

Laissez-faire, Kooperation oder Alleingang: Klimapolitik in der Schweiz¹

GUNTER STEPHAN und DAMIAN IMBODEN*

1. EINFÜHRUNG

Droht eine globale Klimakatastrophe? Scheinbar gibt es gewisse Anzeichen dafür. Dennoch ist die wissenschaftliche Diskussion über das Treibhausproblem heute keineswegs abgeschlossen, sondern durch unterschiedliche, teilweise gegensätzliche Positionen gekennzeichnet. Beispielsweise warnen EDMONDS und REILLY (1985), CLINE (1991) oder FABER, PROOPS und WAGENHALS (1993) vor der Gefahr einer Klimaveränderung mit verheerenden Auswirkungen auf die Lebensbedingungen künftiger Generationen. Angesichts der beschränkten Anpassungsfähigkeit des Ökosystems und des globalen Experiments, das die Menschheit seit 150 Jahren mit der Freisetzung von Treibhausgasen durchführt, fordert diese Gruppe sofortige Klimaschutzmassnahmen, um eine bedrohliche Entwicklung noch stoppen zu können.

Dagegen argumentieren Autoren wie BALLING (1992), MANNE und RICHELIS (1992) oder NORDHAUS (1991), dass die Klimaprognosen heute noch unsicher sind; unter anderem deshalb, weil wesentliche, klimarelevante Wechselwirkungen, wie beispielsweise die Interaktion zwischen den Meeren und der Atmosphäre, ungenügend erforscht sind. Sie plädieren deshalb dafür, zunächst die Klimaforschung zu intensivieren, um dann bei einer verbesserten Wissenslage gezielt und effizient eingreifen zu können (siehe hierzu auch MICHAELIS 1994).

Nach unserem Dafürhalten erfordert die Frage, ob heute Massnahmen zum Schutz des Weltklimas ergriffen werden sollten oder nicht, in erster Linie eine politische Antwort. Beide Alternativen, jetzt treibhauswirksame Emissionen zu verringern, oder aktiv zu warten und die Klimaforschung zu intensivieren, sind mit Unsicherheiten verbunden, die sich beim gegenwärtigen Stand des Wissens nicht auflösen lassen. Eine Entscheidung ist deshalb auch davon abhängig, wie der Einzelne und ganze Gesellschaften das Risiko einer globalen Erwärmung einschätzen, inwieweit sie sich künftigen Generationen gegenüber verpflichtet fühlen und wie sie diese moralische Verantwortung gegen die ökonomischen Kosten des Klimaschutzes aufrechnen.

* Abteilung für Angewandte Mikroökonomie, Gesellschaftsstrasse 49, CH-3012 Bern.

1. Unser Dank gilt P. MORAND, CH. ALBRECHT (BUWAL), G. WAGENHALS (Stuttgart), P. PREVIDOLI, S. STEFFEN, T. WIEDMER (Bern) für zahlreiche Hinweise und Anregungen. Dank schulden wir auch der Akademischen Kommission der Universität Bern für deren finanzielle Unterstützung im Rahmen des 1950 Syndroms.

Es kann aber nicht die Aufgabe der Wissenschaft sein, den politisch Handelnden die Entscheidung abzunehmen. Dagegen muss es ihr Ziel sein, zur Versachlichung der Diskussion und mit einer korrekten Darstellung der Fakten zur Entscheidung beizutragen. Eine rationale Auseinandersetzung mit den ökonomischen Aspekten des Klimaschutzes erfordert dabei Analysen, die logisch konsistent und transparent die langfristigen Allokations- und Distributionseffekte solcher Massnahmen darstellen.

Berechenbare Allgemeine Gleichgewichtsstudien erfüllen diese Anforderungen. So haben beispielsweise MANNE und RICHEL (1992), WHALLEY und WIGLE (1991) oder FELDER und RUTHERFORD (1993) Berechenbare Allgemeine Gleichgewichtsmodelle verwendet, um internationale Effekte verschiedener Treibhauspolitiken zu analysieren. Berechenbare Allgemeine Gleichgewichtsstudien mit einer Konzentration auf nationale Aspekte finden sich zum Beispiel in den Arbeiten von JORGENSEN und WILCOXEN (1993), BERGMAN (1991), CONRAD und SCHRÖDER (1991) sowie STEPHAN, VAN NIEUWKOOP und WIEDMER (1992).

Ziel dieses Beitrags ist eine dynamische Berechenbare Allgemeine Gleichgewichtsanalyse, die auf den Arbeiten von STEPHAN et al. (1992) und STEPHAN (1993) aufbaut, und für die Schweiz die ökonomischen Aspekte verschiedener Treibhauspolitiken über den Zeitraum von 1985 bis 2010 evaluiert. Gewählt haben wir drei Politikoptionen, die heute nicht nur in der Schweiz, sondern in entsprechender Form auch in der Europäischen Union Gegenstand der Diskussion sind:

- (1) Laissez-faire oder business as usual Szenario, worunter die Entwicklung der schweizerischen Volkswirtschaft ohne klimapolitische Massnahmen verstanden sei.
- (2) Alleingang der Schweiz ab 1995 durch Einführung einer Kohlendioxid-Abgabe mit dem Ziel, bis 2010 die schweizerischen Kohlendioxid-Emissionen um 20% bezogen auf das 1990er Emissionsvolumen zu reduzieren.
- (3) Internationale Kooperation ab 1995 ebenfalls mit der Zielsetzung, bis 2010 die globalen Kohlendioxid-Emissionen um 20% zu reduzieren.

Eröffnet wird die Analyse in Abschnitt 2 mit einer verbalen Erörterung, welche Auswirkungen unter den drei genannten Politikoptionen zu erwarten sind. Der theoretische Ansatz und dessen Umsetzung sind in Abschnitt 3 dargestellt, während sich in Abschnitt 4 die Ergebnisse der Modellsimulationen finden.

2. EFFEKTE UND ARGUMENTE

In der öffentlichen Diskussion wird regelmässig die internationale Kooperation zum Schutz des Weltklimas dem nationalen Alleingang gegenüber favorisiert mit den Argumenten: (1) Nationale Klimapolitik in der Schweiz sei ökologisch ineffizient, da weniger als 0,2% der globalen Kohlendioxidemissionen aus schweizerischen Quellen stammen. (2) Sie sei auch ökonomisch ineffizient, weil sich in anderen Ländern mit geringeren

Kosten grössere Vermeidungspotentiale nutzen lassen. (3) Die volkswirtschaftlichen Kosten einer nationalen Kohlendioxidpolitik würden durch die Benachteiligung der schweizerischen Exporteure weiter erhöht mit der Konsequenz, dass energieintensive Produktion ins Ausland verlagert wird, und sich in der Schweiz Investitionen in diesen Sektoren wegen schlechter Ertragsaussichten in der Zukunft stark verringern.

Diese Argumente lassen sich nicht von der Hand weisen. Denn für ein kleines Land ist es nicht ökonomisch effizient, im Alleingang globale Probleme lösen zu wollen. Dennoch gibt es Argumente, die für einen befristeten Alleingang in der Klimapolitik sprechen.

Massnahmen zum Schutz des Weltklimas bedeuten insbesondere, den Verbrauch an fossilen Energieträgern zu reduzieren. Damit fördert Klimapolitik die Entwicklung einer Wirtschaftsweise, die mit weniger Rohstoffen bei weniger Abfall und effizienterem Energieeinsatz umweltverträglichere Produkte herstellt. Dies führt zu einem Innovationsschub, der dem eigenen Land direkt Standortvorteile sichert und über Wissenstransfer auch anderen indirekt den Übergang zu nachhaltigem Wirtschaften ermöglicht.

Was sind aber die möglichen Auswirkungen der Optionen: (1) Alleingang oder (2) internationale Kooperation in der Klimapolitik, auf die Volkswirtschaft der Schweiz? Dies machen wir uns zunächst in einer intuitiven Betrachtung klar.

2.1 Effekte einer international koordinierten Politik

Nehmen wir zunächst an, Klimaschutz werde international koordiniert. Da grösstenteils keine Möglichkeiten existieren, Kohlendioxid (CO_2) zu entsorgen, besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Kohlenstoffgehalt der fossilen Energieträger Öl, Gas und Kohle und den aus ihrer Nutzung resultierenden CO_2 -Emissionen. Emissionsabgaben auf CO_2 können somit als brennstoffspezifische Abgaben auf den Kohlenstoffgehalt von fossilen Energieträgern ausgestaltet werden (siehe dazu STEPHAN et al. 1992). WHALLEY und WIGLE (1991) schlagen deshalb vor, Klimapolitik international dadurch zu koordinieren, dass bereits in den Förderländern eine rohstoffbezogene Kohlenstoffsteuer erhoben und über diesen Hebel die internationalen Preise für fossile Energieträger entsprechend erhöht werden.

Dieser Vorschlag hat einen entscheidenden Vorteil: Internationale Kooperation zum Schutz des Klimas muss durchgesetzt werden. Kein Land hat aber einen Anreiz, eine international abgesprochene CO_2 -Politik national umzusetzen. Die Motivation, sich als free-rider zu verhalten, ist hierfür zu hoch. Darüberhinaus dürfte es schwer sein zu überprüfen, ob die internationalen Absprachen national eingehalten und nicht durch entsprechende Ausnahmeregeln für bestimmte Sektoren durchbrochen werden (siehe BOVENBERG 1993). Dagegen wären erdölfördernde Länder eher motiviert, eine CO_2 -Abgabe auf den Produktionspreis aufzuschlagen, weil sie auf diese Weise zusätzliche Einnahmen erzielen und die Einbussen teilweise kompensieren könnten, die sie hinneh-

men müssten, wenn sich als Folge einer international koordinierten Klimapolitik der Verbrauch an Erdöl verringert.

Was sind die Effekte einer internationalen CO₂-Abgabe für die Schweiz? Da eine internationale CO₂-Abgabe als Erzeugerabgabe erhoben wird, führt dies in allen erdöl-importierenden Länder zu einem massiven Abfluss an Kapital in Form von Devisen. Damit wirkt eine international koordinierte Klimapolitik erstens negativ auf die langfristige Entwicklung der schweizerischen Volkswirtschaft. Zweitens steht fest, dass sich die internationalen Handelsströme verändern (siehe WHALLEY und WIGLE 1991); ob mit positiven oder negativen Auswirkungen für die Schweiz, lässt sich aus den uns bekannten Studien nicht schlüssig beantworten.

Drittens kann davon ausgegangen werden, dass die Schweiz bei einer internationalen Klimapolitik eine geringere CO₂-Vermeidung als im Alleingang durchführen muss. Ein wesentlicher Vorteil einer international koordinierten CO₂-Abgabe ist nämlich, wie oben erwähnt, dass CO₂-Emissionen global effizient reduziert werden, weil die regionalen unterschiedlichen Vermeidungskosten berücksichtigt und keine uniformen Reduktionsziele gesetzt werden.

Die Schweiz stellt nun in doppelter Hinsicht eine Ausnahme dar: Einerseits hat sie heute schon relativ geringe pro-Kopf CO₂-Emissionen.² Andererseits sind die Grenzkosten für CO₂-Emissionsreduktionen in der Schweiz im Vergleich zu anderen OECD Staaten hoch. Denn die schweizerische Wirtschaft ist durch eine atypische Struktur geprägt: In der Schweiz gibt es nahezu keine Schwerindustrie und elektrische Energie wird fast ausschliesslich aus kohlenstofffreien Ressourcen gewonnen; im Gegensatz zu den meisten übrigen Ländern, wo die Sektoren Grundstoffindustrie und Energie noch relativ hohe Einsparpotentiale für CO₂-Emissionen bieten (siehe FABER, PROOPS und WAGENHALS 1993).

2.2 *Effekte eines Alleingangs*

Was sind die Auswirkungen eines schweizerischen Alleingangs? Zunächst muss man sich daran erinnern, dass Klimaschutz in der Schweiz national organisiert werden kann, indem bereits an der Grenze eine brennstoffspezifische CO₂-Abgabe auf Importe an fossilen Energieträgern erhoben wird (siehe dazu STEPHAN et al. 1992). Diese Veränderung der Relativpreise von fossilen Energieträgern hat mindestens drei Effekte.

Erstens wird der schweizerische Aussenhandel in doppeltem Sinne negativ beeinflusst: einerseits, weil sich die schweizerischen Exporte verteuern; andererseits, weil im Binnenland energieintensiv produzierte Güter im Vergleich zu Importen ihre Konkurrenzfähigkeit verlieren. Dieser Effekt könnte insbesondere die chemische Industrie

2. In der Schweiz werden pro Kopf und Jahr etwa 8 t CO₂ emittiert. In den USA sind es jährlich ca 22 t pro Kopf und der OECD-Durchschnitt liegt immer noch bei 15 t (siehe dazu ROTHEN 1992).

treffen, womit die Frage aufkommt, ob es bei der geringen Flexibilität der schweizerischen Volkswirtschaft gelingt, diesen Verlust an Arbeitsplätzen auszugleichen.

Zusätzlich besteht die Gefahr, dass das sogenannte leakage-Problem auftritt (siehe dazu auch FELDER und RUTHERFORD 1993): Zwar senkt die Schweiz ihre nationalen CO₂-Emissionen, exportiert aber indirekt CO₂-Emissionen, weil sie verstärkt energieintensiv produzierte Inputs aus Ländern importiert, die selbst keine CO₂-Reduktion betreiben. Deshalb kann die schweizerische Massnahme global sogar einen negativen Effekt ausweisen. Diese Überlegungen zeigen, dass nationale Emissionen kein guter Massstab für den globalen Erfolg einer Klimapolitik sind.

Zweitens muss im Fall eines Alleingangs die Schweiz das Toronto-Ziel einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 20% auf nationaler Ebene umsetzen, was nach obiger Diskussion höhere volkswirtschaftliche Kosten als im Falle einer international koordinierten Politik bedeutet. Dagegen werden aber drittens keine Kapitalabflüsse in Form von Devisen und daraus folgende Langzeiteffekte auf die Entwicklung der schweizerischen Volkswirtschaft beobachtet.

Der letzte Aspekt hat nach unserem Dafürhalten besondere Bedeutung. Ziel einer CO₂-Politik ist es, Anreize dafür zu schaffen, dass kohlenstoffhaltige durch kohlenstoffarme bzw. -freie Energieträger substituiert werden. Dies setzt strukturellen Wandel in dem Sinne voraus, dass die heutigen Energiebereitstellungssysteme abgebaut und alternative sowie effizientere aufgebaut werden. Eine Gesellschaft wird diesen Umbau um so leichter bewältigen, je mehr Kapitalmittel zu Verfügung stehen. Es ist daher zu vermuten, dass sich zumindest in der Umstrukturierungsphase ein Alleingang als vorteilhaft für die Schweiz erweist.

3. DER THEORETISCHE ANSATZ

Wie sich Kohlendioxid-Emissionen entwickeln, bestimmt unmittelbar der Verbrauch an fossilen Energieträgern. Unter optimalen Bedingungen folgen dabei die Preise und die Extraktion der nicht-erneuerbaren Energieträger Öl, Gas und Kohle einer HOTELLING-Regel. «Optimal» setzt hierbei voraus, dass die Wirtschaftssubjekte rationale im Sinne von korrekten und konsistenten Erwartungen haben, und die ökonomischen Renten von fossilen Energieressourcen nicht schneller als die marginale Produktivität von Kapital wachsen.

Mikroökonomisch äquivalent zur Annahme, Wirtschaftssubjekte haben rationale Erwartungen, ist die Organisationsform einer Wirtschaft mit einem vollständigen System an wohlorganisierten Zukunftsmärkten, auf denen zu Beginn des Zeithorizonts alle ökonomischen Pläne koordiniert werden. Denn eine zentrale Funktion von Märkten ist die Informationsvermittlung und ein vollständiges System von Zukunftsmärkten übermittelt den Wirtschaftssubjekten damit alle ökonomisch relevanten Informationen über die Zukunft. Aus solchen Überlegungen folgern MANNE und RICHELIS (1992), dass bei der Analyse von Klimaaspekten ein intertemporaler Ansatz ARROW-DEBREUScher Prä-

gung mit einem vollständigen System an wohlorganisierten Zukunftsmärkten zu verwenden sei.

Dagegen argumentieren JORGENSEN und WILCOXEN (1993), rekursive Ansätze seien besser geeignet, da sie von weniger unrealistischen Annahmen über die Organisationsform der Wirtschaft und das Verhalten der Wirtschaftssubjekte ausgehen. In einem rekursiven Gleichgewichtsmodell verwenden die Individuen immer nur die Informationen aus der laufenden Periode. Sie verhalten sich also myopisch sowohl in bezug auf die Zukunft als auch Vergangenheit. Ein derartiges Verhalten ist dadurch erklärt, dass es keine Institutionen wie etwa Zukunftsmärkte gibt, in denen Informationen über künftige Zustände ausgetauscht und intertemporale Pläne aufeinander abgestimmt werden können. Deshalb entfällt in rekursiven Modellen auch die Notwendigkeit, Bedingungen für das Ende des Betrachtungszeitraumes zu spezifizieren, was empirisch und theoretisch ein ungelöstes Problem darstellt (für eine Diskussion siehe STEPHAN 1989).

Die Schweiz verfügt über keine eigenen Vorkommen an fossilen Ressourcen und kann als kleine Volkswirtschaft deren Weltmarktpreise nicht beeinflussen. Deshalb können die intertemporalen Ressourcenpreise als exogen betrachtet und aus Szenarien übernommen werden, die MANNE und SCHRATTENHOLZER (1993) errechnet haben. Über diesen Kniff liesse sich die HOTELLING-Regel für fossile Energieressourcen in ein konventionelles rekursives Modell einbeziehen.

Gegen eine myopische Struktur spricht aber eine gewisse logische Inkonsistenz des traditionellen rekursiven Ansatzes. Auf der einen Seite wird nämlich unterstellt, die Wirtschaftssubjekte haben keine Informationen über künftige Preise und müssen sich daher myopisch verhalten. Auf der anderen Seite sind sie als Konsumenten aber in der Lage, die in der Zukunft physisch realisierbaren Konsummöglichkeiten in Form von wohldefinierten intertemporalen Konsumgüterbündeln vor auszusehen beziehungsweise aus diesen unter statischen Preiserwartungen das optimale auszuwählen.

3.1 Die dynamische Struktur³

In dieser Arbeit greifen wir eine alternative Modellierung dynamischer Modelle auf, die in STEPHAN (1993) ausführlich diskutiert wird. Wie erwähnt, ist die Voraussetzung, es gebe ein vollständiges System an Zukunftsmärkten als Organisationsform, zwar mikrotheoretisch konsistent zur Annahme, die Wirtschaftssubjekte besitzen rationale Erwartungen. In der Realität ist ein derartig ausgestaltetes Marktsystem aber ebensowenig zu erwarten wie eine Volkswirtschaft, in der es nur Spotmärkte gibt. Vielmehr sind die realen marktwirtschaftlichen Institutionen gekennzeichnet durch eine Kombination von Spotmärkten und einigen wenigen, zeitlich nicht sehr weit reichenden Konditionalmärkten in Form von Kombinationen aus Kredit-, Versicherungs- und Terminmärkten (siehe

3. Da die theoretischen Eigenschaften des Ansatzes in STEPHAN (1993) bereits ausführlich diskutiert sind, beschränken wir uns im wesentlichen auf eine nichtformale Darstellung.

WIEDMER 1994). Wir unterstellen daher (siehe auch STEPHAN 1993): In jeder Periode gebe es zwei Typen von Märkten: (1) Spotmärkte für alle Güter sowie (2) einen einperiodigen Zukunftsmarkt.

Zukunftsmärkte werden in diesem Zusammenhang als Finanzmärkte gesehen, auf denen Eigentumsrechte am zukünftigen Kapitalbestand und damit künftige Einkommensmöglichkeiten, nicht aber physische Güter gehandelt werden. Das heisst, zu Beginn einer Periode offerieren die Unternehmungen Eigentumsrechte an dem Kapitalbestand, den sie in der laufenden Periode zu produzieren beabsichtigen, der deshalb erst in der nachfolgenden Periode physisch auf den Spotmärkten gehandelt werden kann. Auf den Spotmärkten selbst veräussern die Haushalte ihre Ausstattung an primären Faktoren sowie ihre Eigentumsrechte an Kapitalbeständen und fragen Konsumgüter nach. Unternehmungen bieten ihren Nettooutput an und kaufen Produktionsfaktoren einschliesslich dauerhafter Produktionsmittel.

Wirtschaftssubjekte können zukünftige Pläne nicht koordinieren, wenn das System an Zukunftsmärkten unvollständig ist. In einem mikroökonomischen Modell ist es daher konsistent anzunehmen, die Wirtschaftssubjekte folgen einer myopischen Entscheidungsregel (siehe STEPHAN 1989). Für die Unternehmungen bedeutet dies, dass sie ihre Produktionsentscheidungen periodenweise und nur auf der Basis derjenigen Informationen fällen, die ihnen in der jeweiligen Periode zugänglich sind: In jeder Periode wählen die Unternehmen diejenigen Produktionsprozesse, die ihre kurzfristigen Gewinne maximieren. Letztere sind bestimmt durch den Verkauf des zu Spotmarktpreisen bewerteten Nettooutputs, minus den Kapitalkosten für die Produktion, plus den Erlös, den die Unternehmungen durch den Verkauf an Eigentumsrechten am künftigen Kapitalbestand auf dem einperiodigen Zukunftsmarkt erwirtschaften. Hiermit gilt für eine Periode t :

$$p_t y_t - r_t k_t + {}^t r_{t+1} K_{t+1}, \quad (3.1)$$

wobei r_t den Spotmarktpreis für den Kapitalbestand k_t bezeichnet, der in Periode t in die Produktion eingesetzt wird. ${}^t r_{t+1}$ ist der Gegenwartspreis für Eigentumsrechte am künftigen Kapitalbestand K_{t+1} und y_t ist der Nettooutput an nichtdauerhaften Gütern, die in Periode t auf den Spotmärkten zu Preisen p_t angeboten werden.

Rationale Konsumenten handeln im Bewusstsein, dass sich ihre Unsicherheit bezüglich des zukünftigen Konsums, Einkommens und der Preise nur auflöst, wenn die Zeit weiterschreitet. Sie versuchen daher, Entscheidungen so offen wie möglich zu halten und sich erst im letztmöglichen Zeitpunkt definitiv festzulegen.

Die Marktstruktur unseres Modells erlaubt den Konsumenten sequentielles Entscheiden dieser Art. Zu Beginn einer Periode müssen sie nur festlegen, wie sie ihr Einkommen, das sie durch Verkauf ihrer Ressourcenausstattung auf den Spotmärkten erzielen, zwischen Konsum in der laufenden Periode und Sparen aufteilen. Da Sparen formal Investieren in einen dauerhaften Bestand entspricht, legen die Konsumenten über diese

Entscheidung einen Teil ihrer Ressourcenausstattung morgen fest, die wiederum ihr künftiges Einkommen determiniert.

Mit anderen Worten: Zu Beginn einer Periode t kauft ein Konsument auf den Spotmärkten das von ihm erwünschte Konsumgüterbündel c_t an nichtdauerhaften Gütern und verkauft seine Ressourcenausstattung, die sich aus seiner Ausstattung an primären Faktoren l_t und Eigentumsrechten am Kapitalbestand w_t zusammensetzt. Gleichzeitig kann er sich auf dem einperiodigen Zukunftsmarkt gegen Unsicherheit in dem Sinne versichern, dass er dort Eigentumsrechte w_{t+1} an dauerhaften Gütern erhalten kann, die ihm in den nachfolgenden Perioden Einkommens- und damit Konsummöglichkeiten eröffnen.

Gehen wir zur Vereinfachung der Darstellung davon aus, in jeder Periode gebe es nur einen repräsentativen Konsumenten und Produzenten.⁴ Bezeichnet U_t die Nutzenfunktion des repräsentativen Konsumenten in Periode t , dann lautet das Haushaltsentscheidungsproblem für Periode t :

$$\text{Max } \{U_t(c_t, w_{t+1})\} \quad (3.2)$$

unter der Budgetrestriktion

$$p_t c_t + {}^t r_{t+1} w_{t+1} \leq r_t w_t + p_t l_t + ({}^t r_{t+1} K_{t+1} + p_t y_t - r_t k_t) . \quad (3.3)$$

Dabei ist wie in Gleichgewichtsmodellen üblich unterstellt, die Gewinne der Unternehmungen ${}^t r_{t+1} K_{t+1} + p_t y_t - r_t k_t$ werden vollständig an die Haushalte ausgeschüttet.

3.2 Gleichgewichtsbedingungen und numerische Lösung

Nach diesen Vereinbarungen über die Marktstruktur und das Verhalten der Wirtschaftssubjekte ist offensichtlich, dass in jeder Periode ein Konkurrenzgleichgewicht unter üblichen Annahmen existiert. Das heisst: Sind die Nutzenfunktionen U_t stetig, quasi-konkav und streng monoton, die Technologiemenngen G_t abgeschlossen und konvex sowie die Produktion irreversibel, dann gibt es ein Tripel $(p_t, r_t, {}^t r_{t+1})$ von Spotmarktpreisen p_t und r_t für nichtdauerhafte Güter beziehungsweise dauerhafte Produktionsmittel sowie einen Gegenwartspreis ${}^t r_{t+1}$ für Eigentumsrechte am künftigen Kapitalbestand, so dass

- (1) Konsumenten unter der Budgetrestriktion (3.3) ihren Nutzen,
- (2) Unternehmungen ihre kurzfristigen Gewinne (3.1) maximieren und
- (3) das Angebot auf jedem Markt die Nachfrage deckt, also

4. In der empirischen Analyse lösen wir diese Vereinfachung auf (siehe Abschnitt 3.3).

$$c_t \leq y_t, k_t \leq w_t \text{ und } w_{t+1} \leq K_{t+1} .$$

Wir können also eine Folge von periodenbezogenen, aber periodenweise unkoordinierten Konkurrenzgleichgewichten etablieren. Allerdings sind die periodenbezogenen Gleichgewichtslösungen nicht unabhängig voneinander. Die heutigen Konsumententscheidungen beeinflussen ja den morgen verfügbaren Kapitalbestand und damit sowohl die Produktions- als auch die Konsummöglichkeiten der nächsten Periode. Somit stellt sich die Frage: Unter welchen Bedingungen ist die Folge von periodenbezogenen Konkurrenzgleichgewichten intertemporal konsistent? Das ist sicherlich dann der Fall, wenn die Konsumenten jeweils gerade solche Kapitalbestände anbieten wie die Unternehmungen nachfragen und umgekehrt (siehe STEPHAN 1993):

Satz 3.1:

Seien die Nutzenfunktionen U_t stetig, strikt quasikonkav und streng monoton, die Technologiemengen G_t konvex, abgeschlossen und die Produktion irreversibel. Ist der Anfangskapitalbestand k_1 positiv, dann existiert ein Quadrupel (k^*, c^*, p^*, r^*) von Vektorfolgen $k^* = (k_t^*, t = 1, 2, \dots)$, $c^* = (c_t^*, t = 1, 2, \dots)$, $p^* = (p_t^*, t = 1, 2, \dots)$, und $r^* = (r_t^*, t = 1, 2, \dots)$, so dass für alle t gelten:

$$(k_t^*, c_t^*, k_{t+1}^*) \in G(t) , \quad (3.4)$$

$$U_t(c_t, k_{t+1}) \geq U_t(c_t^*, k_{t+1}^*) \text{ dann und nur dann, wenn} \quad (3.5)$$

$$p_t^* c_t + r_{t+1}^* k_{t+1} \geq p_t^* c_t^* + r_{t+1}^* k_{t+1}^* ;$$

$$p_t^* c_t^* + r_{t+1}^* k_{t+1}^* r_t^* k_t^* \geq p_t^* c_t + r_{t+1}^* k_{t+1} r_t^* k_t \quad (3.6)$$

$$\text{für alle } (k_t, c_t, k_{t+1}) \in G_t .$$

Ein Quadrupel (k^*, c^*, p^*, r^*) , das die Eigenschaften (3.4) bis (3.6) erfüllt, nennt man übrigens ein sequentielles Konkurrenzgleichgewicht. Dabei besagt (3.4), dass die Produktion von Konsum an nicht dauerhaften Gütern c_t sowie des künftigen Kapitalbestandes k_{t+1} beim Einsatz des Kapitalbestandes k_t technisch durchführbar ist. (3.5) bedeutet, ein höheres periodenbezogenes Nutzenniveau ist nur bei höherem Einkommen möglich, und (3.6) entspricht der kurzfristigen Gewinnmaximierung in jeder Periode.

An dieser Stelle sei auf zwei Eigenschaften von sequentiellen Konkurrenzgleichgewichten hingewiesen: (1) Ein sequentielles Konkurrenzpreissystem definiert nicht notwendigerweise intertemporale Gleichgewichtspreise und intertemporale Substitutionsraten sind nicht durch intertemporale Relativpreise ausdrückbar. Eine theoretisch interessante Frage ist daher: Unter welchen Voraussetzungen kann das eingeführte Preissystem als intertem-

porales Gleichgewichtspreissystem interpretiert werden? Mehr noch, unter welchen Voraussetzungen ist ein sequentielles Konkurrenzgleichgewicht paretooptimal? Antworten auf diese Fragen gibt die Arbeit von STEPHAN (1993).

(2) Ein sequentielles Konkurrenzgleichgewicht lässt sich numerisch berechnen. RUTHERFORD (1988) hat einen Algorithmus entwickelt, der es erlaubt, Allgemeine Gleichgewichtslösungen numerisch dann zu bestimmen, wenn die Voraussetzungen für die Existenz eines Allgemeinen Gleichgewichts erfüllt sind. Unter den Voraussetzungen von Satz 3.1 ist es somit möglich, periodenweise Konkurrenzgleichgewichtslösungen mit positiven Preisen $(r_t, {}^t r_{t+1})$ zu errechnen und anschliessend dieses System über die Normierungsregel $r_{t+1} = {}^t r_{t+1}$ in ein sequentielles Gleichgewicht zu überführen.

3.3 Umsetzung des Ansatzes

Kernstück eines Berechenbaren Allgemeinen Gleichgewichtsmodells ist ein sogenannter Benchmark-Datensatz. Dieser soll die untersuchte Volkswirtschaft empirisch abbilden, konsistent zur theoretischen Konzeption der Allgemeinen Gleichgewichtstheorie sein und erlauben, den Daten eine mikrotheoretisch fundierte Interpretation des Produktions- und Konsumverhaltens zu unterlegen.

Üblicherweise werden hierzu Input-Output-Tabellen verwendet. Grundlage unseres Benchmark-Datensatzes ist die schweizerische Input-Output-Tabelle von 1985, die an der Universität Genf erstellt wurde und quasi als offizielle Tabelle für die Schweiz gilt (siehe ANTILLE 1993). Die ursprünglich 42 Sektoren umfassende Tabelle haben wir für unsere Zwecke modifiziert, so dass neben 18 inländischen Produktions- und Dienstleistungssektoren drei Energiesektoren ausgeschieden sind: der Sektor Stromerzeugung (Strom) sowie die Sektoren Gas und Raffinerie mit den Outputs Brenn- und Treibstoffe (siehe Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Produktions- und Energiesektoren

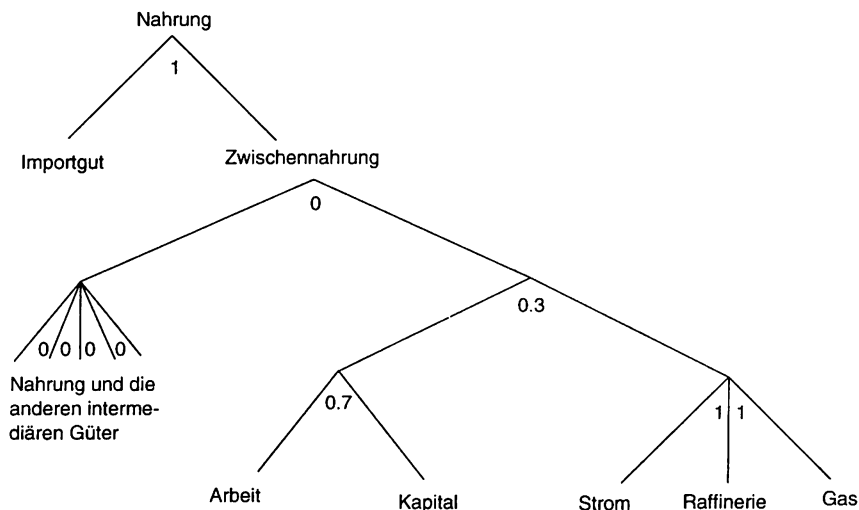
Nahrung	Nicht-Metalle	Grafik	Strom
Getränke	Metalle	Leder	Raffinerie
Tabak	Maschinen	Schmuck	Gas
Textil	Elektro	Bau	
Chemie	Holz	Staat/Soz	
Kunststoffe	Papier	Andere	

Dem Benchmark-Datensatz unterlegen wir eine mikrotheoretische Interpretation des Produktions- und Nachfrageverhaltens, wobei uns bewusst ist, dass die Spezifikation von Substitutions- beziehungsweise CO₂-Vermeidungspotentialen die Simulationsergebnisse entscheidend beeinflusst.

3.3.1 Die Produktion

Die Modellierung der Produktion von Gütern und Dienstleistungen orientiert sich an STEPHAN et al. (1992). Wie dort sind die technologisch determinierten Produktionsmöglichkeiten durch genestete Produktionsfunktionen beschrieben und die unterschiedlichen Substitutionsmöglichkeiten zwischen den verschiedenen Inputs durch Leontief-, CES- und Cobb-Douglas Formulierungen ausgedrückt. Aus dieser Arbeit stammen auch die Werte für die Substitutionselastizitäten.

Abbildung 3.2: Produktionsstruktur im Sektor Nahrung



CO₂-Emissionen können auf verschiedene Weise reduziert werden: einerseits durch Ersatz von fossilen Brennstoffen durch Strom und/oder Substitution zwischen fossilen Energieträgern, andererseits durch eine Erhöhung der Energieeffizienz. Beide Möglichkeiten sind im Modell erfasst, wie Abbildung 3.2 am Beispiel des Sektors Nahrung verdeutlicht. Erstens kann auf der untersten Ebene der Produktion zwischen Energieträgern Strom, Raffinerieprodukte (Öl) und Gas substituiert werden. Zweitens kann die Energieeffizienz der Produktion gesteigert werden, wenn Inputs aus dem Energieaggregat durch Inputs aus dem Aggregat Wertschöpfung ersetzt werden, das wiederum aus Kapital und Arbeit hervorgeht.

Während aber die Substitution zwischen Energieträgern technisch meist einfach und daher bereits kurzfristig realisierbar ist, fällt es in der Regel schwerer, CO₂-Emissionen durch eine Erhöhung der Energieeffizienz zu vermeiden. Der Energieeinsatz hängt entscheidend von der Art und Ausstattung an Kapitalgütern ab. Änderungen im output-spezifischen Energieverbrauch setzen daher Umrüstungen in der Produktion und den

Kapitalgüterbeständen voraus, was Zeit beansprucht. Kurzfristig müssen Kapital und Energie somit als komplementär betrachtet werden. Langfristig können aber durch neue, energieeffizientere Kapitalbestände Effizienzsteigerungen realisiert werden.

3.3.2 Der Konsum

In STEPHAN et al. (1992) war die Nachfrageseite nach Einkommen in sechs Haushaltskategorien disaggregiert. So konnte dort festgestellt werden, dass sowohl die Distributions- als auch Allokationseffekte von Klimaschutzprogrammen von der Verwendung des Abgabenaufkommens abhängen. Die Daten über die Nachfrageseite sind in der Schweiz aber so schlecht, dass wir uns in dieser Analyse dazu entschlossen haben, vom Konzept des repräsentativen Konsumenten auszugehen.

Allerdings stimmt die Klassifizierung der Güter in der schweizerischen Input-Output-Tabelle nicht überein mit der Klassifizierung von Konsumgütern. ANTILLE (1993) erfasst vierzehn Konsumgütergruppen, die wir wiederum in sieben transformiert haben (siehe Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Klassifikation der Konsumgüter

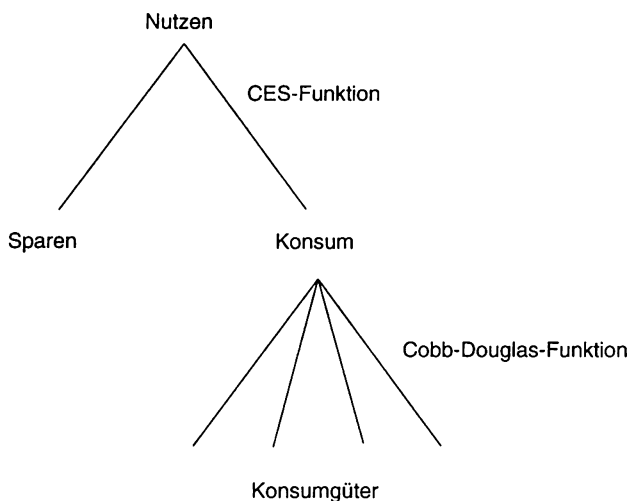
Nahrung	Genussmittel	Kleidung	Heizung	Wohnen	Öff. Verkehr	Andere
---------	--------------	----------	---------	--------	--------------	--------

In der Theorie Berechenbarer Allgemeiner Gleichgewichtsmodelle löst man dieses Inkonsistenzproblem, indem man sogenannte Z-Matrizen (vergleiche STEPHAN et al. 1992) konstruiert, mittels der die sektorspezifischen Güter in tatsächlich nachgefragte Konsumgüter transformiert werden. Formal kann man die Z-Matrix als eine spezielle Produktionsmatrix auffassen, die abbildet, wie aus dem sektoralen Güteroutput die Konsumgüter hergestellt werden.

Bei den uns zugänglichen Daten bietet es sich an, die Präferenzen der Haushalte durch genestete Nutzenfunktionen abzubilden (siehe Abbildung 3.4). Auf deren erster Stufe ist erfasst, wie der repräsentative Konsument in jeder Periode sein Einkommen aufteilt zwischen Konsum und Sparen, was Investieren in neue Kapitalbestände bedeutet (siehe dazu Abschnitt 3.1). Auf der zweiten Stufe sind dann die Präferenzen für die einzelnen Konsumgütergruppen in einer Cobb-Douglas Modellierung abgebildet.

Auch auf der Nachfrageseite gibt es Möglichkeiten, CO₂-Emissionen zu reduzieren: Konventionelle Heizungssysteme sind durch die effizientere und kohlendioxidfreie Widerstandsheizung ersetzbar und von privaten kann auf öffentliche Verkehrsträger umgestiegen werden. Deshalb gibt es als weiteres Konsumgut die Dienstleistung Transport durch öffentliche Verkehrsmittel. Dagegen sind die Substitutionsmöglichkeiten für konventionelle Hausbrandsysteme direkt in der Z-Matrix erfasst.

Abbildung 3.4: Struktur der Nutzenfunktion



3.3.3 CO₂-Abgaben und Aussenhandel

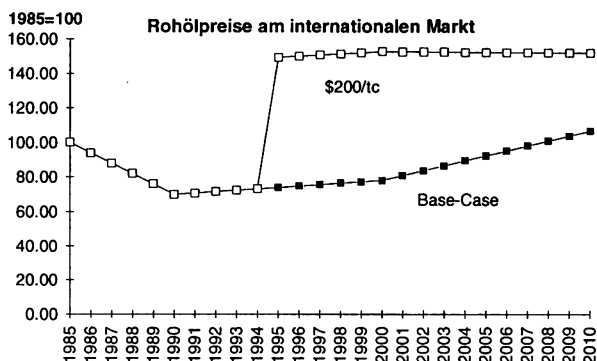
Wie in Abschnitt 2 erwähnt, werden CO₂-Abgaben als brennstoffspezifische Abgaben abhängig vom Kohlenstoffgehalt der fossilen Energieträger spezifiziert. In unserer Analyse müssen wir zwei Fälle getrennt betrachten: (1) internationale Kooperation (Szenario 3), (2) schweizerischer Alleingang (Szenario 2).

Wird zum Schutz des Weltklimas international kooperiert, dann werden die Weltmarktpreise für fossile Energieressourcen durch eine internationale Abgabe erhöht (siehe Abschnitt 2.1). MANNE und RICHEL (1992) haben errechnet, dass eine Abgabe von US\$ 200 pro Tonne Kohlenstoff ausreicht, um die globalen CO₂-Emissionen im Jahr 2010 auf 80% des Niveaus von 1990 zu reduzieren. Wir haben die Werte von MANNE und RICHEL (1992) in eine brennstoffspezifische Abgabe⁵ umgerechnet und den internationalen Preisen aufgeschlagen, wodurch sich für das Kooperationsszenario die 200 \$-Preisentwicklung in Abbildung 3.5 ergibt.

Beim Alleingang werden die CO₂-Abgaben endogen bestimmt. Die Höhe des optimalen Abgabensatzes errechnet sich dabei als Schattenpreis der jeweils vorgegebenen Emissionsobergrenzen. Da sich die Kohlendioxidemissionen aber unmittelbar aus dem Verbrauch an fossilen Energieträgern hochrechnen lassen, können CO₂-Abgaben auch als Inputsteuern direkt auf die fossilen Energieträger Öl, Gas und Kohle bezogen werden (siehe Abschnitt 4.1).

5. Für Öl lautet die Umrechnung (siehe auch ROTHEN 1992): Eine Tonne Öl enthält 0.84 t Kohlenstoff. Ein Barrel Öl wiegt 0.136 t, enthält somit 0.11424 t Kohlenstoff und die Abgabe pro Barrel ist $0.11424 \times 200 \$$, also 22.85 US\$.

Abbildung 3.5: Entwicklung der internationalen Edölpreise



Einkommen aus einer CO₂-Abgabe entstehen für die Schweiz nur bei einem Alleingang (siehe Abschnitt 2.2). In einer anderen Studie (siehe STEPHAN et al. 1992) haben wir festgestellt, dass eine Rückverteilung des gesamten Abgabenaufkommens die geringsten Wohlfahrt- und Effizienzverluste erzeugt. Entsprechend ist hier unterstellt, dass im Alleingangsszenario das gesamte Abgabenaufkommen an den repräsentativen Haushalt rückverteilt wird.

Der Aussenhandel wurde mit zwei Methoden modelliert: (1) durch eine einfache Schliessregel (closure-rule), (2) durch die Modellierung von Energieimporten zu exogenen Weltmarktpreisen. Die Projektion über die Entwicklung der Weltmarktpreise für fossile Brennstoffe haben wir der Studie von MANNE und SCHRATTENHOLZER (1993) entnommen und durch entsprechende Umrechnungen an unser Modell angepasst (siehe Abbildung 3.5).

Die Closure-rule wiederum basiert auf zwei Ideen. Zum einen müssen Exporte und Importe periodenweise im Gleichgewicht sein. Zum anderen muss sichergestellt sein, dass von den Gütern, die durch klimapolitische Eingriffe relativ verteuert werden, auch weniger exportiert werden. Beiden Anforderungen wird über die Konstruktion einer Exportfunktion Rechnung getragen, die ein fiktives Exportgut aus Exporten produziert, wobei der Wert des Exportgutes dem der Importe periodenweise entsprechen muss.

4. NUMERISCHE SIMULATION

Im folgenden diskutieren wir die Ergebnisse der numerischen Simulationen und die dabei errechneten Auswirkungen alternativer Klimapolitiken auf die Schweiz im Zeitraum 1985 bis 2010. Der Endzeitpunkt ist durch die politische Zielsetzung fixiert, bis zum Jahre 2010 die globalen oder alternativ die schweizerischen CO₂-Emissionen um 20% bezogen auf das Emissionsvolumen von 1990 zu reduzieren. Den Anfangszeitpunkt 1985 haben wir aus zwei Gründen gewählt. Erstens beziehen sich die von uns verwen-

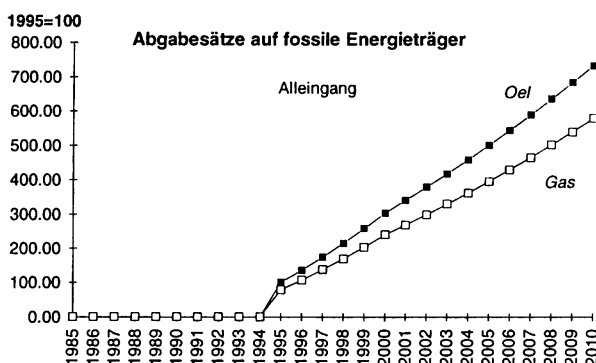
deten Daten auf das Jahr 1985 (siehe Abschnitt 3.3). Zweitens muss das Modell in diesem Fall historisch verstrichene Zeit nachsimulieren, wodurch eine gewisse Plausibilitätsprüfung der Simulation im Laissez-faire Szenario möglich ist.

Unter dem Laissez-faire oder base case Szenario verstehen wir dabei den Fall, dass keine klimapolitischen Eingriffe erfolgen. Diesem stellen wir zwei Politikoptionen gegenüber. Im Alleingangsszenario ist unterstellt, die Schweiz führe ab 1995 autonom eine CO₂-Abgabe ein, um die schweizerischen Emissionen bis 2010 auf 80% des Emissionsniveaus von 1990 zu drücken. Das Kooperations- oder US\$ 200 Szenario basiert dagegen auf der Annahme, Klimapolitik werde durch die Einführung einer globalen CO₂-Abgabe international koordiniert (siehe die Abschnitte 2.1 und 3.3.3).

4.1 Nationale CO₂-Abgabensätze

In allen Szenarien sind die internationalen Preise für fossile Energieträger exogen vorgegeben (siehe Abschnitt 3.3.3). Ebenfalls exogen bestimmt ist im Kooperations-szenario die international koordinierte CO₂-Abgabe, mit der fossile Energieträger im Kooperationsszenario belegt werden. Dagegen setzt die Schweiz bei einem Alleingang die CO₂-Abgabensätze hoheitlich fest. Abbildung 4.1 weist die von uns errechneten CO₂-Abgaben für einen klimapolitischen Alleingang der Schweiz aus.

Abbildung 4.1: Abgabensätze auf Öl und Gas im Alleingang



Realistischerweise sollte im Alleingang das vorgegebene Reduktionsziel schrittweise erreicht werden. Dazu wäre es notwendig, eine jährliche Emissionsminderung von ca. 1.34% bezogen auf das Niveau des Vorjahres zu erreichen. Die Abgabensätze in Abbildung 4.1 sind entsprechend berechnet.

4.2 Die Entwicklung gesamtwirtschaftlicher Grössen

Abbildung 4.2: Entwicklung des Bruttoinlandprodukts (BIP)

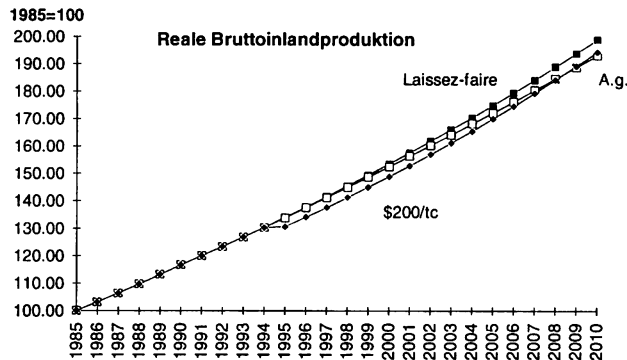


Abbildung 4.2 zeigt: Eine international koordinierte Klimapolitik, die ab 1995 durch eine internationale CO₂-Abgabe etabliert wird, führt in der Schweiz zu einem sofortigen und markanten Einbruch des BIP. Aber auch bei einem schweizerischen Alleingang in der Klimapolitik entstehen Kosten in Form eines verringerten BIP-Wachstums. Jedoch sind die Auswirkungen eines Alleingangs anfänglich geringer als bei internationaler Kooperation. Gegen Ende des Zeithorizonts drehen sich diese Zusammenhänge um; ein deutliches Signal dafür, dass ein schweizerischer Alleingang in der Klimapolitik mittelfristig eine bessere, langfristig die schlechtere Option ist.

Eine ähnliche Entwicklung beobachten wir für den gesamtschweizerischen Konsum. Im Alleingangsszenario wird zunächst mehr als bei internationaler Kooperation konsumiert. Am Ende des Zeithorizonts fällt das Konsumniveau, das die Schweiz im Alleingang realisiert, aber unter dasjenige, das für das Kooperationsszenario berechnet ist.

Beide Ergebnisse stimmen mit dem überein, was wir in Abschnitt 2 erwarteten. Dort haben wir darauf hingewiesen, dass internationale Kooperation zum Schutz des Weltklimas bereits kurzfristig zu Kapitalabflüssen aus der Schweiz führt, was sich negativ auf ihr Wirtschaftswachstum auswirkt. Der Kapitalabflusseffekt bleibt bei einem Alleingang der Schweiz zwar aus, dafür verschlechtern sich aber die Exportchancen der schweizerischen Volkswirtschaft, was deren wirtschaftliche Entwicklung langfristig ebenfalls negativ beeinflusst.

Tatsächlich ist aus Abbildung 4.3 zu entnehmen, dass sich der gesamtschweizerische Kapitalstock im Alleingang und im Laissez-faire Szenario nahezu gleich entwickelt. 2010 beträgt die Differenz weniger als 1%. Dagegen ist der schweizerische Kapitalstock, der bei internationaler Kooperation aufgebaut wird, deutlich kleiner.

Abbildung 4.3: Entwicklung des gesamtwirtschaftlichen Kapitalstocks

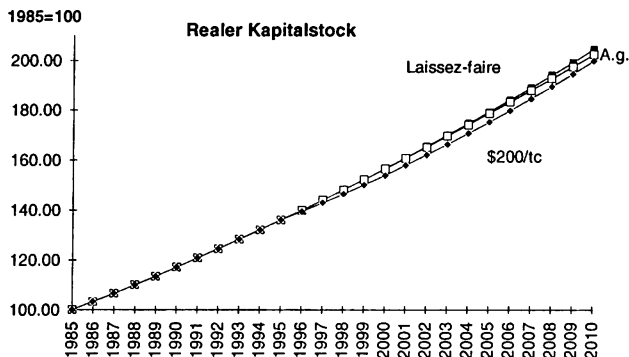
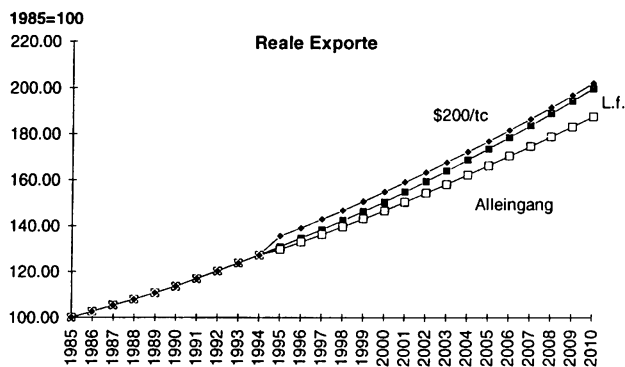


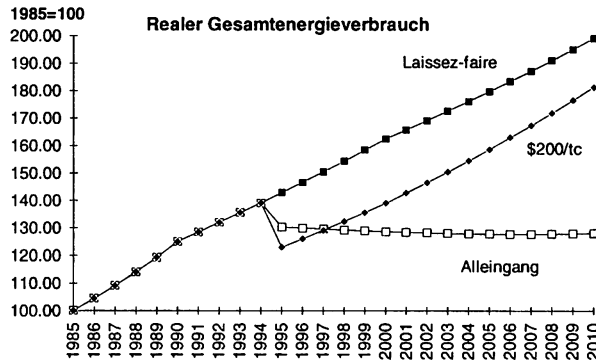
Abbildung 4.4: Entwicklung der Exporte



Auch für die Exporte bestätigen sich die Aussagen aus Abschnitt 2 (siehe Abbildung 4.4). Werden fossile Energieträger nur im Binnenland verteuert, verschlechtert sich die Wettbewerbsfähigkeit schweizerischer Exporteure. Positiv wirkt dagegen das Regime einer internationalen CO₂-Abgabe. In diesem Fall exportiert die Schweiz mehr als in allen anderen Szenarien.

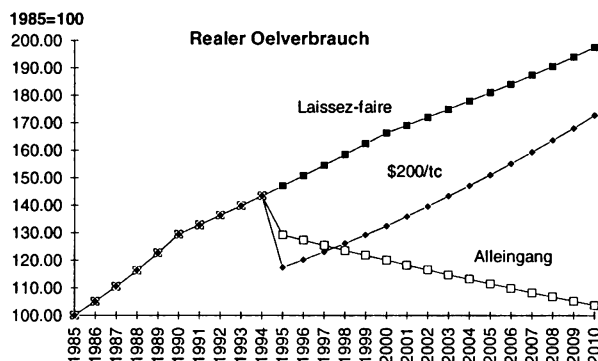
4.3 Energieverbrauch, Öl- und Stromkonsum und Energieeffizienz

Abbildung 4.5: Entwicklung des Gesamtenergieverbrauchs



Klimaschutz führt in jedem Fall zu einer Verringerung des absoluten Energieverbrauchs in der Schweiz, aber zur eigentlichen Trendwende kommt es nur im Alleingang (siehe Abbildung 4.5). Dann nämlich bleibt der Gesamtenergieverbrauch der Schweiz über den Betrachtungszeitraum konstant, obwohl das Bruttoinlandprodukt wächst (siehe Abbildung 4.2). Es findet somit eine Entkopplung zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Energieverbrauch statt, was auf einen Innovationsschub und den Übergang zu einer energieeffizienteren Wirtschaftsweise hinweist.

Abbildung 4.6: Entwicklung Ölverbrauch



Für die CO₂-Emissionen ist natürlich nicht der Gesamtenergieverbrauch, sondern der Konsum an fossilen Energieträgern von Bedeutung. Wie Abbildung 4.6 zeigt, löst eine CO₂-Abgabe über die Veränderungen der relativen Preise eine deutliche Nachfrage-reaktion für den Energieträger Öl aus. Wird eine internationale CO₂-Abgabe erhoben,

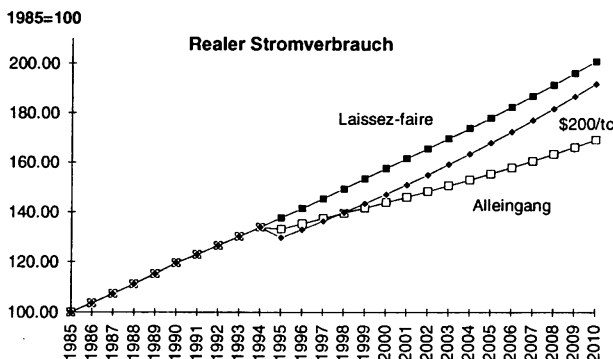
führt dies zu einer massiven Reduktion an Importen; allerdings nur in Form eines Niveaueffektes, ohne den langfristigen Wachstumstrend zu beeinflussen.

Dagegen kommt es im Alleingang zu einer Trendwende. Dort macht der Ölkonsum trotz Wirtschaftswachstum am Ende des Zeithorizontes nur noch knapp die Hälfte desjenigen im Laissez-faire Szenario aus. Warum der Alleingang und die internationale Kooperation so unterschiedlich auf den schweizerischen Ölverbrauch wirken, haben wir in Abschnitt 2 bereits begründet: Beim Alleingang muss die Schweiz CO₂-Emissionen in wesentlich grösserem Umfang als bei internationaler Kooperation reduzieren.

Häufig wird argumentiert, die Verteuerung von fossilen Energieträgern durch eine CO₂-Abgabe sei vom eigentlich unerwünschten Effekt begleitet, dass der Verbrauch von elektrischer Energie steigt. Diese Aussage entspringt einer einfachen, partialanalytischen Betrachtung: Fossile und elektrische Energie sind, wenn auch in beschränktem Umfang, Substitute. Erhöht sich der relative Preis einer der beiden Energieträger, so hat dies eine Steigerung der Nachfrage nach dem anderen, in diesem Fall nach Strom, zur Folge.

Partialanalysen haben, so zwingend ihre Aussagen auch zu sein scheinen, einen entscheidenden Nachteil. Rückkopplungseffekte werden nicht berücksichtigt. So kann man sich vorstellen, dass bei einer CO₂-Abgabe langfristig nicht nur zwischen verschiedenen Energieträgern substituiert wird, sondern über den Ersatz bestehender Technologien und Kapitalgüter eine Innovation von weniger energieintensiven Produktionsverfahren und Konsumweisen bewirkt wird. Eine CO₂-Abgabe könnte damit mit dem Nebeneffekt verbunden sein, die Energieeffizienz der schweizerischen Volkswirtschaft insgesamt zu steigern, was Abbildung 4.5 suggeriert, und durch die Abbildungen 4.7 und 4.8 bestätigt wird.

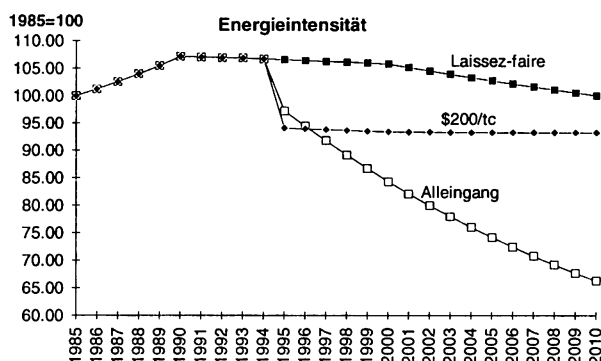
Abbildung 4.7: Entwicklung des Stromverbrauchs



Entgegen partialanalytischer Erwartung tritt ein Mehrverbrauch an elektrischer Energie als Folge einer Besteuerung der fossilen Energieträger nicht ein (siehe Abbildung 4.7). CO₂-Abgaben bedingen vor allem im Alleingang eine Entkopplung zwischen Produktion und Stromverbrauch. Ein ähnliches Ergebnis beobachtet übrigens auch BERGMAN

(1991) für Schweden. Allerdings ist dieser Effekt beim Strom nicht so stark wie beim Öl. Während der Ölverbrauch stetig abnimmt, steigt der Stromkonsum über die Zeit leicht weiter. Dennoch sinkt das Verhältnis zwischen Gesamtenergieverbrauch und BIP, was eine Abnahme der Energieintensität, hiermit eine Zunahme der Energieeffizienz ausdrückt (siehe Abbildung 4.8).

Abbildung 4.8: Entwicklung der Energieintensität



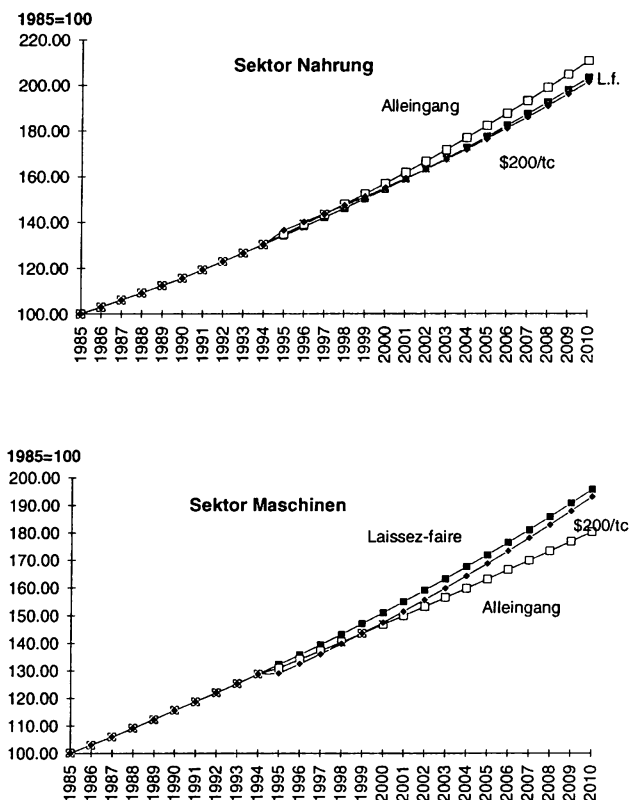
Zusammenfassend kann man somit festhalten: Der Alleingang führt also zu einer drastischen Umstrukturierung im Energie- und Produktionsbereich der Schweiz; ein Effekt der bei internationaler Kooperation zum Schutz des Klimas nicht beobachtet wird.

4.4 Entwicklung ausgewählter Sektoren

Ein wesentlicher Vorteil Berechenbarer Gleichgewichtsmodelle ist, dass sie gesamtwirtschaftliche Analysen auf der Basis einer mikroökonomischen Modellierung erlauben und das Konzept einer preisgesteuerten Ökonomie vollständig in empirische Untersuchungen umzusetzen vermögen. Dies ermöglicht übrigens, simultan Verteilungs- und Effizienzeffekte von umweltpolitischen Massnahmen zu analysieren (siehe dazu STEPHAN 1989).

STEPHAN et al. (1992) haben die Verteilungs- und Wohlfahrtseffekte verschiedener Alleingangspolitiken untersucht. Ein wesentliches Ergebnis ihrer Studie ist, dass es sowohl unter den Haushalten als auch den Unternehmungen Gewinner- und Verlierergruppen gibt. Dasselbe Ergebnis beobachten wir auch jetzt für die Produktionsseite der schweizerischen Volkswirtschaft (siehe Abbildung 4.9).

Abbildung 4.9: Entwicklung ausgewählter Sektoren



Klimaschutz wirkt negativ auf die Entwicklung des schweizerischen Bruttoinlandprodukts; unabhängig davon, ob im Alleingang oder international koordiniert (siehe Abbildung 4.1). Dennoch gibt es Sektoren, die von einer solchen Politik profitieren. Dazu gehört der Sektor Nahrung (siehe Abbildung 4.9). Bei einer international koordinierten Klimapolitik verschlechtert sich dessen wirtschaftliche Position zwar ebenfalls, doch vom Alleingang kann er profitieren. Der Grund liegt in den Annahmen über die Verwendung des Abgabenaufkommens. Werden CO₂-Abgaben international koordiniert, entstehen in der Schweiz keinerlei Aufkommen, die umverteilt werden können. Anders ist die Situation beim Alleingang. Dort kann das Abgabenaufkommen, das aus einer nationalen CO₂-Abgabe resultiert, beispielsweise nach dem Ökobonusprinzip an die Haushalte zurückverteilt werden. Dies führt zu einer Einkommensumverteilung zu Gunsten der niedrigen Einkommensklassen und äussert sich unter anderem in einer steigenden Nachfrage nach Gütern aus dem Sektor Nahrung (siehe auch STEPHAN et al. 1992).

5. SCHLUSS

Der Treibhauseffekt und seine Auswirkungen sind ein globales Problem. Im nationalen Alleingang die CO₂-Emissionen zu verringern, kann daher nur geringe Wirkung zeigen. Obendrein befinden wir uns in einer Situation, die Züge eines Gefangenens-Dilemmas trägt: Wer im eigenen Land den CO₂-Ausstoss reduziert, hat die Kosten, während alle von den allfälligen Vorteilen profitieren (siehe FABER et al. 1993). Wem nützt es also, wenn die Schweiz ihre Kohlendioxidemissionen senkt?

Natürlich sind wir uns bewusst, dass auch Wissenschaftler Realität selektiv und subjektiv wahrnehmen. Knapp und vereinfacht folgt nämlich aus einer Untersuchung von LAVE und DAWLATABADI (1993): Ökologisch Bewusste schätzen die ökonomischen Kosten von Klimaschutzprogrammen systematisch niedrig, die volkswirtschaftlichen Kosten einer Klimaänderung hingegen hoch ein. Bei den meisten Ökonomen dürfte dies umgekehrt sein.

Trotzdem wagen wir es, auf der Basis unserer Berechnungen zu behaupten: In einer Anfangsphase sind die volkswirtschaftlichen Kosten eines schweizerischen Alleingangs nicht grösser als bei internationaler Kooperation. Zusätzlich löst nur der Alleingang einen hinreichend starken Anreiz aus, CO₂-sparende und freie Techniken zu entwickeln und auch einzusetzen. Und die Befürchtung, eine reine CO₂-Abgabe führe zu einer drastischen Erhöhung des Verbrauchs an elektrischer Energie, wird durch unsere Simulation entkräftet. Im Gegenteil, eine schweizerische CO₂-Abgabe bewirkt eine allgemeine Steigerung der Energieeffizienz in der schweizerischen Volkswirtschaft.

Dennoch gilt: Unter einer sehr langfristigen Perspektive ist der klimapolitische Alleingang der Schweiz nicht effizient. Sind aber eindeutige Anzeichen vorhanden, dass in absehbarer Zukunft die Mehrzahl der Nationen die Verantwortung für das Weltklima teilen will, dann ist es auch unter einer nationalen Perspektive ökonomisch rational, heute schon in der Schweiz mit einer moderaten Klimapolitik zu beginnen. Denn je höher eine Wirtschaft entwickelt ist, desto wichtiger ist es, rechtzeitig und verlässlich richtungsweisende Signale zu setzen, um die notwendige Anpassung mit möglichst geringen Friktionen zu ermöglichen.

LITERATUR

- ANTILLE, G. (1993): IOT Tabellen und Erläuterungen. Matrice de coefficients techniques 1985 et analyse de la structure de l'économie suisse 1975-1985. Département d'Econometrie, Université de Genève.
- BALLING, R.C. (1992): *The Heated Debate: Greenhouse Predictions versus Climate Reality*. MIT Press, Cambridge MA.
- BERGMAN, L. (1991): «General Equilibrium Effects of Environmental Policy: A CGE Modelling Approach.» *Environmental and Resource Economics* 1:67-85.
- BOVENBERG, L. (1993): «Policy Instruments for Curbing CO₂-Emissions: The Case of The Netherlands.» *Environmental and Resource Economics* 3:233-244.

- CLINE, W.R (1991): «Scientific Basis for the Greenhouse Effect.» *Economic Journal* 101:904-919.
- CONRAD, K. und M. SCHRÖDER (1991): «The Control of CO₂-Emissions and Its Economic Impact.» *Environmental and Resource Economics* 1:289-312.
- EDMONDS, J. und J. REILLY (1985): *Global Energy: Assessing the Future*. Oxford University Press, New York.
- FABER, M., J.L.R. PROOPS und G. WAGENHALS (1993): *Reducing CO₂ Emissions: A Comparative Input-Output Study for Germany and the UK*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- FELDER, S. und T.F. RUTHERFORD (1993): «Unilateral CO₂ Reductions and Carbon Leakage: The Consequences of International Trade in Oil and Basic Materials.» *Journal of Environmental Economics and Management* 25:162-176.
- JORGENSEN, D.W. und P.J. WILCOXEN (1993): «Reducing US Carbon Emissions: An Econometric General Equilibrium Assessment.» *Resources and Energy Economics* 15:7-25.
- LAVE, L.B. und H. DOWLATABADI (1993): «Climate Change: The Effects of Personal Beliefs and Scientific Uncertainty.» *Environmental Science and Technology* 27:1962-1972.
- MANNE, A.S. und R. RICHELIS (1992): *Bying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of CO₂ Emission Limits*. MIT Press, Cambridge MA.
- MANNE, A.S. und L. SCHRATTENHOLZER (1993): *Global Scenarios for Carbon Dioxide Emissions*. Working paper, International Institute for Applied System Analysis (IIASA), Laxemburg.
- MICHAELIS, P. (1994): *Stabilizing the Global Greenhouse: A Simulation Model*. Kieler Arbeitspapiere No.604. Kiel.
- NORDHAUS, W. (1991): «The Cost of Slowing Climate Change: A Survey.» *Energy Journal* 12:920-937.
- ROTHEN, S. (1992): *Kohlendioxid und Energie*. Verlag Rüegger, Chur.
- RUTHERFORD, T. (1988): *General Equilibrium Modelling with MPS/GE*. University of Western Ontario, London, Canada.
- STEPHAN, G. (1989): *Pollution Control, Economic Adjustment and long-run Equilibrium*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- STEPHAN, G. (1993): «Myopic Decision Rules and the Innovation of Techniques. Formulation and Solution of Intertemporal Equilibrium Models.» *Structural Change and Economic Dynamics* 4:127-143.
- STEPHAN, G., R. VAN NIEUWKOOP und T. WIEDMER (1992): «Social Incidence and Economic Costs of Carbon Limits: A Computable General Equilibrium Analysis for Switzerland.» *Environmental and Resource Economics* 2:569-591.
- WHALLEY, J. und R. WIGLE (1991): «Cutting CO₂ Emissions: The Effects of Alternative Policy Approaches.» *The Energy Journal* 13:109-124.
- WIEDMER, T. (1994): *Finanzinstrumente und äquivalente Marktstrukturen in Modellen mit überlappenden Generationen*. Dissertationsschrift, Bern.

ZUSAMMENFASSUNG

Soll die Schweiz im Alleingang ihren Ausstoss an Kohlendioxid (CO₂) reduzieren? Unter einer langfristigen Perspektive ist der klimapolitische Alleingang der Schweiz nicht effizient. Dennoch zeigen Berechnungen in einem dynamischen Gleichgewichtsmodell: Sind eindeutige Anzeichen vorhanden, dass in absehbarer Zukunft die Mehrzahl der Nationen die Verantwortung für das Weltklima teilt, dann ist es auch unter einer nationalen Perspektive ökonomisch rational, heute schon mit einer moderaten Klimapolitik zu beginnen. Einerseits sind in einer Anfangsphase die volkswirtschaftlichen Kosten eines Alleingangs nicht grösser als bei internationaler Kooperation. Andererseits löst nur der Alleingang einen hinreichend starken Anreiz aus, CO₂-sparende und freie Techniken zu entwickeln und einzusetzen.

SUMMARY

Today it seems neither economically and ecologically efficient, if Switzerland reduces its carbon-dioxide (CO₂) emissions in a national solo-run. But calculations from a dynamic general equilibrium analysis show: If at high probability an international agreement on CO₂ reductions will be established in the future, then it is economically rational, to start today a moderate climate policy in Switzerland. On the one hand, at the beginning economic costs of a solo-run are not higher than the costs of participating in an international climate program. On the other hand, only the solo-run provides an economic incentive which is strong enough such that existing technologies and structure will be replaced by less emitting and more efficient ones.

RESUME

La Suisse devrait-elle réduire ses émissions d'anhydride carbonique (CO₂) à elle toute seule? A long terme, un «Alleingang» dans le domaine de la politique du climat ne s'avère ni économiquement, ni écologiquement efficace. Parcontre, les calculs dans le cadre d'un modèle d'équilibre général dynamique démontrent les relations suivantes: s'il y a une forte probabilité qu'un accord international sur la réduction des émissions de CO₂ sera établi dans le proche futur, alors il serait économiquement rationnel pour la Suisse de mener une politique de l'environnement correspondante aujourd'hui déjà. D'un côté, pendant la phase initiale, les coûts d'un «Alleingang» ne sont pas plus élevés que dans le cas de la coopération internationale. De l'autre côté seul l'«Alleingang» procure une incitation suffisamment forte pour le développement et l'emploi de techniques minimisant les émissions de CO₂.