

Böhringer, Christoph

Working Paper

Die Kosten des Klimaschutzes: Eine Interpretationshilfe für die mit quantitativen Wirtschaftsmodellen ermittelten Kostenschätzungen

ZEW Discussion Papers, No. 99-20

Provided in Cooperation with:

ZEW - Leibniz Centre for European Economic Research

Suggested Citation: Böhringer, Christoph (1999) : Die Kosten des Klimaschutzes: Eine Interpretationshilfe für die mit quantitativen Wirtschaftsmodellen ermittelten Kostenschätzungen, ZEW Discussion Papers, No. 99-20, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/24306>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Die Kosten von Klimaschutz

Eine Interpretationshilfe für die mit quantitativen Wirtschaftsmodellen ermittelten Kostenschätzungen

Christoph Böhringer, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim

ZEW discussion paper 99-20

(erscheint in: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht 3/99)

Zusammenfassung

Die Klimaschutzdiskussion wird von der Frage dominiert, welche gesamtwirtschaftlichen Kosten mit der Umgestaltung des Energiesystems zu klimaverträglichen Strukturen verbunden sind. Höhe und Verteilung dieser Kosten entscheiden darüber, ob sich umweltpolitische Strategien zum nachhaltigen Schutz der Erdatmosphäre durchsetzen lassen. Für Kostenschätzungen des Klimaschutzes werden typischerweise quantitative Modelle des energie- oder volkswirtschaftlichen Systems eingesetzt. Allerdings weisen modellgestützte Studien erhebliche Unterschiede in den Kostenschätzungen aus, was zu widersprüchlichen politischen Handlungsempfehlungen führen kann. Ziel des folgenden Beitrages ist es, die mit quantitativen Wirtschaftsmodellen ermittelten Kosten von Klimaschutzstrategien vor dem Hintergrund wichtiger Determinanten zu analysieren. Das Verständnis für wichtige Determinanten der Kostenschätzungen ist eine Voraussetzung für die richtige Interpretation von Kostengrößen und damit Grundlage für eine rationale Klimapolitik.

I. Einleitung

Die Klimaerwärmung als Folge der Erhöhung von Klimagaskonzentrationen in der Erdatmosphäre stellt eine Bedrohung unserer natürlicher Lebensgrundlagen dar. Hauptquelle anthropogener Klimagasemissionen ist die Bereitstellung von Energiedienstleistungen aus fossilen Energieträgern. Vor diesem Hintergrund ist die Schaffung eines klimaverträglichen Energiesystems eine zentrale Herausforderung für die heutige und zukünftige Energiepolitik. Die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Klimaerwärmung werden im einzelwirtschaftlichen Kalkül der Haushalte und Unternehmen nicht berücksichtigt (sog. *externe* Kosten). Beim Klimaschutz handelt es sich um ein öffentliches Gut, das der Staat zum Wohle der Allgemeinheit über Eingriffe in das marktwirtschaftliche System sicherstellen muß.

Wenige bestreiten heute die Notwendigkeit staatlicher Klimaschutzpolitik, um nachhaltige ökologische Rahmenbedingungen zu gewährleisten. Allerdings liegen die Meinungen über die gebotene Fristigkeit und Stärke staatlicher Maßnahmen weit auseinander. Aus theoretischer Sicht

sollten die Maßnahmen so gewählt werden, daß der gesamtwirtschaftliche (Grenz-)Nutzen den gesamtwirtschaftlichen (Grenz-)Kosten entspricht. Während sich die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen, z. B. höhere Produktionskosten und steigende Preise bzw. verringertes Einkommen, zumindest näherungsweise quantifizieren lassen, fehlen für die monetäre Bewertung vermiedener Klimaschäden weitgehend zuverlässige Methoden. Erschwerend kommt für eine aktive Klimaschutzpolitik hinzu, daß die Kosten schon kurz- bis mittelfristig spürbar sein werden, während der Nutzen einer Klimastabilisierung erst langfristig zu erwarten ist.

Angesichts der langfristigen, ungewissen Erträge konzentriert sich die politische Diskussion auf die kurz- bis mittelfristigen Kosten einer klimaverträglichen Energiepolitik. Die Umgestaltung des Energiesystems zu klimaverträglichen Strukturen scheint politisch am ehesten durchsetzbar, wenn sie nicht mit erheblichen wirtschaftlichen Belastungen verbunden ist. Da es verschiedene Wege zu einem klimaverträglichen Energiesystem gibt, stellt sich für die verantwortlichen Politiker insbesondere die Frage, welche Klimaschutzstrategie gesamtwirtschaftlich mit den geringsten Kosten verbunden ist.

Fazit: Solange die Erträge des Klimaschutzes nicht explizit in das wirtschaftspolitische Kalkül eingehen - sei es wegen der Bewertungsproblematik, sei es wegen ihrer Langfristigkeit - sind für die praktische Energie- und Umweltpolitik die Kosten des Klimaschutzes von zentraler Bedeutung. Sie sind nicht nur ausschlaggebend dafür, ob in naher Zukunft überhaupt eine nachhaltige Klimapolitik eingeleitet wird, sondern auch dafür, welche konkrete Strategie gewählt werden sollte.

II. Kosten des Klimaschutzes: Wirrwarr der Definitionen und Schätzungen

In der politischen und wissenschaftlichen Diskussion kursieren sehr unterschiedliche Auffassungen davon, was unter den volkswirtschaftlichen Kosten von Klimaschutzmaßnahmen zu verstehen ist. Eine konkrete Definition hat der Begriff *Kosten* ins der Betriebswirtschaftslehre, wo er die „in Geld bewertete Mengen an Produktionsfaktoren (Arbeitsleistungen, Betriebsmittel und Werkstoffe), sowie in Geld bewertete Dienstleistungen Dritter und öffentlicher Abgaben, die bei der Erstellung betrieblicher Leistungen verbraucht werden“ bezeichnet (Wöhe 1978). Dieser Kostenbegriff kann zunächst direkt auf die volkswirtschaftliche Ebene übertragen werden. Auch hier bestimmen sich die Kosten der Güterbereitstellung aus dem Werteverzehr von Ressourcen. Marktpreise für Güter enthalten die Kosten, die mit deren Bereitstellung bzw. dem damit verbundenen Ressourcenverbrauch verbunden sind. Allerdings sind aus gesamtwirtschaftlicher Sicht alle direkten und indirekten Ressourceneffekte zu berücksichtigen, d. h. die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieumwandlung sollten externe Kosteneffekte der Umweltbelastung miteinschließen.

Im öffentlichen Diskurs wird der Kostenbegriff je nach Ziel- bzw. Wertesystem subjektiv belegt. Geht es um das Problem der Massenarbeitslosigkeit, werden die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen als Arbeitplatzeffekte aufgefaßt. Unternehmerverbände interpretieren Umsatzverluste oder sinkende Kapitalrenditen als Kosten. Wachstumspolitiker messen die Kosten als Veränderung des Bruttosozial- oder Bruttoinlandsprodukts. Es ist offensichtlich, daß sich die Kosteneffekte von Klimaschutzmaßnahmen je nach subjektivem Verständnis qualitativ

unterscheiden können. So ist es durchaus möglich, daß bei einem Klimaschutzprogramm ein Gewinn an Arbeitsplätzen („negative“ Kosten aus Sicht der Arbeitsmarktpolitik) mit einem Rückgang des Bruttosozial- oder Bruttoinlandsprodukts (Kosten aus Sicht der Wachstumspolitik) einhergeht.

In der Volkswirtschaftslehre werden gesamtwirtschaftliche Kosten üblicherweise als Wohlfahrtsverluste gemessen. Letztere zeigen an, daß sich Haushalte als Folge wirtschaftspolitischer Eingriffe kein Güterbündel mehr leisten können, das ihnen das gleiche Nutzenniveau stiftet wie das Güterbündel in der Ausgangssituation. Lassen sich die Haushalte zu einem einzigen repräsentativen Verbraucher aggregieren, so entsprechen die Wohlfahrtseinbußen dem Verlust an wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit (Effizienz) bzw. realem Volkseinkommen. Bei mehreren Haushalten mit unterschiedlichen Präferenzstrukturen erfordert die gesamtwirtschaftliche Kostenanalyse eine übergeordnete, gesellschaftliche Wohlfahrtsfunktion, bei der Effizienzverluste nicht notwendigerweise zu Kosten bzw. Wohlfahrtsverlusten führen; zum Beispiel muß ein Verlust an Leistungsfähigkeit zugunsten einer gerechteren Einkommensverteilung aus gesellschaftspolitischer Sicht nicht unbedingt negativ, d. h. als Kosten, gewertet werden.

Neben qualitativ unterschiedlichen Definitionen des Kostenbegriffs sind erhebliche quantitative Abweichungen bei einheitlicher Kostendefinition eine wesentliche Ursache für die allgemeine Verwirrung in der Diskussion um die Kosten des Klimaschutzes. In manchen Studien zum Klimaschutz werden beträchtliche Verluste an Bruttosozialprodukt oder Arbeitsplätzen ausgewiesen (u. a. Buttermann und Hillebrand 1996, Böhringer et al. 1997). In anderen Studien fallen diese Verluste marginal aus oder es werden Gewinne ausgewiesen (u. a. Bach et al. 1994, Meyer et al. 1997). Unterstellt man, daß die Studien wissenschaftlich mit einem konsistenten Erklärungsansatz durchgeführt wurden, stellt sich die Frage, wie es zu diesen erheblichen Unterschieden in den Kostenabschätzungen kommen kann.

III. Kostendeterminanten in Optimierungsmodellen: Systemgrenzen, Systembeziehungen und Referenzentwicklung

Die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen werden häufig mit Hilfe vereinfachter, modellhafter Abbildungen des realen energie- oder gesamtwirtschaftlichen Systems abgeschätzt. Zweck der Modellbildung ist es, die Wirklichkeit bzw. das gedachte Problem, erfaßbar und analysierbar zu machen, da Experimente mit dem realen System nicht möglich sind. Das Modell soll einerseits die Struktur des Systems und dessen Wechselwirkungen möglichst exakt wiedergeben, andererseits aber auf das Wesentliche beschränkt bleiben, um das Problem überhaupt für systematische Analysen handhabbar zu machen. Die wesentliche Aufgabe der Modellbildung besteht in einer problemgerechten Reduktion der Komplexität auf zentrale Systemelemente und deren Beziehungen.

Die Suche nach einer *kosteneffizienten Strategie für ein klimaverträgliches Energiesystem* ist für Entscheidungszwecke zu operationalisieren. Hierzu kann das Modell als mathematisch-analytisches Optimierungsmodell formuliert werden. Das Optimierungsmodell enthält Kriterien, nach denen Steueralternativen quantitativ miteinander verglichen werden können und nach Kostenüberlegungen die jeweils günstigste Variante bestimmt wird (sog. Kosten-Wirksamkeits-Analyse). Formal werden im mathematisch-analytischen Optimierungsproblem die Alternativen durch die Entscheidungsvariablen zum Ausdruck gebracht. Eine Zielfunktion

steht für die Präferenzen bzw. Ziele des Entscheidungsträgers. Nebenbedingungen geben an, in welchem Bereich die Variablen des Entscheidungsmodells variieren dürfen bzw. welche technologischen und ressourcenseitigen Beschränkungen (Bsp.: Obergrenze für zulässige Emissionen) bestehen. Mit Hilfe eines solchen mathematischen Programms läßt sich beispielsweise bestimmen, wie technologische Optionen gewählt werden sollen, damit ein gegebenes Emissionsziel mit geringstmöglichen Kosten über Energieeinsparung und Substitution von fossilen Energien erreicht wird.

Zahlreiche Kosten-Wirksamkeits-Analysen zu Klimaschutzmaßnahmen beruhen auf separat durchgeführten Investitionsrechnungen für Einzeltechnologien (z. B. Einzeltechnikvergleich von Wärmeerzeugungsanlagen wie Brennwertkessel oder Standard-Niedertemperatur-Kessel). Die isolierte Bewertung von Emissionsvermeidungsmaßnahmen ordnet eine Maßnahme aber nicht hinreichend ein. Die Kosten einer Maßnahme sind nämlich oft von anderen Systemparametern bzw. Systemvariablen abhängig, deren Einfluß bei nichtsystemarer Bewertung unberücksichtigt bleibt. So können Wechselwirkungen zwischen Einzelmaßnahmen dazu führen, daß das gesamte Minderungspotential geringer ist als die Summe der Einzelpotentiale. Ein anschauliches Beispiel hierfür sind Maßnahmen im Raumwärmebereich wie Gebäudeisolierung oder Heizung mit höherem Wirkungsgrad, die kombiniert ein geringeres CO₂-Minderungspotential haben als bei isoliert additiver Betrachtung. Für eine aussagekräftige Bewertung von Maßnahmenbündel/-strategien ist ein systemarer Ansatz notwendig, bei dem Potentialüberschneidungen bzw. Rückwirkungen berücksichtigt werden. Die Feinspezifikation des systemaren Ansatzes leitet unmittelbar über zur Frage, wie Systemgrenzen gewählt, Beziehungen zwischen Systemelementen abgebildet und Annahmen zur Referenzentwicklung getroffen werden sollen.

Systemgrenzen

Mit der Wahl der Systemgrenzen entscheidet der Modellentwickler für eine gegebene Kostendefinition über das Ausmaß der Kostenbilanzierung. Idealerweise sollte die mit der Wahl der Systemgrenzen ausgeschlossenen Kostenkomponenten keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Gesamtkosten alternativer Strategien und - noch wichtiger - auf das *Ranking* dieser Strategien haben. In der Literatur lassen sich jedoch verschiedene Beispiele dafür finden, daß als repräsentativ ausgegebene Kosten-Wirksamkeits-Abschätzungen bei Erweiterung der Systemgrenzen und damit der Systembeziehungen wenig robust sind (siehe u. a. Böhringer und Rutherford 1999 für unterschiedliche Kostenschätzungen des Klimaschutzes beim Übergang von nationalen zu internationalen Analysen).

Systembeziehungen

Wirtschaftspolitische Eingriffe, wie Klimaschutzmaßnahmen, ändern die Rahmenbedingungen im wirtschaftlichen Kalkül von Unternehmen und Haushalten. In quantitativen Systemmodellen wird nun versucht, diese Verhaltensänderungen (Bsp.: höhere Produktionskosten für Unternehmen, Nutzen-/Kaufkraftverlust für Haushalte) zu monetarisieren, um einen Vorteilsvergleich alternativer Strategien zu ermöglichen. Es ist klar, daß die Wahl der Verhaltenshypothesen die Quantifizierung von Kosten entscheidend bestimmt. In Optimierungsmodellen ist das Verhalten der Wirtschaftssubjekte als Optimierungsverhalten abgebildet. Hierzu werden die Ziele der Wirtschaftseinheiten definiert, die sie unter Beachtung von Nebenbedingungen (Restriktionen) zweckrational verfolgen. Typischerweise wird das

Optimierungsproblem auf der Unternehmensseite als Gewinnmaximierung unter Beachtung technologischer und ressourcenseitiger Beschränkungen formuliert (äquivalent hierzu ist die Kostenminimierung bei gegebener Ausbringung). Auf der Haushaltsseite geht es dagegen um Nutzenmaximierung bei Beachtung einer Budgetrestriktion (äquivalent hierzu ist die Ausgabenminimierung bei gegebenem Nutzenniveau).

Aus Gründen der Analysierbarkeit wird ein ökonomisches System unterstellt, in dem die Pläne von Wirtschaftssubjekten miteinander kompatibel sind und zu einem Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage führen (dies schließt Rationierungsgleichgewichte mit ein). Optimierungsmodelle beinhalten also üblicherweise eine Kombination von zweckrationalem Optimierungsverhalten (*homo oeconomicus*) und Gleichgewichtsanalyse (Kompatibilität des Verhaltens von Wirtschaftssubjekten).

Bei dynamischen Systemanalysen fällt auch die Behandlung von Zukunftserwartungen der Wirtschaftssubjekte in den Bereich der Systembeziehungen. Für myopische (statische) Zukunftserwartungen werden Wirtschaftssubjekte unterstellt, die in ihrer Planung davon ausgehen, daß der gegenwärtige Zustand auch in Zukunft bestehen bleibt - die in der aktuellen Periode geltenden Preise werden für die gesamte Zukunft erwartet. Myopische Erwartungen werden bei einem dynamisch-rekursiven Modellansatz verwendet, in dem die Lösung für die aktuelle Periode nur von der Lösung der vorhergehenden Perioden abhängt. Wegen der statischen Zukunftserwartungen machen die Wirtschaftssubjekte systematische Fehler und passen sich suboptimal an exogene, sich im Zeitablauf ändernde wirtschaftspolitische Eingriffe an. Myopische Erwartungen führen häufig zum sog. *overshoot and collapse*-Syndrom, bei dem im Anpassungsprozeß kurzfristige Marktlösungen (in Preisen und Mengen) deutlich höher bzw. niedriger liegen als das langfristige Ergebnis. Die logische Inkonsistenz der Annahme myopischer Erwartungen liegt darin, daß die Wirtschaftssubjekte - im Gegensatz zum Modellentwickler - das Modell nicht dazu verwenden, um sich besser auf zukünftige Entwicklungen einzustellen. Logisch konsistent ist die Unterstellung perfekter Voraussicht, bei der alle Wirtschaftssubjekte gegenwärtige sowie zukünftige Preise vorhersehen (rationale Erwartungen). Die konsistente Projektion zukünftiger Preise ist modelltechnisch schwieriger zu implementieren und lösungstechnisch anspruchsvoller; sie gewährleistet jedoch plausiblere Modellergebnisse hinsichtlich der Auswirkungen wirtschaftspolitischer Eingriffe auf die intertemporale Allokation von Konsum und Sparen (bzw. Investitionen), das Ressourcenmanagement (erschöpfbare Rohstoffe), die Fremdschuldenakkumulation (internationale Kapitalflüsse) und die technologische Diffusion (technologischer Fortschritt).

Referenzentwicklung

Die Analyse und der Vergleich von Klimaschutzstrategien erfordern einen Bezugspunkt, mit Hilfe dessen die Kosteneffizienz gemessen werden kann. Die Kosten einer Strategie werden dann als Differenz zum Kostenniveau in der Referenzsituation - dem sog. *business-as-usual* ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen - gemessen. Geht es zum Beispiel in Energiesystemanalysen um die kostenminimale Deckung eines gegebenen Bedarfsprofils unter Restriktionen für Klimagasemissionen, so werden die Kosten des Klimaschutzes als Mehrkosten über ein Referenzszenario ohne Klimaschutzmaßnahmen bilanziert.

Die Abbildung der Referenzsituation ist ausschlaggebend dafür, ob Klimaschutz zu tatsächlichen Mehrkosten führt oder sogar Kosteneinsparungen bringen kann. Unter den restriktiven Rahmenbedingungen vollständiger Konkurrenz und fehlender externer Effekte stellt die von Optimierungsmodellen auf partial- oder gesamtwirtschaftlicher Ebene simulierte

Referenzentwicklung ein Effizienzoptimum dar. Das heißt, Produktionsfaktoren werden in ihrer produktivsten Verwendung eingesetzt; es kommt zu einer leistungsgerechten, am Prinzip der Grenzproduktivität orientierten Primärverteilung des Einkommens. Bei Beachtung technologischer Restriktionen und Ressourcenbeschränkungen ist unter Effizienzgesichtspunkten kein besseres Ergebnis möglich. Bezogen auf eine derartige „*first-best*“ Referenzsituation führt die Einführung zusätzlicher Restriktionen wie Emissionsstandards oder Emissionssteuern/-zertifikate zwangsweise zu Mehrkosten. Ist die Ausgangssituation dagegen durch Marktunvollkommenheiten wie zum Beispiel eine stark leistungshemmende Steuer- und Subventionspolitik charakterisiert, können Maßnahmen, die diese Unvollkommenheiten verbessern, dazu führen, daß die Kosten der klimaschutzpolitischen Eingriffe negativ werden. Der Modellentwickler bestimmt also durch die Wahl der Referenz, ob es gegenüber dieser überhaupt zu Verbesserungen kommen kann. Ein aktuelles Beispiel für die zentrale Bedeutung der Referenzwahl in Hinblick auf die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen ist die Diskussion um die doppelte Dividende einer ökologischen Steuerreform (Böhringer et al. 1998) oder die Auseinandersetzung um eine „gerechte“ Verteilung der Treibhausgasminderungskosten auf die EU-Mitgliedsstaaten (Böhringer et al. 1999).

IV. Optimierungsmodelle zur Quantifizierung von Klimagas-Vermeidungskosten

Optimierungsmodelle zur Quantifizierung der Kosten des Klimaschutzes lassen sich in zwei Hauptkategorien einteilen, nämlich Energiesystemmodelle einerseits und Energiewirtschaftsmodelle andererseits. Wie schon aus der Namensgebung zu vermuten ist, unterscheiden sich die beiden Modellkategorien wesentlich durch die Wahl der Modellgrenzen und dem damit erforderlichen Aggregationsgrad für Systemelemente.

Die Frage nach einer kosteneffizienten Strategie für den Klimaschutz wird in beiden Modellsätzen auf gleiche Weise operationalisiert. Emissionsminderungsziele werden in den Simulationen als Nebenbedingung integriert. Das Modell bestimmt dann den unter Kosten-/Nutzensgesichtspunkten optimalen Mix von technischen Anpassungsmaßnahmen oder Verhaltensänderungen. Für den sinnvollen Vergleich alternativer Strategien ist es dabei zentral, dasselbe Minderungsziel zu wählen. Nur so sind die Alternativen ökologisch gleichwertig und können kostenmäßig miteinander verglichen werden.

Da sowohl die Klimaproblematik als auch die Umgestaltung des Energiesystems zu dauerhafter Klimaverträglichkeit langfristiger Natur sind, sollten die für Kosten-Wirksamkeits-Analysen eingesetzten Optimierungsmodelle dynamisch sein. Hierfür müssen die zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftretenden Kosten vergleichbar gemacht werden. Dies erfolgt über die (Ab- bzw. Auf-)Diskontierung auf einen festen Zeitpunkt. Die Diskontrate sollte dabei die Opportunitätskosten des Faktors Kapital widerspiegeln. Vereinfachend wird häufig von den Bedingungen eines vollkommenen Kapitalmarkts ausgegangen und der reale Kapitalmarktzins für langfristige Anlagepapiere (z. B. Bundesanleihen) als Diskontrate verwendet. Die Übernahme des auf dem Kapitalmarkt gebildeten Zinssatzes als Diskontrate ist wegen verschiedener Marktunvollkommenheiten jedoch umstritten. Insbesondere ist fraglich, inwieweit der heutige Marktzins, der durch die Präferenzen der gegenwärtig lebenden Wirtschaftssubjekte bestimmt

wird, dem Postulat einer nachhaltigen Entwicklung Rechnung trägt. Die Diskontrate ist nämlich ein Indikator für die Präferenzen der gegenwärtigen Generationen über die erwünschte Verteilung von Konsummöglichkeiten bzw. Kosten des Klimaschutzes zwischen den Generationen. Je höher die Diskontrate, desto stärker werden die Kosten von heutigen Klimaschutzmaßnahmen im Vergleich zu den Kosten zukünftiger Maßnahmen bewertet.

In der Literatur haben sich für die Unterscheidung zwischen Energiesystem- und Energiewirtschaftsmodellen die Bezeichnungen *bottom-up* und *top-down* eingebürgert (Grubb et al. 1993). Diese Bezeichnungen sind aussagekräftig, wenn es um eine Kurzcharakterisierung der unterschiedlichen Systemgrenzen und Aggregationsgrade geht (Böhringer 1998a). Sie sind jedoch irreführend, wenn damit auf ein scheinbar gegensätzliches Kostenkalkül für Klimaschutzmaßnahmen in Energiesystemmodellen (Paradigma: Klimaschutz kann sich mit „negativen“ Kosten rechnen) und Energiewirtschaftsmodellen (Paradigma: Klimaschutz führt stets zu Mehrkosten) abgehoben wird. Die Frage, ob Klimaschutzmaßnahmen zu Kosteneinsparungen oder Zusatzkosten führen, hängt von den Annahmen zur Referenzentwicklung ab (effiziente versus ineffiziente Ausgangssituation) und nicht von der Wahl der Systemgrenzen bzw. des Aggregationsgrades.

Energiesystemmodelle (*bottom-up*)

In Energiesystemmodellen wird auf prozeßorientierter, technologischer Basis die gesamte Energienutzungskette von der Gewinnung der Primärenergien bis zur Bereitstellung von Nutzenergien oder Energiedienstleistungen dargestellt. Konkurrierende Maßnahmen der Klimagasreduktion können auf sämtlichen Stufen der Energieumwandlung, des Energietransports und der Energieanwendung einschließlich der Energieeinsparung berücksichtigt werden. Die Zielfunktion entspricht üblicherweise dem Minimum der diskontierten Systemgesamtkosten über den gesamten Betrachtungszeitraum. Die Systemgesamtkosten verteilen sich grob auf vier Kategorien:

- a) Brennstoffkosten (DM/TJ) - proportional zur Ausbringung: Importpreise oder heimische Gesteinskosten der Brennstoffbereitstellung
- b) variable Betriebskosten (DM/kWh) - proportional zur Ausbringung: z. B. Hilfs- und Betriebsmittel
- c) Fixe Betriebskosten (DM/kW) - proportional zur installierten Leistung: z. B. Personalkosten
- d) Investitionskosten (DM/kW) - proportional zur installierten Leistung: Kosten vor Inbetriebnahme des Kraftwerks, Kosten nach Außerbetriebnahme, F&E-Kosten

Grundsätzlich können alle vier Kategorien als Vollkosten oder Zusatzkosten (Kosten, die zusätzlich gegenüber einem Referenzprozeß entstehen, wie z. B. Differenzkosten zwischen Standard-Glühlampe und Energiesparlampe) bilanziert werden .

Beispiele für (lineare) optimierende Energiesystemmodelle sind das im Auftrag der EU entwickelte EFOM (van der Voort et al. 1984), das am *International Institute for Applied System Analysis* aufgebaute MESSAGE (Agnew et al. 1979, Messner 1994) , das Modell MARKAL der *International Energy Agency* (Fishbone et al. 1980), das vom *Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung* entworfene Modell E³Net (Schaumann und

Schweicke 1995) oder das im Rahmen des BMBF-IKARUS-Projektes entwickelte IKARUS-LP (Hake et al. 1994).

Charakteristisch für diese Modelle ist, daß der Bedarf an Nutzenergie oder Energiedienstleistung vorgegeben wird. Wechselwirkungen zwischen Energieangebotsseite und der Energienachfrageseite (auf Nutzenergie- oder Energiedienstleistungsebene) sind nicht abgebildet. Durch Erweiterung der Systemgrenzen zielen Weiterentwicklungen dieser Modelle darauf ab, auch die Nachfrageseite preiselastisch zu machen. Als Zielfunktion von Energiesystemmodellen mit elastischem Marktangebot und elastischer Marktnachfrage dienen dann nicht mehr die Systemgesamtkosten, sondern die Summe aus Konsumenten- und Produzentenrente. Dieser sog. *economic surplus* mißt auf der Produzentenseite die Unternehmensgewinne (Erlöse minus Kosten) und auf der Konsumentenseite die Zahlungsbereitschaft abzüglich dem gezahlten Marktpreis (zurückbehaltener, nicht ausgegebener Betrag). Beide Komponenten zusammen können als Wohlfahrtsmaß für ein Marktergebnis verwendet werden. Die Kosten des Klimaschutzes sind dann als Verlust von *economic surplus* gegenüber der Referenzentwicklung zu interpretieren.

Die mit Energiesystemmodellen berechneten Kosten werden häufig als gesamt- bzw. volkswirtschaftliche Maßgrößen dargestellt (Schmid 1996, Voß und Reuter 1988). Kritiker bestreiten den Anspruch, daß mit Energiesystemmodellen volkswirtschaftliche Kosten-Wirksamkeits-Analysen durchgeführt werden können (Schröder 1990). Begründet wird dies damit, daß Effekte, die vom Energiesystem auf andere Bereiche der Volkswirtschaft ausgehen, infolge der engen Wahl der Systemgrenzen unberücksichtigt bleiben (Bsp.: veränderte Strompreise, Faktoreinkommensveränderungen, Vernachlässigung erhöhter Produktionskosten auf die Preise von Endprodukten und implizierte Nachfrageänderungen seitens der Produzenten/ Konsumenten). Wegen fehlender gesamtwirtschaftlicher Rückkoppelungen beschränken sich die Anwendungsmöglichkeiten auf die Analyse der direkten Produktions- und Kostenänderungen in den Sektoren, die in den Modellen jeweils berücksichtigt werden. Festzuhalten ist, daß die direkten Kostensteigerungen durch Umweltschutzmaßnahmen von den gesamten Kosteneffekten (direkte plus indirekte Effekte) völlig verschieden sein können, sodaß die mit Energiesystemmodellen berechneten *trade-offs* zwischen gesamtwirtschaftlichen Zielen letztlich auch nur für den Energiesystembereich aussagekräftig sind.

Die Verknüpfung von Energiesystemmodellen mit einem einsektoralen makroökonomischen Wachstumsmodell (Manne und Wene 1992) ermöglicht die Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Energiesystem und übriger Volkswirtschaft. Das prozeßtechnische Energiesystemmodell wird dabei mit der gesamtwirtschaftlichen Modellkomponente über eine neoklassische Produktionsfunktion und die erweiterte volkswirtschaftliche Identität von Einkommen (aus Produktion) und Ausgaben (Konsum, Investition und Energiesystemkosten) direkt gekoppelt. Mit solchen Modellsystemen können Kosten-Wirksamkeits-Analysen auf aggregierter gesamtwirtschaftlicher Ebene durchgeführt werden.

Energiewirtschaftsmodelle (*top-down*)

In Energiewirtschaftsmodelle werden neben dem Energiesystem auch nichtenergetische Produktions- und Konsumaktivitäten in hoher sektoraler Auflösung berücksichtigt. Wegen der weiten Systemgrenzen werden technologische Möglichkeiten auf aggregierter Ebene über substitutionale Produktionsfunktionen dargestellt; eine prozeßorientierte Beschreibung von Einzeltechnologien erfolgt nicht. Maßnahmeninduzierte Veränderungen der Produktions-/Technologie-

struktur werden über Elastizitäten erklärt, deren empirische Aussagefähigkeit in der Modellpraxis durch die Wahl regulärer funktionaler Formen, wie Cobb-Douglas oder CES (*constant elasticity of substitution*)-Funktionen, oder die Verfügbarkeit langfristiger Zeitreihen für Schätzungen beschränkt ist. In Energiewirtschaftsmodellen werden die volkswirtschaftlichen Kosten des Klimaschutzes häufig über eine gesamtwirtschaftliche Wohlfahrtsfunktion gemessen. Die Wohlfahrtsfunktion formalisiert dabei die Vorstellung eines numerischen Maßes für die Befriedigung eines repräsentativen Wirtschaftssubjekts durch den Konsum von Gütern. Die Wohlfahrtsfunktion ermöglicht eine Abbildung der Ergebnisse von Klimaschutzmaßnahmen als quantitativen Nutzen für den Entscheidungsträger und damit einen Vorteilsvergleich alternativer Strategien.

Beispiele für Energiewirtschaftsmodelle, denen explizit ein Optimierungskalkül zu Grunde liegt, sind das von der EU geförderte GEM-E3 (Conrad und Schmidt 1997), das am *Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung* entwickelte Modellsystem NEWAGE (Böhringer 1997) oder das am *Energiewirtschaftlichen Institut in Köln* betriebene LEAN (Welsch und Hoster 1997). Als monetäres Maß für die Wohlfahrtsmessung in gesamtwirtschaftlichen Modellen dient die sogenannte Hickssche Äquivalenzrelation (HEV - *Hicks' equivalent variation*). Sie ist definiert als derjenige positive oder negative Geldbetrag, den ein Konsument zusätzlich zum Einkommen in der Ausgangssituation erhalten müsste, damit er das gleiche Nutzenniveau erreicht wie im neuen Gleichgewicht (Shoven und Whalley 1992). Für den Fall eines repräsentativen Verbrauchers gibt die HEV an, welcher gesamtwirtschaftlichen Einkommensänderung das neue Gleichgewicht entspricht. Eine positive (negative) HEV bedeutet, daß die Wohlfahrt des Konsumenten gegenüber der Ausgangssituation zugenommen (abgenommen) hat. Durch den einheitlichen Bezugspunkt eines Ausgangsgleichgewichts lassen sich die aus unterschiedlichen Szenarien resultierenden neuen volkswirtschaftlichen Gleichgewichtssituationen bezüglich ihrer Vorteilhaftigkeit untereinander vergleichen.

V. Interpretation von Kosten

In der politischen Diskussion werden die aus Optimierungsmodellen abgeleiteten Kosten zum Teil verkürzt bzw. irreführend verwendet. Bei einer wissenschaftlichen Kosteninterpretation gilt es, wichtige Beschränkungen der Aussagefähigkeit von Kosten in Hinsicht auf die gewählten Systemgrenzen, Systembeziehungen und Referenzentwicklungen offen zu legen:

- a) *Kosten-Wirksamkeits-Analysen können keine Aussage über die gesamtwirtschaftliche Vorteilhaftigkeit des Klimaschutzes treffen:* Wegen der Bewertungsprobleme für vermiedene Klimaschäden, d. h. einer fehlenden Monetarisierung externer Kosten, sagen die in Kosten-Wirksamkeits-Analysen simulierten Kosten nichts über die Vor- oder Nachteilhaftigkeit von Klimaschutzstrategien auf der Kosten-Nutzen-Ebene aus. Die ausgewiesenen Kosten können durch den nicht bewerteten Nutzen von Klimaschutzmaßnahmen unter Umständen mehr als ausgeglichen werden. Kosten-Wirksamkeits-Analysen im Rahmen optimierender Systemmodelle dienen daher lediglich dem Vorteilsvergleich alternativer Strategien bzw. der Identifizierung kostenminimaler Klimaschutzprogramme.
- b) *Ein Kostenvergleich von Steuerungsalternativen ist nur bei gleicher ökologischer Wirksamkeit sinnvoll:* In der öffentlichen Diskussion werden immer wieder Kostenschätzungen

von Studien miteinander verglichen, deren ökologische Wirksamkeit sich erheblich unterscheiden. So erscheint z. B. in der Öffentlichkeit plötzlich eine Umweltsteuer weniger schädlich, wenn sie nicht uniform erhoben wird, sondern umweltintensive Industrien außen vor läßt. Dieser Eindruck ist irreführend, da sich mit Steuerbefreiungen nicht nur die Kosten der Klimasteuer verringern, sondern auch die ökologische Wirksamkeit. Es läßt sich zeigen, daß bei einem problemgerechten Vorteilsvergleich, nämlich auf Basis gleicher Umweltqualitätsziele, eine Steuerpolitik mit Steuerbefreiungen in der Regel zu Mehrkosten gegenüber einer einheitlichen Steuerpolitik ohne Ausnahmeregelungen führt (Böhringer und Rutherford 1997, Böhringer 1998b).

- c) *Kosten sind nicht als Absolutmaß auszuweisen, vielmehr dienen Kostenunterschiede dem Vorteilsvergleich konkurrierender Klimaschutzstrategien:* Eine Darstellung der mit Klimaschutz verbundenen Kosten als gesamtwirtschaftliche Absolutgröße (z. B. in Mrd. DM) ist wenig aussagekräftig. In Energiesystemanalysen können durch die Beschränkung auf die Energiewirtschaft wesentliche Kostenkomponenten nicht berücksichtigt werden. In Energiewirtschaftsmodellen erfordern die weiten Systemgrenzen eine stark vereinfachende Aggregation der Systemkomponenten und Systembeziehungen, so daß auch hier die Ausweisung von Systemkosten als absolute, reale Kosten problematisch ist. Hinzu kommt, daß mit der Langfristigkeit von Klimaschutzstrategien die Unsicherheiten über exogene Rahmendaten zunehmen und optimierende deterministische Systemmodelle als Prognoseinstrumente nicht geeignet sind. Kosten sollten bei der Entscheidungsfindung lediglich als Orientierungsgröße in Form eines Kostenvergleichs zwischen Alternativen dienen (*modeling for insights not for numbers*).
- d) *Die Wahl der Systemgrenzen hat wesentlichen Einfluß auf den Vorteilsvergleich von Alternativen:* Die in Energiesystemanalysen ausgewiesenen direkten Kosteneffekte können von den in der übrigen Gesamtwirtschaft ausgelösten Effekten in erheblichem Maße verstärkt oder abgeschwächt werden. Damit kann sich - je nach Systemgrenze - nicht nur der Abstand der Kosten verschiedener Alternativen ändern, sondern auch das *Ranking* selbst. Auch in gesamtwirtschaftlichen Analysen werden zum Teil Systemgrenzen gezogen, die nur eine partialanalytische Interpretation der Modellergebnisse zulassen. So können z. B. die Kosten nationaler Klimaschutzstrategien sehr unterschiedlich ausfallen, je nachdem ob *terms of trade*-Effekte berücksichtigt werden oder nicht (Böhringer und Rutherford 1999).
- e) *Das Referenzszenario hat entscheidenden Einfluß auf die Höhe der Kosten und damit auf das Ranking der Alternativen:* Selbst bei Vernachlässigung des Nutzens vermiedener Klimaschäden können die gesamtwirtschaftlichen Kosten von Klimaschutzmaßnahmen negativ sein (sog. *free lunch*). Entscheidend hierfür sind die im Referenzszenario berücksichtigten Ineffizienzen wie zum Beispiel verzerrende Steuern bzw. Subventionen oder institutionelle Hemmnisse. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist darauf zu achten, ob Kosteneinsparungen gegenüber der Referenz auf effizienzfördernde Wechselwirkungen der Klimaschutzmaßnahmen mit bestehenden Marktverzerrungen zurückzuführen sind (Bsp.: leistungshemmendes Steuer-/Subventionssystem) oder ob sie durch einen konstruierten Politikwechsel begründet sind. So ist es problematisch, potentielle Kosteneinsparungen im Klimaschutz durch einen Ausbau der klimagasfreien Kernkraft zu bilanzieren, wenn die Referenzsituation den gesellschaftspolitisch gewünschten Ausstieg aus der Kernenergie widerspiegeln sollte. Umgekehrt ist es auch nicht korrekt, den Abbau grober Ineffizienzen einseitig einer Klimaschutzpolitik (z. B. einer Klimasteuer im Rahmen einer Ökologischen

Steuerreform) zugute zu schreiben, wenn es hierfür auch andere Wege gibt. In verschiedenen *bottom-up* Studien werden Emissionsminderungsmaßnahmen ausgewiesen, die sich schon heute ohne zusätzliche Kosten oder sogar mit ökonomischem Gewinn realisieren lassen könnten (z. B. Fahl et al. 1997). Als Gründe dafür, daß diese Potentiale (sog. „Effizienzlücke“) bisher gesamtwirtschaftlich nicht ausgenutzt sind, werden u. a. Investitionsbarrieren aus einzelwirtschaftlicher Sicht (höhere Amortisationserwartungen bzw. hohe individuelle Diskontraten, Finanzierungshemmnisse), Wissensdefizite oder Regulierungsversagen angeführt. In Optimierungsmodellen müssen diese Formen des Markt- bzw. Regulierungsversagens bereits in die Referenzsituation integriert werden, um maßnahmeninduzierte Kosteneinsparungen in der Politiksimulation konsistent ausweisen zu können. Irreführend wäre es zum Beispiel mit unterschiedlichen Diskontraten im Referenzfall und der Politiksimulation zu rechnen oder den Wirtschaftssubjekten im Referenzfall weniger Wissen zuzuordnen als in der Maßnahmensimulation (es sei denn, die neue Politik enthält Informationskampagnen, deren Kosten dann aber auch zu berücksichtigen sind). In diesem Zusammenhang müssen die in *bottom-up* Studien ausgewiesenen Wirtschaftlichkeitspotentiale vor der Frage bewertet werden, ob sie Informations- und sonstige Transaktionskosten (z. B. „Bequemlichkeits“-Verluste beim Umstieg vom Auto auf öffentlichen Nahverkehr) bilanzieren.

VI. Schlußfolgerungen

Das Risiko einer dauerhaften Klimaerwärmung durch den anthropogen verursachten Anstieg der Klimagaskonzentrationen erfordert staatliche Maßnahmen zum Klimaschutz. Ein ungelöstes Problem hierbei ist die Ableitung von Emissionsminderungszielen aus einem umfassenden Kosten-Nutzen-Kalkül. Die ökonomische Bewertung bereits entstandener oder potentieller zukünftiger Klimaschäden ist jedoch beim heutigen Stand der Wissenschaft mit großen Unsicherheiten verbunden. Deshalb werden in der Klimapolitik Obergrenzen für Klimagasemissionen durch marktfremde Kriterien, wie z. B. Obergrenzen für eine globale Temperaturerwärmung, festgelegt. Stehen die Klimagasreduktionsziele einmal fest, so liegt es im gesellschaftspolitischen Interesse, diese Ziele mit möglichst geringen wirtschaftlichen Belastungen zu erreichen. Denn Klimaschutz, der erst langfristigen Nutzen bringt, ist der heutigen Gesellschaft am ehesten zu vermitteln, wenn die potentiellen kurz- bis mittelfristigen Anpassungskosten möglichst gering gehalten werden. Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse mit Hilfe optimierender Systemmodelle kann für die Strategieauswahl ein wichtiges Hilfsmittel sein. Sie ermöglichen einen konsistenten, systematischen Kosten- bzw. Vorteilsvergleich alternativer Handlungsstrategien. Die Identifizierung der kostenminimalen Strategie zeigt einen Weg auf, wie knappe Ressourcen nicht unnötig verschwendet werden.

Ziel des Beitrages war es, den Begriff der Kosten von Klimaschutz vor dem Hintergrund wichtiger Determinanten zu analysieren. Je nach Wahl der Systemgrenzen, der Systembeziehungen und der Referenzentwicklung kann die Bewertung konkurrierender Strategieoptionen mit Hilfe von Kostenrelationen unterschiedlich ausfallen. Aufgabe der modellgestützten Systemanalyse ist es, implizite Werturteile, die bei der Wahl der Systemgrenzen, der Systembeziehungen und der Referenzentwicklung eingehen, sichtbar zu machen und ihre jeweilige Bedeutung für die Modellergebnisse mit Hilfe von Parametervariationen abzuschätzen (Sensitivitätsanalysen). Dabei sind die Ergebnisse optimierender Systemmodelle nicht als Prognosen zu deuten, sondern als Quantifizierung formaler ökonomischer Theorien.

Konsistente Informationen über die Kostenunterschiede von Handlungsalternativen sind eine wichtige Grundlage für eine am ökonomischen Effizienzkriterium ausgerichtete Politik. Letztlich bleibt es aber Sache der Entscheidungsträger, diese Kosteninformationen in ihr Wertesystem einzuordnen.

Literatur

- Agnew, M., Schrattenholzer, L. und A.Voß: A model for energy supply alternatives and their general environmental impacts, IIASA, WP-79-6, Laxenburg, Austria.
- Bach, S, Kohlhaas, M., Meinhardt, V., Praetorius, B., Wessels, H. und R. Zwiener (1994): Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin.
- Böhringer, C. (1997): NEWAGE - Modellinstrumentarium zur gesamtwirtschaftlichen Analyse von Energie- und Umweltpolitiken, in: S. Molt und U. Fahl (Hrsg.), *Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland - Stand der Entwicklung*, 99-122, Jülich.
- Böhringer, C. (1998a): The Synthesis of Bottom-Up and Top-Down in Energy Policy Modeling, *Energy Economics*, 20 (3), 234-248.
- Böhringer, C. (1998b), Unilateral Taxation of International Environmental Externalities and Sectoral Exemptions, in: A. Fossati and J.Hutton (eds.), *Policy Simulations in the European Union*, 140-155, Routledge, London/New York.
- Böhringer, C. und T.F. Rutherford (1997): Carbon Taxes with Exemptions in an Open Economy - A General Equilibrium Analysis of the German Tax Initiative, *Journal of Environmental Economics and Management* 32, 189-203.
- Böhringer, C., Rutherford, T., Pahlke, A., Fahl, U. und A. Voß (1997): Volkswirtschaftliche Effekte einer Umstrukturierung des deutschen Steuersystems unter besonderer Berücksichtigung von Umweltsteuern, Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Band 37, Universität Stuttgart.
- Böhringer, C., Pahlke, A., Vöhringer, F., Fahl, U. und A. Voß (1998): Ökosteuerstudien - ein kritischer Vergleich, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 3, 167-172.
- Böhringer, C. und T.F. Rutherford (1999): World Economic Impacts of the Kyoto Protocol, in Welfens, P.J.J., Hillebrand, R. and A. Ulph (eds.): *Internalization of the Economy, Environmental Problems and New Policy Options*, forthcoming: Springer, Heidelberg/New York.
- Böhringer, C., Jensen, J. und T.F. Rutherford (1999): Energy Market Projections and Differentiated Carbon Abatement in the European Union, ZEW-Discussion Paper No. 99-11, Mannheim.
- Buttermann, H.G. und B. Hillebrand (1996): Regionalwirtschaftliche Auswirkungen von Steuern und Abgaben auf den Verbrauch von Energie - das Beispiel Nordrhein-Westfalen, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung ,Essen.
- Conrad, K. und T.F.N. Schmidt (1997), National Economic Impacts of an EU-Wide Permit System for CO₂ - An Applied General Equilibrium Analysis, in: S. Molt und U. Fahl (Hrsg.), *Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland - Stand der Entwicklung*, 123-152, Jülich.

Böhringer, Die Kosten von Klimaschutz

- Fahl U., Krüger, R., Läge, E., Rüdfler, W., Schaumann, P. und A. Voß (1997): Kostenvergleich verschiedener CO₂-Minderungsmaßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland, Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Band 40, Universität Stuttgart.
- Fishbone, L.G., Giesen, G., Goldstein, G. and H.A. Hymen.: User's Guide for MARKAL, Brookhaven National Laboratory, BNL-51701, Upton, New York, 1983
- Grubb, M., Edmonds, J., ten Brink, P. und M. Morrison (1993): The costs of limiting fossil-fuel CO₂ emissions: a survey and analysis, *Annual Review of Energy and the Environment*, 18, 397-478.
- Hake, J.-Fr., Jagodzinski, P., Kuckshinrichs, U., Markewitz, D. und M. Walbeck (1994): IKARUS - An Energy-Economy Model to Reduce Energy-Related Greenhouse Gas Emissions in Germany, in J.-Fr. Hake (ed.): *Advances in System Analysis*, Band 15, Jülich.
- Manne, A. and C.-O. Wene (1992): MARKAL-MACRO - A linked model for energy-economy analysis, BNL-47161, Department of Applied Science, Brookhaven National Laboratories, N. Y.
- Messner, S. (1994): User's guide for the matrix generator of Message II, part 1: model description and implementation guide, part 2: appendices, WP-84-71a and WP-84-71b, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Meyer, B., Bockermann, A., Ewerhart, G. und C. Lutz (1997): Was kostet eine Reduktion der CO₂-Emissionen?, Institut für Empirische Wirtschaftsforschung, Beitrag Nr.55, Universität Osnabrück.
- Schröder, M (1990): *Die volkswirtschaftlichen Kosten von Umweltpolitik*, Physica-Verlag, Heidelberg.
- Schmid, G. (1996): Die technisch-ökonomische Bewertung von Emissionsminderungsstrategien mit Hilfe von Energiemodellen, Forschungsbericht des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Band 28, Universität Stuttgart.
- Schaumann P. und O. Schweicke (1995): ECOLOG, Wissenschaftliche Berichte der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen (FH), Zittau/Görlitz, Heft 39/1995, Nr 1481, Zittau.
- Shoven, J.B. and J. Whalley (1992): *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press.
- Van der Voort, E., Donni, E., Thonet, C., Bois D'Enghien, E., Dechamps, C. und J.F. Guilmot (1984): EFOM-12C Mark 1, Energy Supply Modelling Package, Mathematical Description / User's Guide, Rapport EUR8896.
- Voß, A. und A. Reuter (1988): Kosten-Effektivitätsanalysen als Grundlage praktischer Umweltpolitik, in H. Siebert (Hrsg.): *Umweltschutz für Luft und Wasser*, Springer, Berlin.
- Welsch, H. und F. Hoster (1997): LEAN - Modellcharakteristika und Anwendungsbeispiel, in: S. Molt und U. Fahl (Hrsg.), *Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland - Stand der Entwicklung*, Jülich.
- Wöhe, G. (1987): *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, 13. Auflage, Verlag Vahlen, München.

Summary

Climate change policy focuses on the costs associated with the restructuring of the current energy system towards sustainability. Acceptance of greenhouse gas mitigation strategies depends crucially on the magnitude and distribution of abatement costs. To estimate these costs one usually employs energy system models or energy economy models. However, model-based quantitative studies reveal dramatic differences in cost estimates which leads to contradictory policy conclusions. In this article we provide insights into key determinants of model-based cost estimates for greenhouse gas abatement policies. These insights are a prerequisite for the appropriate use of model results with respect to sound climate policy decision making.