gab zwar anfängliche Schwierigkeiten speziell in der Pilotphase, aber mit Beginn der zweiten Handelsphase kann man von einem stabilen System sprechen.

Bei den Anfangsschwierigkeiten muss man die Überallokation durch die NAPs ansprechen. Dieses Problem und auch die Ungleichverteilung innerhalb der Industriesektoren wird immer mehr bereinigt, weil konkretere Regeln von Seiten der EU Kommission ausgegeben werden. Auch die ‚gratis‘ Vergabe der EUAs durch die Mitgliedsstaaten, welche die EU immer kritisiert hat, wird sich mit der dritten Handelsperiode erledigt haben.

Die Pilotphase war mit Sicherheit eine sehr wichtige Zeit für das EU-ETS. Das ganze System ist zwar etwas überhastet 2005 eingeführt worden aber es hat von der Pilotphase 2005 bis 2007 unheimlich profitiert. So wurde der positive Effekt von ‚banking‘ und ‚borrowing‘ bestätigt. Es wird kritisiert, dass das EU-ETS 2005 mit zu wenig Planungszeit gestartet ist. Aber es stellt sich die Frage ob das

System nicht durch die Pilotphase mehr profitiert hat, als in den drei Jahren hätte geplant werden können. Im Endeffekt ist in dieser Zeit eine Infrastruktur entstanden auf die die zweite Handelsperiode aufbauen konnte. So überstand das EU-ETS auch die darauffolgende Wirtschaftskrise. Es stand nie zur Debatte das System wegen der Krise auszusetzen oder gar abzuschaffen. Im Gegenteil, die Unternehmen mit Produktionsrückgängen nutzten das System zur Liquiditätsbeschaffung. (FutureCamp Climate GmbH, 2010)

Im Allgemeinen kann das EU-ETS als Vorbild für ein zukünftiges globales System dienen. Wobei es hierfür große diplomatische Vorarbeit zu leisten gilt.

4 Simulation eines Emissionshandelssystems

In diesem Kapitel wird die Simulation eines Emissionshandelssystems mit Hilfe von agentenbasierter Programmierung gezeigt. Bei diesem Ansatz steht das Verhalten des Agenten als Handelsteilnehmer im Vordergrund. Es wird ‚bottom-up‘, vom Entscheidungsprozess des Agenten, das Marktgeschehen modelliert. Dieses Kapitel soll die Möglichkeiten und Limitation des agentenbasierten Ansatzes aufzeigen.

4.1 NetLogo - Agentenbasierte Programmierung

NetLogo ist eine Programmiersprache und eine Programmierumgebung zur agentenbasierter Modellierung und ist besonders geeignet zur Modellierung von natürlichen und sozialen Prozessen. Es können eine Vielzahl von Agenten mit bestimmten Anweisungen versehen werden, welche dann gleichzeitig ablaufen. So kann auf Mikroebene ein Verhalten von Agenten simuliert werden und die Auswirkung auf Makroebene analysiert werden. (Wilensky, 2004)

NetLogo ist eine eigenständige Programmierumgebung welche in Java implementiert wurde, somit kann es auf jeder Plattform ausgeführt werden. Entwickelt wurde es unter der Leitung von Uri Wilensky an der Northwestern University und ist als Freeware kostenlos zum Download freigegeben. Es wird eine umfangreiche Dokumentation sowie eine Bibliothek mit einer Vielzahl von Beispielmotellen angeboten. (Wilensky, 2004)

Die NetLogo Programmierumgebung besteht aus dem ‚Interface‘ und dem ‚Procedures‘ Tab. Unter Interface lässt sich sehr einfach ein Userinterface aufbauen. Es können aber auch hier schon die einzelnen Interface-Bausteine mit Code versehen werden. Die Logik des Modells wird jedoch in der gleichnamigen Programmiersprache unter dem Tab Procedures erstellt und kann nach jeder Änderung sogleich im Interface simuliert werden. Zur Ontologie in NetLogo, die einzelnen Agenten werden als ‚turtles‘ bezeichnet und bewegen sich auf einem Gitternetz aus ‚patches‘. Es gibt einen dritten Typ von Agenten, den ‚observer‘, dieser Agent gibt die Instruktionen an die Agenten weiter und stößt das Modell an. Es können auch verschiedene Gruppen von Agenten, sogenannte ‚breeds‘, erstellt werden. Jeder Agent kann mit einem Verhalten und spezifischen Variablen ausgestattet werden. (Wilensky, 2004)

4.2 Spezifikation

In der Spezifikation wird die Programmlogik der Simulation behandelt. Es wird erläutert wie die einzelnen visuellen Ausgaben im Interface zu verstehen sind und wie die dazugehörige Programmlogik aussieht.

4.2.1 Das Interface

Das Interface Tab ist die Anwendersicht der Simulation. Hier können die Voreinstellungen vorgenommen werden und die laufende Simulation beobachtet werden. In Abbildung 4.1 sieht man die Gesamtansicht des Interface. In diesem Abschnitt werden die einzelnen Einstellungsmöglichkeiten und Ausgabefelder beschrieben. Die Programmierlogik dahinter wird im anschließenden Kapitel erklärt.

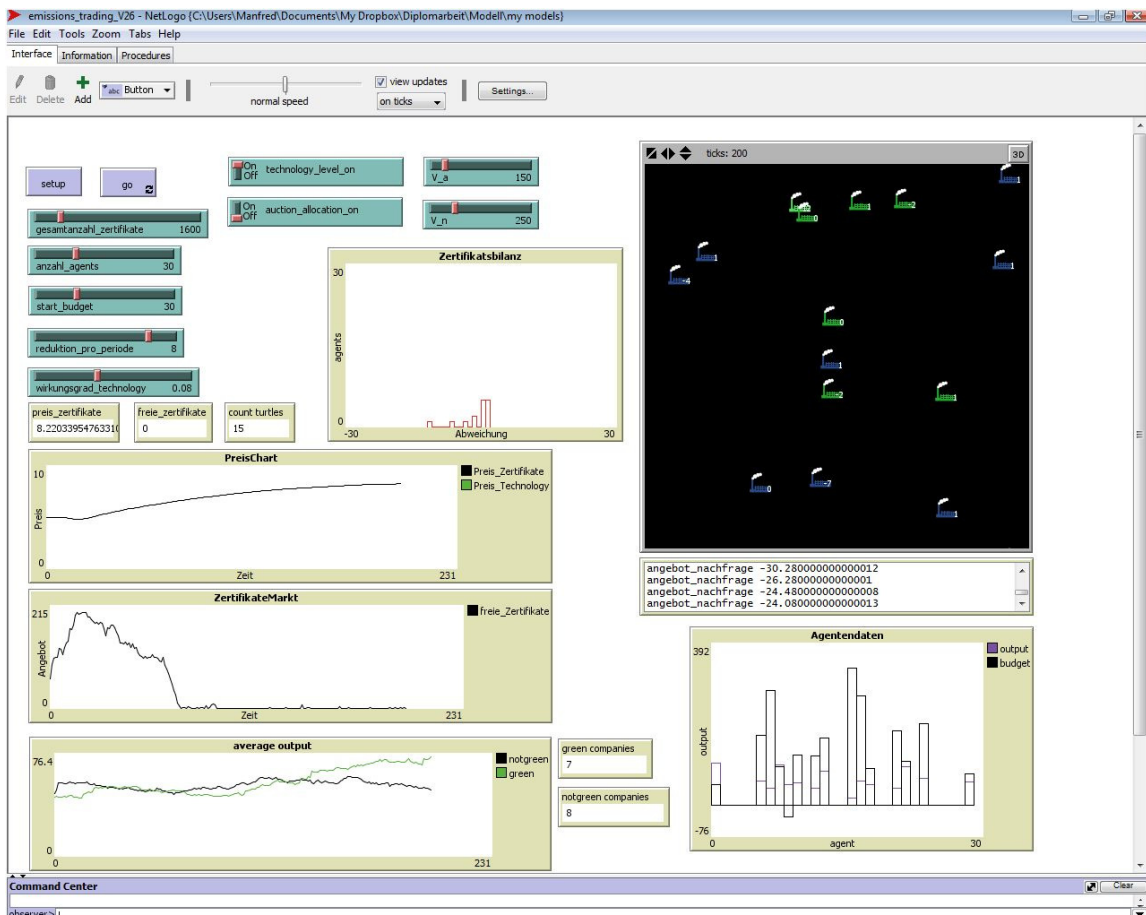


Abbildung 4.1 Ansicht im Interface

4.2.1.1 Setup und Go

Jede Simulation in NetLogo besitzt einen Setup und Go Button. Mit Aktivierung des Setup Button werden alle Einstellungen die man im Interface vorgenommen hat übernommen und im Initialisierungsprozess den internen Variablen zugewiesen. Zusätzlich werden alle globalen Variablen und alle agentenspezifischen Variablen zurückgesetzt. Die Plotts und die Output Area werden gelöscht.

Der Go Button ist dazu da um die Simulation auszulösen. Bei jedem Klick auf den Go Button wird ein Agentenzyklus durchgespielt. Alle Agenten arbeiten simultan ihre Logik ab. Ebenso wird jede weitere Logik die im Go Prozedere steht abgearbeitet. Anschließend werden alle Plotts, Output Area und World View aktualisiert. Um die Simulation zu beschleunigen kann der Go Button unter den Settings auf ‚Forever‘ gesetzt werden und läuft bis zum Ende der Simulation. Um nicht eine Endlosschleife zu produzieren wird ein Break Point nach X Ticks gesetzt.

4.2.1.2 Einstellungsmöglichkeiten

Es stehen dem User verschiedenste Einstellungsmöglichkeiten zur Verfügung, die er vor Beginn der Simulation einstellen muss. Es soll hier kurz auf die verschiedenen Möglichkeiten eingegangen werden. Die Erläuterung der programmiertechnischen Aspekte hinter den Einstellungen wird im Anschluss genauer behandelt.

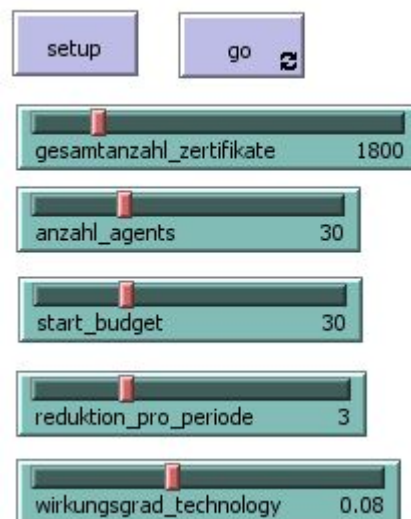


Abbildung 4.2 Voreinstellungen (1)

Als eine der ersten Entscheidungen die der Anwender treffen muss ist die Festlegung der Gesamtemissionsmenge. Mit dem Slider ‚gesamtanzahl_zertifikate‘ wird die Gesamtmenge an Zertifikaten für den Markt festgelegt. Anschließend kann eine beliebige Anzahl von Agenten mit dem Slider ‚anzahl_agents‘ initialisiert werden. Weiters ist zu entscheiden wie das Anfangsbudget der Agenten aussehen soll. Stellt man beim Slider ‚start_budget‘ einen hohen Wert ein kann sich der

Agent sogleich mit benötigten Zertifikaten am Markt versorgen. Wird das Budget gering gehalten kann es einige Runden dauern bis die Agenten mit Unterallokation auf ein ausgeglichenes Niveau kommen. Die Rolle des Gesetzgebers ist mit dem Slider ‚reduktion_pro_periode‘ zu simulieren. Um die Gesamtmenge an Zertifikaten über die Zeit zu reduzieren können beliebig viele Zertifikate pro Periode vom Markt genommen werden. Hierbei ist zu beachten, dass der Gesetzgeber nur Zertifikate zurücknehmen kann falls diese auch am Markt angeboten werden. Er verhält sich also selbst wie ein Agent der Zertifikate zukaft.



Abbildung 4.3 Voreinstellungen (2)

Es gibt auch die Möglichkeit einem Agenten die Option zu ermöglichen in ‚grüne‘ Technologien zu investieren und so seine Emissionswerte zu reduzieren, ohne Zertifikate zukaufen zu müssen. Es kann diese Option mit dem Switch ‚technology_level_on‘ aktiviert werden. Es kann auch der entsprechende Wirkungsgrad eines Technologiesprungs festgelegt werden. Mit dem Slider ‚wirkungsgrad_technology‘ wird die Effizienzsteigerung festgelegt. Die genaue Formel welche dem Wirkungsgrad zu Grunde liegt wird im folgenden Teil des Kapitels beschrieben.

Beim Initialisierungsprozess der Agenten hat man auch die Möglichkeit die Simulation mit zwei verschiedenen Allokationsmethoden zu beginnen. Wie im Theorieteil beschrieben handelt es sich hierbei um kostenlose Vergabe nach historischen Emissionswerten der Unternehmen oder die Vergabe über eine Auktion. Die Grundeinstellung der Simulation ist die ‚Grandfathering‘ Methode, die alle Agenten von vornherein mit Zertifikaten ausstattet. Hierbei ist zu beachten, dass die Agenten zu Beginn der Simulation zufällig unter- oder übersorgt werden. Dies wird ebenfalls im folgenden Teil der Arbeit genauer beschrieben. Will der Anwender jedoch die Auktionsmethode wählen, so ist dies über den Switch ‚auction_allocation_on‘ möglich. Hierbei werden die gesamten Zertifikate sofort am freien Markt angeboten.

In Abbildung 4.3 sieht man noch zwei weitere Einstellungsmöglichkeiten welche mit den zwei Slidern ‚V_a‘ und ‚V_b‘ dargestellt sind. Es handelt sich hierbei um Koeffizienten der Preisentwicklungsformel. Hier soll nur angemerkt werden das es sich hierbei um den Einfluss der Angebotsseite sowie der Nachfrageseite auf die Preisentwicklung darstellt. Wird ‚V_a‘ erhöht wird der Preis stärker vom Angebot beeinflusst, wird ‚V_b‘ erhöht spielt die Nachfrage eine größere Rolle. Das genauere Zusammenspiel wird unter dem Abschnitt Preisentwicklung beschrieben.

4.2.1.3 Model World

In jedem NetLogo Programm ist im World View das Zusammenspiel von turtles und patches zu sehen. Da in dieser Simulation nur eine Form von Agenten gewählt wurde, und diese mit verschiedenen Entscheidungsprozessen versehen wurden, ist die World View Ansicht nicht von großer Bedeutung. Somit wird die World View Ansicht als zusätzliche Visualisierung einiger Eigenschaften der Agenten verwendet. Jeder Agent wird mit einem Label versehen welches die Emissionen weniger die Anzahl der Zertifikate anzeigt. Man erhält einen Überblick wie stark die einzelnen Agenten mit Zertifikaten versorgt sind. Null ist eine ausgeglichene Bilanz und negative oder positive Werte stellen eine Unter- oder Überversorgung an Zertifikaten dar. Es wird auch das Technologielevel der Agenten ersichtlich wenn man die Farbe der Agenten betrachtet. Diese wechselt von dunkel Blau bis dunkel Grün und spiegeln so die Technologielevels von Null bis Neun wieder. Scheidet ein Agent vom Markt aus verschwindet er auch in der World View Ansicht.

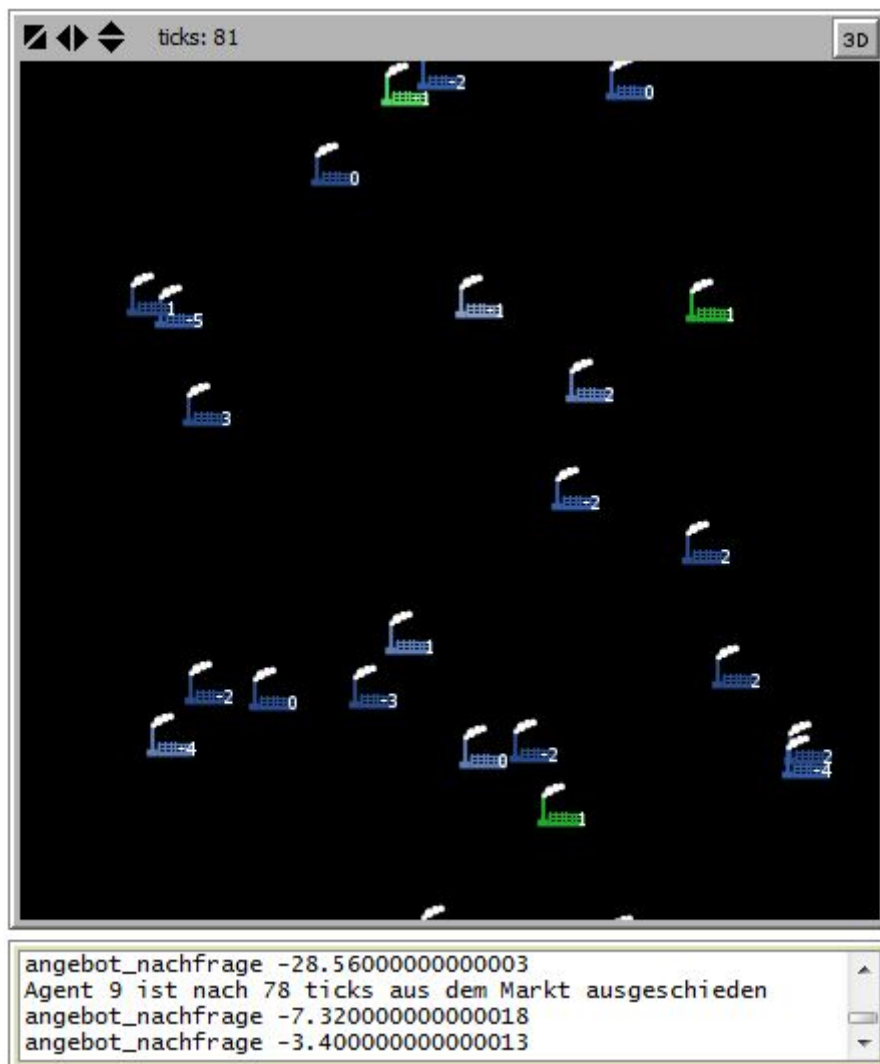


Abbildung 4.4 World View und Output Area

Unterhalb der World View Ansicht findet man die Output Area in der diverse Ausgaben während der Simulation angezeigt werden können. Hier wird zum Beispiel angezeigt wenn ein Agent vom Markt ausgeschieden ist. Es kann auch genutzt werden um dynamisch einzelne Variablen auszugeben. Dies ist sehr hilfreich bei der Einführung neuer Zusatzfunktionen in der Programmierlogik.

4.2.1.4 Agent Monitor

Um einen spezifischen Agenten genau zu verfolgen und die Variablen einzusehen kann man den Turtle Monitor verwenden. Mit einem Rechtsklick auf einen der Agenten im World View kann man unter dem Menüpunkt ‚inspect‘ die Eigenschaften des Agenten einsehen. Wie in Abbildung 4.5 zu sehen hat man mit dieser Ansicht einen Gesamtüberblick des Agenten. In unserem Beispiel betrachten wir Agent Nummer 16 welcher mit dem Label 1 versehen ist und eine hellblaue Farbe aufweist. Kontrollieret man die dahinterliegenden Variablen sieht man, dass der Agent 72 Zertifikate hält der Output aber 84 beträgt. Dies kommt zu Stande da es sich bei diesem Agenten um einen ‚grünen‘ Agenten handelt. Er hat in grüne Technologien investiert und ein Technologielevel von 2 erreicht. Mit entsprechendem Wirkungsgrad von 0,08 reduzieren sich die Emissionen auf einen Wert von 71,40.

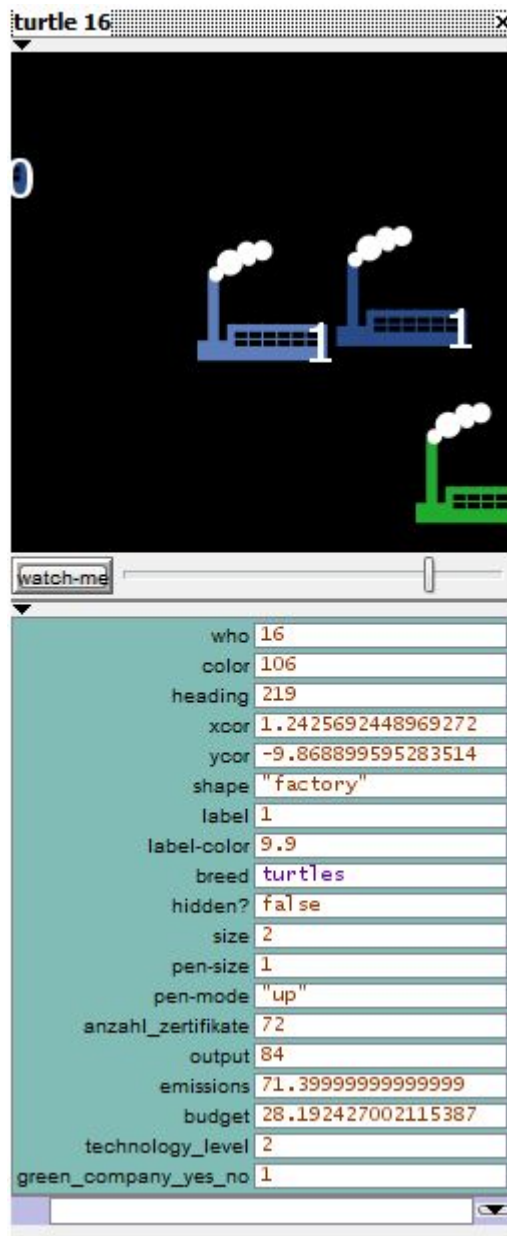


Abbildung 4.5 Turtle Monitor

Man kann nun die Simulation weiterlaufen lassen und die Veränderungen von Agenten 16 direkt im Agent Monitor verfolgen. Diese Möglichkeit ist sowohl für den Entwickler als auch den Anwender hilfreich.

4.2.1.5 *Plotts und Variable Monitor*

Weitere hilfreiche Tools zur Überwachung der Simulation stellen Variable Monitors und Plotts dar. Bei einem Variable Monitor handelt es sich, wie in Abbildung 4.6 gezeigt, um die dynamische Ansicht einer Variable der Programmierlogik. Nach jedem Tick werden diese neu ausgegeben und man sieht die Veränderungen zur Vorrunde. Es wird der Preis der Zertifikate ausgegeben sowie die Anzahl der freien Zertifikate am Markt. Zusätzlich sieht man wie viele Agenten noch am Marktgeschehen teilnehmen und wie viele dieser Agenten auf grüne Technologien setzen.



Abbildung 4.6 Variable Monitor

Die andere Möglichkeit das Simulationsgeschehen darzustellen ist mit Hilfe von Plotts. Es stehen dem Anwender sechs verschiedene Plotts im Anwenderinterface zur Verfügung.

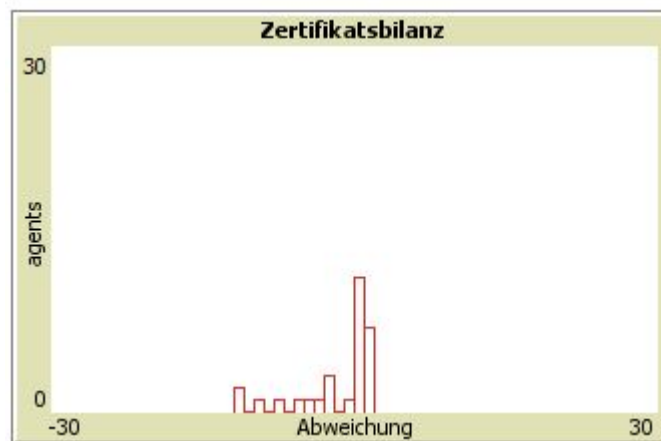


Abbildung 4.7 Zertifikatebilanz

Im Chart ‚Zertifikatebilanz‘ ist ein Histogramm dargestellt welches die Versorgung mit Zertifikaten darstellt. Anhand des Charts sieht man wie stark die einzelnen Agenten über- oder unterversorgt sind. In Abbildung 4.7 sieht man das etwa die Hälfte der Agenten genau die entsprechende Menge an Zertifikate haben, die sie berechtigt ihre Emissionsmenge auszustößen. Der rechte Balken zeigt eine Gruppe von Agenten an, die ein zusätzliches Zertifikat halten. Die kleineren Balken an der linken Seite zeigen diverse Agenten an, die unterschiedlich hoch unterversorgt sind.

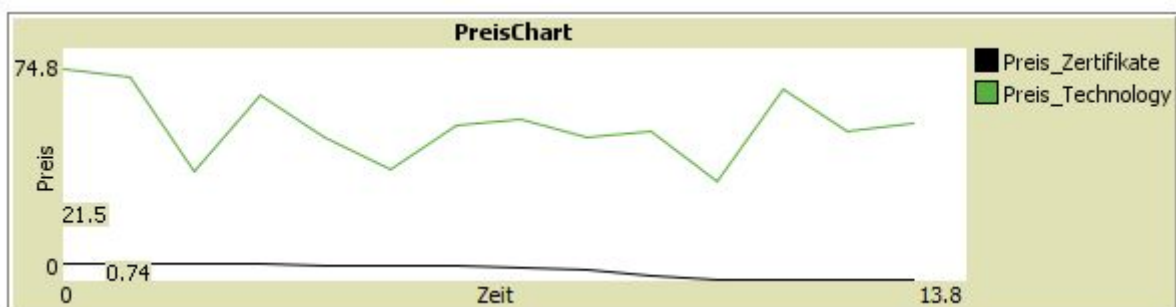


Abbildung 4.8 Preis Chart

Abbildung 4.8 zeigt die historische Preisentwicklung. Neben dem Preismonitor der nur den aktuellen Preis eines Zertifikats zeigt kann man hier die gesamte Entwicklung seit Beginn der Simulation betrachten. Es ist sowohl der Preis eines Zertifikats als auch der Preis für einen Technologiesprung aufgezeigt. Man kann den Preis für die Technologie auch deaktivieren um den Preis für Zertifikate genauer betrachten zu können.



Abbildung 4.9 Zertifikatemarkt

In Abbildung 4.9 sieht man die Entwicklung des Angebots an Zertifikaten. Es zeigt wie viele Zertifikate nach jedem Durchgang frei waren. Da die Anzahl der freien Zertifikate bei der Preisentwicklung eine Rolle spielen ist es notwendig einen Überblick über die Angebotsseite zu bewahren.

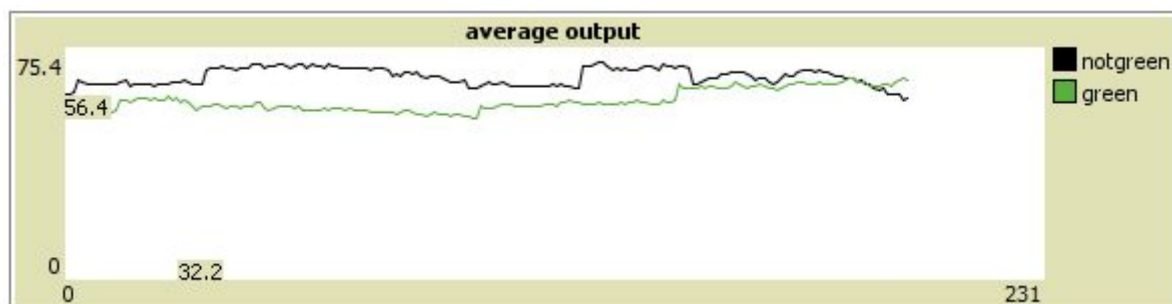


Abbildung 4.10 Average Output

Im Chart ‚average output‘ (Abbildung 4.10) ist die durchschnittliche Outputmenge der zwei Agententypen ersichtlich. Einerseits die Agenten, die kein Interesse haben in grüne Technologien zu investieren und andererseits ihre Opponenten, die genau dies tun. Um die zwei Gruppen zu vergleichen ist es interessant den durchschnittlichen Output zu betrachten. Je nach Einstellung des Wirkungsgrads haben die ‚grünen‘ Agenten Vorteile oder Nachteile. Dies kann sich aber je nach Entwicklung des Preises für Zertifikate und Technologiesprung verändern.

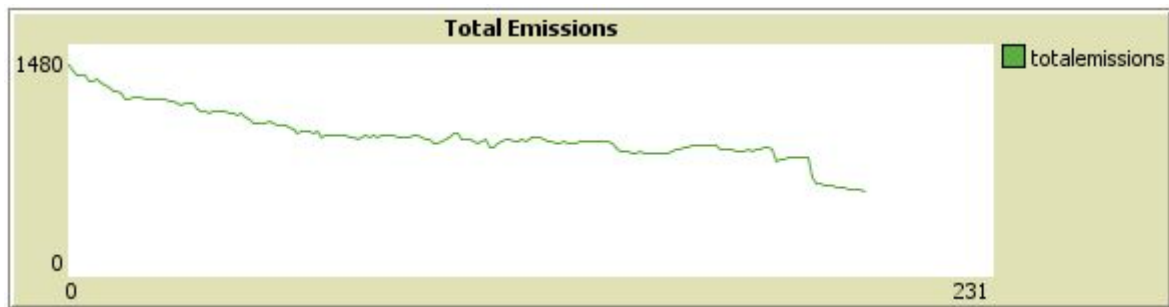


Abbildung 4.11 Total Emissions

Um zu sehen wie sich die Gesamtmenge an Zertifikaten während der Simulation verändert, muss man den Chart ‚Total Emissions‘ betrachten. Abbildung 4.11 zeigt die fallende Kurve der Gesamtemissionen. Es ist zu beachten das es nur zu einer Reduktion von Zertifikaten kommen kann, wenn man auch die Einstellung ‚reduktion_pro_periode‘ verwendet. Ist dieser Wert auf Null wird sich keine Reduktion der Emissionen einstellen.

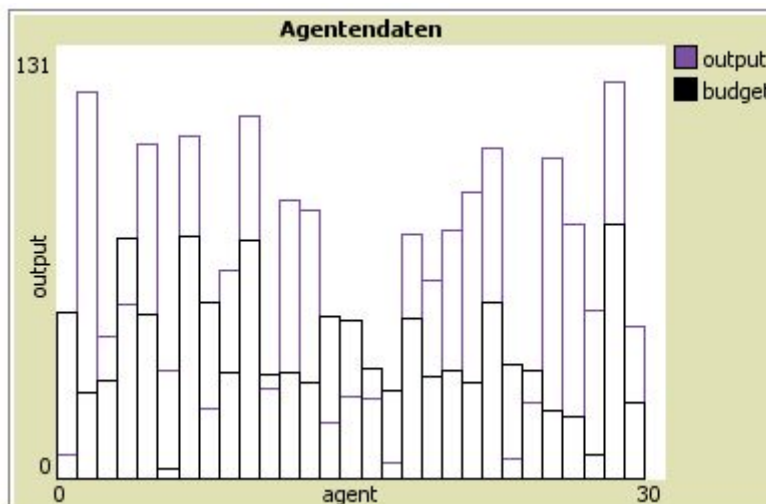


Abbildung 4.12 Agentendaten

Als letzter Chart ist die in Abbildung 4.12 gezeigte ‚Agentendaten‘ Ansicht zu nennen. Es sind hier für jeden Agenten zwei Balken aufgetragen. Einerseits der entsprechende Output andererseits das Budget das dem Agenten zur Verfügung steht. Scheidet ein Agent vom Markt aus, entsteht eine Lücke.

4.2.2 Initialisierungsprozess / Setup

Nach Auswahl der Voreinstellungen und Bestätigung durch den Setup Button werden die Variablen und Agenten initialisiert. Zu Beginn werden alle internen Variablen auf Null gesetzt und der Startpreis für Zertifikate und Technologiesprung festgelegt.

set preis_zertifikate 5

set preis_technology 10

4.2.2.1 Initialisierung der Agenten

Nachdem die globalen Variablen initialisiert wurden, werden in der Funktion ‚func_initial_turtles‘ die Agenten erzeugt und eingestellt.

create-turtles anzahl_agents

Die entsprechende Anzahl an Agenten wird vom Interface übernommen und sie werden zufällig auf dem World View Raster platziert.

Jeder Agent hat folgende Interne Variablen:

Agent
-anzahl_zertifikate : Integer
-output : Integer
-emissions : Integer
-budget : Integer
-technology_level : Integer
-green_company_yes_no : Integer

Der Output entspricht der wirtschaftlichen Tätigkeit des Agenten und je nach Output berechnen sich auch die Emissionswerte. Zu Beginn wird berechnet wie der durchschnittliche Output eines Agenten, entsprechend der Anzahl an Zertifikaten und Agenten, sein soll. Es wird dann jedem Agenten ein zufälliger Output, der zwischen 0 und dem doppelten Durchschnittsoutput liegt, zugewiesen.

set mean_output round (gesamtanzahl_zertifikate / anzahl_agents)

*set output random (mean_output * 2)*

Dabei wird nach jedem Agenten geprüft ob der Gesamtoutput aller Agenten nicht den Wert der Gesamtzertifikate übersteigt. Es wird so sichergestellt, dass der Gesamtoutput nicht über dem Wert der Gesamtzertifikate liegt. Der Gesamtoutput ist also nicht gleich dem Wert der Gesamtzertifikate. Der Gesamtoutput über alle Agenten kann maximal die Anzahl der Gesamtzertifikate erreichen oder darunter liegen.

set emissions output

Zu Beginn der Simulation wird der Wert für die Emissionen des Agenten gleich dem Output gesetzt. Jeder Agent, egal ob er in grüne Technologien investiert oder nicht, startet mit gleichem Technologielevel startet. Erst nachdem die erste Investition in einen Technologiesprung getätigt wurde gehen diese Werte auseinander.

Eine zusätzliche Variable die gesetzt werden muss ist das Startbudget. Hier wird der entsprechende Wert des Interfaces übernommen. Die Ausnahme ist, wenn sich der Allokationsprozess auf Auktionsmethode befindet. (siehe 4.2.2.2)

```
set budget start_budget
```

Zuletzt wird noch festgelegt ob der Agent grundsätzlich in grüne Technologien investiert oder ob er ausschließlich Zertifikate vom Markt nachfragt. Dies ist natürlich nur der Fall wenn diese Zusatzfunktion im Anwenderinterface eingestellt wurde. Ist dies der Fall wird bei jedem Agent zufällig die entsprechende Variable auf On oder Off gesetzt.

```
set green_company_yes_no random 2
```

4.2.2.2 Allokationsprozess

Wie schon im Theorieteil besprochen gibt es beim Allokationsprozess zwei verschiedene Ansätze. Das Grandfathering bei welchem die Zertifikate kostenlos vergeben werden und der Ansatz bei dem die Zertifikate über eine Auktion veräußert werden.



In der Simulation sind diese Optionen über den Switch ‚auction_allocation_on‘ zu bestimmen. Wird die Grandfathering Methode gewählt bleibt der Switch auf Off.

4.2.2.3 Grandfathering

Beim Grandfathering wird die Gesamtmenge an Zertifikaten an die Agenten vor Beginn des ersten Durchlaufs aufgeteilt.

Nachdem allen Agenten entsprechende Outputs zugeordnet wurden, wird die Vergabe der Zertifikate wie folgt vorgenommen:

```
set anzahl_zertifikate ( output + one-of[-10 -5 0 5 10] )
```

Wie zu sehen ist, wird nicht jeder Agent exakt mit den Zertifikaten ausgestattet die seinem Output bzw. Emissionen entsprechen. Bei keinem praktischen Vergabeprozess wird der Gesetzgeber exakt jedem Unternehmen genau die richtige Menge an Zertifikaten zuteilen. Dies ist schon aus dem Informationsdefizit von Seiten des Gesetzgebers nicht möglich. Somit wurden in der Simulation verschiedene Gruppen eingeführt, die entweder unter oder überversorgt sind. Es entsteht somit auch eine Dynamik am Markt.

Nach Abschluss des Allokationsprozesses startet jeder Agent mit dem Startbudget, das im Interface eingestellt wurde.

4.2.2.4 Auktion

Die Auktionsmethode, die in der Praxis weniger oft eingesetzt wurde, gibt die Zertifikate nicht nach historischen Gesichtspunkten an die Unternehmen weiter. Die Zertifikate werden mittels Auktion vergeben. Um dies in der Simulation zu realisieren wurde der Ansatz gewählt, die Gesamtanzahl der Zertifikate in die Variable ‚freie_Zertifikate‘ zu überschieben. Da nun alle Zertifikate am Markt zu erwerben sind muss das Startbudget entsprechend angepasst werden.

*set budget (output * preis_zertifikate)*

Es werden alle Agenten vor Beginn der Simulation mit einem höheren Budget ausgestattet. Nach dem Start der Simulation können die Agenten sofort ihre Nachfrage an Zertifikaten vom Markt befriedigen.

4.2.3 Agentenlogik

Jeder Agent wird bei jedem Durchlauf der Simulation aufgerufen und verfolgt seine vorgegebene Verhaltenslogik. Der Agent entscheidet über Ver- oder Zukauf von Zertifikaten und über Anpassung seines Outputs. Entsprechend der gehaltenen Zertifikate und des Outputs des Agenten wird auch das Budget neu gesetzt.

4.2.3.1 Zukauf/Verkauf

Bei jeder Runde vergleicht der Agent die Anzahl der Zertifikate die er hält mit dem Ausstoß an Emissionen die er zu erwarten hat. Er verfolgt den Entscheidungsbaum in Abbildung 4.13.

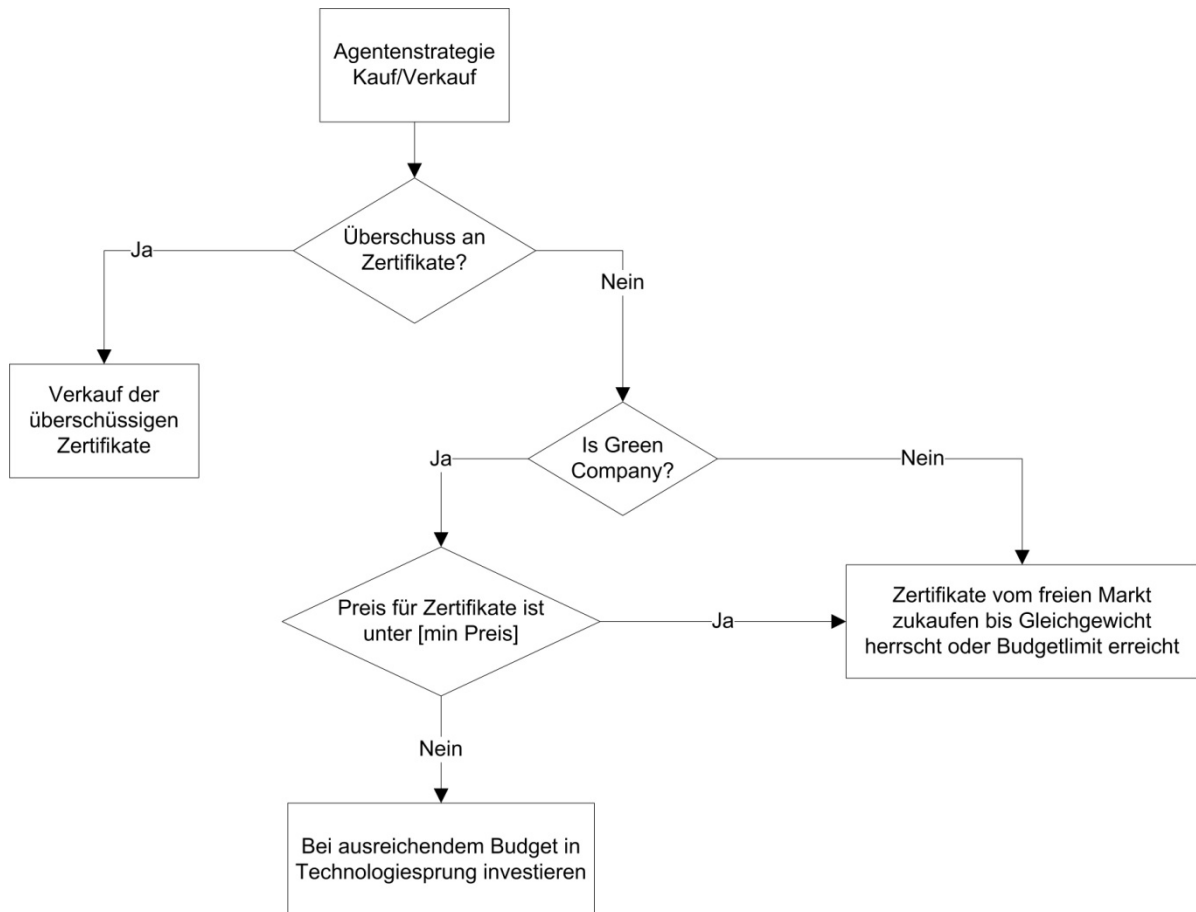


Abbildung 4.13 Entscheidungsbaum für Zu- und Verkauf von Zertifikaten

Hat der Agent mehr Zertifikate als er für seine Emissionswerte benötigt, verkauft er sogleich die überschüssigen Zertifikate zum aktuellen Marktpreis. Es werden solange Zertifikate verkauft, bis der Emissionswert und die Anzahl der Zertifikate gleich sind. Die Budgetvariable wird um den Ertrag inkrementiert und der Agent hat hinsichtlich seiner Marktteilnahme die Runde erledigt.

Hat der Agent jedoch zu wenig Zertifikate kommt der Agent zur nächsten Entscheidungsmöglichkeit. Es splittet sich der Entscheidungsbaum hinsichtlich grüner Unternehmer und konventionellen Unternehmern. Ist die Variable ‚green_company_yes_no‘ nicht gesetzt versucht der Agent Zertifikate vom Markt zuzukaufen.

Sind freie Zertifikate zur Verfügung und mit dem Budget kann der aktuelle Marktpreis bedient werden, kauft der Agent Zertifikate zu. Er beendet den Zukauf wenn folgendes zutrifft:

1. Der Agent hält genug Zertifikate für seine Emission
2. Es sind keine freien Zertifikate zur Verfügung
3. Das Budget reicht nicht aus weitere Zertifikate zuzukaufen

Ist jedoch die Variable ‚green_company_yes_no‘ gesetzt, wird je nach Marktpreis der Zertifikate entschieden ob Zertifikate zugekauft werden sollen, oder ob das Budget zurückgehalten werden soll.

$$[\text{minPreis}] = \text{randomfloat } 2$$

Es wird ein zufälliger ‚minPreis‘ erstellt, welcher jeden Gleitkommawert zwischen Null und zwei annehmen kann. Ist der aktuelle Marktpreis für ein Zertifikat unterhalb dieses Werts kauft der Agent, genau wie der Agent mit konventioneller Strategie, Zertifikate am Markt zu.

Liegt der Preis für ein Zertifikat darüber, wird in einen Technologiesprung investiert. Dies ist natürlich nur möglich wenn das Budget mindesten dem aktuellen Preis für den Technologiesprung entspricht. Ist dies nicht der Fall bleibt das Budget bis zur nächsten Runde liegen.

4.2.3.2 Output und Budget Verhalten

Output

In der Simulation wird grundsätzlich angenommen, dass der Agent nicht auf Basis des Zertifikatmarkts seine betriebswirtschaftlichen Entscheidungen trifft. Es soll sich bei der variablen Größe des Outputs um eine rein innerbetriebliche Entscheidung handeln. Es wird in der Simulation also angenommen, dass der Output des Agenten sich nach jeder Runde zufällig ändert. Es wurde hierfür eine Standardnormalverteilung verwendet mit Mittel Null und Standardabweichung zwei.

$$\mathcal{N}(0,2)$$

Nach jeder Runde ändert sich also der Output des Agenten zum positiven oder negativen. Die Entscheidungen die er in der nächsten Runde zu treffen hat hängen also von dieser Outputanpassung ab.

Budget

Das Budget ist eine weitere Größe die sich nach Ver- oder Zukauf des Agenten ändert. Es wird kontrolliert ob der Agent ausreichend Zertifikate hat (siehe Abbildung 4.14). Ist dies der Fall, wird ihm eine Einheit beim Budget gutgeschrieben. Hat der Agent jedoch zu wenig Zertifikate um seine Emissionen zu rechtfertigen, wird eine Strafzahlung von einer Einheit fällig. Wie in der Praxis braucht man einen Anreiz sich den Regeln zu unterwerfen, eine Strafzahlung kann dafür sorgen, dass sich die Teilnehmer an die Spielregeln halten.

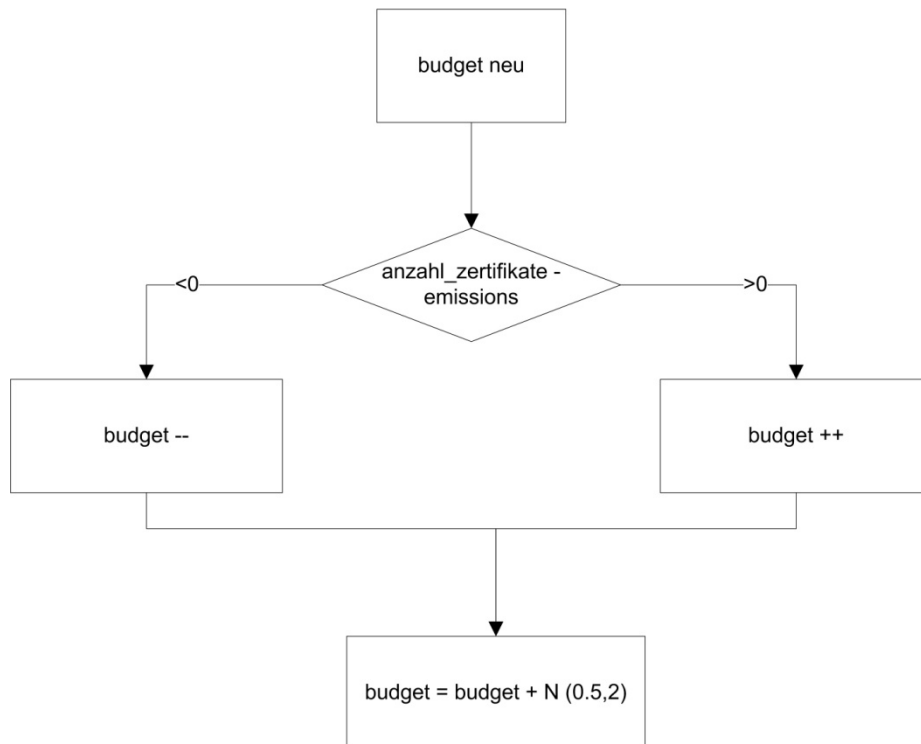


Abbildung 4.14 Budgetentwicklung

Nachdem die Zertifikatbilanz des Agenten kontrolliert wurde, wird das Budget noch um eine weitere Komponente erweitert. Die betriebswirtschaftlichen Gewinne oder Verluste werden ebenfalls als externe Größe angenommen und sollen nicht vom System abhängen. Es wird ein zufälliger Wert zum Budget addiert. Um von einem natürlichen Wirtschaftswachstum auszugehen wird eine Standardnormalverteilung von $\mathcal{N}(0.5, 2)$ angenommen.

4.2.3.3 Ausscheiden aus dem Markt

Nach jedem Durchlauf aller Agenten wird kontrolliert ob die Agenten ihre Existenzberechtigung weiter behalten dürfen. Hierzu wird folgendes geprüft:

- Output < 1
- Budget < -50

Ist einer dieser Mindestwerte verletzt, scheidet der Agent vom Markt aus. Mit dem nächsten Durchlauf existiert dieser Agent nicht mehr.

4.2.4 Angebot und Nachfrage

4.2.4.1 Freie Zertifikate

Da die Agenten bei jeder Runde simultan ihre Entscheidungslogik abarbeiten, musste ein Mechanismus gefunden werden, der den Austausch von Zertifikaten ermöglicht. Aufgrund der eigenständigen Agenten ist es nicht möglich, dass diese die Zertifikate direkt untereinander austauschen. Darum wurde ein außerordentlicher Marktteilnehmer eingeführt der zum Marktpreis jedem Agenten sein Zertifikate abkauft. Außerdem verkauft er auch die ihm zur Verfügung stehenden Zertifikate an die Agenten. Dies geschieht in der Programlogik über die Variable ‚freie_Zertifikate‘. Diese Variable ist ein Puffer, gegen die Agenten die Zertifikate ver- oder zukaufen können. Ebenso nimmt der Gesetzgeber, je nach Einstellung im Interface, von dort Zertifikate weg. Sollten Zertifikate in der Puffervariable bleiben, stehen sie den Agenten in der nächsten Runde zum geänderten Preis zur Verfügung.

4.2.4.2 Preisentwicklung

Ein zentrales Problem bei der Entwicklung der Simulation war die Preisgestaltung. Da die Agenten simultan arbeiten und nicht direkt miteinander handeln, sondern über den außerordentlichen Marktteilnehmer, musste eine Methode gefunden werden, das Angebot und die Nachfrage zu bestimmen um so einen Preis festzulegen. Anders als bei Börsen, wo der Auktionator den Preis zum maximalen Umsatz festlegt, wurde der Ansatz gewählt zwei Größen für das Angebot sowie für die Nachfrage zu bestimmen. Dies stellt einen approximativen Ansatz dar, der aufgrund der Funktionsweise der NetLogo Programmierlogik gewählt wurde.

Angebot

$$\frac{\text{freie_Zertifikate}}{\sum \text{Zertifikate}}$$

Das Angebot ist relative leicht zu bestimmen wenn man die Menge an freien Zertifikaten beobachtet. Die Variable ‚freie_Zertifikate‘ hält die Zertifikate die in der Vorrunde freigeworden sind. Um sich ein Bild zu machen ob viele Zertifikate zur Verfügung stehen, stellt man diese in Relation zur Gesamtmenge an Zertifikaten die es in der Simulation gibt. Mit diesem Ansatz erhält man eine Größe die das Angebot an Zertifikaten widerspiegelt, da alle Agenten nur von der Variable ‚freie_Zertifikate‘ zukaufen können.

Nachfrage

$$demand = \sum_{agent=1}^{anzahl\ agenten} anzahlZertifikate - emissions$$

Es stellte sich als schwieriger heraus die Nachfrage zu bestimmen. Man könnte theoretisch, nachdem alle Agenten zugekauft haben, sehen wie viele Zertifikate benötigt wurden. Dies ist aber zu spät für die Preisbildung in der aktuellen Runde. Um dieses Problem zu lösen, wurde ein Ansatz gewählt der das Verhältnis von Zertifikaten und Emissionen aller Agenten vor der Handelsrunde vergleicht. Um nun eine Größe für die Nachfrage zu erhalten wird das Gefälle zwischen Zertifikaten und Emissionen aller Agenten aufsummiert. Im Folgenden erhält man eine negative oder positive Größe die die wahrscheinliche Nachfrage in der aktuellen Runde widerspiegelt.

Preisentwicklung

Nachdem man zwei Größen für das Angebot und die Nachfrage hat, muss man diese in ein Modell zur Preisentwicklung vereinen. Wie in der Formel zu sehen, wird der neue Preis durch den alten Preis und dem Angebots- sowie Nachfrageelement gebildet. Man sieht, dass sowohl beim Angebot als auch bei der Nachfrage eine Exponentialfunktion zur Dämpfung verwendet wurde. Diese werden benötigt damit man nicht Gefahr läuft, dass der Preis in eine Richtung extrem ausschlägt.

$$P_{new} = P - \left(V_n * e^{-P} * \frac{demand}{\sum Zertifikate} \right) - \left(V_a * e^{-P} * \frac{freie_Zertifikate}{\sum Zertifikate} \right)$$

Zusätzlich wurde die Angebotsseite und die Nachfrageseite mit den Koeffizienten V_n und V_a versehen. Der Grund dafür ist die vielseitige Einstellungsmöglichkeit im Userinterface. Mit jeder Änderung in den Grundeinstellungen ändert sich die Angebots- sowie die Nachfrageseite. Um eine sinnvolle Preisentwicklung zu erhalten muss man die Koeffizienten für die Nachfrage sowie für das Angebot nachjustieren. Die zwei Koeffizienten sind auch interessant für die Simulation, indem der Anwender entscheiden kann ob er einen stark angebots- oder nachfragegetriebenen Preis haben will.

Rahmenbedingungen

Da sich zu Beginn der Simulation noch keine Werte für das Angebot und Nachfrage berechnen lassen, wird ein Startpreis von fünf angenommen. Ausgehend von diesem Startpreis wird in der zweiten Handelsrunde der erste Preis berechnet. Es ist zu beachten, dass die Agenten so die Möglichkeit haben ihre Unterallokation, sofern das Budget ausreicht, zum Startpreis ausgleichen können. Auf der anderen Seite können Agenten mit einem Überschuss an Zertifikaten diese zum Startpreis von fünf verkaufen.

Weiters will man vermeiden, dass sich negative Preise bilden. Hierfür wird nach jeder Preisberechnung ermittelt ob der berechnete Preis unter 0,1 liegen würde. Wenn dies der Fall wäre, wird der Preis auf das Minimum von 0,1 gesetzt.

Ein weiterer Extremfall ist dann gegeben, wenn es kein Angebot an freien Zertifikaten gibt. Hier müsste der Preis theoretisch gegen Unendlich steigen. Betrachtet man aber den Angebots-Term in der Preisformel, sieht man, dass dieser nie negativ werden kann. Das bedeutet, dass der Angebots-Term den Preis nur drücken aber nicht erhöhen kann. Im Gegensatz dazu ist der Nachfrage-Term für das Steigen oder Fallen des Preises verantwortlich. Also wird mit dieser Formel der Preis nicht steigen wenn das Angebot gegen Null geht. Wenn das Angebot Null ist wird also der Markt ausgesetzt. Da sich die Agenten an der Puffervariable ‚freie_Zertifikate‘ bedienen, können sie in solch einer Periode ohnehin kein Zertifikat erwerben. Das heißt, es kommt keine Transaktion am Markt zustande, jedoch wird trotzdem ein Preis angezeigt.

4.2.5 Green Technology

Um den Agenten die Möglichkeit zu geben in neue umweltfreundliche Technologien zu investieren wurde die Simulation um einen weiteren Aspekt erweitert. Um einen Unterschied zwischen ‚grünen‘ Unternehmen und konventionellen Unternehmen zu machen, wurde ein neues Produkt am Markt eingeführt. Die Agenten haben die Möglichkeit, statt Zertifikate zuzukaufen, in einen Technologiesprung zu investieren. Hat ein Agent ein höheres Technologielevel erreicht, verringern sich seine Emissionen hinsichtlich seines Outputs.

Der Anwender kann im Interface einen Wirkungsgrad für die Technologieinvestition festlegen. In der Programmlogik wird dies folgendermaßen umgesetzt:

$$Emissions = Output * (1 - (Wirkungsgrad * TechnologieLevel))$$

Hat der Agent ein Technologielevel größer Null, geht der Wert für Output und Emissionen auseinander. Das heißt der Agent kann weniger emittieren bei gleichem Output.

Zu beachten ist, dass diese Strategie nicht jeder Agent verfolgt. Wie schon in 4.2.2.1 erläutert, wird bei der Initialisierung jeder Agent mit konservativer oder grüner Strategie geprägt. Diese ändert sich auch während der Simulation nicht. Somit hat man die Möglichkeit die unterschiedliche Entwicklung der zwei Gruppen von Agenten zu beobachten.

4.2.5.1 Preis der Technologie

Da die neue Technologie auch einen Preis haben muss, wird ein künstlicher Preis für dieses Produkt eingeführt:

$$\mathcal{N}(50,10)$$

Der Preis wird als unabhängig vom Zertifikatmarkt angenommen und wird mit einer Normalverteilung mit Mittelwert 50 und Standardabweichung 10 angenommen. So hat man zu jeder Runde einen zufälligen Preis für den Technologiesprung der aber in der Regel deutlich höher ist als der Preis für ein Zertifikat.

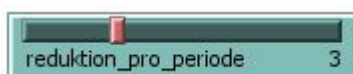
4.2.5.2 Technologielevel

Da es keine unendliche Steigerung des Technologielevels geben soll wird von einem Technologiespektrum von Null bis Neun ausgegangen. Bei Technologielevel Null ist der Wert für die Emissionen gleich dem Output des Agenten. Bei der höchsten Technologiestufe von Neun hat der Agent keine weitere Möglichkeit mehr, sich über den Weg der Technologie zu verbessern.

Zu beachten ist, dass man einen sinnvollen Wert für den Wirkungsgrad einstellen muss. Wird der Wirkungsgrad auf 1/9 eingestellt wird der Agent bei Technologielevel 9 keine Emissionen mehr haben.

4.2.6 Reduktion der Gesamtzertifikate

Da es das Ziel jedes Emissionshandelssystems sein muss, die Gesamtemission zu reduzieren, muss es einen Mechanismus geben die Gesamtmenge an Zertifikaten zu reduzieren. In der vorliegenden Simulation ist dies ebenfalls implementiert.



Über das Interface hat der Anwender die Möglichkeit die Reduktion der Zertifikate selbst einzustellen. Die Anzahl der Zertifikate, die pro Periode vom Markt genommen werden, kann frei gewählt werden. Es kann auch dynamisch während der Simulation nach jedem Durchlauf beliebig geändert werden.

In der Systemlogik handelt es sich um einen rekursiven Funktionsaufruf, der die Variable ‚freie_Zertifikate‘ sukzessive reduziert. Es ist zu beachten das nur freie Zertifikate abgebaut werden. Sind keine freien Zertifikate vorhanden greift die Reduktion nicht. Es ist nicht vorgesehen die Zertifikate direkt dem Agenten abzunehmen.

4.3 Fallbeispiele

Anhand einiger Beispiele soll gezeigt werden wie die Simulation des Emissionshandels in der NetLogo Programmierlogik abläuft. Es ist hierbei wichtig, sinnvolle Voreinstellungen zu wählen da nur so ein interessanter Simulationsablauf entstehen kann. Dieses Tool erhebt nicht den Anspruch ein Prognoseinstrument für Emissionshandelssysteme zu sein. Es können durch die Programm- und Agentenlogik einige Aspekte eines solchen Systems simuliert werden. Es ist aber wichtig die Interpretation der Ergebnisse im Rahmen der Annahmen und Voreinstellungen der Programmlogik zu sehen.

4.3.1 Preisknick

Voreinstellungen:

gesamtanzahl_zertifikate	1600
anzahl_agents	30
start_budget	30
reduktion_pro_periode	3
wirkungsgrad_technology	0,08
technology_level_on	On
auction_allocation_on	Off
V_a	190
V_n	240

Tabelle 4.1 Voreinstellungen Fallbeispiel 1

In diesem Beispiel ist ersichtlich wie die Preisfunktion auf Angebots- und Nachfrageseite bzw. auf ihre Koeffizienten reagiert. Man sieht, dass zu Beginn der Simulation die Puffervariable ‚freie_Zertifikate‘ sehr schnell stieg und einen Wert über 180 erreichte. Wie wir sehen wurde der Koeffizient für das Angebot auf 190 gesetzt. Beim Preisverlauf sieht man, dass von Beginn der Preis durch das Angebot gedrückt wurde. Zusätzlich wurde dies verstärkt durch eine schwache Nachfrage von Seite der Agenten. Man sieht aber, dass nach circa 40 Runden der Preis plötzlich stieg. Einerseits ist das Angebot leicht zurückgegangen, aber den größten Einfluss hatte die geänderte Nachfrage der Agenten. Mit einem Koeffizienten von 240 macht es sich schnell bemerkbar wenn einige der Agenten zu wenige Zertifikate für ihre Emissionen halten und somit versuchen nachzukaufen.

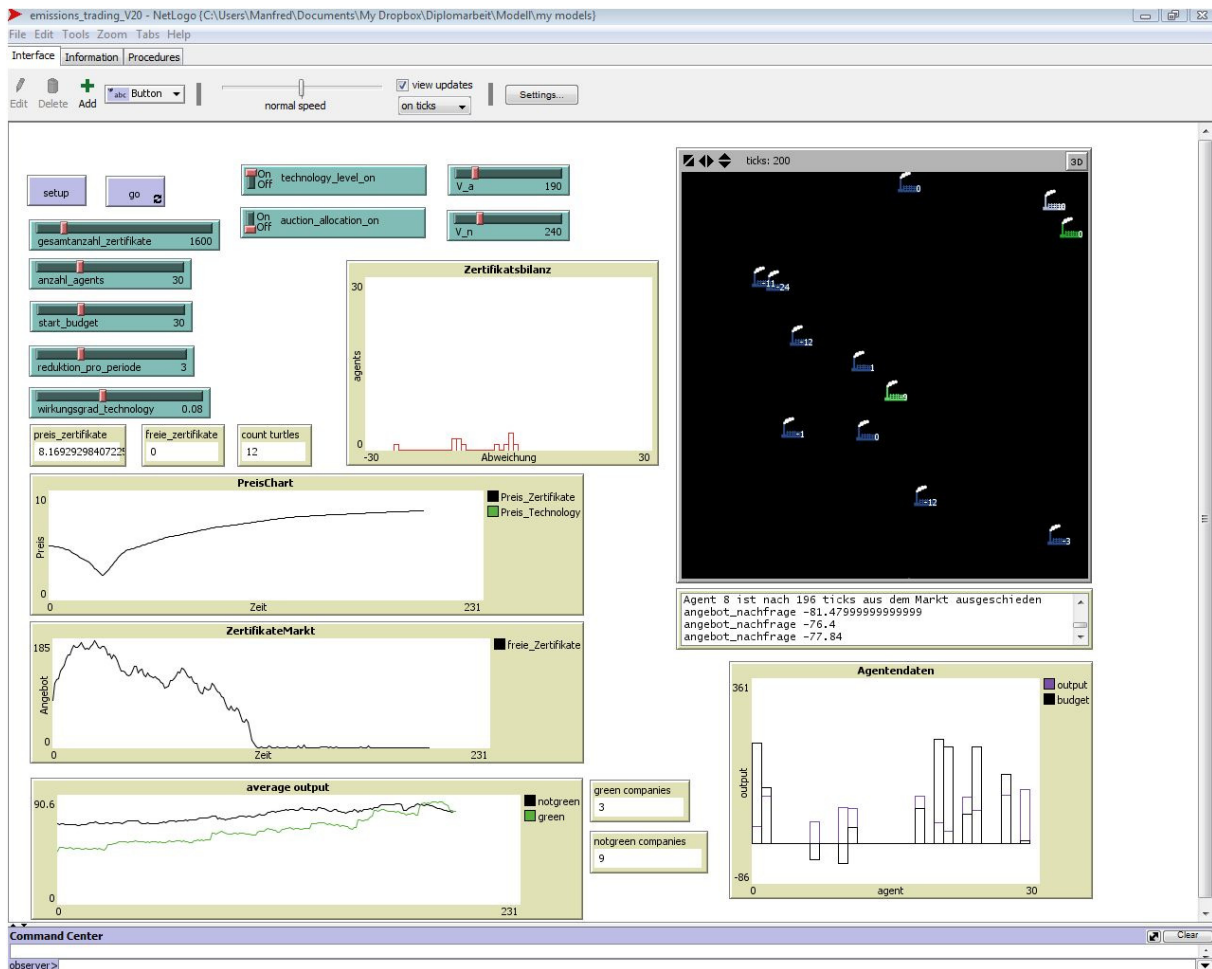


Abbildung 4.15 Fallbeispiel 1

Dieses Beispiel zeigt wie der Preis von Angebot und Nachfrage beeinflusst wird. Jedoch ist es dem Anwender überlassen wie er die Koeffizienten im Preismodell einstellt. Diese haben sehr starken Einfluss. Bei extremen Werten kann man eine Seite des Modells praktisch ausblenden. Es besteht auch die Möglichkeit den Wert der Koeffizienten nach jeder Runde beliebig zu ändern. So kann man den Preis steigen oder fallen lassen.

4.3.2 Reduktion der Gesamtzertifikate

Voreinstellungen:

gesamtanzahl_zertifikate	1600
anzahl_agents	30
start_budget	50
reduktion_pro_periode	10
wirkungsgrad_technology	0,08
technology_level_on	On

auction_allocation_on	Off
V_a	150
V_n	360

Tabelle 4.2 Voreinstellungen Fallbeispiel 2

Anhand dieses Beispiels soll man sehen wie die Reduktion der Zertifikate die Simulation beeinflusst. Der Slider ‚reduktion_pro_periode‘ wurde in diesem Beispiel auf 10 gesetzt. Das heißt, es werden pro Runde 10 Zertifikate vom Markt genommen. Dies bedeutet eine drastische Verknappung der Zertifikate. Man kann sehen, dass sich in dieser Simulation ein stetig steigender Preis ergeben hat. Würde nicht die dämpfende Exponentialfunktion im Preismodell vorhanden sein, würde der Preis unbegrenzt steigen.

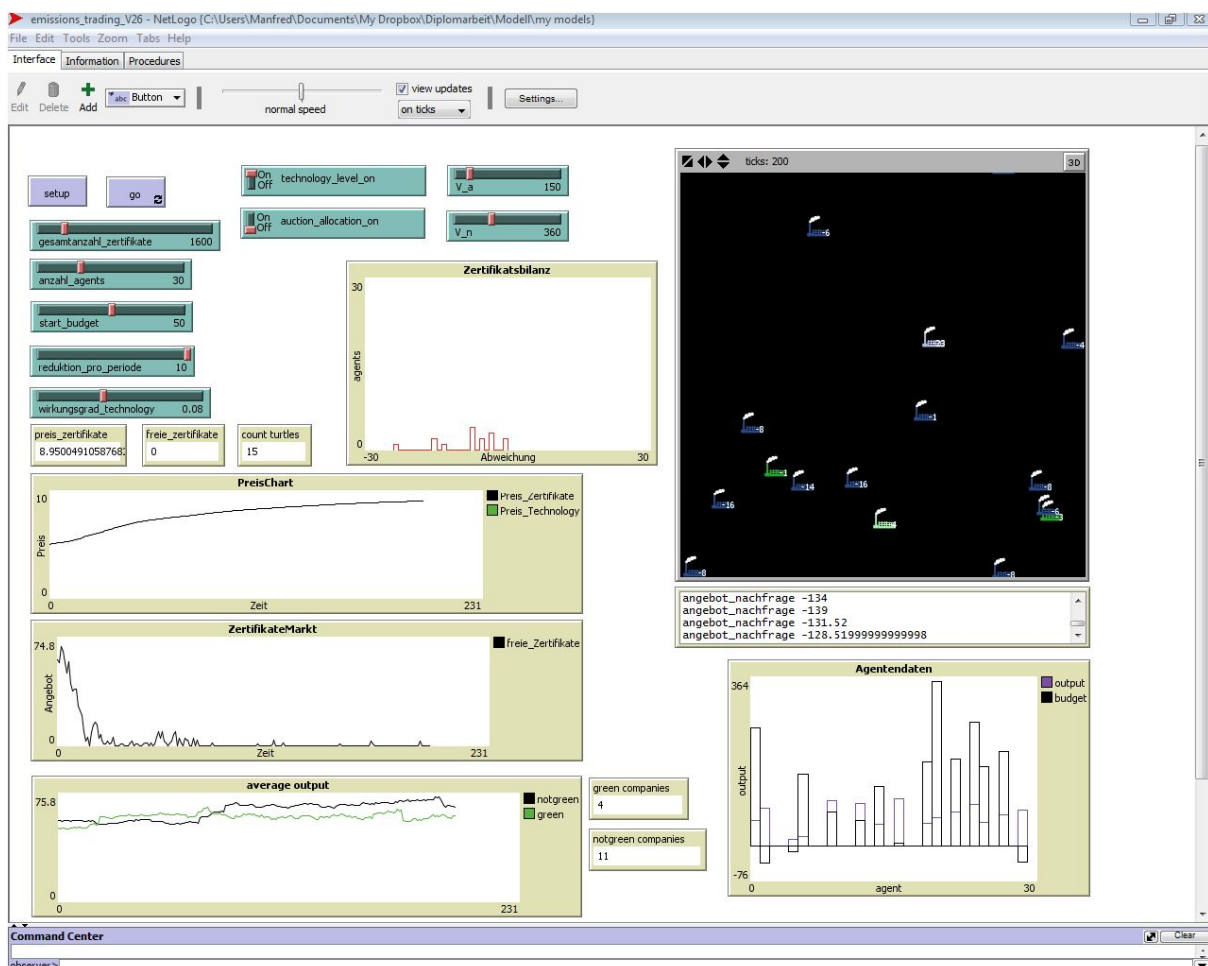


Abbildung 4.16 Fallbeispiel 2

Im Chart ‚ZertifikateMarkt‘ sieht man auch, dass sich nie große Angebote gebildet haben. Von den zwei Spikes zu Beginn der Simulation ist abzusehen, da dieses auf den Ausgleich der Unter- oder

Überallokation der Agenten zurückzuführen sind. Ebenso sind einige Agenten mit grüner Strategie in der Simulation, was bedeutet, dass sie nicht zu jedem Preis Zertifikate kaufen dürfen.

Betrachtet man die World View Ansicht oder die Output Area, sieht man dass praktisch alle Agenten ein Bedürfnis nach Zertifikaten haben. Durch die starke Reduktion von Zertifikaten wird ihnen aber die Chance genommen an Zertifikate zu kommen. Man sieht wie entscheidend die Reduktion der Zertifikate das Marktgeschehen beeinflussen kann. Es wird so entweder der Anreiz gesetzt in neue Technologien zu investieren, oder die Wettbewerbsfähigkeit der Industriebranche nachhaltig geschädigt.

4.3.3 Grüne Technologien und ihr Einfluss

Voreinstellungen:

gesamtanzahl_zertifikate	1600
anzahl_agents	30
start_budget	30
reduktion_pro_periode	5
wirkungsgrad_technology	0,08
technology_level_on	On
auction_allocation_on	Off
V_a	150
V_n	420

Tabelle 4.3 Voreinstellungen Fallbeispiel 3

Bei diesem Beispiel wurde eine starke nachfragegetriebene Preisbildung mit $V_n = 420$ gewählt. Wie zu erwarten ist der Preis nach dem Überangebot zu Beginn der Handelsperiode stetig gestiegen. Ebenso hat die Einstellung $reduktion_pro_periode = 5$ zusätzlich dafür gesorgt eine starke Verknappung zu erzeugen. Aus diesem Grund sehen wir eine steigende Preiskurve.

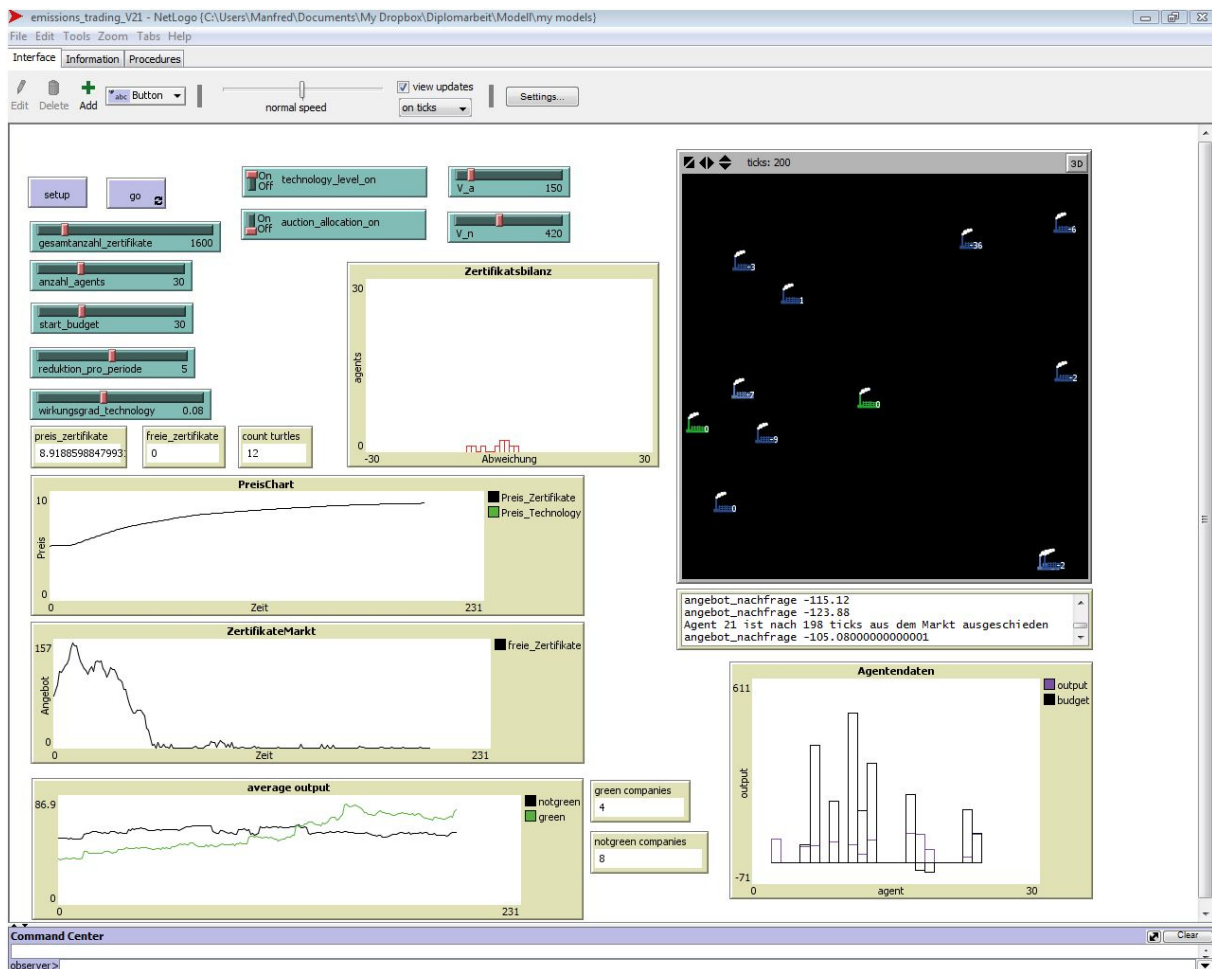


Abbildung 4.17 Fallbeispiel 3

Interessant an diesem Beispiel ist, dass die ‚grünen‘ Agenten die konventionellen nach etwa 100 Runden im Output hinter sich lassen. Mit einem stetig steigenden Preis und einer starken Reduktion der Zertifikate ist im Long Run nur mehr eine Verbesserung durch einen Technologiesprung zu erreichen. Man sieht jedoch, dass nach 200 Runden nur mehr 4 grüne und 8 konventionelle Agenten in der Simulation verblieben sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Agent mit grüner Strategie ausscheidet ist größer, da er bei einem hohen Preis nicht in Zertifikate investiert sondern auf einen Technologiesprung wartet. Es entsteht aber hier oft die Situation, dass diese Agenten dann unterversorgt sind und somit nicht genügend Zertifikate für ihre Emissionen vorweisen können. Dies wirkt sich, wie in 4.2.3.2 beschrieben, negativ auf das Budget aus. Wie wir im Beispiel sehen, scheiden die grünen Agenten entweder früh aus oder sie können im ‚Long Run‘ ihren Output, wegen den geringen Emissionen, besonders stark ausbauen.

4.3.4 Auktion

Voreinstellungen:

gesamtanzahl_zertifikate	1600
anzahl_agents	30
start_budget	Nicht verwendet
reduktion_pro_periode	4
wirkungsgrad_technology	0,08
technology_level_on	Off
auction_allocation_on	On
V_a	610
V_n	340

Tabelle 4.4 Voreinstellungen Fallbeispiel 4

In diesem Beispiel wurde die Auktionsmethode zur Allokation der Zertifikate gewählt. Wichtig ist hierbei das die Option grüner Technologien auf Off gestellt wird. Ansonsten würden sich die Agenten, die die grüne Strategie verfolgen, nicht mit Zertifikaten versorgen. Sie sind von ihrer Verhaltenslogik dazu gezwungen nur zu einem günstigen Preis Zertifikate zuzukaufen. Das heißt, mit der vorhandenen Programmierlogik schließen sich die beiden Optionen gegenseitig aus. Dies ist auch der Grund, dass in dieser Einstellungsvariante der Chart ‚average output‘ keine Werte zeigt.

Es wurde bei diesen Voreinstellungen ein V_a von 610 gewählt. Dieser Parameter ist relativ hoch gewählt da ansonsten, durch die starke Nachfrage zu Beginn der Auktion, sofort der Preis steigen würde und sich die Agenten mit ihrem Anfangsbudget nicht ausreichend mit Zertifikaten versorgen könnten. Man sieht also eine zuerst flache Preiskurve die nach etwa 20 Runden zu steigen beginnt. Es ist bei der Auktionsmethode also darauf zu achten, dass sich die Agenten mit ihrem Budget auch die benötigten Zertifikate leisten können. Es ist also entscheidend welchen Startpreis man wählt. Wie in der Praxis könnte sich durch eine zu hohe finanzielle Belastung ein Wettbewerbsnachteil einstellen. Wählt man ein geringeres V_a im Bezug auf V_n wird sich schon zu Beginn der Simulation ein hoher Preis für die Zertifikate ergeben und eine Vielzahl der Agenten könnten sich nicht ausreichend mit Zertifikaten versorgen. Im Verlauf der Simulation würde man ein vermehrtes Ausscheiden von Agenten beobachten.

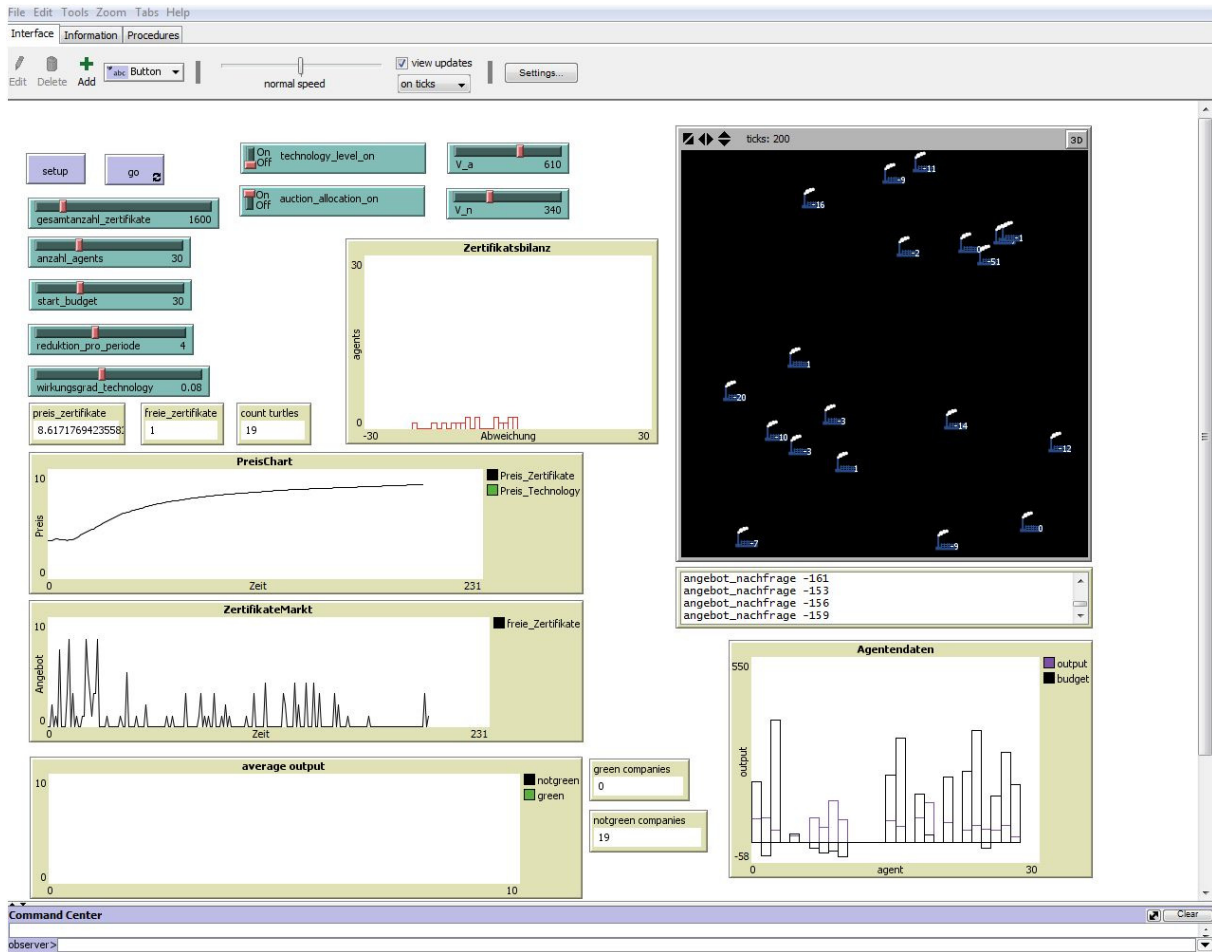


Abbildung 4.18 Fallbeispiel 4

4.4 Fazit zur Simulation und NetLogo

NetLogo verfolgt einen schnellen und einfachen Zugang zur agentenbasierten Programmierung. Durch die große Bibliothek an Modellen, die man mit der NetLogo Programmierumgebung erhält, bekommt man schnell einen Überblick wie die Programmierlogik aufgebaut ist. Die Quellen User Manuel, Dictionary und User Groups geben ausreichend Informationsmaterial um mit einer eigenen Problemstellung schnell zu beginnen. Die intuitive Syntax der NetLogo Programmiersprache ist zusätzlich positiv anzumerken. Wenn Programmiererfahrung mitgebracht wird, sollte es keinen all zu großen Aufwand bedeuten die NetLogo Syntax zu erlernen.

Man muss jedoch einen gewissen Umdenkprozess durchlaufen um zu verstehen, dass sich die komplette Logik um die autonomen Agenten dreht. Es handelt sich gewissermaßen um einen ‚bottom-up‘ Ansatz. Basierend auf der Agentenlogik versucht man ein Problem zu beschreiben um anschließend auf Makro Ebene die Ergebnisse zu betrachten. Speziell bei sozialen Prozessen eignet sich dieser Ansatz sehr gut, weil das Gesamtergebnis von den Entscheidungsprozessen der Individuen geprägt ist. Das Problem ist jedoch, den Entscheidungsprozess des Individuums bzw. Agenten ausreichend in der Programmierlogik abzubilden. Es handelt sich oft um sehr komplexe Beweggründe die ein Individuum zu einer Entscheidung bringt. Man möchte jedoch genau diese Entscheidungsprozesse in NetLogo abbilden. Darum ist es sinnvoll Annahmen zu treffen und Entscheidungsprozesse unter gewissen Rahmenbedingungen ablaufen zu lassen. Genau dies wurde in der vorliegenden Simulation versucht. Es wurden Agenten als Marktteilnehmer mit einer gewissen Entscheidungsstruktur versehen. Mit Hilfe von frei wählbaren Parametern kann man anschließend mögliche Auswirkungen auf das Markteschehen beobachten. Es ist zu beachten, dass jeder Agent nur eine einfache Entscheidungslogik verfolgt. Die wirklichen Beweggründe der Handelsteilnehmer eines Emissionshandelssystems können von unzähligen zusätzlichen Faktoren abhängen.

Es hat sich gezeigt das NetLogo ein hilfreiches Tool ist, um schnell einfache soziale Prozesse abbilden zu können. Jedoch wird mit steigendem Programmiercode der Aufwand, den Überblick zu behalten, immer größer. Im Gegensatz zu objektorientierten Programmiersprachen hat man beim prozeduralen NetLogo Ansatz schnell die Grenze des Überschaubaren erreicht. Im Entwicklungsprozess der Simulation hat sich gezeigt, dass jede weitere Funktion, die man einbauen will, das Gesamtverhalten beeinflusst. Durch die Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten in der Simulation, ist es wichtig sinnvolle Parameter einzustellen. Die Simulation bietet zwar hohe Flexibilität fordert aber auch ausreichend Vorkenntnisse des Anwenders über die Programmlogik.

5 Zusammenfassung

In der Umweltpolitik spielen öffentliche Gütern eine wichtige Rolle. Ihre speziellen Eigenschaften sind externe Effekte. Jeder von uns ist jedoch auf die nachhaltige Verfügbarkeit dieser Güter angewiesen. Um den Wohlfahrtsverlust durch wirtschaftliche Tätigkeiten Sorge zu tragen, müssen die externen Effekte internalisiert werden. Der Gesetzgeber muss hier, in seiner Rolle als Volksvertretung, ein umweltpolitisches Instrument anwenden. Der Gesetzgeber hat die Möglichkeit Auflagen zu erteilen, Abgaben einzuführen oder einen Zertifikatshandel einzurichten.

Es hat sich gezeigt das sowohl Auflagen als auch Abgaben einige Probleme mit sich bringen. Will der Gesetzgeber Auflagen einführen, müssen genaue technische Informationen über die Anlagen vorliegen und die neusten Errungenschaften in der Umwelttechnik ständig berücksichtigt werden. Bei der Einführung von Abgaben handelt es sich um einen indirekten Ansatz und man kann die Auswirkungen auf die Gesamtemissionsmenge nicht genau voraussehen.

Eine weitere Möglichkeit stellt der Zertifikatshandel dar. Wir haben gesehen, dass dieser marktbasierter Ansatz in der Theorie effizientere Ergebnisse bringt als Auflagen oder Abgaben. Als weiterer Vorteil hat sich gezeigt, dass der Gesamtemissionswert direkt festgelegt werden kann. Jedoch müssen die Rahmenbedingungen stimmen um mit diesem Instrument eine effiziente Lösung zu erhalten. Ebenso hat sich gezeigt, dass nicht jedes Umweltproblem für den Zertifikatshandel geeignet ist. Bei richtigem Einsatz kann jedoch ein ‚pareto improvement‘ bei den Beteiligten erreicht werden.

Nachdem das Kyoto Protokoll neue Möglichkeiten in der Umweltpolitik geschaffen hat, ist mit dem EU-ETS das erste Emissionshandelssystem in Europa eingeführt worden. Es gibt kein vergleichbares Projekt in diesem Umfang. Darum war dieses Beispiel perfekt geeignet um Theorie und Praxis zu vergleichen. Die EU Kommission hatte nur einen sehr kurzen Planungszeitraum bevor das System 2005 startete. Es wurde die Entscheidung getroffen früher zu starten um eine Pilotphase ohne Reduktionsziel voranzustellen. Dies hat einerseits zu Startschwierigkeiten geführt aber konnte auch als Lernphase für die zweite Handelsperiode genutzt werden.

In diese Pilotphase waren die Regeln bezüglich der nationalen Allokationspläne relativ flexibel und die Mitgliedsstaaten hatten hier großen Gestaltungsspielraum. Ebenso wurde die Gesamtmenge an Zertifikaten ungleich an die Mitgliedsstaaten verteilt. Einerseits durch die Vergabe an die Mitgliedsstaaten und andererseits in weiterer Folge an die Industrie, haben sich einige Diskrepanzen ergeben. So haben einige Länder wie Polen und Frankreich überdurchschnittlich viele Zertifikate erhalten wobei andere Staaten wie Großbritannien und Spanien unterversorgt waren. Das gleiche Bild hat sich auf Industrieebene widerspiegelt. So wurden zum Schutz der Exportwirtschaft die

kritischen Branchen sehr bevorzugt und erhielten mehr Zertifikate als sie benötigt hätten. Auf der anderen Seite wurden diese Zertifikate bei der Energiewirtschaft eingespart. Diese rein politische Entscheidung hat zu starken Ungleichgewichten zwischen den Staaten und zwischen den Industriesektoren geführt.

Aus diesem Grund war zu Beginn der Handelsphase 2005 nur eine Industriebranche wirklich aktiv am Zertifikatsmarkt vertreten. Die Energiebranche versuchte ihre Lücken, die durch die Allokation entstanden sind, mit dem Zukauf von Zertifikaten zu bereinigen. Da die anderen Industriebranchen zu Beginn noch keinen Anlass sahen aktiv am Handel teilzunehmen und eine abwartende Strategie verfolgten, stieg der Preis für EUAs stark an. Durch die ungleiche Allokation und der unzureichenden Handelsaktivität haben wir im April 2006 einen Preis von über 30 Euro für ein EUA sehen können. Nachdem die ersten Veröffentlichungen der tatsächlichen Nachfrage nach EUAs ersichtlich waren, gab es eine drastische Preisanpassung nach unten. Es hat sich gezeigt, dass die erwartete Nachfrage am Markt nicht der tatsächlichen Nachfrage entsprochen hat. Den Marktteilnehmern stand keine transparente Information über die Nachfrage nach EUAs zur Verfügung, darum dauerte es bis zu Ende der Pilotphase bis sich ein stabiler Preisverlauf einstellen konnte. Jedenfalls haben die Allokationsentscheidungen der EU Kommission und der Mitgliedsstaaten ebenfalls eine Rolle gespielt.

Mit steigender Marktaktivität und gesicherten Informationen über die Nachfrage, hat sich zu Ende der Pilotphase ein stabiler Preis eingestellt. Es ist im Nachhinein schwer zu beurteilen ob die drei Jahre der Pilotphase sinnvoller waren als eine längere Planungsphase. Neben der Allokationsproblematik ist auch festgestellt worden, dass das ‚borrowing‘ und ‚banking‘ eine positiv dämpfende Wirkung auf das System hat.

Mit diesen Errungenschaften konnte in die zweite Handelsphase gestartet werden. Leider wurde wiederum hauptsächlich die ‚grandfathering‘ Methode zur Allokation gewählt, wobei diese doch indirekt die Schwierigkeiten in der Pilotphase ausgelöst hat. Durch die Lobbying Arbeit der Interessensvertretungen kann hier die Effizienz des Handelssystems wesentlich beeinflusst werden. Wie einige Beispiele in osteuropäischen Ländern gezeigt haben, kann das bis hin zu ‚windfall profits‘ führen.

In der zweiten Handelsphase, die von der Wirtschaftskrise geprägt war, haben wir gesehen, dass das Emissionshandelssystem robuste Konturen angenommen hat. Es stand während der Wirtschaftskrise niemals die Abschaffung oder Stilllegung des Systems zur Debatte. Es hat sich sogar gezeigt, dass das System eine positive Ausgleichswirkung gehabt hat. Die schwächelnden Industriebranchen, die durch Produktionsrückgänge ihre Zertifikate in diesem Umfang nicht mehr benötigten, konnten sich durch den Verkauf zusätzliche Liquidität beschaffen.

Die dritte Handelsperiode, welche nächstes Jahr starten wird, muss ganz im Zeichen der Anpassung der Zuteilungsregeln der EUAs stehen. Die einheitlichen Allokationsregeln, ohne Einfluss durch Lobbying, werden die größte Herausforderung der dritten Handelsphase darstellen. Hierbei wird sich zeigen ob die Entscheidungsträger bereit sind von der ‚grandfathering‘ Methode abzuweichen und die Zertifikate über die Auktionsmethode versteigern. Ebenso wird es sich zeigen, ob die EU Kommission die politische Durchsetzungskraft besitzt um weitere Branchen, wie den Flugverkehr, in das Emissionshandelssystem einzubinden.

Im dritten Teil der Arbeit, wurden durch die Beschreibung eines Emissionshandelssystems in NetLogo die Möglichkeiten der agentenbasierten Programmierung in diesem Zusammenhang getestet. Da es sich beim Emissionshandel um einzelne Akteure handelt, die individuell Entscheidungen treffen welche das Gesamtgefüge beeinflussen, ist ein ‚bottom-up‘ Ansatz sehr interessant. Da sich die Programmierlogik auf Grund der Verhaltensmuster einzelner Agenten zusammensetzt ist dies ein neuer Programmieransatz.

Es wurde versucht einzelne Einstellungsmöglichkeiten, die dem Gesetzgeber bei Einführung eines solchen Systems zur Verfügung stehen, abzubilden. Es kann in der Simulation beobachtet werden wie das System sich verändert, wenn gewisse Einstellungsmöglichkeiten angepasst werden. Trotz der einfachen Verhaltenslogik der Agenten hat sich durch die Vielzahl von Parametern ein sensibles System entwickelt das auf kleinste Veränderungen reagiert.

Die agentenbasierte Programmierung hat sich als neuer und vielversprechender Ansatz zur Simulation von sozialen Prozessen gezeigt. Jedoch ist die Simulation eines Emissionshandelssystems ein ambitioniertes Vorhaben. Durch die komplexen Entscheidungsstrukturen und Abhängigkeiten ist es schwierig Aussagen über den Verlauf eines Emissionshandelssystems zu treffen.

Der Emissionshandel allgemein kann ein sehr effizientes Werkzeug in der Umweltpolitik darstellen. Es kommt jedoch auf die Eignung des Problems und die Rahmenbedingungen des Systems an. Die Umsetzung ist der Faktor, welcher über Erfolg oder Scheitern entscheidet. Mit dem EU-ETS haben wir ein gutes Instrument um die Treibhausgasproblematik in den Griff zu bekommen. Es liegt jedoch letztens in den Händen unserer Entscheidungsträger das Vorhaben, ehrgeizig und ohne Einfluss von Eigeninteressen, durchzuführen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Wert der optimalen Externalität	11
Abbildung 2.2 Verhandlungsergebnis bei zugeteilten Eigentumsrechten.....	13
Abbildung 2.3 Die Problematik mit dem Setzen eines Standards.....	17
Abbildung 2.4 Darstellung der Pigou-Steuer	19
Abbildung 2.5 Ein Kostenvergleich von Standard- und Steueransatz.....	20
Abbildung 2.6 Prinzip des Zertifikatehandels	23
Abbildung 2.7 Kostenminimierung.....	24
Abbildung 2.8 Veränderung von Angebot und Nachfrage.....	25
Abbildung 2.9 Kosten um den Ausstoß von CO ₂ um eine Tonne zu reduzieren.....	26
Abbildung 2.10 Kosten nach Einführung handelbarer Zertifikate	28
Abbildung 3.1 Kyoto-Kooperationsmechanismen	34
Abbildung 3.2 Performance des Acid Rain Programms.....	36
Abbildung 3.3 Acid Rain Programm Handelsdetails	37
Abbildung 3.4 NO _x Preisentwicklung	39
Abbildung 3.5 Preisentwicklung der EUA in der Pilotphase	47
Abbildung 3.6 Handelsvolumen in der Pilotphase	49
Abbildung 3.7 Verteilung der ‚Long‘ und ‚Short‘ Positionen der Mitgliedsländer	50
Abbildung 3.8 Verteilung der ‚Long‘ und ‚Short‘ Positionen nach Sektoren.....	50
Abbildung 3.9 EUAs und Emissionen, alle Sektoren.....	51
Abbildung 3.10 EUAs vs. Emissionen, Energie vs. Industrie, 2008 - 2009.....	52
Abbildung 3.11 EUA Preisentwicklung 2005 - 2011.....	53
Abbildung 3.12 Geplante Entwicklung der EU-ETS ‚caps‘ bis 2050.....	55
Abbildung 4.1 Ansicht im Interface	58
Abbildung 4.2 Voreinstellungen (1).....	59
Abbildung 4.3 Voreinstellungen (2).....	60

Abbildung 4.4 World View und Output Area	61
Abbildung 4.5 Turtle Monitor	63
Abbildung 4.6 Variable Monitor	64
Abbildung 4.7 Zertifikatebilanz	64
Abbildung 4.8 Preis Chart	64
Abbildung 4.9 Zertifikatemarkt	65
Abbildung 4.10 Average Output	65
Abbildung 4.11 Total Emissions	66
Abbildung 4.12 Agentendaten	66
Abbildung 4.13 Entscheidungsbaum für Zu- und Verkauf von Zertifikaten	70
Abbildung 4.14 Budgetentwicklung	72
Abbildung 4.15 Fallbeispiel 1	78
Abbildung 4.16 Fallbeispiel 2	79
Abbildung 4.17 Fallbeispiel 3	81
Abbildung 4.18 Fallbeispiel 4	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1 Reduktionsziele nach dem Kyoto Protokoll	32
Tabelle 4.1 Voreinstellungen Fallbeispiel 1	77
Tabelle 4.2 Voreinstellungen Fallbeispiel 2	79
Tabelle 4.3 Voreinstellungen Fallbeispiel 3	80
Tabelle 4.4 Voreinstellungen Fallbeispiel 4	82

Akronyme

CDM	Clean Development Mechanism
CER	Certified Emission Reduction
CITL	Community Independent Transaction Log
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EPA	Environmental Protection Agency
ERU	Emission Reduction Unit
EUA	European Union Allowances
EU-ETS	European Union Emission Trading System
GHG	Greenhouse Gas
JI	Joint Implementation
MAC	Marginal Abatement Costs
MC	Marginal Costs
MEC	Marginal External Costs
MEC	Marginal External Costs
MNPB	Marginal Net Private Benefits
MR	Marginal Revenue
MSC	Marginal Social Costs
NAP	National Allocation Plan
OTC	Over the Counter
RECLAIM	Regional Clean Air Incentives Market
TAC	Total Abatement Costs

Literaturverzeichnis

- ACCC. (2009). *Austrian Climate Portal*. Retrieved Dezember 14, 2009, from <http://www.accc.gv.at/>
- Coase, R. (1960). The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics Vol. 3* , pp. 1-44.
- Dales, J. (1968). Pollution, property and prices: An essay in policy-making and economics. *University of Toronto Press* .
- Ellerman, A. D., & Joskow, P. L. (2008). *The European Union's Emissions Trading System in perspective*. Massachusetts Institute of Technology, National Economic Research Associates, Inc.
- Ellermann, A. D., Joskow, P. L., & Harrison, D. (2003). *Emissions Trading in the U.S.: Experience, Lessons and Considerations for Greenhouse Gases*. Massachusetts Institute of Technology, National Economic Research Associates, Inc.
- Endres, A. (2007). *Umweltökonomie*. Stuttgart: W. Kohlhammer.
- EPA. (2009). *Environmental Protection Agency - Acid Rain Program*. Retrieved Dezember 8, 2009, from <http://www.epa.gov/acidrain/>
- Europäische Kommission. (2009). *Europäische Kommission - Umwelt*. Retrieved Dezember 14, 2009, from http://ec.europa.eu/environment/index_de.htm
- European Environment Agency. (2011, Oktober 16). *European Environment Agency*. Retrieved from <http://dataservice.eea.europa.eu>
- European Environment Agency. (2011). *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe*.
- FutureCamp Climate GmbH. (2010). *Emissionshandel und Klimastrategien*. München: WEKA Media.
- Hack, C. (2011). *Emissionszertifikate*. Wien: Linde.
- Köppl, A., Thenius, G., & Schleicher, S. (2008). *Impacts of the EU emissions trading scheme: insights from the first trading period with a focus on competitiveness issues*. Wien: WIFO - Österr. Inst. für Wirtschaftsforschung.
- Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. Harvester Wheatsheaf.
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*.

- Siebert, H. (2008). *Economics of the Environment, Seventh Edition*. Springer.
- Umweltbundesamt. (2009). *Klimaschutzbericht*. Retrieved Dezember 14, 2009, from <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0226.pdf>
- Umweltbundesamt. (2009). *Umweltbundesamt Österreich*. Retrieved Dezember 14, 2009, from <http://www.umweltbundesamt.at/>
- UN. (1992). *Agenda 21*. Retrieved Dezember 9, 2009, from http://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf
- UN. (1997). *Kyoto Protokoll*. Retrieved Dezember 9, 2009, from <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>
- UN. (1992). *Rio-Erklärung*. Retrieved Dezember 9, 2009, from <http://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/rio.pdf>
- UNFCCC. (2009). *Kyoto Protocol, Status of Ratification*. Retrieved Dezember 9, 2009, from http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification_20090826corr.pdf
- UNFCCC. (2009). *National greenhouse gas inventory data for the period 1990–2007*. Retrieved Dezember 13, 2009, from <http://unfccc.int/resource/docs/2009/sbi/eng/12.pdf>
- UNFCCC. (1992). *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*. Retrieved Dezember 9, 2009, from <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>
- UNFCCC. (2011, November). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Retrieved from <http://unfccc.int>
- Wiesmeth, H. (2003). *Umweltökonomie*. Heidelberg: Springer.
- Wilensky, U. (2004). NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. *International Conference on Complex Systems*. Boston.
- Worldbank. (2011). *State and Trends of the Carbon Market*. Washington DC.
- Zöchbauer, F. (2006). *Das Emissionshandessystem der Europäischen Union*. Wirtschaftsuniversität Wien.

Anhang: Inhalt der Daten DVD:

Beiliegend zu dieser Arbeit wurde eine DVD erstellt, welche die agentenbasierte Simulation enthält. Die Installationsdatei von Netlogo 4.1 und der zu Grunde liegende Source Code sind ebenso dort zu finden. Zusätzlich wurde eine pdf Version der Diplomarbeit darauf gespeichert.

Index:

\DVD

 \Diplomarbeit

 Diplomarbeit als pdf Datei

 \NetLogo

 Installationsdatei der verwendeten NetLogo Version 4.1

 \source_code

 Source Code der Programmierlogik