

Siebert, Horst

Book Part — Digitized Version

Die Grundprobleme des Umweltschutzes: Eine wirtschaftstheoretische Analyse

Provided in Cooperation with:

Kiel Institute for the World Economy – Leibniz Center for Research on Global Economic Challenges

Suggested Citation: Siebert, Horst (1977) : Die Grundprobleme des Umweltschutzes: Eine wirtschaftstheoretische Analyse, In: Külp, Bernhard (Ed.): Soziale Probleme der modernen Industriegesellschaft: Verhandlungen auf der Arbeitstagung des Vereins für Socialpolitik, Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Augsburg 1976, Halbbd. 1, ISBN 3-428-03891-6, Duncker & Humblot, Berlin, pp. 141-182

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/3551>

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 Grundprobleme des Umweltschutzes. Eine wirtschaftstheoretische Analyse

Von Horst Siebert, Mannheim*

I. Problemstellung

Das Umweltproblem existiert, weil die Umwelt — d. h. die Gesamtheit der den menschlichen Lebensraum definierenden natürlichen Gegebenheiten — für konkurrierende Verwendungen genutzt werden kann¹. Die Umwelt dient 1. als öffentliches Konsumgut (Luft, Schönheit der Landschaft), 2. als Aufnahmemedium von Schadstoffen (inkl. Abfall), die in den Aktivitäten Konsum und Produktion als Kuppelprodukte anfallen, 3. als Lieferant von regenerierbaren oder nicht regenerierbaren Rohstoffen im weitesten Sinn und 4. als Standortboden für ökonomische Aktivitäten. Konkurrenz besteht nicht nur zwischen diesen vier Grundfunktionen der Umwelt, sondern bei entsprechender Disaggregation der Grundfunktionen auch innerhalb jeder einzelnen Grundfunktion. (Z. B.: Die Verwendung eines Flußsystems für Kühlzwecke am Oberlauf beeinträchtigt die Kühlkapazität am Unterlauf.)

Das Konzept der Verwendungskonkurrenz impliziert Umweltknappheit. Ist Umwelt „reichlich“ vorhanden, so beeinträchtigen sich die oben beschriebenen Funktionen nicht, und es besteht keine Verwendungskonkurrenz. Konkurrenz der Verwendungen zwischen den Grundfunktionen der Umwelt setzt also voraus, daß die Nachfrage nach Umweltdiensten das vorhandene Angebot übersteigt. Tabelle 1 stellt — ohne Anspruch auf Vollständigkeit — die wichtigsten in der Literatur diskutierten Beispiele von Verwendungskonkurrenzen zusammen.

Tabelle 1 enthält die folgenden fünf, nicht exakt voneinander trennbaren Probleme:

* Für kritische Hinweise zu einer ersten Fassung des Manuskripts danke ich meinen Mitarbeitern Dipl.-Volksw. R. Gronych und Dipl.-Volksw. W. Vogt. Ferner bin ich Herrn Dr. R. Pethig für eine kritische Stellungnahme zu der in Augsburg vorgelegten Fassung dankbar.

¹ H. Siebert, Das produzierte Chaos. Ökonomie und Umwelt, Stuttgart 1973.

Tabelle 1: Konkurrierende Verwendungen und Problemstruktur

	Öffentliches Konsumgut	Aufnahmemedium für Schadstoffe	Lieferant von öffentlichen Inputs, Rohstoffen/Standortboden
Öffentliches Konsumgut	<p>1. Die Anzahl der Benutzer beeinträchtigt bei einem einzigen Verwendungszweck die Qualität eines öffentlichen Gutes</p> <p>Problem der Überfüllung öffentlicher Güter</p>		
Aufnahmemedium für Schadstoffe	<p>2. Die an die Umwelt abgegebenen Schadstoffe beeinflussen die Qualität öffentlicher Umweltgüter</p> <p>3. Die von einer Aktivität an die Umwelt abgegebenen Schadstoffe reduzieren die Assimilationskapazität und damit die (wirtschaftspolitisch) zulässigen Emissionsmengen anderer Aktivitäten</p> <p>Problem der Umweltverschmutzung</p>		
Lieferant von öffentl. Inputs, Rohstoffen/Standortboden	<p>4. Der Abbau von Rohstoffen zerstört ein öffentliches Konsumgut (z.B. Schönheit der Landschaft)</p> <p>Problem der Erhaltung von Natur und Landschaft (Naturschutz)</p> <p>Problem der Raumnutzung</p> <p>5. Schadstoffe beeinflussen die Regeneration von Rohstoffen</p> <p>6. Die Qualität von öffentlichen Inputs beeinflusst die Produktionsbedingungen</p> <p>7. Die Nutzung eines Rohstoffs (heute) verhindert eine andere Nutzung (in der Zukunft)</p> <p>Rohstoffproblem</p> <p>8. Die Nutzung des Bodens für einen Zweck schließt seine Verwendung für einen anderen Zweck aus</p>		

1. Überfüllung öffentlicher Güter (Congestion)

Bei dieser Fragestellung wird ein einziger Verwendungszweck eines Umweltmediums betrachtet und die Frage gestellt, inwieweit die Qualität des öffentlichen Gutes durch die Anzahl der Benutzer beeinträchtigt wird.

Reine öffentliche Güter sind dadurch definiert, daß sie entweder wegen mangelnder Ausschlußtechnologie oder aus normativen Erwägungen von allen Individuen in gleichem Ausmaß genutzt werden (sollen). Bezeichne z. B. u_l^A die Qualität u des öffentlichen Gutes l , die durch Individuum A genutzt wird, so gilt für das reine öffentliche Gut²

$$u_l^A = u_l^B = \dots = u_l^Z = u_l.$$

Das Überfüllungsproblem ist dagegen dadurch charakterisiert, daß Umweltgüter eine Kapazitätsgrenze haben, bei deren Überschreiten ihre Qualität negativ beeinflusst wird. Kennzeichne N die Anzahl der Benutzer und \bar{N} die Kapazitätsgrenze, so wirkt sich ein zusätzlicher Benutzer $N > \bar{N}$ auf die Qualität des öffentlichen Gutes negativ aus (z. B. Qualität eines Nationalparks bei großer Anzahl von Besuchern), also

$$(1) \quad \frac{du_l^A}{dN} = \frac{du_l^B}{dN} = \dots = \frac{du_l^Z}{dN} = \frac{du_l}{dN} \{ \leq \} 0 \text{ für } N \{ \geq \} \bar{N}$$

Bei Überfüllung gilt zwar weiterhin die Definition, daß ein öffentliches Gut von allen gleichzeitig genutzt werden kann (oder soll), aber das zu nutzende öffentliche Gut hat sich in seiner Qualität verändert. Das Problem ist also durch eine *qualitative Knappheitsrestriktion* gekennzeichnet. Bei merit goods kann zwar eine Restriktion in additiver Form formuliert werden, eine solche additive Restriktion wird jedoch aus normativen Vorstellungen nicht gehandhabt³.

Das Überfüllungsproblem öffentlicher Güter kann auf einzelne, räumlich begrenzte Umweltgüter (z. B. Nationalpark) oder auf den gesamten menschlichen Lebensraum bezogen werden. Bei dieser zweiten, globalen Betrachtung kann die Umweltfrage als ein Congestion-Problem interpretiert werden, das durch das Bouldingsche⁴ Paradigma des Raumschiffs Erde beschrieben wird: Die Zunahme der Weltbevölkerung beeinträchtigt bei gleichzeitig starker umweltbelastender Aktivität des ökonomischen

² J. C. Milleron, Theory of Value with Public Goods, in: Journal of Economic Theory, Vol. 5, 1977, S. 419 - 477.

³ Im übrigen kann die Behandlung einer Reihe von Umweltgütern als öffentliche Güter (im Sinne von technologischer Nichtausschließbarkeit) durch die Ökonomen möglicherweise auf mangelndes technisches Wissen zurückzuführen sein. So läßt sich z. B. der Sauerstoffbedarf von Verbrennungsprozessen dem gesamten Sauerstoffangebot auf der Erde gegenüberstellen. Die Atemluft wird jedoch immer ein öffentliches Gut bleiben, zumindest als „merit good“. Zur Klassifikation des Congestion-Problems vgl. W. J. Baumol und W. E. Oates, The Theory of Environmental Policy, Englewood Cliffs, N. J. 1975, S. 27, die den Fall abrupter und allmählicher Überfüllung unterscheiden.

⁴ K. E. Boulding, The Economics of the Coming Spaceship Earth, Environmental Quality in a Growing Economy. Ed. by H. Jarrett, Baltimore 1966.

Systems, bei begrenztem Raum und gegebenen nicht erneuerbaren Rohstoffen und bei gegebenen Veränderungsfunktionen der erneuerbaren Rohstoffe die Qualität des menschlichen Lebensraums. Für dieses globale Überfüllungsproblem sind zwei Komponenten konstitutiv: Einmal steigt die Nachfrage nach dem global interpretierten Gut Umwelt infolge Bevölkerungswachstums, infolge der wirtschaftlichen Entwicklung (wenn die Einkommenselastizität der Nachfrage nach Umwelt größer eins ist) und infolge Präferenzverschiebungen zugunsten des öffentlichen Gutes Umwelt im Gefolge von Entwicklungsprozessen. Zum anderen ist das Angebot an diesem Gut Umwelt begrenzt.

Die Umweltfrage als globales Überfüllungsproblem wird im folgenden durch eine differenziertere Betrachtung einer Reihe von (quantitativen und z. T. qualitativen) Restriktionen, d. h. Verwendungskonkurrenzen erklärt. Diese Verwendungskonkurrenzen sind vor dem Hintergrund einer steigenden Nachfrage nach Umweltgütern zu betrachten. Ferner ist bei einer disaggregierten Betrachtungsweise die Überfüllung einzelner, räumlich begrenzter Umweltgüter als *eine* Ursache des globalen Überfüllungsproblems anzusehen.

2. Naturschutz (Erhaltung öffentlicher Konsumgüter für zukünftige Generationen)

Es besteht eine Verwendungskonkurrenz zwischen der Nutzung der Umwelt als öffentliches Konsumgut (z. B. ästhetische Werte von Natur und Landschaft) und ihrer Inanspruchnahme als Standort für ökonomische Aktivitäten und für den Abbau von Rohstoffen. Besonders in den (von der Bewegung des Conservationism inspirierten) Arbeiten Krutillas⁵ wird an der Hells-Canon-Problematik untersucht, ob ein Naturraum wegen des Abbaus von Rohstoffen aufgegeben werden soll. Im übrigen kann nicht ausgeschlossen werden, daß auch Verwendungskonkurrenzen innerhalb der Grundfunktion „öffentliches Konsumgut“ auftreten (See als Trinkwasserspeicher oder für Motorboote). Bezeichnet u_l wieder die Qualität eines Umweltgutes l , z. B. eines Nationalparks (wobei u_l auch von der (Mindest-) Größe beeinflußt wird und damit u_l auch für eine bestimmte Mindestgröße steht), m_k die Menge eines Standortbodens der Art k und r_h die Menge einer Ressource r_h , und u_L ein anderes Umweltgut L , so kann die Verwendungskonkurrenz geschrieben werden als

⁵ A. C. Fisher, J. V. Krutilla, Ch. J. Cichetti, The Economics of Environmental Preservation: A Theoretical and Empirical Analysis, in: American Economic Review, Vol. 62 (1972), S. 605 - 614. — J. V. Krutilla, Conservation Reconsidered, in: American Economic Review, Vol. 57 (1967), S. 777 - 786. — J. V. Krutilla u. A. C. Fisher, The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity Resources, Baltimore 1975.

$$(2) \quad u_l \geq \bar{u}_l \rightarrow \begin{cases} dm_k < 0 \\ dr_h < 0 \\ u_L = 0 \end{cases}$$

d. h. die Bereitstellung einer bestimmten Mindestqualität \bar{u}_l (und auch Mindestgröße) schließt die Nutzung als Standortboden, als Abbauboden und die Bereitstellung eines anderen öffentlichen Gutes aus. Diese Verwendungskonkurrenz ist binär im Sinn eines „Entweder-Oder“, hat also *ausschließenden Charakter*. Sie kann auch als Restriktion⁶ im Sinne der Bodennutzung formuliert werden, die — bezogen auf die genutzten Quadratmeter — als *quantitative Restriktion* zu fassen ist, wobei diese Restriktion intertemporal interpretiert werden muß. Eines der Spezifika dieser Verwendungskonkurrenz besteht aufgrund der Mindestgrößen des öffentlichen Gutes darin, daß die Konkurrenz zwischen in sich nicht mehr teilbaren Verwendungen gegeben ist. Ein anderes *qualitatives* Spezifikum dieser Restriktion ist, daß die Allokationsentscheidungen einseitig oder wechselseitig irreversibel sein können. Der Abbau von Rohstoffen im Hells-Canon (heute) macht seine Nutzung als Nationalpark (später) unmöglich; die Nutzung als Nationalpark verhindert (technologisch) nicht die Möglichkeit, später Rohstoffe abzubauen. Diese (intertemporale) Irreversibilität ist bei den Allokationsentscheidungen zu berücksichtigen.

3. Raumnutzung

Die Umwelt, die über den Raum definiert ist, stellt dem ökonomischen System (außer Abbauboden) Standortboden zur Verfügung. Eine Reihe verschiedener ökonomischer Verwendungen konkurrieren um den Faktor Boden (landwirtschaftlicher Standortboden, industrieller Standortboden, Boden für Wohnzwecke und Infrastruktur, Abbauboden). Bezeichnet j die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten des Bodens der Art k , so gilt für die Bodennutzung die *additive (d. h. quantitative) Restriktion*

$$(3) \quad \sum_k \sum_j m_{kj} \leq m .$$

Auch bei dieser additiven Restriktion, die das Naturschutzproblem zumindest in seinem Bodennutzungsaspekt einschließt, treten Irreversibilitäten auf, da die Raumstruktur als Verkörperung vergangener Standortentscheidungen, als im Raum „erstarrte“ Entscheidungen vergangener Perioden, die aktuelle Standortwahl beeinflusst. Folglich muß auch diese Restriktion zeitlich interpretiert werden. Ansätze zur Erklärung

⁶ Diese Restriktion ist also nicht aus der Knappheit öffentlicher Finanzmittel abzuleiten.

der Raumstruktur und -nutzung — wie z. B. von Thünens⁷ landwirtschaftliche Standorttheorie und Christallers⁸ System der zentralen Orte — stellen deshalb im weitesten Sinne eine umweltökonomische Fragestellung dar. Heute ist noch nicht erkennbar, welchen Stellenwert die Raumtheorie in der Umweltökonomie einmal einnehmen wird und welchen Betrag sie für die Umweltökonomie zu leisten vermag.

4. Rohstofffrage

Die Forderung, natürliche Systeme für die Zukunft zu erhalten, kann in Konkurrenz zur Rohstofflieferantenfunktion der Umwelt stehen. Dies gilt etwa, wenn die aus der Umwelt entnommenen Rohstoffe im Umweltsystem regeneriert werden müssen. Bei regenerierbaren wie auch nicht regenerierbaren Rohstoffen stellt sich zudem die Frage, welchen alternativen Verwendungen die in der Regel knappen Ressourcen zugeführt werden sollen. Dabei steht nicht so sehr die statische Verwendungskonkurrenz als die alternative Nutzung der Rohstoffe in der Zeit im Mittelpunkt des theoretischen Interesses⁹. Als ein Sonderfall der nicht regenerierbaren Ressourcen kann der Faktor „Boden“ betrachtet werden. Das Spezifikum der Rohstofffrage besteht darin, daß sich für die Rohstoffe im Gegensatz zu einem öffentlichen Konsumgut immer eine *additive Knappheitsrestriktion* der Form

$$(4) \quad \sum_i r_{hi} \leq r_h$$

angeben läßt. Bei nicht regenerierbaren Ressourcen ist (4) entweder pro Periode oder für einen Planungszeitraum aufzufassen, wobei die Entnahmen von Rohstoffen über die Zeit zu summieren sind und r_h den Gesamtbestand der Ressource kennzeichnet. Bei erneuerbaren Rohstoffen ist r_h durch eine Veränderungsfunktion zu erklären. Im Gegensatz zu dem öffentlichen Konsumgut Umwelt können Rohstoffe (ähnlich wie Boden) den einzelnen Subsystemen einer Ökonomie zugerechnet werden und sind damit privatisierbar. Die Privatisierung erfolgt entweder bei der Produktion der Güter (Wald) oder bei ihrer Entnahme aus der Umwelt (Fische)¹⁰.

⁷ J. H. von Thünen, *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, Rostock 1850, Neudruck: Stuttgart 1966.

⁸ W. Christaller, *Theorie der zentralen Orte in Süddeutschland*, Jena 1933.

⁹ Die wirtschaftspolitische Frage der internationalen Allokation der Rohstoffe wird von den wirtschaftspolitischen Akteuren wohl eher wie ein statisches Allokationsproblem behandelt.

¹⁰ Die Wiederverwendung von Rohstoffen (recycling) macht deutlich, daß Rohstoffproblem und Umweltverschmutzung interdependente Fragen sind.

5. Umweltverschmutzung (Pollution)

In den ökonomischen Aktivitäten Konsum und Produktion entstehen Kuppelprodukte, die unerwünscht sind (ohne wirtschaftspolitischen Eingriff mit einem Preis von Null bewertet werden) und die an die Umwelt abgegeben werden (Emissionen). Der in der Umwelt befindliche Schadstoffpool (Immissionen) kann u. a. die Qualität des öffentlichen Konsumgutes Umwelt tangieren, die Qualität von aus der Umwelt (in der Regel frei) entnommenen Produktionsinputs (Sauerstoff für Verbrennungsprozesse) negativ beeinflussen oder die Regeneration von Ressourcen beeinträchtigen. Die zentrale Verwendungskonkurrenz liegt hier in der Nutzung der Umwelt als öffentliches Konsumgut und als Aufnahmemedium von Schadstoffen.

Das Umweltproblem ist ein Problem konkurrierender Verwendungen und damit eine Frage der Knappheit im weitesten Sinn. Folglich stellt sich das Umweltsystem für den Ökonomen in erster Linie als ein Allokationsproblem dar. Im folgenden abstrahieren wir von dem Problem der Überfüllung öffentlicher Güter, der Naturschutzproblematik, der Raumnutzung und der Rohstofffrage und konzentrieren uns auf das Problem der Umweltverschmutzung (Umweltschutzproblematik im engeren Sinn). Dabei wird ein statischer (II), ein dynamischer (III) und ein räumlicher Allokationsaspekt (IV) unterschieden. Abschließend wird auf diejenigen Aspekte des Umweltschutzproblems eingegangen, die sich nicht aus dem Allokationsziel, sondern aus anderen wirtschaftspolitischen Zielvorstellungen ergeben.

II. Statischer Allokationsaspekt

1. Problemstruktur

Das Problem der Umweltverschmutzung wird durch die folgenden Komponenten gekennzeichnet:

Die *Emissionsfunktion*

$$(5) \quad s^e = \alpha(q, r, c)$$

gibt an, welche Emissionen $s^e = \{s^{ek}\}$ der Arten k ¹¹ in den ökonomischen Aktivitäten Produktion und Konsum ($c = \{c_j\}$) entstehen. $q = \{q_i\}$ kennzeichnet das in der Volkswirtschaft erstellte Güterbündel, $r : (r_i, r_a)$ den Faktoreinsatz in der $i = 1 \dots I$ Produktion (r_i) und in der noch zu erörternden Schadstoffbeseitigung (r_a). Zusätzlich kann berück-

¹¹ $k = 1, \dots, K$. Analog gilt für $i = 1, \dots, I$ und $j = 1, \dots, J$. r kann als Vektor interpretiert werden oder es wird zur Vereinfachung unterstellt, daß nur eine Ressource betrachtet wird.

sichtigt werden, daß Schadstoffe bei der Nutzung öffentlicher Güter anfallen. Die Schadstoffentstehung in der Produktion, auf die wir uns im folgenden konzentrieren, ist sektorspezifisch¹². Wir unterscheiden schadstoffintensiv produzierende (umweltfeindliche) und nicht schadstoffintensiv produzierende (umweltfreundliche) Sektoren. Die sektorale Emissionsfunktion für die Schadstoffart k lautet

$$(5.1) \quad s_i^{ek} = h_i^k(q_i), \quad h_i^{k'} > 0, \quad h_i^{k''} > 0$$

Die Schadstoffbeseitigungsfunktion

$$(5.2) \quad s_a^k = \eta_k(r_a), \quad \eta_k' > 0, \quad \eta_k'' < 0$$

kennzeichnet die Beziehung zwischen beseitigten Schadstoffen und dem Ressourceneinsatz (Entsorgung). Die Entsorgung ist in zweierlei Weise möglich: Einmal kann die Schadstoffbeseitigung dann ansetzen, wenn unerwünschte Kuppelprodukte an die Umwelt abgegeben werden. Diese Form der Schadstoffbeseitigung ist den einzelnen ökonomischen Aktivitäten zurechenbar und damit unternehmensbezogen oder sektorspezifisch. Beispiele sind unternehmenseigene Kläranlagen oder Filterverfahren (in Schornsteinen). Andererseits können bereits an die Umwelt abgegebene Schadstoffe nachträglich beseitigt werden (kommunale Kläranlagen), allerdings ist diese nachträgliche Beseitigung von Immissionen des Umweltmediums Luft bisher nicht möglich. Die Gesamtemissionen s^{ek} der Art k einer Volkswirtschaft sind gegeben durch¹³

$$(5.3) \quad s^{ek} = \sum_i s_i^{ek} - s_a^k.$$

Die Diffusionsfunktion

$$s = \Phi(s^e)$$

beschreibt die Diffusionsprozesse in den Umweltmedien (z. B. Streeter-Gleichung¹⁴), kennzeichnet also die Transformation von Emissionen in Immissionen ($s : \{s^m\}$), z. B. im Fall von Synergismen. Eine ausführ-

¹² Diese Aussage stellt eine Vereinfachung dar. Bei Disaggregation eines Sektors sind ähnlich wie der Frage des technischen Niveaus eines Sektors unterschiedliche Emissionstechnologien für die einzelnen Unternehmen zu unterscheiden. Zu der unterstellten Emissionsfunktion vgl. H. Siebert, Environmental Control, Economic Structure and International Trade, in: I. Walter (Hrsg.), International Economic Dimension of Environmental Management, New York 1976, S. 29 - 56.

¹³ Diese Funktion geht davon aus, daß die Schadstoffbeseitigung nicht sektorspezifisch ist.

¹⁴ Vgl. dazu A. V. Kneese u. O. C. Herfindahl, Economic Theory of Natural Resources, Columbus, Ohio 1974, S. 314.

lichere Kennzeichnung der Diffusionsfunktion muß die Assimilationskapazität der Umweltsysteme berücksichtigen, also die Fähigkeit der Umweltsysteme, Schadstoffe aufzunehmen und abzubauen, ohne daß sich die Qualität öffentlicher Umweltgüter langfristig ändert. Die Bestimmungsfaktoren dieser Assimilationsfähigkeit (z. B. bei Flußsystemen Fließgeschwindigkeit, Sauerstoffgehalt, Temperatur, Schadstoffmenge) und die zeitliche Variation der Assimilationsfähigkeit entziehen sich der Kenntnis des Ökonomen. Im folgenden wird davon abgesehen, daß durch Ressourceneinsatz die Assimilationskapazität der Umwelt beeinflußt werden kann (Sauerstoffanreicherung von Gewässern, Aufforstung). Ferner wird die Diffusionsproblematik nicht weiter betrachtet, so daß $s = s^e$. s bezeichnet im folgenden die Immissionen, $\sum_i s_i^{ek}$ die gesamten Emissionen.

Die Schadensfunktion

$$(5.4) \quad u_i = g_i(s), \quad g'_i < 0, \quad g''_i < 0$$

gibt an, wie sich Immissionen auf die Qualität der Umweltgüter auswirken. Dabei handelt es sich einmal um die Beeinflussung solcher öffentlicher Umweltgüter, die mengenmäßig in privaten Konsumaktivitäten eingesetzt werden (Atemluft, Wasser) und zum anderen um öffentliche Konsumgüter, die einen nicht mengenmäßigen Input in Konsumaktivitäten darstellen (Schönheit der Landschaft, ökologische Stabilität). Neben diesen Schäden beim öffentlichen Konsumgut kann man sich auch andere Schadensfunktionen vorstellen: Immissionen beeinflussen die Qualität von Inputs in Produktionsprozessen, die Produktionsverfahren selbst¹⁵, bereits erstellte Güter (Vermögensschäden) usw.

Eine Produktionsfunktion

$$(5.5) \quad q_i = f_i(r_i) \quad f'_i > 0, \quad f''_i < 0$$

gibt die Produktionstechnologie an. Eine Ressourcenrestriktion

$$(5.6) \quad \sum r_i + r_a \geq \bar{r}$$

begrenzt die Produktions- und Entsorgungsmöglichkeiten der betrachteten Ökonomie.

Die Gleichungen (5.1) - (5.6) beschreiben die für die Umweltverschmutzung relevante Restriktion oder Verwendungskonkurrenz: Will

¹⁵ Produktionsschäden können erfaßt werden, indem unterstellt wird, daß die Immissionen die Menge des Outputs beeinflussen, also $q_i = f_i(r_i, s)$. Vgl. H. Siebert, Resource Withdrawal, Productivity Effect and Environmental Policy: Comment, in: Weltwirtschaftliches Archiv, ..., S. 569 - 572.

man mehr produzieren, so steigen die Emissionen und die Umweltqualität sinkt. Gleichzeitig müssen Ressourcen der Entsorgung entzogen werden, damit die Produktion der Güter 1 und 2 gesteigert werden kann. Eine Vermehrung der Produktion bedeutet bei gegebener Entsorgungstechnologie also einen Verzicht auf die Güter 1 und/oder 2. Es wird deutlich, daß die zentrale Verwendungskonkurrenz im Fall der Umweltverschmutzung zwischen der Umwelt als öffentlichem Konsumgut und als Aufnahmemedium für Schadstoffe besteht. Die Restriktion (5) hat sowohl *quantitative* als auch *qualitative* Komponenten. Der Umweltverschmutzung (Umweltproblem im engeren Sinn), die durch 5.1 bis 5.6 dargestellt wird, sind die anderen Verwendungskonkurrenzen gegenüber zu stellen: Überfüllung (Restriktion 1), Naturschutz (Restriktion 2), Raumnutzung (Restriktion 3) und Rohstofffrage (Restriktion 4). Die Gesamtheit dieser Restriktionen begründet das Umweltproblem.

Aussage: Verwendungskonkurrenzen in der Umweltnutzung sind durch unterschiedliche Arten von Knappheitsrestriktionen gekennzeichnet. Das Problem der Überfüllung ist durch eine qualitative Restriktion, das Naturschutzproblem durch eine binäre, und Raumnutzung sowie Rohstofffragen sind durch additive (d. h. quantitative) Restriktionen charakterisiert. Das Umweltschutzproblem im engeren Sinn enthält quantitative und qualitative Restriktionen.

2. Graphische Darstellung des Allokationsproblems

Schaubild 1 stellt graphisch für eine Zwei-Güter-Wirtschaft die in den Gleichungen (5.1) - (5.6) beschriebene Restriktion dar. Für die Argumentation wird im folgenden angenommen, daß nur ein Schadstoff betrachtet wird, von Diffusionsprozessen abgesehen werden kann und Sektor 1 der schadstoffintensiv produzierende Sektor¹⁶ ist.

Bei Nullproduktion in beiden Sektoren wird die maximale Umweltqualität (OA), sozusagen der natürliche Urzustand, erreicht. Wird die Produktion des Gutes 1 bei $q_2 = 0$ ausgedehnt, so kann man sich eine solche Ressourcenallokation (r_1, r^a) vorstellen, bei der alle in der Produktion von 1 entstehenden Schadstoffe beseitigt werden (Strecke AG). Analog gibt AH diejenigen Produktionsmengen des Gutes 2 für $q_1 = 0$ an, bei der die Umweltqualität maximal bleibt. $AG < AH$ bringt zum Ausdruck, daß Gut 1 das schadstoffintensiv produzierte Gut ist¹⁷. Auf

¹⁶ Zur Definition des schadstoffintensiven Sektors vgl. H. Siebert, Die Umwelt in neoklassischen Außenhandelsmodellen, Beiträge zur angewandten Wirtschaftsforschung, Institut für Volkswirtschaftslehre und Statistik, Universität Mannheim, 1975, No. 63.

¹⁷ Wegen des Dimensionierungsproblems der Gütermengen hat diese Darstellung in bezug auf AG und AH nur heuristischen Wert. Die Form des

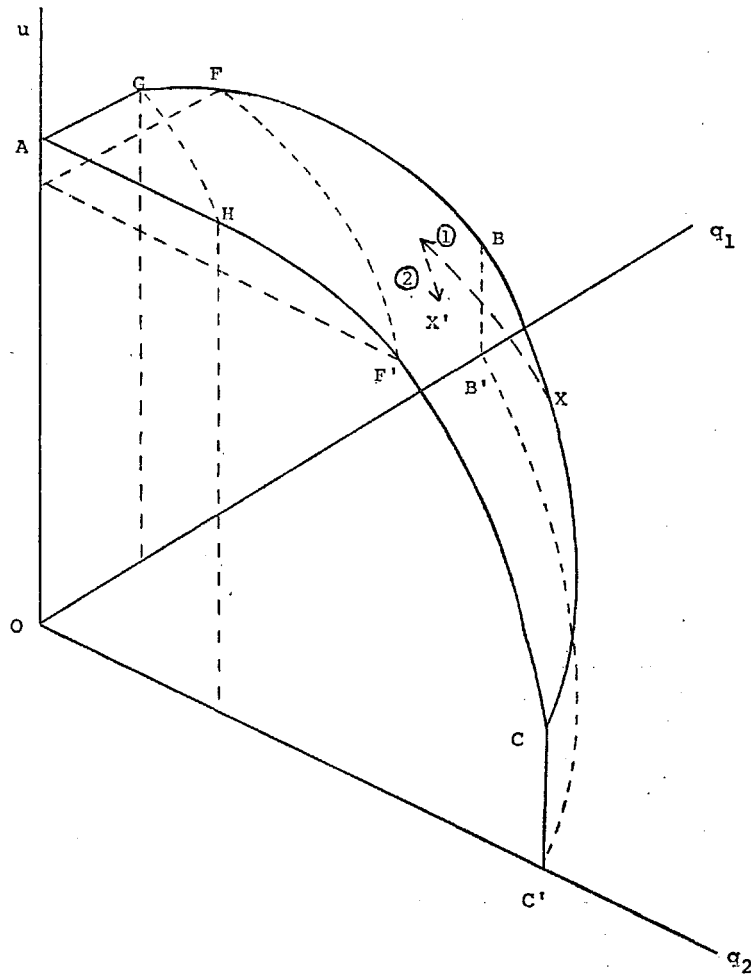


Schaubild 1

der Strecke GH ist die Ressource vollbeschäftigt. Mit Ausnahme der Strecke GH stellt das horizontale Dach eine Ökonomie mit gleicher Umweltqualität und Unterbeschäftigung dar.

Transformationskörpers in Schaubild 1 ändert sich, wenn die Entsorgungstechnologie sektorspezifisch ist. Ferner wird nicht berücksichtigt, daß sich der Schadstoffpool auf die Produktionsfunktionen der Sektoren oder auf die Qualität der Ressource auswirkt. Zu dieser Frage vgl. Ch. Pearson, International Trade and Environmental Controls: Comment, in: Weltwirtschaftliches Archiv, Bd. 111 (1975), S. 564 - 567; H. Siebert, Resource Withdrawal, Productivity Effect and Environmental Policy: Comment, a.a.O.

Wird in Punkt G für $q_2 = 0$ die Produktion des Gutes 1 ausgedehnt, so steigt die Menge von Emissionen, und gleichzeitig wird die Menge der beseitigten Emissionen zurückgehen, da Ressourcen aus der Entsorgungsbranche abgezogen werden müssen. Die Emissionen nehmen progressiv zu, die Grenzproduktivität in der Entsorgung steigt. Absolut muß jedoch wegen der Reallokation der Faktoren aus der Entsorgung in die Produktion des Gutes 1 die Schadstoffmenge steigen und die Umweltqualität sinken. Es läßt sich zeigen (Anhang A), daß diese Kurve GB konkav ist. Auch die Kurve HC für $q_1 = 0$ ist konkav.

Die Strecke BB' kennzeichnet diejenige Umweltqualität, die sich bei einer vollständigen Spezialisierung auf das Gut 1 und Vollbeschäftigung ergibt. Die Strecke CC' stellt diejenige Umweltqualität dar, die der vollständigen Spezialisierung auf Gut 2 zugeordnet ist. Da Gut 1 annahmegemäß das schadstoffintensiv erzeugte Gut ist und da in der Entsorgung nicht zwischen den Gütern 1 und 2 differenziert wird, gilt $CC' > BB'$.

Es läßt sich zeigen, daß die Isoquanten gleicher Umweltqualität ($u [g(\bar{s})]$) konkav sind, d. h. der Transformationskörper ist nach außen gewölbt. Dies gilt auch für $\bar{s} = 0$, so daß auch die Kurve GH konkav ist (Anhang A). Als Bedingung für die Konkavität ergibt sich (vgl. Anhang A, A9) $h'_1 f_1 > h'_2 f_2$. Diese Bedingung besagt, daß die Grenzemissionsneigung des Ressourceneinsatzes in Sektor 1 höher liegt als in Sektor 2. Sektor 1 ist also der schadstoffintensiv produzierende Sektor. Diese Bedingung tritt systematisch in anderen Arbeiten zum Allokationsproblem auf¹⁸.

Die Kurve BC stellt das Transformationsproblem für den Fall dar, daß die Ressource nicht in der Entsorgung eingesetzt wird ($r_a = 0$). Die Projektion der BC -Kurve in den q_1 - q_2 -Raum, also die Kurve $B'C'$ stellt die traditionelle Transformationskurve dar, wobei das Güterbündel und damit die Faktorallokation $\{r_1, r_2\}$ durch das Güterpreisverhältnis p_2/p_1 bestimmt wird (Punkt X).

Punkt X in Schaubild 1 kennzeichnet damit eine Volkswirtschaft ohne Umweltpolitik. Die Ökonomie orientiert sich an einer Wohlfahrtsfunktion, in der lediglich das traditionelle Güterbündel, nicht jedoch die Umweltqualität als Argumentvariable erscheinen. Die Umweltpolitik stellt sich nun als der Versuch dar, eine Wohlfahrtsfunktion¹⁹

¹⁸ H. Siebert, Environmental Control, Economic Structure and International Trade, a.a.O.; ders., Environmental Protection and International Specialization, in: Weltwirtschaftliches Archiv, Bd. 110 (1974), S. 494-508; ders., Resource Withdrawal, Productivity Effect and Environmental Policy: Comment, a.a.O. — Zu einer ausführlichen Interpretation dieser Bedingung vgl. H. Siebert, Die Umwelt in neoklassischen Außenhandelsmodellen, a.a.O.

$$(6) \quad w = w(q, u) \quad \frac{\partial w}{\partial u} > 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} < 0,$$

$$\frac{\partial w}{\partial q} > 0, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial q_i^2} < 0,$$

zu maximieren, wobei die Umweltqualität explizit als eine Argumentvariable der Wohlfahrtsfunktion ist. Diese Wohlfahrtsfunktion kann durch eine Schar von konvexen Indifferenzdeckeln dargestellt werden. Zwar kann nicht ausgeschlossen werden, daß ein solcher Indifferenzdeckel in X tanigert, etwa, wenn die Umweltqualität nicht sehr hoch bewertet wird, wenn die Umweltbelastung in der Ökonomie gering ist oder wenn c. p. die marginalen Beseitigungskosten sehr hoch sind. Von diesen Sonderfällen abgesehen, bedeutet Umweltpolitik in der Regel, daß ein Punkt X' auf dem Transformationsraum gewünscht wird. Die Bewegung von X nach X' kann analytisch aus zwei Komponenten erklärt werden:

a) Entsorgungseffekt. Der Produktion der Güter 1 und 2 werden bei konstantem Güterpreisverhältnis (Produzentenpreis) und damit bei konstanter Sektorstruktur infolge der Umweltpolitik, d. h. infolge eines positiven Entsorgungspreises Ressourcen entzogen, die in der Beseitigung von Schadstoffen eingesetzt werden und die Umweltqualität verbessern (Pfeil⊕). Mit zunehmender Umweltqualität nimmt die Menge der Güterbündel ab.

b) Sektoreffekt. Mit einer positiven Bewertung der Umweltqualität und der Zurechnung der sozialen Zusatzkosten auf den Verursacher (Emissionssteuerlösung) ändert sich das Güterpreisverhältnis, und der schadstoffintensive Sektor wird zurückgedrängt (Pfeil⊗). Mit der Umweltpolitik muß also in der Regel eine Änderung der Sektorstruktur und eine Reallokation der Faktoren zugunsten des umweltfreundlichen Sektors einhergehen.

Der Übergang von X nach X' verursacht Kosten. Diese bestehen in dem Verlust von Gütern, den man wegen der in der Entsorgung gebundenen Ressourcen in Kauf nehmen muß. Werden in der Wohlfahrtsfunktion neben der Bereitstellung privater Güter und der Umweltqualität auch andere Ziele der Wirtschaftspolitik berücksichtigt (Vollbeschäftigung, Preisniveaustabilität, Zahlungsbilanzausgleich usw.), so kann die Bewegung von X nach X' auch Einbußen in den Erfüllungsgraden dieser Zielvariablen bedingen (Kosten der Umweltpolitik als Zielverzicht (Hansmeyer²⁰, Zimmermann²¹)).

¹⁹ Die Frage nach der Existenz der Wohlfahrtsfunktion und das Aggregationsproblem können hier nicht verfolgt werden. Die Wohlfahrtsfunktion sei separabel.

3. Optimale Umweltnutzung und institutionelle Regelungen

Bei der wirtschaftspolitischen Lösung der im Gleichungssystem (5) beschriebenen Verwendungskonkurrenz der Umweltnutzung muß der Ökonom über institutionelle Regelungen nachdenken, die eine optimale Umweltnutzung gestatten — eine Aufgabe, deren Vernachlässigung eine gewisse wirtschaftspolitische Blutarmut der ökonomischen Theorie bewirkt hat. Sieht man von Subventionen, moral suasion, staatlichen Investitionen und einer Emissionsnormierung aus hier nicht zu untersuchenden Gründen ab²², so kommen als institutionelle Regelungen Emissionssteuern und Verhandlungslösungen in Betracht.

(1) Maximiert man die Wohlfahrtsfunktion (6) unter Beachtung der Restriktion (5), so ergibt sich für die Setzung des Schattenpreises für Emissionen (p) im statistischen Allokationsproblem (vgl. Anhang B).

$$(7) \quad p = \frac{\partial w}{\partial u} \quad g' = - \frac{\lambda_3}{f'_a} < 0$$

und für die Güter

$$(7') \quad \lambda_i = \frac{\partial w}{\partial q_i} + h'_i p$$

Aussage: Der Schattenpreis für Emissionen ist so zu setzen, daß die Grenzschaäden einer Emissionseinheit und die Grenzkosten der Schadstoffbeseitigung einander entsprechen. Der Schattenpreis der Güter (Produzentenpreis) wird um die sozialen Zusatzkosten einer Produkteinheit (marginale Emission pro Produkteinheit multipliziert mit dem Schattenpreis der Emissionen) nach unten korrigiert²³.

Über die Informationsvoraussetzungen und Erfolgsbedingungen der wirtschaftspolitischen Anwendung einer solchen Regelung wird an anderer Stelle berichtet²⁴. Das erzielte Resultat steht zwar in der Pigouschen Tradition, geht aber in der wirtschaftspolitischen Anwendung

²⁰ K. H. Hansmeyer, Volkswirtschaftliche Kosten des Umweltschutzes, in: H. Giersch (Hrsg.), Das Umweltproblem in ökonomischer Sicht, Tübingen 1974.

²¹ K. Zimmermann, Die Last des Umweltschutzes: Überlegungen zum Konzept der „volkswirtschaftlichen Kosten“ des Sachverständigenrats für Umweltfragen, in: Kyklos, Vol. 23 (1974), S. 840 - 867.

²² Vgl. H. Siebert (unter Mitarb. von W. Vogt), Analyse der Instrumente der Umweltpolitik, Göttingen 1976.

²³ Zur weiteren Interpretation vgl. z. B. H. Siebert, Externalities, Environmental Quality and Allocation, in: Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, 1975, S. 17 - 32.

²⁴ H. Siebert, Analyse der Instrumente der Umweltpolitik, a.a.O.

über die Resultate von Pigou hinaus. Die traditionelle Analyse der externen Effekte begnügte sich damit, die technologische Interdependenz z. B. zwischen Produktionsaktivitäten in der allgemeinen Form $\partial q_i / \partial q_j \neq 0$ zu untersuchen. Folglich bezogen sich die Handlungsanweisungen dieser Analyse auf wirtschaftspolitische Maßnahmen, die an einer Produkteinheit ansetzen, z. B. Ermittlung der sozialen Zusatzkosten pro Produkteinheit. Die empfohlenen Maßnahmen scheitern jedoch entweder an den nicht zu erfüllenden Informationsvoraussetzungen (Unmöglichkeit der Berechnung der sozialen Zusatzkosten pro Produkteinheit) oder sie stellen in der wirtschaftspolitischen Praxis Lösungen des Zweitbesten dar. Dies folgt daraus, daß z. B. eine nicht jeweils den geänderten Bedingungen angepaßte Produktsteuer falsche Allokationssignale setzt²⁵. Die Umweltökonomie hat dagegen für die Theorie der externen Effekte die Erkenntnis gebracht, daß es im Interesse wirtschaftspolitischer Lösungen des externality-Problems fruchtbar ist, diejenigen technologischen Systeme — wie hier das Umweltsystem — näher zu analysieren, über welche externe Effekte ablaufen²⁶. Diese Analyse bringt durch die Einführung zusätzlicher Variablen (Emissionen) zugleich Ansatzpunkte für wirtschaftspolitische Maßnahmen (Emissionssteuern), die in der Pigouschen Analyse noch nicht enthalten waren. Es kann die Vermutung geäußert werden, daß die Messung der Emissionen im Produktionsbereich sowohl für das Medium Wasser als auch für Luft mit vertretbaren Kosten möglich ist²⁷.

Aussage: Die Analyse der technologischen Systeme, über die externe Effekte ablaufen, bringt zusätzliche Ansatzpunkte für wirtschaftspolitische Maßnahmen.

(2) Die beiden Sätze der Wohlfahrtsökonomie, daß a) jedes totale Marktgleichgewicht bei vollständiger Konkurrenz pareto-optimal ist und daß b) jedem Pareto-Optimum ein totales Marktgleichgewicht bei vollständiger Konkurrenz entspricht, gelten auch für eine Ökonomie mit Emissionen, wenn der Schattenpreis für Emissionen nach den verhinderten Grenzschäden gesetzt wird.

Aussage: Werden die Schattenpreise nach den verhinderten Grenzschäden gesetzt, gelten die beiden Hauptsätze der Wohlfahrtsökonomie²⁸.

Baumol und Oates zeigen auch, daß — außer einer Pauschalsteuer oder -subvention — die Pareto-Lösung nur durch ein System von

²⁵ Ebenda.

²⁶ H. Siebert, Externalities, Environmental Quality and Allocation, a.a.O.

²⁷ H. Siebert, Analyse der Instrumente der Umweltpolitik, a.a.O.

²⁸ W. J. Baumol and W. E. Oates, a.a.O., S. 41 f.; T. H. Tietenberg, Specific Taxes and the Control of Pollution: A General Equilibrium Analysis, in: Quarterly Journal of Economics, Vol. 87 (1973), S. 503 - 522, hier: S. 516 f.

Schattenpreisen bei Kompensationszahlungen von Null aufrechterhalten werden kann. Diese sehr „starke“ Aussage verlangt grenzschadensorientierte Schattenpreise und widerspricht den Aussagen über die Notwendigkeit von Kompensationszahlungen bei der Coase-Lösung²⁹.

(3) Die wirtschaftspolitische Anwendung des Schattenpreissystems setzt voraus, daß der Schattenpreis für Emissionen entweder bei reduzierten Informationserfordernissen im Sinn des Standard-Preis-Ansatzes, und zwar unter Verzicht auf die Optimaleigenschaft³⁰, oder nach den verhinderten Grenzschäden zu setzen ist. Hinter dieser Informations- und Bewertungsfrage verdeckt sich das Freifahrerproblem bei öffentlichen Gütern und die daraus folgende Schwierigkeit, die Zahlungsbereitschaft von Individuen aufzudecken. Diese Schwierigkeit existiert auch bei der Verhandlungslösung, die aus dem Coase-Vorschlag³¹ erwachsen ist und erhebliche Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat³². Außer im Fall der grenzüberschreitenden Umweltverschmutzung muß jedoch aus einer Reihe von Gründen³³ bezweifelt werden, ob die Verhandlungslösung ein zweckmäßiges Organisationsprinzip für eine Volkswirtschaft sein kann. Einige Autoren bemühen sich um Verfahren zur Aufdeckung der individuellen Zahlungsbereitschaft³⁴. Pethig wendet

²⁹ W. J. Baumol und W. E. Oates, a.a.O., S. 43. Der Beweisgang von (9) auf (10) ist m. E. jedoch nicht schlüssig. Aus (3^a) und (3^c) bei Baumol und Oates folgt

$$\lambda_j = \frac{w_i^+}{u_i^{j+}} = \frac{p_i^+}{u_i^{j+}} = \lambda_j - \frac{t_i^{j+}}{u_i^{j+}}$$

und (10) gilt nur, wenn $t_i^{j+} = 0$. Es kann jedoch nicht a priori unterstellt werden, daß die Kompensationszahlungen nicht mit der Muße variieren. Ein analoger Einwand gilt für (11) bei Baumol u. Oates.

³⁰ H. Siebert, Analyse der Instrumente der Umweltpolitik, a.a.O.

³¹ R. Coase, The Problem of Social Coast, in: Journal of Law and Economics, Vol. 3 (1960), S. 1 - 44.

³² Coase Theorem Symposium, in: Natural Research Journal, Part 1, Vol. 13, Oct. 1973, S. 557 - 716, Part 2, Vol. 14, Jan. 1974, S. 1 - 86. — B. Külp, Entwicklung und Verbesserung steuerlicher und anderer Maßnahmen, um Unternehmen zu größerer Rücksicht auf die von ihrer wirtschaftlichen Aktivität ausgehenden, externen Nachteile zu zwingen, erstellt im Auftrag der Kommission für wirtschaftlichen und sozialen Wandel (Bonn), Bochum 1971. — R. Windisch, Coase-Paradigma versus Pigou-Paradigma: Über Information und Motivation als Grundfragen dezentralisierter Umweltkontrolle, in: Zeitschrift für Nationalökonomie, Bd. 35 (1975), S. 345 - 390.

³³ K. Littmann, Umweltbelastung — sozialökonomische Gegenkonzepte, Göttingen 1974.

³⁴ P. Bohm, An Approach to the Problem of Estimating the Demand for Public Goods, in: Swedish Journal of Economics, Vol. 73 (1971), S. 55 - 66. — K. G. Mäler, Environmental Economics, Baltimore 1974. — R. Pethig, Environmental Management in General Equilibrium: A New Incentive Compatible Approach, Discussion Paper, The Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science, Northwestern University, Evanston/Ill. 1976.

den Groves-Ledyard-Mechanismus auf dieses Problem an: Es wird ein Kommunikationsprozeß zwischen Individuen und Regierung betrachtet, der sicherstellt, daß es im Eigeninteresse des Individuums liegt, seine Präferenzen für das öffentliche Konsumgut „Umwelt“ aufzudecken. Zentraler Bestandteil dieses Ansatzes ist eine Meldefunktion der einzelnen Individuen und eine Transferfunktion, in welcher der Transfer von einem (oder an ein) Individuum u. a. auch von der Abweichung der individuellen Ansprüche an das öffentliche Gut von einer „Leitlinien“-nachfrage abhängt, die als Durchschnittsgröße aufgefaßt werden kann³⁵.

III. Dynamische Allokationsprobleme

Betrachtet man die Frage der Umweltnutzung nicht zu einem einzigen Zeitpunkt (statische Analyse), sondern über einen Planungszeitraum (dynamische Analyse), so ergeben sich eine Reihe zusätzlicher zu berücksichtigender Faktoren³⁶. Dabei ist zwischen ökologischen Prozessen in der Zeit, dem zeitlichen Aspekt einer status-quo-Analyse der Beziehungen zwischen Ökonomie und Umwelt und schließlich den dynamischen Aspekten wirtschaftspolitischer Lösungsansätze zu unterscheiden. Zu den ökologischen Prozessen, die in der Zeit verlaufen, zählt die Diffusion, Akkumulation und der Abbau von Schadstoffen. So werden eine Reihe von Schadstoffen wie DDT in den Umweltmedien akkumuliert; oder die Assimilationskapazität einzelner Umweltmedien unterliegt saisonalen Schwankungen oder langfristigen Entwicklungen. Bei der status-quo-Analyse des Umweltsystems (gegebener Instrumenteneinsatz) sind einmal alle Verwendungskonkurrenzen intertemporal zu interpretieren, wobei auch die Frage der Langfristwirkung von Schadstoffen auftritt; zum anderen wird die Frage relevant, wie sich das

³⁵ Der unterstellte Mechanismus bewirkt die Harmonisierung der Ansprüche der Individuen. Es muß hier offen bleiben, wie streng dieser Mechanismus im Vergleich zu weniger strengen Mechanismen zur Ermittlung der gesellschaftlichen Nachfrage nach öffentlichen Gütern ist (Koalitionsbildung, Referenden, Wahlen) und inwieweit er individuell rational ist.

³⁶ Wir beschränken uns auf den Aspekt der Umweltverschmutzung und gehen nicht auf die Frage der Rohstoffnutzung in der Zeit ein. Zur Problemstellung vgl. *K. P. Anderson*, Optimal Growth When the Stock of Resources Is Finite and Depletable, in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 4 (1972), S. 256 - 267; *A. O. Converse*, Environmental Controls and Economic Growth, in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 7 (1974), S. 411 - 417; *E. Keeler*, *M. Spence*, *R. Zeckhauser*, The Optimal Control of Pollution, in: *Journal of Economic Theory*, Vol. 4, 1972, S. 19 - 34; *K. G. Müller*, a.a.O.; *A. Ocker*, Wachstum und Wohlfahrt in isolierter Umwelt, Tübingen 1975, insbesondere aber *F. R. Førsund*, The Polluter Pays Principle and Transitional Period, Measures in a Dynamic Setting, in: *Swedish Journal of Economics*, Vol. 77 (1975), S. 56 - 68; und *V. L. Smith*, Dynamics of Waste Accumulation: Disposal versus Recycling, in: *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 86 (1972), S. 600 - 616.

Umweltsystem bei gegebenem Instrumenteneinsatz in der Zeit verhält. Erst die Kontrastierung des status-quo mit einer normativen Vorstellung begründet wirtschaftspolitisches Eingreifen. Schließlich gibt es eine Fülle von Problemen, die aus wirtschaftspolitischen Lösungsansätzen resultieren: Wie soll der Preis der Umweltnutzung in der Zeit gesetzt werden? Wie kann man vermeiden, daß der Preis oszilliert und diese Oszillationen ähnlich wie beim Cobweb-Theorem Fehlinvestitionen verursachen? Wieviel Kapital soll in den einzelnen Perioden in der Entsorgungsaktivität gebunden sein? Für welchen Planungszeitraum soll eine Umweltbehörde die Wohlfahrt maximieren? Inwieweit müssen für die zukünftigen Generationen nicht zu verletzende Nebenbedingungen, z. B. für die Qualität der Umweltmedien, formuliert werden? Welche gesellschaftliche Diskontrate ist anzusetzen? Welche Verschiebungen in der Nachfrage nach dem öffentlichen Gut „Umwelt“ ergeben sich in der Zeit, z. B. durch Präferenzverschiebungen oder infolge Einkommenssteigerungen? Wie hoch ist die Einkommenselastizität der Nachfrage nach Umweltqualität? Wie wirken sich Nachfrageänderungen auf den Preis der Umweltnutzung aus? Welche Anpassungsprozesse setzen bei den Emittenten ein, wenn umweltpolitische Maßnahmen ergriffen werden, z. B. technologische Anpassungsprozesse oder Standortverlagerungen? Wie rechtzeitig muß der Zeitpfad der Preise bekannt sein, damit die gewünschten Anpassungsprozesse ohne Fehlinvestitionen zustande kommen?

1. Dynamischer Ansatz und Implikationen

Das Grundproblem der dynamischen Allokationsaspekte der Umweltnutzung kann wie folgt umschrieben werden: Die Wirtschaftspolitik will die gesellschaftliche Wohlfahrt über die Zeit maximieren, wobei die Wohlfahrt zukünftiger Generationen infolge der Gegenwartspräferenz mit einer Rate $\delta > 0$ abdiskontiert wird.

$$(8) \quad \bar{w} = e^{-\delta t} \int_0^{\infty} w(q, u) dt.$$

Die Maximierung unterliegt bei gegebenen Anfangsbedingungen für jede Periode den aus dem statischen Allokationsproblem bekannten Restriktionen.

Das Maximierungsproblem muß mindestens einen Zusammenhang enthalten, der die Variablen verschiedener Perioden miteinander verknüpft. Im folgenden wird unterstellt, daß

$$(9) \quad \dot{s} = s^e - s_d - \bar{z}$$

Diese Bewegungsgleichung gibt die Veränderung der akkumulierten Schadstoffmengen (\dot{s}) aus den Emissionen einer Periode (s^e), den beseitigten Schadstoffmengen (s_a) und den assimilierten Schadstoffmengen (\dot{z}) an³⁷.

Implikationen des Ansatzes sind in Anhang B abgeleitet. Die Fragestellung lautet, eine solche Allokation der Umwelt auf die Nutzung als öffentliches Konsumgut und als Aufnahmemedium von Schadstoffen in der Zeit zu finden, daß die Wohlfahrtsfunktion maximiert wird. Diese optimale Allokation der Umweltnutzung über die Zeit und die damit einhergehende optimale Allokation der Ressource auf Produktion und Entsorgung wird durch ein geeignetes Zeitprofil des Schattenpreises sichergestellt. Gleichzeitig wird damit die Verwendungskonkurrenz in der Zeit explizit in das Kalkül des ökonomischen Systems eingeführt. Die Resultate bestätigen einerseits die Implikationen des statischen Allokationsproblems für die einzelnen Planungsperioden und erlauben andererseits eine Aussage über die zeitliche Veränderung des Schattenpreises für Emissionen.

(1) Der Schattenpreis der Güter (λ_i) muß so gesetzt werden, daß er der gesellschaftlichen Bewertung minus den sozialen Zusatzkosten entspricht³⁸.

(2) Die Ressource ist sowohl in der Gütererstellung als auch in der Entsorgungsbranche nach ihrem Grenzwertprodukt zu entlohnen.

(3) Die Hilfsvariable $p(t)$, die im vorliegenden Ansatz als Periodenwert definiert ist, kann wie folgt interpretiert werden. ${}^0p(t)$ bezeichne den auf den Zeitpunkt 0 abdiskontierten Wert von $p(t)$, so daß ${}^0p(t) = p(t) e^{-\delta t}$. Die Hilfsvariable ${}^0p(t)$ mißt den marginalen Beitrag der Zustandsvariablen s im Zeitpunkt t zu dem optimalen Wert des Wohlfahrtsfunktional. 0p_s gibt damit die Veränderung der Wohlfahrt infolge der in t erfolgenden Variation der Zustandsvariablen s an. Und $p(t) = {}^0p(t) e^{\delta t}$ bezeichnet die (vom Zeitpunkt 0) auf die Periode t aufdiskontierte Veränderung des Wertes des Wohlfahrtsfunktional³⁹.

³⁷ Zusätzlich könnten Bewegungsgleichungen über die Kapitalbildung in Produktion und Entsorgung, über die (Zeit in Anspruch nehmende) Mobilität der Faktoren Kapital und Arbeit, über die Variation der Assimilationskapazität, technischen Fortschritt usw. berücksichtigt werden.

³⁸ In Bedingung B 7.i sind die Schattenpreise und Grenznutzen der Güter in laufenden Werten notiert. Die Aussage gilt auch für abdiskontierte Werte, wobei die Abdiskontierung lediglich die Funktion hat, die Werte gleichmäßig auf ein niedrigeres Niveau herunterzufahren.

³⁹ K. J. Arrow, Applications of Control Theory to Economic Growth, Lectures in Applied Mathematics, Vol. 12 (Mathematics of the Decision Sciences, Part 2). Providence 1968, S. 87 mit der Interpretation von S. 93/94.

Der Schattenpreis für Emissionen ist nichtpositiv⁴⁰; die Bewegungsgleichung für die Hilfsvariable p

$$(10) \quad -\dot{p} = -\delta p + \frac{\partial w}{\partial u} g'$$

bringt zum Ausdruck, daß die Veränderung des Schattenpreises (in Periodenwerten) in einer Periode t von der Diskontrate, der Höhe des Schattenpreises und dem Grenzschaten in einer Periode abhängt. Aus (10) folgt:

$$(10a) \quad -\dot{p} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0: -p \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} -\frac{\partial w}{\partial u} \frac{g'}{\delta} \quad \text{oder}$$

$$(10b) \quad -\dot{p} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0: -{}^0p = -p(t) e^{-\delta t} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} -\frac{\partial w}{\partial u} \frac{g'}{\delta} e^{-\delta t}$$

In (10b) kennzeichnet 0p den marginalen Gesamtperiodenschaden (d. h. den Schaden der Periode t und den Zukunftsschaden), also die Veränderung des Wohlfahrtsfunktionals bei Vermehrung einer Schadstoffeinheit in t , abdiskontiert auf die Periode 0. Auf der rechten Seite steht der (auf Null abdiskontierte) „Kapital“wert der Umwelt in Periode t , und zwar ergibt sich der „Kapital“wert der Umwelt zu Anfang der Periode t aus dem Nutzungsstrom (verhinderter Grenzschaten) dieser Periode dividiert durch die Diskontrate⁴¹. Dieser Kapitalwert ist jedoch allein aus dem Nutzenstrom der Periode t berechnet, berücksichtigt also nicht wie $-p$ die Schäden zukünftiger Perioden. Die rechte Seite kann als kapitalisierter Periodenschaden interpretiert werden, d. h. als eine perioden-egoistische Bewertung der Umwelt. Der Schattenpreis $-p$ berücksichtigt dagegen zukünftige Perioden.

Aussage: Wenn der marginale Gesamtperiodenschaden größer ist als der kapitalisierte Schaden der Periode t , muß der Schattenpreis der Emissionen steigen (Fall eines hohen Zukunftsschadens). Wenn dagegen der marginale Gesamtperiodenschaden kleiner ist als der kapitalisierte Schaden der Periode t , muß der Schattenpreis der Emissionen sinken (Fall eines niedrigen Zukunftsschadens).

(4) Das Zeitprofil des Schattenpreises der Emissionen beeinflusst die Schattenpreise der anderen Variablen und damit die Anpassungsprozesse des Systems. Bei hohem Zukunftsschaden z. B. steigt der Schatten-

⁴⁰ Die ökonomische Argumentation legt nahe $d\tilde{w}/ds(t) = {}^0p(t) < 0$ und damit $p(t) \leq 0$.

⁴¹ Die Bestimmung des Kapitalwerts erfolgt analog zur Zinsrechnung. Aus dem Diskontsatz und den Zinseinnahmen (Nutzungsstrom) läßt sich auf den Kapitalwert zu Anfang einer Periode schließen. Bei einem Zinssatz von 6 v. H. und Zinseinnahmen von 12,— DM in einer Periode ist der Kapitalwert zu Anfang der Periode 200,— DM.

preis für Emissionen, d. h. die Produzentenpreise sinken, die Produktion insbesondere des schadstoffintensiven Gutes wird zurückgedrängt, und der Anreiz für die Entsorgung wird höher (vgl. Bedingungen B 7. i-iii). Die zeitliche Variation des Schattenpreises erweist sich damit als Steuerungselement des ökonomischen Systems. Für diese Steuerung ist das „bias“ im Zeitprofil des Schattenpreises zugunsten hoher Gegenwarts- oder hoher Zukunftspreise relevant. Ein „bias“ z. B. zugunsten relativ hoher Gegenwartspreise bedingt im Fall einer Politik eines steigenden Schattenpreises eine starke Strukturänderung zwischen Entsorgung und Produktion und zuungunsten des umweltschädlichen Sektors und verlangt entsprechend starke Anpassungsprozesse (vgl. Fußnote 41).

2. Drei Strategien der dynamischen Umweltnutzung

Die kanonischen Gleichungen (9) und (10) des in Anhang B formulierten Optimierungsproblems erlauben eine Aussage über den optimalen Zeitpfad des Schattenpreises $p(t)$ bei alternativen Ausgangssituationen s_0 (Verschmutzungsniveaus). In Schaubild 2 sind die Bewegungsgleichungen $-\dot{p} = 0$ und $\dot{s} = 0$ dargestellt. Die $-\dot{p} = 0$ -Kurve steigt progressiv (vgl. Anhang B). Unterhalb dieser Kurve gilt $-\dot{p} < 0$, und $-p$ nimmt ab. Oberhalb gilt $-\dot{p} > 0$, und $-p$ steigt (Anhang B).

Die Bewegungsgleichung (9) kann wie folgt interpretiert werden: Der Ressourceneinsatz in den Sektoren und in der Entsorgungsaktivität ist abhängig von der Höhe des Schattenpreises $-p$. Im folgenden wird unterstellt: Mit steigendem $-p$ nimmt der Ressourceneinsatz in der Entsorgung zu und in beiden Sektoren ab. Setzt man zur Vereinfachung die Assimilationskapazität Null, so gilt

$$(10) \quad \dot{s} = \sum h_i [f_i \{r_i(-p)\}] - f_3 [r_3(-p)] .$$

Ein sehr hohes $-p$ reduziert die Schadstoffproduktion und läßt die Menge der beseitigten Schadstoffe zunehmen. Ein niedriges $-p$ bedingt eine größere Schadstoffproduktion und eine geringere Entsorgung. Man kann also ein $-p^+$ erwarten, bei dem $\dot{s} = 0$, d. h.

$$(11) \quad \dot{s} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} 0: \sum h_i [f_i \{r_i(-p)\}] \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} f_3 [r_3(-p)] \Leftrightarrow -p \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} p^+ .$$

Die Kurve $\dot{s} = 0$ ist also eine Horizontale mit dem Achsenschnitt $-p^+$. Oberhalb der $-p^+$ -Geraden gilt $\dot{s} < 0$, d. h. s sinkt; unterhalb der Geraden gilt $\dot{s} > 0$, d. h. s steigt⁴².

⁴² Es kann zwar nicht ausgeschlossen werden, daß mit steigendem $-p$ der Ressourceneinsatz im umweltfreundlichen Sektor steigt ($dr_2 > 0$) und dadurch die Emissionen zunehmen. Aber wenn der gesamte Ressourceneinsatz in der Produktion ($r_1 + r_2$) sinkt und falls $dr_2 > 0$, muß der Ressourcenein-

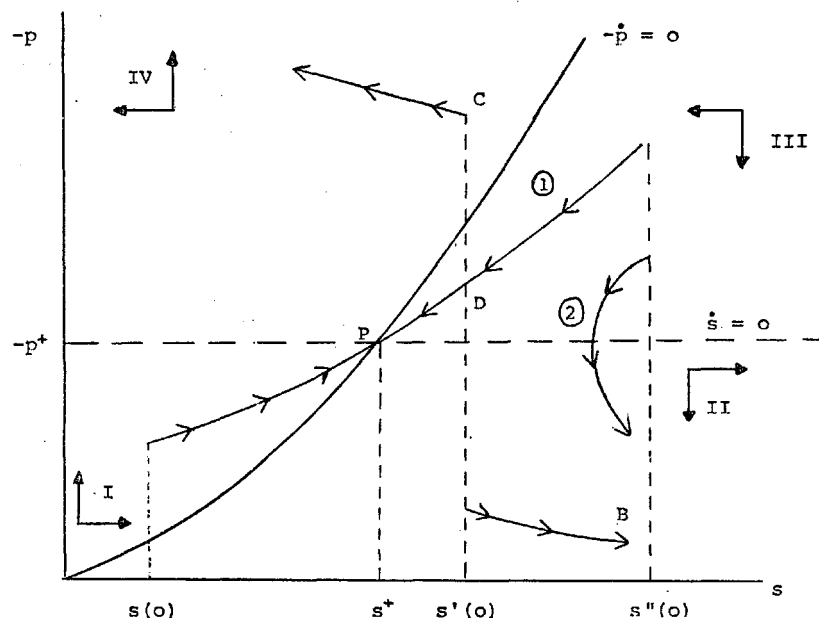


Schaubild 2

In Schaubild 2 kennzeichnet P eine Situation, in der sich $-p$ und s nicht verändern. Bei gegebenem Anfangsniveau der Verschmutzung sichert der Pfad zum steady-state $(-p^+, s^+)$ die Maximierung des Wohlfahrtsfunktionals. Die beiden Kurven in Schaubild 2 teilen den ersten Quadranten in vier Felder. Die Felder II und IV stellen nicht-optimale Politiken dar, die Felder I und III enthalten einen stabilen Pfad.

Feld IV kennzeichnet den Weg ins „ökologische Paradies mit Hungertod“. Angenommen bei einer Ausgangssituation $s'(0)$ wähle die Wirtschaftspolitik eine Steuer, die über der $\dot{p} = 0$ -Kurve liegt, mit dem zugeordneten möglichen Pontryagin-Pfad. Die Produktion der Güter wird zurückgedrängt und die Entsorgung angeregt, bis schließlich die Produktion auf Null gesunken ist.

Feld II beschreibt den Pfad in den „Umweltkollaps mit forcierter Produktion“. Wählt die Umweltpolitik bei einer Ausgangslage $s'(0)$ einen Schattenpreis, der unterhalb der $\dot{p} = 0$ -Kurve liegt, mit dem zu-

satz im schadstoffintensiv produzierenden Sektor absolut stärker fallen. Per Saldo muß dann die Menge der Emissionen abnehmen. Da für $-p > -p^+$ die Emissionen abnehmen und die beseitigten Emissionen zunehmen, muß s sinken.

geordneten möglichen Zeitpfad, so wird die Entsorgung zurückgedrängt und die Produktion nimmt zu. Die Menge der Schadstoffe steigt, und die Umweltqualität geht zurück.

Die Felder I und III enthalten je einen stabilen Pfad. Bei einer Ausgangslage $s''(0)$ wird eine Politik des langfristig sinkenden Schattenpreises verfolgt, bis die Immissionsmenge der Ausgangslage $s''(0)$ auf s^+ heruntergedrückt ist. Bei einer Ausgangslage $s(0)$ dagegen ist das Zeitprofil des Schattenpreises so zu wählen, daß die Volkswirtschaft in der Zeit in die (in der Ausgangslage noch nicht ausgeschöpfte) Immissionsnorm hineinwächst. Wählt der Wirtschaftspolitiker eine Steuer in Feld III (oder I) und den zugeordneten Zeitpfad, so ist damit noch nicht sichergestellt, daß die langfristige Optimalsituation erreicht wird. Eine Steuer neben dem stabilen Pfad (z. B. Pfeil ②) führt vom optimalen Weg ab. Damit illustriert Schaubild 2 sehr schön, daß die richtige Setzung des Schattenpreises für die intertemporale Nutzung der Umwelt einen Weg über einen spitzen Grad darstellt⁴³. Kommt der Schattenpreis vom Pfad ab, stürzt das System in die nicht erwünschten Felder (nicht optimalen) II oder IV. Die Strategie der Felder I und III muß deshalb als ein „*behutsames Hineinwachsen in eine Immissionsnorm*“ interpretiert werden.

Für die wirtschaftspolitische Praxis ist nicht auszuschließen, daß der Wirtschaftspolitiker in der Zeit zwischen den Feldern des Phasendiagramms „springt“. Angenommen das System hat in der Ausgangslage eine Immissionsmenge $s'(0)$. Wählt die Wirtschaftspolitik eine zu niedrige Steuer für Emissionen, bewegt sich das System nach B. In B wird das Problem der Öffentlichkeit bewußt, und der Wirtschaftspolitiker wird gezwungen zu reagieren. Wählt er jetzt einen dem Punkt C (Feld IV) entsprechenden Steuersatz, bewegt sich das System in die falsche Richtung. Die in Feld II anzuwendende Steuer (Punkt D) macht deutlich, daß diese Steuer höher zu setzen ist als in der Ausgangslage. Dies bringt zum Ausdruck, daß der Wirtschaftspolitiker durch seine Maßnahme die Problemlage im Vergleich zur Ausgangslage $s'(0)$ verschlechtert hat. Die höhere Steuer im Vergleich zur Ausgangslage zeigt die verfehlte Politik an. Der Unterschied zwischen den Steuersätzen in den Punkten B und D weist zudem darauf hin, daß falsche Preissignale gesetzt worden sind und läßt vermuten, daß die Revision des Steuersatzes Anpassungskosten verursacht.

⁴³ Die Relevanz dieser Fragestellung für andere dynamische Allokationsprobleme (z. B. EG-Agrarmarkt) ist allzu deutlich.

3. Weitere Bestimmungsfaktoren des Schattenpreises für Emissionen

Neben den bereits erwähnten Bestimmungsfaktoren des Zeitprofils des Schattenpreises sollen im folgenden eine Reihe anderer Determinanten erörtert werden. Dabei werden auch solche Faktoren betrachtet, die nicht im Modell enthalten sind, aber deshalb nicht weniger relevant sind. Auf eine formale Absicherung der Aussagen wird verzichtet⁴⁴.

(1) Diskontrate. Die Wahl einer geeigneten Diskontrate bei öffentlichen Investitions- und Allokationsentscheidungen ist seit Pigou⁴⁵ ein heftig umstrittenes Thema. Aus Gleichung 10 folgt für das steady-state ($\dot{p} = 0$): Je höher die Gegenwartspräferenz (die Diskontrate), um so niedriger ist in einer Periode t absolut der Schattenpreis für Emissionen zu setzen. Je niedriger die Gegenwartspräferenz (die Diskontrate), um so höher ist absolut der Schattenpreis zu setzen. Die Reduzierung von δ verschiebt die $-\dot{p} = 0$ -Kurve nach oben (vgl. Schaubild 3a). Die Umweltpolitik hat den Pfad ② mit höheren Schattenpreisen zu wählen. Betrachtet man den stabilen Pfad ① in Feld III für eine gegebene Diskontrate δ als Referenzsystem, so gilt:

Aussage: Bei einer Politik eines sinkenden Schattenpreises für Emissionen bewirkt eine Reduzierung der Diskontrate eine Erhöhung des Schattenpreises in jeder Periode (außer für $t = \infty$).

Bei einer Ausgangslage $s'(0)$ und einer Politik des steigenden Schattenpreis (Pfad ③) kann eine Änderung des Diskontsatzes eine Umkehrung der Politik bewirken. Anstelle eines steigenden Schattenpreises muß jetzt die Politik des sinkenden Schattenpreises auf Pfad ② gewählt werden. Zugleich wird deutlich, daß eine niedrigere Diskontrate eine geringere Immissionsmenge in der Zukunft bewirkt (größerer Schutz zukünftiger Generationen).

Ein Sonderfall ergibt sich, wenn überhaupt keine Gegenwartspräferenz existiert, d. h. die Diskontrate gegen Null geht. Die Nutzen zukünftiger Generationen werden in diesem Fall nicht abdiskontiert und dem Gegenwartsnutzen gleichgestellt. Die $-\dot{p} = 0$ -Kurve verläuft mit kleiner werdendem δ immer steiler; und für $\delta \rightarrow 0$, gilt aus Gleichung (10), daß $-p$ immer abnimmt.

⁴⁴ Auch für das vorliegende Modell ist das Zeitprofil des Schattenpreises nicht stringent gezeigt worden. Die Krümmung des stabilen Pfades erlaubt eine Aussage über das Zeitprofil des Schattenpreises. Bei konkavem optimalem Zeitpfad liegt eine „bias“ im Zeitprofil zugunsten hoher Gegenwartspreise vor; bei konvexem Zeitpfad ist das Zeitprofil zugunsten eines hohen Zukunftspreises verzerrt.

⁴⁵ A. C. Pigou, *The Economics of Welfare*, 4th ed., London 1932.

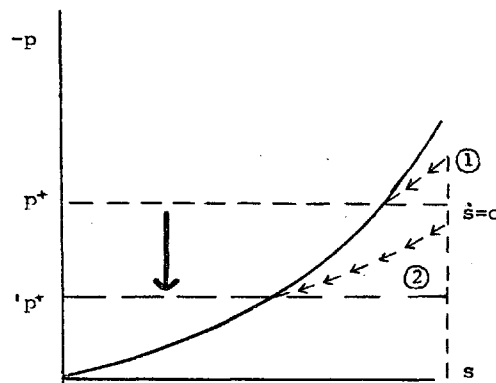
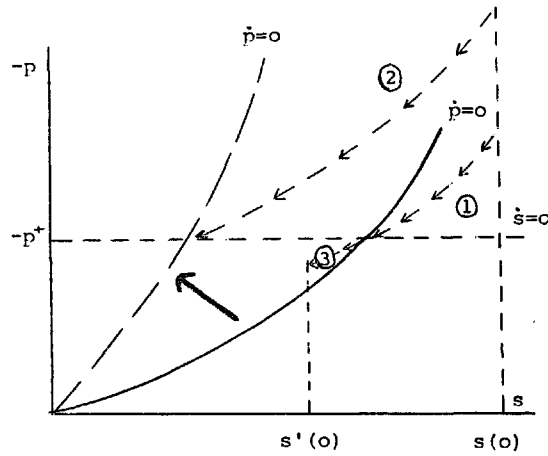


Schaubild 3

(2) Assimilierte Menge. Nimmt die Menge der von der Umwelt assimilierten Schadstoffe (\bar{z}) parametrisch zu, so verschiebt sich die $\dot{s} = 0$ -Kurve nach unten (Schaubild 3 b). Der bei größerer Assimilationskapazität zu wählende Zeitpfad des Schattenpreises bedingt niedrigere Steuern in Gegenwart und Zukunft, muß aber nicht das „bias“ im Zeitprofil des Schattenpreises ändern.

Die Bestimmungsfaktoren „Diskontrate“ und „assimilierte Mengen“ konnten durch eine parametrische Variation exogener Größen unseres dynamischen Allokationsmodells erläutert werden. Im folgenden werden eine Reihe nicht im Modell enthaltener Bestimmungsfaktoren diskutiert⁴⁶.

⁴⁶ Die Berücksichtigung dieser Faktoren kann sowohl die $-p$ - als auch die \dot{s} -Kurve verändern.

(3) Reichtum zukünftiger Generationen. Zukünftige Generationen sind möglicherweise reicher als wir heute. Unbeschadet der Berücksichtigung von Irreversibilitäten bei öffentlichen Allokationsentscheidungen kann das Argument des Reichtums zukünftiger Generationen in der Wahl einer hohen Diskontrate Eingang finden. Die hohe Diskontrate korrigiert in diesem Fall die gestiegene Nachfrage etwa infolge zunehmenden Einkommens bei einer großen Einkommenselastizität der Nachfrage nach Umweltdiensten oder Präferenzverschiebungen zugunsten der Umwelt⁴⁷.

(4) Technischer Fortschritt. Reichtum zukünftiger Generationen kann sich auch in einem verbesserten technischen Wissen ausdrücken. Würde man etwa erwarten, daß die Ressourcen in der traditionellen Produktion effizienter eingesetzt werden und gleichzeitig die Emissionstechnologie weniger schadstoffintensiv ist, so kann man — wieder im Vergleich zu Pfad ① in Schaubild 2 — den Schattenpreis heute niedriger setzen.

Auch technischer Fortschritt in der Entsorgungsbranche erlaubt es, den Schattenpreis heute niedriger zu setzen. Technischer Fortschritt sorgt dann dafür, daß trotz hohen Verschmutzungsniveaus in den Anfangsperioden ein niedriges Immissionsniveau in der Zukunft gefunden wird.

Aussage: Schadstoffreduzierender technischer Fortschritt in der Produktion und die Verbesserung der Entsorgungstechnologie erlauben (im Vergleich zu Pfad ①) einen niedrigeren Steuersatz in der Gegenwart.

Unterstellt man, daß technischer Fortschritt in der Entsorgung abhängig ist von der Höhe der Emissionssteuer, so muß die obige Aussage bei entsprechend großem time-lag⁴⁸ in der technologischen Anreizwirkung einer Emissionssteuer korrigiert werden.

Aussage: Die Endogenisierung des technischen Fortschritts in der Entsorgungs- und Emissionstechnologie (in Abhängigkeit von der Höhe der

⁴⁷ „Reichtum“ zukünftiger Generationen kann sich möglicherweise auch in einer größeren Ressourcenmenge ausdrücken. In diesem Fall ist intuitiv keine Aussage über die Veränderung von $-p^+$ möglich. Mit zunehmender Ressourcenmenge steigt bei gegebener Emissionstechnologie die Menge der Emissionen, und ceteris paribus muß p^+ steigen. Andererseits kann man den Ressourcenzuwachs in der Entsorgung einsetzen, und die Immissionen nehmen ab. Insbesondere ist zu klären, wie sich λ_3 mit der Zunahme des Ressourcenbestandes verändert. Sind die Ressourcen Arbeitskräfte, ist mit einer Pro-Kopf-Wohlfahrtsfunktion zu argumentieren und die $\dot{p} = 0$ -Kurve verschiebt sich ebenfalls. Grundsätzlich ergibt sich die Frage, ob die heutige Generation nicht einen Teil des Ressourcenwachstums zukünftiger Generationen vorwegnehmen sollte, indem der Schattenpreis heute relativ niedriger gesetzt wird.

⁴⁸ Die hier gemachten Aussagen variieren mit den times-lags der Anpassungsprozesse.

Emissionssteuer) bedingt eine Änderung des Zeitprofils des Schattenpreises zugunsten höherer Gegenwartspreise.

Die Entsorgungstechnologie ist umweltmedien- und sektorspezifisch. Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, daß technischer Fortschritt in der Entsorgung zwischen den Sektoren (und Umweltmedien) differiert.

Aussage: Begünstigt technischer Fortschritt in der Entsorgung in der Zukunft den schadstoffintensiven Sektor, so kann der Schattenpreis für Emissionen niedriger gesetzt werden.

(5) Kapitalbildung in der Entsorgungsbranche. Wird eine Politik des sinkenden Schattenpreises für Emissionen in der Zeit verfolgt, erwarten Wirtschaftssubjekte aber die Konstanz von $-p$, so wird in der Entsorgungsbranche zu viel Kapital gebunden. Dieser Fehlleitungseffekt gebundenen, aber temporär nicht mobilisierbaren Kapitals ist um so stärker, je länger die Abschreibungszeiten sind. Ein analoges Argument gilt in bezug auf den in der Entsorgungsbranche eingesetzten Produktionsfaktor Arbeit, wenn Arbeit temporär immobil ist und die Arbeitsmobilität mit Kosten verbunden ist (Umschulungs- und Wanderungskosten, Kosten der friktionellen Arbeitslosigkeit). Ferner gilt ein analoges Argument für den Faktoreinsatz bei der Verbesserung der Assimilationskapazität.

Aussage: Kapitalbildung in der Entsorgungsbranche und partielle Immobilität der in der Entsorgungsbranche eingesetzten Arbeitnehmer legen (im Vergleich zu Pfad ①) einen niedrigeren Schattenpreis in den Anfangsperioden nahe⁴⁹.

(6) Sektorstruktur und Immobilität der Faktoren. Betrachtet man ein Zwei-Sektoren-Modell mit einem schadstoffintensiv und einem umweltfreundlich produzierenden Sektor, so bedeutet eine Politik der sinkenden Schadstoffsteuer, daß in der Ausgangslage der umweltintensiv produzierende Sektor zurückgedrängt wird, wobei Kapital und Arbeit in den umweltfreundlichen Sektor wandern (und Friktionskosten anfallen). Im Verlauf der Zeit wird jedoch die Schadstoffsteuer gesenkt, so daß die Geschäftsgrundlage des zeitraubenden Reallokationsprozesses zugunsten des umweltfreundlichen Sektors geändert wird, während der Reallokationsprozeß noch läuft. Mit sinkender Steuer muß die Reallokation teilweise wieder rückgängig gemacht werden.

Aussage: Die temporäre Immobilität gebundenen Kapitals und von Arbeit und die mit einer Änderung der Sektorstruktur einhergehenden

⁴⁹ Im übrigen wird an dieser Stelle die Bedeutung von Ankündigungseffekten deutlich. Es scheint jedoch besser, die privaten Investitionen durch die richtige Setzung des Schattenpreises zu beeinflussen, als die Effekte einer falschen Setzung von Schattenpreisen durch „Ankündigungen“ zu mildern.

Anpassungskosten wirken sich dahingehend aus, den Schattenpreis der Emissionen in der Gegenwart niedriger zu setzen.

(7) Assimilationskapazität und Immissionen. Auch die Veränderung der Assimilationskapazität in der Zeit, sei diese Variation saisonaler oder langfristiger Art, wirkt sich auf die Setzung des Schattenpreises aus. Ferner kann unterstellt werden, daß bei einer Politik des sinkenden Schattenpreises und abnehmender Schadstoffmengen die Assimilationskapazität mit abnehmender Immissionsmenge zunimmt. Ein solcher Zusammenhang muß sich *ceteris paribus* darin auswirken, daß der Schattenpreis für alle Perioden niedriger gesetzt wird.

Aussage: Berücksichtigt man, daß die Assimilationskapazität mit der Menge der Schadstoffe negativ variiert, so muß der Schattenpreis infolge dieses Zusammenhangs niedriger gesetzt werden (bei einer Politik eines sinkenden Schattenpreises)⁵⁰.

(8) Langlebigkeit der Schadstoffe. Der in einer Periode in der Umwelt befindliche Schadstoffpool besteht aus kurzfristig abbaubaren und langlebigen Immissionen, die auch in zukünftigen Perioden noch Schäden verursachen.

Aussage: Ändert sich *ceteris paribus* die Zusammensetzung der Immissionen, indem langlebige Immissionen relativ zu den kurzfristigen abbaubaren Immissionen zunehmen, muß der Schattenpreis in der Gegenwart höher gesetzt werden.

(9) Assimilationskapazität und Rohstoffentnahme. Es gibt eine Reihe von Beispielen dafür, daß die Assimilationskapazität auch mit der Entnahme von erneuerbaren Rohstoffen variiert. So kann die Abholzung von Wäldern die Assimilationskapazität für Schadstoffe der Luft beeinträchtigen. Umgekehrt reduziert die Menge von Schadstoffen die Bereitstellung von Rohstoffen durch ökologische Systeme, z. B. die Verschmutzung der Weltmeere schränkt möglicherweise die Sauerstoffproduktion ein. Da auch die erneuerbaren Rohstoffe durch eine Bewegungsgleichung zu beschreiben sind, zeigt sich hier ein Zusammenhang zwischen Rohstoffnutzung und Umweltverschmutzung. Angenommen es besteht eine Abhängigkeit der Art, daß die Umweltverschmutzung die Bereitstellung von Rohstoffen negativ tangiert.

Aussage: Bei einer hohen Gegenwartspräferenz im Zeitprofil der Ressourcennutzung muß der Schattenpreis der Emissionen am Anfang hoch sein und kann später sinken. Andererseits muß eine Verlagerung

⁵⁰ Bei einer Politik des steigenden Schattenpreises, d. h. bei $s(0) < s(t)$ muß dagegen der Schattenpreis höher gesetzt werden, da mit zunehmender Immissionsmenge die Assimilationskapazität in der Zukunft zurückgeht.

des Zeitprofils der Ressourcennutzung in die Zukunft auch den Schattenpreis der Emissionen steigen lassen.

(10) Recycling. Führt man gedanklich eine Recycling-Technologie in die Ökonomie ein, und wird auch eine Rohstoffrestriktion in das System einbezogen, so ergibt sich die Frage, ob der Schattenpreis der Umweltnutzung bereits aus dem Umweltschutzaspekt heraus hinreichend ist, um eine in bezug auf die Wohlfahrtsfunktion optimale Wiederverwendung der Ressourcen zu stimulieren. Denkbareweise wird die Höhe des Schattenpreises $-p$ nicht allein von den Umweltschäden, sondern auch von der Bewertung der Ressourceneinsparung beeinflusst. Schließlich ist zu berücksichtigen, daß bei endogenisiertem technischem Fortschritt die Höhe des Schattenpreises für Emissionen eine Anreizfunktion für die Auffindung von Recycling-Technologien ist.

(11) Nachfrage. Die zeitliche Variation in der Bewertung des öffentlichen Gutes Umwelt (vgl. Punkt 3) und die Änderung in der Struktur der Endnachfrage nach den mit unterschiedlicher Emissionsintensität produzierten Gütern wirken sich auf den Schattenpreis aus.

Aussage: Mit höherer Bewertung des Umweltgutes (Präferenzverschiebung, hohe Einkommenselastizität bei Wachstum) und bei einer Umstrukturierung der Konsumnachfrage zugunsten des schadstoffintensiv produzierten Produkts muß der Schattenpreis für Emissionen (bei gegebener Diskontrate!) höher gesetzt werden.

(12) Die bisherigen Überlegungen, die außerhalb des einfachen Modells laufen, weisen auf eine Vielzahl von Einflußfaktoren für die Setzung des Schattenpreises von Emissionen hin⁵¹. Insbesondere machen sie deutlich, daß sich andere Felder und andere stabile Pfade als in Schaubild 2 ergeben können. Schaubild 4 enthält neben Pfad ① (der Pfad ① aus Schaubild 2 entspricht) eine Reihe anderer Pfade, die zumindest denkbar sind. Pfad ③ etwa könnte den Fall darstellen, in dem zunächst bei gegebener Technologie $-p$ sinkt und s steigt, bis infolge einer Änderung in der Technologie s weniger stark zunimmt und ab einer bestimmten Höhe der Schadstoffsteuer wieder abnimmt. Zusammenfassend erhalten wir:

Aussage: Tendenziell kann ceteris paribus ein um so geringerer Schattenpreis der Emissionen in der Gegenwart gesetzt werden⁵²,

a) je höher die Gegenwartspräferenz (Diskontrate),

⁵¹ Weitere Einflußfaktoren sind z. B. das Risiko unbekannter Zukunftschäden und Standortverlagerungen.

⁵² Bei einer Politik mit finitem Planungshorizont T und vorgegebenem $s(t)$ kann ein um so geringerer Schattenpreis in der Gegenwart gesetzt werden, je großzügiger die Emissionsnorm für den Planungsendpunkt T gesetzt wird.

- b) je größer die gegebene Assimilationskapazität,
- c) je stärker der technische Fortschritt in Produktion und Entsorgung in der Zukunft,
- d) je geringer das time-lag in der technologischen Anreizfunktion der Emissionssteuer,
- e) je stärker der technische Fortschritt in der Entsorgung den schadstoffintensiv produzierenden Sektor begünstigt,
- f) je länger die Kapitalbindung in der Entsorgungsbranche, bei der Vergrößerung der Assimilationskapazität und in der Produktion,
- g) je geringer die Mobilität der Arbeit in der Produktion und in der Entsorgung,
- h) je stärker sich in Zukunft die Struktur der Konsumnachfrage zugunsten des umweltfreundlich produzierten Gutes verschiebt.

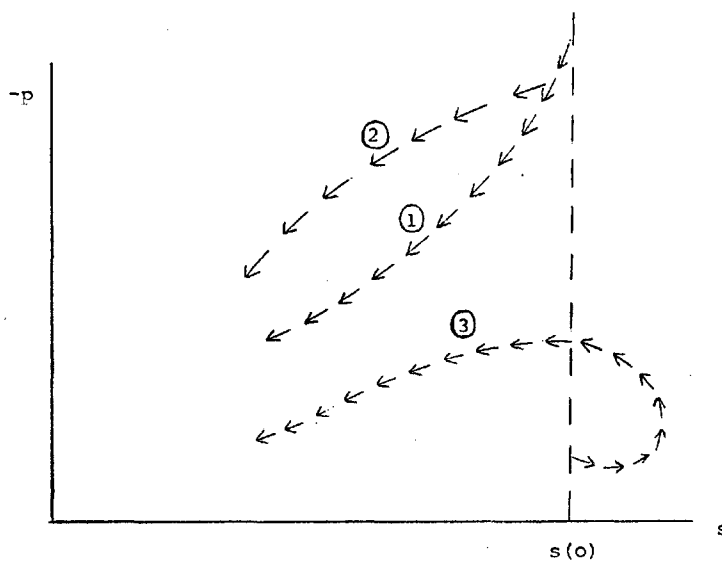


Schaubild 4

Aussage: Tendenziell muß ceteris paribus ein um so höherer Schattenpreis gesetzt werden,

- a) je stärker die Präferenzverschiebung zugunsten des öffentlichen Gutes Umwelt in der Zeit bzw. je höher die Einkommenselastizität nach Umwelt in einer wachsenden Wirtschaft,
- b) je stärker der negative Einfluß der Immissionen auf die Assimilationsfähigkeit der ökologischen Systeme (bei $s(0) > s^+$),

- c) je langlebiger die Schadstoffe,
- d) je stärker der Einfluß der Immissionen auf die Regenerationsfähigkeit von Rohstoffen bei gegebenem Zeitprofil der Rohstoffentnahme,
- e) je stärker das Zeitprofil der Rohstoffentnahme zukünftige Generationen begünstigen soll.

Als Resultat ergibt sich, daß auch für den Fall $s(0) > s^+$ a priori nicht ausgeschlossen werden kann, daß eine behutsame Politik der langsamen Erhöhung des Schattenpreises für Emissionen die intertemporal optimale Umweltallokation findet.

IV. Räumlicher Allokationsaspekt⁵³

Umweltprobleme haben immer eine räumliche Dimension, denn Umweltmedien sind über den Raum definiert. Nach der räumlichen Dimension des Umweltmediums kann man die folgenden Umweltgüter unterscheiden:

- globale internationale Umweltgüter, wie die Erdatmosphäre (z. B. zunehmender Kohlendioxidgehalt)
- internationale, jedoch auf räumliche Subsysteme der Welt begrenzte, öffentliche Umweltgüter (Mittelmeer, Ostsee)
- grenzüberschreitende Umweltsysteme, bei denen Schadstoffe über ein Umweltsystem von einem Land in ein anderes Land transportiert werden (Rhein, „Säure“-regen in Schweden)
- nationale Umweltgüter
- regionale Umweltgüter, wobei Region als ein räumliches Subsystem einer Volkswirtschaft aufgefaßt wird.

Aussage: Die Klassifikation der Umweltgüter ist relevant für das Auffinden von Lösungsansätzen. Die räumliche Allokation der Umwelt und anderer Ressourcen variiert mit den institutionellen Regelungen zur Lösung des Umweltproblems.

1. *Internationale öffentliche Umweltgüter* sind dadurch gekennzeichnet, daß viele Emittenten (Länder) Schadstoffe an ein internationales

⁵³ Der räumliche Allokationsaspekt ist vom Verfasser bereits in anderen Artikeln ausführlicher behandelt worden. Auf formale Darstellungen wird hier deshalb verzichtet. Vgl. H. Siebert, Environment and Regional Growth, in: Zeitschrift für Nationalökonomie, Bd. 33 (1973), S. 79 - 85. — Ders., Instrumente der Umweltpolitik, a.a.O. — Ders., Regional Aspects of Environmental Allocation, in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, 131. Bd. (1975), S. 496 - 513. — Ders., Regional Planning-Land Use Approaches to Environmental Quality Management, Symposium of World Health Organization: Regional Planning in Environmental Pollution Control, Katowice (Polen), Oktober 1975, Beiträge zur angewandten Wirtschaftsforschung, Institut für Volkswirtschaftslehre und Statistik, Universität Mannheim, 1975, No. 67.

öffentliches Gut abgeben und Schaden vielen Ländern, jedoch nicht in der gleichen Intensität, erwächst. Bei Lösungsansätzen treten u. a. die folgenden Probleme auf:

(1) Es existiert keine internationale Exekutivgewalt, die Maßnahmen ergreifen könnte. Die Institutionalisierung von Regelungen erfordert deshalb bargaining-Prozesse zwischen Verursachern und Betroffenen.

(2) Die Verwendungskonkurrenz kann kaum nachgewiesen werden, da insbesondere keine Information über Diffusionsprozesse vorliegt. Politische Lösungsversuche gehen deshalb immer mit Diskussionen über die Zurechnung der Schadensverursachung einher.

(3) Die Nutzungsintensität unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Ländern, z. B. weil einzelne Länder einen besseren Zugang zu dem öffentlichen Gut haben (Strandlänge) oder durch verschiedene Präferenzen, Bevölkerungsdichte und verschiedene Pro-Kopf-Einkommen gekennzeichnet sind. Folglich werden das tolerierbare Verschmutzungsmaß und die Zahlungsbereitschaft und die Verhandlungsposition der Länder differieren.

(4) Jedes Land kann eine Position des Freifahrers am internationalen öffentlichen Gut einnehmen und sich nicht bereit zeigen, zur Finanzierung beizutragen.

(5) Schwierigkeiten treten bei der Abgrenzung von Problemregionen auf (z. B. internationale Luftbecken).

(6) Teile der internationalen Umweltgüter sind „privatisierbar“ (200-Meilen-Zone). Bei internationalem „spill-over“ wird die Nationalisierung keine Lösung der Umweltprobleme bringen. Ob in der Zukunft, z. B. für die Weltmeere „Wassergütegenossenschaften“ geschaffen werden können, muß hier offen bleiben.

2. *Grenzüberschreitende Umweltgüter*, seien sie einbahnig oder wechselseitig, stellen eine internationale Verwendungskonkurrenz dar, indem ein Land ein Umweltsystem z. B. als Empfangsmedium für Schadstoffe und das andere Land als öffentliches Konsumgut verwendet. Eine Lösung kann nach dem Victim-Pays-Principle erwartet werden.

3. *Nationale Umweltgüter*, deren Qualität definitionsgemäß durch eine nationale Umweltpolitik kontrolliert werden kann, stellen ebenfalls ein räumliches Allokationsproblem der Umwelt- und Ressourcennutzung dar. Die Umwelt als Empfangsmedium für Schadstoffe ist ein Bestimmungsfaktor komparativer Kosten- und Preisvorteile. Die Reichlichkeit oder Knappheit der Assimilationskapazität wird von den folgenden vier Faktoren beeinflusst:

- der natürlichen Assimilationskapazität,
- der Nachfrage nach assimilativen Diensten der Umwelt, gemessen an der Menge der an die Umwelt abgegebenen Emissionen,
- dem Wert, der dem öffentlichen Konsumgut zugerechnet wird, abhängig von Präferenzen, Einkommensniveau, Bevölkerungsdichte usw.,
- den öffentlichen oder privaten Investitionen zur Erhöhung der Assimilationskapazität oder zur Verringerung der Nachfrage nach Assimilationsdiensten.

Es läßt sich zeigen, daß das Heckscher-Ohlin-Theorem auch auf die internationalen Warenströme von Gütern, die mit unterschiedlicher Umweltfreundlichkeit produziert werden, angewandt werden kann.

Aussage: Das umweltreiche Land exportiert das schadstoffintensiv erzeugte Produkt⁵⁴.

Angenommen das umweltarme Land betreibt Umweltpolitik und verschlechtert damit die Produktions- und Standortbedingungen der schadstoffintensiv produzierenden Sektoren. Seine Nachfrage nach schadstoffintensiv produzierten Gütern steigt. Umweltpolitik im Land A führt ceteris paribus zu einem Export von Schadstoffen über Handel (Pollute-thy-neighbour policy via trade⁵⁵). Das Land, das über die Handelsspezialisierung Schadstoffe „importiert“, kann sich allerdings gegen den Schadstoffimport schützen, indem es selbst Umweltpolitik betreibt. Zugleich bewirkt die Umweltpolitik über die Änderung der internationalen Arbeitsteilung (z. B. Verhältnis Industrienationen und Entwicklungsländer) die internationale Allokation des Raumes und der anderen Produktionsfaktoren.

Aussage: Umweltpolitik in einem Land beeinflusst über die komparativen Preis- und Standortvorteile und über die internationalen Warenströme die Umweltqualität in anderen Volkswirtschaften und die internationale Allokation der Ressourcen.

⁵⁴ R. Pethig, Pollution, Welfare and Environmental Policy in the Theory of Comparative Advantage, in: Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 2 (1976), S. 160 - 169; H. Siebert, Comparative Advantage and Environmental Policy. A Note, in: Zeitschrift für Nationalökonomie, Bd. 34 (1974), S. 397 - 402; ders., Die Umwelt in neoklassischen Außenhandelsmodellen, a.a.O.; ders., Environmental Control, Economic Structure and International Trade, a.a.O.; ders., Environmental Protection and International Specialization, a.a.O.; ders., Trade and Environment, in: H. Giersch (ed.), The International Division of Labour, Problems and Perspectives, Kiel 1974, S. 108 - 121.

⁵⁵ H. Siebert, Environmental Control, Economic Structure and International Trade, a.a.O.

4. *Regionale Umweltgüter* sind räumliche Teilsysteme einer Volkswirtschaft, z. B. Flußsysteme oder Luftbecken. Sieht man von internationalen und grenzüberschreitenden Umweltproblemen ab, so kann man die These vertreten, daß die Umweltprobleme einer Volkswirtschaft regionalen Charakter haben, denn das Ziel der Umweltpolitik, die Erreichung oder Aufrechterhaltung bestimmter Umweltqualitäten, kann nur für einzelne Umweltmedien definiert werden — und diese sind in der Regel Teilräume von Volkswirtschaften. Die Wassergüte der Ruhr oder die Luftqualität im Rhein-Neckar-Raum sind treffende Beispiele. Die folgende Aussage faßt einige Resultate bisheriger Überlegungen zusammen.

Aussage: Die Abgrenzung von Umweltregionen verlangt andere Kriterien als die traditionellen Abgrenzungskriterien von Regionen in der Regionalplanung. Es ergibt sich deshalb die Frage, ob Umweltpolitik und Regionalplanung konsistent sein können⁵⁶. Die Abgrenzung von Umweltregionen differiert nach den Umweltmedien. Folglich stellt sich auch die Frage nach der Konsistenz der Umweltpolitik.

(1) Die Zielvariable der Umweltpolitik bezieht sich auf die Immissionen einer Region; die Instrumentvariablen müssen jedoch an den Emissionen ansetzen. Folglich tritt die Frage auf, ob eine optimale Umweltallokation im Sinn eines gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsmaximums (und nicht im Sinn autonom maximierter regionaler Wohlfahrtsfunktionen) national uniforme oder regional differenzierte umweltpolitische Instrumente erfordert.

Aussage: Bei einer Maximierung der Gesamtwohlfahrt eines Mehr-Regionen-Systems sind umweltpolitische Maßnahmen regional zu differenzieren⁵⁷.

(2) Sowohl bei der regionalen wie auch der internationalen Umweltallokation tritt die Frage auf, ob entweder im Sinn einer großräumigen Funktionsteilung der Fläche (z. B. Differenzierung zwischen Industrie-Regionen und Naturschutz- oder Erholungsgebieten) oder als interregionale Distributionsnorm (Ähnlichkeit der Lebensverhältnisse) die Zielwerte der Umweltpolitik regional differenziert werden sollen. Es läßt sich zeigen, daß interregionale distributive Restriktionen über die Umweltqualitäten in der Regel Effizienzverluste bedingen (Zielkonflikt equity vs. efficiency) und eine Korrektur der Schattenpreise erfordern⁵⁸. Ferner entsteht die Frage, ob die zu regionalisierenden umweltpoliti-

⁵⁶ H. Siebert, *Regional Planning-Land Use Approaches to Environmental Quality Management*, a.a.O.

⁵⁷ H. Siebert, *Specific Taxes and the Control of Pollution*, a.a.O.

⁵⁸ H. Siebert, *Regional Aspects of Environmental Allocation*, a.a.O.

schen Instrumente regional autonomen Behörden übertragen werden können⁵⁹.

Aussage: Interregionale distributive Restriktionen über Umweltqualitäten bedingen gesamtwirtschaftliche Effizienzverluste und erfordern eine Revision der Schattenpreise für Emissionen.

Agglomerationsvorteile sind ein wichtiger Bestimmungsfaktor der Raumstruktur. Man kann die These vertreten, daß ein Teil der Agglomerationsvorteile darauf zurückzuführen ist, daß den Verursachern die (in agglomerierten Regionen relativ hohen) sozialen Zusatzkosten nicht voll zugewiesen werden⁶⁰.

Aussage: Umweltpolitik beseitigt die Überschätzung von Agglomerationsvorteilen.

Schließlich läßt sich darauf hinweisen, daß Umweltreichlichkeit nicht nur ein Bestimmungsfaktor der Raumstruktur, sondern auch der regionalen Entwicklung ist. Akzeptiert man die These, daß die Assimilationskapazität in hoch entwickelten Ländern relativ erschöpft ist, daß die Grenzschäden progressiv mit der Menge von Schadstoffen steigen und deshalb stark entwickelte Regionen hohe Grenzschäden haben, daß ferner auch die Grenzkosten der Beseitigung progressiv steigen, und daß schließlich auch die Mobilität der Arbeitskräfte und nicht standortgebundener Industrien von der Umweltqualität abhängt, so kann man erwarten:

Aussage: Umweltpolitik wird die Wachstumschancen hoch entwickelter Regionen im Vergleich zu anderen Räumen beschränken.

V. Nicht-allokative Aspekte des Umweltproblems

Die Umweltfrage ist zwar vorwiegend, aber nicht allein ein Allokationsproblem. Sowohl die Umweltnutzung als auch die Bereitstellung einer bestimmten Umweltqualität haben z. B. Auswirkungen auf die Verteilung. Die Beseitigung von Schadstoffen verursacht Opportunitätskosten im Sinn von Ressourcenentgängen aus der Produktion (Reduzierung des Sozialprodukts) als auch im Sinn von Einbußen in den Erfüllungsgraden anderer Ziele (Auswirkung auf Beschäftigung, Preisniveau, Zahlungsbilanzsituation, Autarkie bestimmter Produktionen, gewünschte Sektorstruktur). Diese Fragen sind in dem vorliegenden Artikel ausgeklammert⁶¹.

⁵⁹ Ebenda; *ders.*, Regional Planning-Land Use Approaches to Environmental Quality Management, a.a.O.

⁶⁰ Zu einer ausführlichen Begründung vgl. *H. Siebert*, Analyse der Instrumente der Umweltpolitik, a.a.O.; *ders.*, Regional Planning-Land Use Approaches to Environmental Quality Management, a.a.O.

⁶¹ Vgl. dazu die anderen Referate dieses Bandes.

Anhang A. Transformationsraum mit Umweltqualität

a) Der Transformationsraum ist für den Zwei-Güter-Fall durch das folgende Gleichungssystem beschrieben:

$$\begin{aligned}
 \text{(A 1)} \quad & u = g(s) \\
 & s^e = h_1(q_1) + h_2(q_2) \\
 & q_i = f_i(r_i) \quad i = 1, 2 \\
 & s = s^e - s^a \\
 & s^a = f_3(r_3) \\
 & \bar{r} \geq r_1 + r_2 + r_3
 \end{aligned}$$

b) Für Punkt G in Schaubild 1 gilt wegen $q_2, h_2(q_2), r_2 = 0$, daß r_1 maximal so groß gewählt werden kann, daß $s = 0$ oder $h_1[f_1(r_1)] = f_3(\bar{r} - r_1)$.

Eine analoge Bedingung gilt für Punkt H . In den Punkten G und H herrscht Vollbeschäftigung. Der durch die Fläche $GHCB$ begrenzte Transformationsraum ist konkav, wenn die Strecken GE und HC konkav sind (c), wenn die Isoquante \bar{u} konkav ist (d), und wenn $u = \Psi(q_2)$ für ein beliebiges konstantes $\alpha = q_1/q_2$ konkav ist (f).

c) Die Strecke GB (d. h. $q_2 = 0$) ist konkav, wenn

$$\text{(A 2)} \quad \frac{\partial u}{\partial q_1} < 0 \text{ und } \frac{\partial^2 u}{\partial q_1^2} < 0.$$

Es gilt

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial q_1} &= g' \frac{ds}{dq_1} \\
 \frac{\partial^2 u}{\partial q_1^2} &= g'' \left(\frac{ds}{dq_1} \right)^2 + g' \frac{d^2 s}{dq_1^2}
 \end{aligned}$$

Da $g' < 0, g'' < 0$, ist die Kurve AG konkav, wenn

$$\text{(A 3)} \quad \frac{ds}{dq_1}, \frac{d^2 s}{dq_1^2} > 0.$$

Für die Strecke GB , d. h. für $q_2, h_2(q_2), r_2 = 0$ gilt

$$s = h_1(q_1) - f_3(r_3) = h_1(q_1) - f_3(\bar{r} - r_1) \text{ und}$$

$$ds = h_1' dq_1 + f_3' dr_1 = h_1' dq_1 + (f_3'/f_1') dq_1$$

$$\text{(A 4)} \quad \frac{ds}{dq_1} = h_1' + f_3'/f_1' > 0$$

$$\frac{d^2 s}{dq_1^2} = h_1'' + \frac{1}{(f_1')^2} \left(f_1' \frac{df_3'}{dq_1} - f_3' \frac{df_1'}{dq_1} \right)$$

Da

$$\frac{df'_3}{dq_1} = \frac{df'_3}{dr_3} \frac{dr_3}{dr_1} \frac{dr_1}{dq_1} = -f'_3 \frac{1}{f'_1} > 0 \text{ und}$$

$$\frac{df'_1}{dq_1} = \frac{df'_1}{dr_1} \frac{dr_1}{dq_1} = f''_1 \frac{1}{f'_1} < 0$$

ergibt sich

$$(A 5) \quad \frac{d^2s}{dq_1^2} = f''_1 + \frac{1}{(f'_1)^2} [-f'_3 - f'_3 f'_1/f'_1] > 0 .$$

Aus den Gleichungen (A 1) - (A 5) folgt: Die Strecke *GB* ist konkav. Die analoge Aussage gilt für die Strecke *HC*.

d) Eine beliebige Isoquante mit gleicher Umweltqualität \bar{u} und — wegen $u = g(s)$ — mit gleicher Immissionsmenge \bar{s} ist nach außen gekrümmt. Es gilt

$$(A 6) \quad \bar{s} = h_1(q_1) + h_2(q_2) - f_3(r_3)$$

$$d\bar{s} = 0 = h'_1 dq_1 + h'_2 dq_2 - f'_3 (-dr_1 - dr_2)$$

$$0 = h'_1 dq_1 + h'_2 dq_2 + f'_3/f_1 dq_1 + f'_3/f_2 dq_2$$

$$(A 7) \quad \frac{dq_1}{dq_2} = \frac{h'_2 + f'_3/f_2}{h'_1 + f'_3/f_1} < 0$$

$$\frac{d^2q_1}{dq_2^2} = -\frac{1}{(h'_1 + f'_3/f_1)^2} \left[(h'_1 + f'_3/f_1) \left(h''_2 + \frac{1}{(f'_2)^2} \left(f'_2 \frac{df'_3}{dq_2} - f_3 \frac{df'_2}{dq_2} \right) \right) - (h'_2 + f'_3/f_2) \left(\frac{dh'_1}{dq_2} + \frac{1}{(f'_1)^2} \left(f'_1 \frac{df'_3}{dq_2} - f_3 \frac{df'_1}{dq_2} \right) \right) \right]$$

Es gilt

$$\frac{df'_3}{dq_2} = \frac{df'_3}{dr_3} \frac{dr_3}{dr_2} \frac{dr_2}{dq_2} = f''_3 \frac{dr_3}{dr_2} \frac{1}{f'_2} = f''_3 \frac{1}{f'_2} \left(-\frac{dr_1}{dr_2} - 1 \right)$$

$$\frac{dh'_1}{dq_2} = \frac{dh'_1}{dq_1} \frac{dq_1}{dq_2} = h''_1 \frac{dq_1}{dq_2} < 0$$

$$\frac{df'_2}{dq_2} = f''_2 \frac{1}{f'_2}$$

$$\frac{df'_1}{dq_2} = \frac{df'_1}{dr_1} \frac{dr_1}{dr_2} \frac{dr_2}{dq_2} = \frac{f''_1}{f'_2} \frac{dr_1}{dr_2} .$$

Deshalb folgt

$$\begin{aligned} \frac{d^2q_1}{dq_2^2} = & -\frac{1}{(h'_1 + f'_3/f_1)} \left[(h'_1 + f'_3/f_1) \left\{ h''_2 + \frac{1}{(f'_2)^2} \left(-f'_3 - \frac{f'_3 f''_2}{f'_2} \right) \right\} \right. \\ & - (h'_2 + f'_3/f_2) \left\{ \frac{dh'_1}{dq_1} \frac{dq_1}{dq_2} + \frac{1}{(f'_1)^2} \left(-\frac{f'_1}{f'_2} f'_3 - \frac{f'_3 f'_1}{f'_2} \frac{dr_1}{dr_2} \right) \right\} \\ & - (h'_1 + f'_3/f_1) f'_3 \frac{1}{(f'_2)^2} \frac{dr_1}{dr_2} \\ & \left. + (h'_2 + f'_3/f_2) f'_3 \frac{1}{f'_1 f'_2} \frac{dr_1}{dr_2} \right] . \end{aligned}$$

$$\text{Da } h''_2 > 0, h'_1 \frac{dq_1}{dq_2} < 0, -f'_3 f'_2/f'_2 > 0 \text{ und } -\frac{f'_3 f'_1}{f'_2} \frac{dr_1}{dr_2} < 0,$$

gilt

$$(A 8) \quad \frac{d^2q_1}{dq_2^2} < 0: \left[- (h'_1 + f'_3/f_1) \frac{f'_3}{(f'_2)^2} + (h'_2 + f'_3/f_2) \frac{f'_3}{f'_1 f'_2} \right. \\ \left. - (h'_1 + f'_3/f_1) \frac{f'_3}{(f'_2)^2} \frac{dr_1}{dr_2} + (h'_2 + f'_3/f_2) \frac{f'_3}{f'_1 f'_2} \frac{dr_1}{dr_2} \right] > 0$$

$$(A 9) \quad \frac{d^2q_1}{dq_2^2} < 0: \text{ a) } h'_1 f'_1 > h'_2 f'_2 \text{ und} \\ \text{ b) } \left(1 + \frac{dr_1}{dr_2} \right) > 0$$

Bedingung a) besagt, daß die Grenzemissionsneigung des Ressourceneinsatzes in Sektor 1 höher liegt als in Sektor 2. Sektor 1 ist also der schadstoffintensiv produzierende Sektor⁶².

Gilt Bedingung a), so ist auch b) erfüllt. Denn der zusätzliche Einsatz einer Ressourceneinheit in dem umweltfreundlicheren Sektor 2 bedingt für \bar{s} , daß aus Sektor 1 weniger als eine Ressourceneinheit abgezogen werden muß, denn die Reallokation der Ressource von 1 nach 2 bedingt eine Abnahme der Emissionen und damit für \bar{s} auch eine Abnahme von τ_3 . Diese Aussagen folgen auch aus der Differentiation der Definitionsgleichung für \bar{s} .

$$(A 10) \quad \frac{dr_1}{dr_2} = -\frac{(h'_2 f'_2 + f'_3)}{(h'_1 f'_1 + f'_3)} < 0$$

und für $h'_1 f'_1 > h'_2 f'_2$ gilt $|dr_1/dr_2| < 1$.

⁶² Da keine a-priori-Unterscheidung der Güter vorgenommen wurde, können die Güterindizes vertauscht werden, falls Gut 2 das schadstoffintensiv produzierte Gut ist. Das Resultat A 9 gilt analog auch für diesen Fall.

e) Aus der Überlegung zu d) folgt auch, daß die Isoquante für $\bar{s} = 0$ bei $r = r_1 + r_2 + r_3$ (Kurve GH) nach außen gekrümmt ist.

f) Die Kurve $u = \Psi(q_2)$ für ein konstantes, beliebiges Verhältnis $\alpha = q_1/q_2$ ist konkav. Es ist

$$(A 11) \quad u = g [h_1(\alpha q_2) + h_2(q_2) - f_3(\bar{r} - r_1 - r_2)]$$

$$\frac{\partial u}{\partial q_2} = g' (h_1' \alpha + h_2' + f_3' \left(\frac{dr_1}{dq_2} + \frac{1}{f_2'} \right))$$

$$\frac{dr_1}{dq_2} = \frac{dr_1}{dq_1} \frac{dq_1}{dq_2} = \frac{1}{f_1'} \alpha,$$

gilt

$$(A 12) \quad \frac{\partial u}{\partial q_2} = g' (h_1' \alpha + h_2' + f_3' \left(\frac{1}{f_1'} \alpha + \frac{1}{f_2'} \right)) < 0$$

$$(A 13) \quad \frac{\partial^2 u}{\partial q_2^2} = g'' \left(h_1' \alpha + h_2' + f_3' \left(\frac{1}{f_1'} \alpha + \frac{1}{f_2'} \right) \right)^2 + \\ + g' \left\{ h_1'' \alpha + h_2'' + \frac{1}{(f_1')^2} \left[f_1' f_3'' \left(\frac{1}{f_1'} \alpha + \frac{1}{f_2'} \right) - f_3' f_1'' \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{(f_2')^2} \left[f_1' f_3'' \left(\frac{1}{f_1'} \alpha + \frac{1}{f_2'} \right) - f_3' f_1'' \right] \right\} < 0$$

wegen

$$\frac{df_3'}{dq_2} = \frac{df_3'}{dr_3} \frac{dr_3}{dr_2} \frac{dr_2}{dq_2} = f_3' \left(-\frac{dr_1}{dq_2} - \frac{dr_2}{dq_2} \right) = -f_3' \left(\frac{1}{f_1'} \alpha + \frac{1}{f_2'} \right).$$

Da $\frac{\partial u}{\partial^2 q_2} < 0$ und $\frac{\partial^2 u}{\partial q_2^2} < 0$ für $q_1/q_2 = \bar{\alpha}$, ist die Kurve $u = \Psi(q_2)$

für $\bar{\alpha}$ konkav.

Aus den Eigenschaften c) - f) folgt die Konkavität des Transformationsraums, der durch die Fläche $GHCB$ begrenzt wird.

Anhang B. Allokationsmodell der Umweltnutzung

1. Ansatz. Das Allokationsproblem bei der Nutzung der Umwelt stellt sich in seinem dynamischen Aspekt durch die Maximierung eines Wohlfahrtsfunktionalen als

$$(B 1) \quad \tilde{w} = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} w(q, u) dt$$

unter den folgenden Restriktionen dar:

$$(B 2) \quad s = s^e - s_a - \bar{z},$$

wobei \bar{z} die pro Periode assimilierte Schadstoffmenge kennzeichnet. Die Anfangsbedingung des Systems ist gegeben mit

$$(B 3) \quad s(0) = \bar{s}.$$

Ferner gelten für jede Periode die Restriktionen des statischen Allokationsansatzes

$$(B 4) \quad \begin{aligned} f_i(r_i) - q_i &\geq 0 \\ \bar{r} - r_1 - r_2 - r_3 &\geq 0 \\ f_3(r_a) - s_a &\geq 0 \\ g(s) - u &\geq 0 \\ s^e - h_i(q_i) &\geq 0 \end{aligned}$$

Formuliert man das Problem in Periodenwerten, so lautet das Maximierungsproblem⁶³

$$(B 5) \quad \begin{aligned} L = w(q, u) + p(s^e - s_a - \bar{z}) \\ + \sum \lambda_i (f_i(r_i) - q_i) \\ + \lambda_3 (\bar{r} - r_1 - r_2 - r_3) \\ + \lambda_4 (f_3(r_a) - s_a) \\ + \lambda_5 (g(s) - u) \\ + \lambda_6 (s^e - h_i(q_i)) \\ + \lambda_7 (s(0) - \bar{s}) \text{ Max!} \end{aligned}$$

Notwendige Bedingungen⁶⁴ für ein Optimum sind

$$(i) \quad \dot{p} = \delta p - \lambda_5 g'$$

$$(ii) \quad \frac{\partial L}{\partial q_i} = \frac{\partial w}{\partial q_i} - \lambda_i - \lambda_6 h'_i \leq 0 \quad q_i \geq 0 \quad q_i \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0$$

$$(iii) \quad \frac{\partial L}{\partial r_i} = \lambda_i f'_i - \lambda_3 \leq 0 \quad r_i \geq 0 \quad r_i \frac{\partial L}{\partial r_i} = 0$$

$$(iv) \quad \frac{\partial L}{\partial r_a} = \lambda_4 f'_a - \lambda_3 \leq 0 \quad r_a \geq 0 \quad r_a \frac{\partial L}{\partial r_a} = 0$$

⁶³ Das Problem läßt sich auch schreiben als

$$L = w[f_1(r_1), f_2(r_2), u(s)] + q(\sum h_i[f_i(r_i)] - f_3(\bar{r} - \sum r_i) - \bar{z}) + \alpha[s(0) - \bar{s}]$$

Hier ist die ausführlichere Schreibweise gewählt worden, um explizit auch die Implikationen des statischen Allokationsansatzes zu erhalten. Ferner ist unterstellt, daß $s \geq \bar{z}$.

⁶⁴ Die Ableitungen in bezug auf die Multiplikatoren werden nicht ausgeschrieben.

$$\begin{aligned}
 \text{(v) (B 6)} \quad & \frac{\partial L}{\partial s^e} = p + \lambda_6 \leq 0 & s^e \geq 0 & \quad s^e \frac{\partial L}{\partial s^e} = 0 \\
 \text{(vi)} \quad & \frac{\partial L}{\partial s_a} = -p - \lambda_4 \leq 0 & s_a \geq 0 & \quad s_a \frac{\partial L}{\partial s_a} = 0 \\
 \text{(vii)} \quad & \frac{\partial L}{\partial s(0)} = \lambda_5 g' [s(0)] + \lambda_7 \geq 0 & s(0) \geq 0 & \quad s(0) \frac{\partial L}{\partial s(0)} = 0
 \end{aligned}$$

2. Zeitpunktbezogene Implikationen. Im folgenden wird unterstellt, daß der Umweltqualitätsindex nicht auf Null absinkt, also $u > 0$. Ferner wird angenommen, daß beide Sektoren produzieren, so daß

$$r_i, q_i, s^e > 0.$$

Dann folgt, daß in den Restriktionen (ii), (iii) und (vi) - (vii) das Gleichheitszeichen gilt. Unterstellt man ferner, daß Umweltpolitik betrieben wird und deshalb $\lambda_4 > 0$ und $r^a > 0$, so folgt aus den Restriktionen (ii) - (vi) für jede Periode

$$\text{(B 7.i)} \quad \lambda_i = \frac{\partial w}{\partial q_i} + ph'_i$$

$$\text{(B 7.ii)} \quad \lambda_3 = \lambda_i f'_i$$

$$\text{(B 7.iii)} \quad \lambda_3 = -pf'_a$$

Diese Implikationen entsprechen den Implikationen des statischen Allokationsmodells⁶⁵. Setzt man in einer statischen Analyse anstelle der Bewegungsgleichung für s die Definitionsgleichung für die Immissionen $s = s^e - s_a - \bar{z}$ ein, so reduziert sich der dynamische Ansatz B 6 auf das statische Allokationsmodell. Aus

$$\text{(B 8)} \quad p [s - s^e + s_a + \bar{z}]$$

ergeben sich die Implikationen

$$\text{(B 8.ii)} \quad p = \frac{\partial w}{\partial u} g' < 0$$

$$\text{(B 8.iii)} \quad p = -\lambda_4 < 0$$

3. Implikationen über den Zeitpfad von p . Aus B 6.i folgt

$$\begin{aligned}
 -\dot{p} = 0: & \quad -\delta p + \frac{\partial w}{\partial u} g' = 0 \\
 -p \Big|_{\dot{p} = 0} & \quad = -\frac{1}{\delta} \frac{\partial w}{\partial u} g'
 \end{aligned}$$

⁶⁵ Vgl. z. B. H. Siebert, Externalities, Environmental Quality and Allocation, a.a.O.

$$\frac{d(-p)}{ds} = -\frac{1}{\delta} \left(g'^2 \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} + \frac{\partial w}{\partial u} g'' \right) > 0$$

$$\frac{d^2(-p)}{ds^2} = -\frac{1}{\delta} \left(2 \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} g' g'' + g'^3 \frac{\partial^3 w}{\partial u^3} \frac{\partial w}{\partial u} + g''' + \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} g' g'' \right) > 0,$$

da $g'' < 0$ und $\frac{\partial^3 w}{\partial u^3} > 0$.

Die $-p = 0$ -Kurve hat einen progressiv steigenden Verlauf. Da bei gegebenem \bar{s} für

$$-p < 0: -p < -\frac{1}{\delta} \frac{\partial w}{\partial u} g'(\bar{s}),$$

liegen die Fälle $-p < 0$ unterhalb der Kurve $-p$. Da $-p < 0$, muß $-p$ abnehmen. Die Fälle $-p > 0$ liegen oberhalb der $-p = 0$ -Kurve; $-p$ steigt.