Umweltstandards, Learning-by-Doing und der Standort der umwelttechnischen Industrie

Alexander Maier
Jablonskistrasse 4a
10405 Berlin
e-mail: agmaier@yahoo.com

1) Einleitung:

Grundsätzlich sind zur Beseitigung des Marktversagens, das beim Umweltproblem durch die Existenz negativer externer Effekte hervorgerufen wird, Staatseingriffe in das Marktgeschehen in Form von Umweltregulierungspolitik zur Internalisierung dieser externen Effekte erforderlich und gerechtfertigt. Eine effiziente Umweltregulierungspolitik führt – unter Abwägung der daraus resultierenden Nutzen und Kosten - zu einer Steigerung der nationalen Wohlfahrt. Offen diskutiert wird die Frage, welche wohlfahrtssteigernden und wohlfahrtsmindernden Aspekte im politischen Entscheidungsprozess für ein spezifisches Land relevant sind und mithin in die zu maximierende Wohlfahrtsfunktion eingehen.

Neben dieser Wohlfahrtssteigerung durch reduzierten Schadstoffausstoß – so wird häufig argumentiert – würde Umweltpolitik auch zu zusätzlichen positiven Wohlfahrtseffekten durch die Ansiedlung bzw. Herausbildung einer umwelttechnischen Industrie führen. Diese Aussage wird in der politischen Diskussion häufig als Argument für striktere und unilateral bzw. im Inland früher als in anderen Ländern angewandte umweltpolitische Maßnahmen angeführt. Wesentlicher Bestandteil dieser Argumentation ist die Aussage, dass durch eine derart ausgestaltete Umweltpolitik über die induzierten umwelttechnischen Produktinnovationen die heimische umwelttechnische Industrie in eine technologische Vorreiterposition gebracht werden könne und sich dadurch dauerhaft deren internationale Wettbewerbsfähigkeit steigern ließe.[1] So habe die strikte Umweltpolitik Deutschlands eine frühe heimische Nachfrage generiert, aufgrund deren die nationale umwelttechnische Industrie in eine international führende Wettbewerbsposition gelangt sei. Geht man weiter davon aus, dass Umwelttechniken künftig einen bedeutenden Markt darstellen, so sei eine entsprechende Regulierungspolitik als wichtige Maßnahme zur Erhöhung der nationalen Wettbewerbsfähigkeit[2] zu sehen.[3]

Diesen Ausführungen liegen die Vorstellungen der Exportbasistheorie zugrunde. In den Export gelangen danach diejenigen Güter, die zuerst am heimischen Markt Absatzpotentiale erschließen können. Heimische Nachfrage sorgt dafür, dass die Produktion spezifischer Güter im eigenen Land aufgebaut wird. Wenn sich auch auf dem Weltmarkt entsprechende Nachfrage entwickelt, dann können diese Güter exportiert werden – das Inland wird zum Nettoexporteur der Güter.

---

1 Vgl. hierzu z.B. Porter / v.d.Linde (1995), Romstadt (1998), Ekins / Speck (1998), Barker (1999).

2 Die Frage, wann überhaupt von „nationaler Wettbewerbsfähigkeit“ gesprochen werden kann, wurde in der Literatur umfassend diskutiert und soll andieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

3 Vgl. Albrecht (1998).

Die Argumentation basiert auf zwei impliziten Annahmen:

- Die Nähe zum Nachfrager ist für die Entwicklung und/oder den Absatz der Produkte relevant. Andernfalls könnte die heimische Nachfrage sofort und vollständig durch Importe befriedigt werden. Die Produktentwicklung könnte ohne Probleme auch im Ausland stattfinden. Gewinner dieser Zusatznachfrage wäre dann dasjenige Land, das relativ gesehen die günstigsten Entwicklungs- und Produktionskosten für das Produkt aufweisen kann.

- Es existiert ein zumindest partieller Beharrungs- oder Hysteresis-Effekt bzgl. der Standorte der Industrie. Andernfalls würde beim späteren Auftreten ausländischer Nachfrage diese sofort eine entsprechende im Ausland angesiedelte Industrie bedeutenden Umfanges (der Größenordnung der Nachfrage) hervorbringen. Die heimische Industrie würde demnach keine signifikanten Exportgewinne erzielen können.

Beide Annahmen sind nicht unplausibel und finden für bestimmte ökonomische Rahmenbedingungen auch empirische Bestätigung. Ein modelltheoretischer Rahmen, der diese oben genannten Aspekte hinreichend berücksichtigt, findet sich in den Ansätzen der so genannten „New Economic Geography" (NEG)[4]. In Modellen der NEG führen sich selbst verstärkende Nachfrage- und Angebotseffekte zu steigender Konzentration der industriellen Produktion im internationalen Kontext. Es ergeben sich also in Abhängigkeit von der jeweiligen heimischen Nachfrage Spezialisierungseffekte zwischen den Ländern. Diese Effekte sind in den Modellen der NEG das Resultat des Zusammenwirkens von Handels- und Transportkosten und Faktorwanderungen, wie es für allgemeine Transportkosten erstmals in Krugman (1991) modelliert wurde, des Zusammenwirkens von Handelskosten und Standortverlagerungen von Unternehmen, wie es erstmalig von Venables (1996) aufgezeigt wurde, bzw. des Zusammenwirkens von Handelskosten und dem Wachstum spezifischen Kapitals („constructed capital"[5]). Die Analyse wirtschaftspolitischer Maßnahmen im Rahmen der Modellwelt der NEG gelangt teilweise zu wesentlich anderen Ergebnissen, als dies in alternativen Modellwelten ohne Berücksichtigung von Handels- und Transportkosten sowie daraus möglicherweise resultierenden Agglomerationseffekten der Fall ist.[6]

Im Folgenden soll im Rahmen eines einfachen Zwei-Länder-Modells, das wesentliche Bausteine der traditionellen Modellwelt der NEG einschließlich einer einfache Modellierung von Learning-by-Doing-Effekten berücksichtigt, die Diskussion zum Zusammenhang von

4 Vgl. hierzu z.B. Krugman (1991), Fujita et al. (1999), Baldwin et al. (2003)

5 Vgl. Baldwin (1999)

6 Vgl. hierzu z.B. Baldwin et al. (2003)

Umweltpolitik, internationaler Wettbewerbsfähigkeit und der Standortentscheidung der umwelttechnischen Industrie geführt werden. Das Modell stellt eine vereinfachte Form des sog. „Constructed Capital“[7] Modells dar.

In Abschnitt 2 folgt eine Darstellung des Ausgangmodells. Die Herleitung des allgemeinen Gleichgewichts erfolgt in Abschnitt 3. Abschnitt 4 widmet sich in der Folge der Analyse der Modelleigenschaften unter der Annahme exogen gegebener Umweltpolitik. An dieser Stelle werden also strategische Interaktionen der beiden Länder einerseits sowie die Wohlfahrtsoptimierung durch die Staaten im Rahmen einer optimalen Umweltpolitik andererseits vernachlässigt.

7 Vgl. hierzu Baldwin (1999), Baldwin / Forslid (2000) sowie Baldwin et al. (2003, Kap. 6)

2) Das Ausgangsmodell

Es existieren zwei symmetrische Länder, die als Inland und als Ausland bezeichnet werden. Unterschiede zwischen den Ländern ergeben sich lediglich in der Wahl des Zeitpunktes und der Stärke der umweltpolitischen Maßnahme. Ausländische Größen werden durchgehend mit * gekennzeichnet.

Jedes Land verfügt über vier Sektoren: die Landwirtschaft, die das landwirtschaftliche Gut *A* erzeugt, die Endproduktindustrie, in der das Endprodukt *M* hergestellt wird, Vorproduktindustrie, in der das Vorproduktbündel *X* produziert wird und den Wissenskapital *I* produzierenden Sektor. Als Produktionsfaktoren kommen Arbeit *L* und ein Umweltgut zum Einsatz. In jedem Land ist eine fixe und gleich große Menge der Arbeitskapazität angesiedelt, die international nicht mobil ist. Das Weltarbeitsangebot ist demnach ebenso fix und ergibt sich als $L^W = L + L^*$. Wobei *L* das Arbeitskräfteangebot im Inland und L^* das Arbeitskräfteangebot im Ausland darstellt.

Im Landwirtschaftssektor und in der Endproduktindustrie wird jeweils ein homogenes Gut unter vollständiger Konkurrenz produziert. Das Agrargut *A* wird international ohne Handelskosten gehandelt.

Das Endprodukt *M* soll im Modell zunächst nicht international gehandelt werden. Diese letzte Annahme mag zwar für nur für wenige Produkte zutreffen[8] und insbesondere dann als problematisch betrachtet werden, wenn unter dem Endprodukt ein aggregiertes Bündel verschiedener Konsumgüter verstanden wird, vereinfacht die Analyse der Auswirkungen unilateraler umweltpolitischer Maßnahmen aber in einigen Fällen deutlich. Ederington et al. (2003) gelangen im Rahmen einer empirischen Untersuchung zudem zu dem Ergebnis, dass stark verschmutzende Industrien in der Regel aufgrund prohibitiv hoher Transportkosten, hohen Fixkosten für Fabrikneubauten und allgemeinen Agglomerationseffekten wenig geographische Mobilität bezüglich der Verlagerung der Produktion aufweisen.

Im Vorproduktsektor X werden differenzierte umwelttechnische Vorprodukte unter monopolistischer Konkurrenz hergestellt, deren internationaler Handel mit Transport- und Handelskosten verbunden ist. In diese Transport- und Handelskosten gehen neben den Kosten für den physischen Warentransport auch Informationskosten bezüglich des landesspezifischen

[8] Eine Ausnahme hierzu stellt die Elektrizitätswirtschaft dar, deren Fähigkeit zu internationalem Produktaustausch durch relativ geringe Kuppelkapazitäten an den nationalen Grenzen des Elektrizitätsnetzes deutlich eingeschränkt ist.

Geschäftsumfeldes (Geschäftspartner, landesspezifische Rechtssprechung etc.) mit ein, die mit der räumlich-kulturellen Distanz steigen. Ursächlich sind zunehmende Such- und Informationskosten[9]. Im Vorproduktsektor werden positive Marshall'sche externe Effekte in Form sinkender Fixkosten durch sektorales Learning-by-Doing unterstellt. Internationaler Wissens-Spillover existieren, sind aber mit Transaktionsverlusten verbunden, so dass sie unvollkommen sind. Dieses Vorgehen lässt sich empirisch begründen, wenn man die betrachteten Länder als getrennte Kulturräume betrachtet. So gelangt Keller (2001) im Rahmen einer empirischen Untersuchung über internationale Technologiediffusion zu dem Ergebnis, dass gemeinsame Sprachräume die Technologiediffusion zwischen Ländern signifikant erleichtern.

2.1) Landwirtschaftliches Gut:

Das homogene landwirtschaftliche Gut A wird unter vollständiger Konkurrenz produziert und – ohne dass Transportkosten anfallen – frei gehandelt. Die Produktionstechnologie im Agrarsektor ist in beiden Ländern gleich. Das Agrargut wird unter konstanten Skalenerträgen produziert und die Einheiten werden derart normiert, dass genau eine Einheit Arbeit erforderlich ist, um eine Einheit des landwirtschaftlichen Gutes zu produzieren. Das Agrargut wird im Modell als Numéraire gewählt. Es wird ferner unterstellt, dass ein einzelnes Land nicht die Weltnachfrage nach dem Agrargut A decken kann, so dass immer in beiden Ländern das Agrargut produziert wird. Freihandel impliziert demnach für beide Regionen, dass der Preis des Agrarproduktes p_A gleich dem Lohnsatz w ist:

(1) $p_A = w = 1$

Unter dieser Annahme ist eine gesamtwirtschaftliche Wohlfahrtsanalyse umweltpolitischer Maßnahmen im gegebenen Modellrahmen mit einer Einschränkung behaftet, da aufgrund der Normierung der Preis für Arbeit immer 1 (ausgedrückt in Einheiten des Numéraires) ist. Mithin wird die Wirkung der umweltpolitischen Maßnahme auf die Nominallöhne der in den beiden Industriesektoren eingesetzten Arbeitskräfte ausgeblendet. Damit hebt sich der hier gewählte Ansatz insbesondere von denjenigen Modellen der NEG ab, die auf einer Migration des Faktors

[9] Vergleiche hierzu auch Rauch (1999).

Arbeit basieren und entsprechend unterschiedliche Nominaleinkommen der Arbeitskräfte berücksichtigen müssen. Eine Wohlfahrtsanalyse im vorgestellten Rahmen wird sich allerdings dann als eine gute Approximation an eine komplexere Modellierung erweisen, wenn der betrachtete Sektor, der zusätzliche Arbeitskräfte absorbiert, im gesamtwirtschaftlichen Kontext relativ klein ist, so dass die durch ihn generierte steigende Nachfrage nach Arbeitskräften keinen spürbaren Einfluss auf das gesamtwirtschaftliche Lohnniveau mit sich bringt.[10] Diese Annahme des „kleinen Sektors“, die eine Analogie zur Annahme eines kleinen Landes in der traditionellen Außenwirtschaftstheorie darstellt, soll hier zugrunde gelegt werden.

2.2) Endproduktindustrie:

In der Endproduktindustrie sind repräsentative Endgüterproduzenten tätig, die alle über die gleiche Produktionstechnologie verfügen. Das Endprodukt wird unter vollständiger Konkurrenz produziert. Als Inputfaktoren dient den Herstellern einerseits ein Vorproduktbündel *X*, das unter monopolistischer Konkurrenz produziert wird, und andererseits Arbeit. Mit dem Einsatz von Arbeit im Endproduktsektor, L_M, geht ein proportionaler Verbrauch von Umweltausstattung *S* einher.[11] Umweltverschmutzung stellt mithin ein Koppelprodukt dar. Die Produktionstechnologie dieses Sektors ist vom Cobb-Douglas-Typ:

(2) $$M = X^{\delta} \cdot L_M^{(1-\delta)} \quad \text{mit} \quad 0 \le \delta \le 1 \quad \text{und} \quad L_M = S$$

Der Output aller heimischen Endprodukthersteller ist *M*. *S* stellt den mit der Produktion von Endgütern einhergehenden Umweltverbrauch dar. Da es sich um eine sektorale Produktionsfunktion handelt, gibt *S* zugleich die gesamten bei der Endproduktherstellung aufgewendeten Umwelteinheiten im Inland wieder. *X* stellt die Teilproduktionsfunktion des Endproduktsektors bzgl. der zur Produktion benötigten Zwischenprodukte dar und gibt den

---

10 Ähnlich argumentieren auch Forslid / Midelfard Knarvik (2001).

11 Mit höherem Einsatz des Vorproduktes verringert sich die für die Produktion der gleichen Outputmenge benötigte Umweltausstattung, d.h. Umweltschäden werden vermieden. Das Vorprodukt kann damit als Schadstoff-vermeidungstechnologie betrachtet werden. Zudem ist durch die Beschränkung der Anzahl der in einem Land angesiedelten Arbeitskräfte auch eine Obergrenze für Umweltverschmutzung gegeben. Es ist daher ausgeschlossen, dass ein endlicher Output mit unendlich hohen Emissionen einhergeht.

Einsatz des Zwischenproduktes an. Die Teilproduktionsfunktion ist vom Dixit-Stiglitz-CES-Typ[12] Es gilt:

(3) $$X = \left[\int_{i=0}^{n+n^*} (x_i)^{(1-1/\sigma)} di \right]^{\frac{1}{(1-1/\sigma)}}$$

mit n^* = Anzahl (Masse) der im Ausland ansässigen Vorprodukthersteller
n = Anzahl (Masse) der im Inland ansässigen Vorprodukthersteller
x_i = Menge, die von einer bestimmten Variante i nachgefragt wird.
σ = konstante Substitutionselastizität zwischen den $n+n^*$ Varianten, mit $\sigma > 1$

Beim Einsatz ausländischer Vorprodukte fallen Transport- und Handelskosten (im Folgenden auch als „Handelskosten" bezeichnet) an. Die Kosten werden analog zu den Modellen der NEG als „Eisberg-Transportkosten" modelliert, d.h. nur ein Teil $1/\tau$ des Produktes kommt beim ausländischen Konsumenten an. τ ist also ein Maß für die Handelskosten, die sich durch den Bezug ausländischer Güter ergeben. Diese Kosten beinhalten neben den reinen Transportkosten z.B. die nötigen Kosten zur Feststellung der Kundenanforderungen, die bei zunehmender räumlicher und sozialer Distanz des Leistungserstellers vom Kunden zunehmen. Es müssen $\tau >$ 1 Einheiten abgegeben werden, wenn eine Einheit ankommen soll. Damit ergibt sich, dass das Vorprodukt am Produktionsstandort zum (fob-)Preis p_j verkauft wird und am Nicht-Produktionsstandort zum (cif-)Preis $\tau \cdot p_j$.

Für die Endproduktindustrie ergibt sich folgende Kostengleichung:

(4) $$K = w \cdot L_M + \int_{i=0}^{n} p_i \cdot x_i \, di + \int_{j=n}^{n^*} \tau \cdot p_j^* \cdot x_j^* \, d_j$$

bzw. $K = w \cdot L_M + P_X \cdot X$ mit P_X = Preisindex für Vorprodukteinsatz.

Der Preisindex P_X für das von der Endproduktindustrie konsumierte Bündel an Vorprodukten stellt die Minimalkostenkombination für den Kauf dieses Güterbündels dar. Eine Herleitung des Preisindexes findet sich in Anhang A. Er nimmt folgende Form an:

(5) $$P_X = \left[\int_{i=0}^{n} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j=0}^{n^*} \left(\tau \cdot p_j^*\right)^{1-\sigma} dj \right]^{1/(1-\sigma)} \quad \text{bzw.} \quad P_X = \left[n \cdot p^{1-\sigma} + n^* \cdot \left(\tau \cdot p^*\right)^{1-\sigma} \right]^{1/(1-\sigma)}$$

12 Vgl. Dixit/Stiglitz (1977).

Eine steigende Anzahl von Vorprodukten führt zu einem sinkenden Preisindex und damit zu sinkenden Kosten für den Einsatz eines gleich bleibenden Quantums an Vorprodukten. Das lässt sich leicht zeigen, wenn man die Betrachtung auf ein einzelnes Land reduziert. Dann vereinfacht sich der Preisindex zu $P_X = p_i \cdot n^{1/(1-\sigma)}$. Da $\sigma > 1$ gilt, wird der Exponent von *n* negativ. Mithin führt ein Anstieg von *n* zu einem niedrigeren Preisindex. Je geringer die Substitutionselastizität σ ist, d.h. je schlechtere Substitute die unterschiedlichen Varianten zueinander sind, desto größer ist die Auswirkung einer Änderung der Firmenanzahl *n* auf den Preisindex.

Die Gewinnmaximierung der Endproduktindustrie erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird die optimale Nachfrage nach den einzelnen Vorprodukten im Vorproduktbündel X ermittelt. Im zweiten Schritt erfolgt dann die Optimierung des Faktoreinsatzverhältnisses von Umwelt und Vorprodukten. Als Optimierungsproblem für den Vorprodukteinsatz ergibt sich:

$$(6) \qquad \mathrm{Max}_{x_i} \; X = \left[\int_{i=0}^{n+n^*} (x_i)^{(1-1/\sigma)} di\right]^{\frac{1}{(1-1/\sigma)}} \quad \text{u.d.NB. } b = \int_{i=0}^{n+n^*} p_i x_i di$$

wobei *b* die Kostengleichung für das Vorproduktbündel darstellt.

Nach Ermittlung der Bedingung erster Ordnung und Auflösen nach x_i ergibt sich:

$$(7) \qquad x_i = \left(\frac{\lambda}{X^{-1}}\right)^{-\sigma} \cdot \left(1 - \tfrac{1}{\sigma}\right)^{-\sigma} \cdot p_i^{-\sigma}$$

Setzt man dies in die Budgetbeschränkung, so folgt nach Umformung:

$$(8) \qquad \left(\frac{\lambda}{X^{-1}}\right)^{-\sigma} \cdot \left(1 - \tfrac{1}{\sigma}\right)^{-\sigma} = \frac{1}{\int_{i=0}^{n+n^*} p_i^{1-\sigma} di} \cdot b$$

Setzt man Gleichung (8) nun in (7) ein, so erhält man die Marschall'sche Nachfrage nach Gut x_i in Abhängigkeit von *b*, was der Erlösallokation auf das Vorproduktbündel *X* bzw. der monetären Faktornachfrage nach Produktbündel *X* gleichkommt $(B = P_X \cdot X)$:

$$(9) \qquad x_i = \frac{p_i^{-\sigma}}{\int_{i=0}^{n+n^*} p_i^{1-\sigma} di} \cdot (P_X \cdot X)$$

Im zweiten Schritt erfolgt die Optimierung des Faktoreinsatzverhältnisses zwischen Arbeit (mit deren Einsatz proportional Umweltverschmutzung einhergeht) und Vorprodukten. Der Optimierungsansatz lautet:

(10) $$\mathrm{Max}_{X,L_M} \; M = X^{\delta} \cdot L_M^{1-\delta} \quad \text{u.d.NB} \quad p_M \cdot M = P_X \cdot X + w \cdot L_M$$

Die Bedingung erster Ordnung lautet:

(11) $$\frac{\delta}{(1-\delta)} \cdot \frac{L_M}{X} = \frac{P_X}{w}$$

Die Grenzrate der Substitution entspricht im Optimum dem reziproken Faktorpreisverhältnis. Die negativen Umwelteffekte, die mit dem Einsatz des Faktors L_M einhergehen, werden bei diesem Optimierungsvorgang zunächst nicht berücksichtigt. Es ist Aufgabe des Staates, für deren Berücksichtigung in einem wohlfahrtsoptimalen Sinn zu sorgen. Wir gehen hier davon aus, dass dies in Form von Umweltstandards geschieht, die den Einsatz des schädlichen Faktors limitieren. Das bedeutet aus Sicht der Endproduktindustrie, dass nicht die ohne Regulierungsaktivitäten individualrationale Menge des Faktors L_M zum Einsatz kommt, sondern eine geringere Menge. Entsprechend steigt die im Optimierungskalkül zu berücksichtigende Grenzproduktivität des Faktors L_M.[13] Im Modell kommt dies durch den Politikparameter R ($\text{mit}\, R \geq 1$) zum Ausdruck, der als multiplikatives Element auf die Grenzproduktivität des Faktors L_M wirkt. $R = 1$ stellt dabei den Fall dar, in dem keine Umweltstandards gesetzt werden. Wir unterstellen weiterhin, dass für das Überschreiten der durch den Staat festgelegten maximalen Einsatzmenge des Faktors L_M eine Strafzahlung in prohibitiver Höhe fällig wird, die es für das einzelne Unternehmen des Sektors auch unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des Entdecktwerdens nicht rational erscheinen lässt, vom vorgeschriebenen Standard abzuweichen. Die nun im Optimierungskalkül zu berücksichtigende Bedingung erster Ordnung lautet:

(12) $$\frac{\delta}{(1-\delta)} \cdot \frac{L_M}{X} = \frac{P_X}{w \cdot R}$$

Auflösten von (12) nach L_M bzw. X und einsetzen der Ergebnisse in die Kostengleichung ergibt die unkompensierten Faktornachfragen:

(13) $$X = \frac{R \cdot \delta \cdot (p_M \cdot M)}{(R \cdot \delta + 1 - \delta) \cdot P_X}$$

[13] Da die Endproduktindustrie unter vollkommener Konkurrenz wirtschaftet, fällt auf dieser Ebene keine Produzentenrente an. Vielmehr werden vermehrt Güter des Vorproduktsektors als Inputfaktor nachgefragt.

(14) $$L_M = \frac{(1-\delta)\cdot(p_M \cdot M)}{(R\cdot\delta + 1 - \delta)\cdot w}$$

Unter Berücksichtigung von (13) lässt sich die Marshall'sche Nachfrage nach Gut x_i (Gleichung 9) auch schreiben als:

(15) $$x_i = \frac{p_i^{-\sigma}}{\int_{i=0}^{n+n^*} p_i^{1-\sigma}\,di} \cdot \delta R \cdot (\delta R + 1 - \delta)^{-1} \cdot (P_M \cdot M)$$

bzw. für im Inland nachgefragte ausländische Güter:

(15 a) $$x_j^* = \frac{(\tau \cdot p_j^*)^{-\sigma}}{\int_{i=0}^{n+n^*} p_i^{1-\sigma}\,di} \cdot \frac{\delta R}{(\delta R + 1 - \delta)} \cdot (P_M \cdot M)$$

Substituiert man in den Nenner der Gleichung (15) bzw. (15a) den Preisindex (Gleichung 5), so erhält man:

(16) $$x_i = \frac{p_i^{-\sigma}}{P_X^{1-\sigma}} \cdot a \cdot (P_M \cdot M) \quad \text{mit} \quad a = \frac{\delta R}{\delta R + 1 - \delta}$$ respektive

(16a) $$x_j^* = \frac{(\tau \cdot p_j^*)^{-\sigma}}{P_X^{1-\sigma}} \cdot a \cdot (P_M \cdot M)$$

Das entspricht dem Standardergebnis in der Dixit-Stiglitz-Welt monopolistischer Konkurrenz[14].

Anhand der vorliegenden Information lässt sich auch der Stückpreis für eine Einheit des Gutes *M* herleiten. Setzt man die Marshallschen Nachfragen nach den Faktoren, d.h. die Gleichungen (13) und (14) in die Produktionsfunktion ein und löst dies nach p_M auf, so ergibt sich als Stückpreis für *M*:

(17) $$p_M = \frac{(\delta R + 1 - \delta)\cdot P_X^{\delta} \cdot w^{(1-\delta)}}{(\delta R)^{\delta} \cdot (1-\delta)^{1-\delta}}$$

[14] Vgl. Dixit/Stiglitz (1977).

2.3) Vorproduktindustrie (umwelttechnische Industrie):

Im Vorproduktsektor agieren die Unternehmen unter monopolistische Konkurrenz. Jedes Unternehmen produziert genau eine spezifische Form des Vorproduktes (Variante). Bei der Produktion des Gutes treten variable und fixe Kosten auf. Die Kosten für ein einzelnes Unternehmen ergeben sich als:

(17) $$\chi_j = k + w \cdot \varepsilon \cdot x_j \quad ,$$

wobei k die Fixkosten beziffert und ε den Inputkoeffizienten für Arbeit in die variablen Kosten darstellt. Der Lohnsatz w entspricht dem Lohnsatz im Agrarsektor und damit ebenfalls eins. Da im Vorproduktsektor unter monopolistischer Konkurrenz produziert wird, stellt sich als Ergebnis der Gewinnmaximierung eines einzelnen Unternehmens die Amoroso-Robinson-Relation ein[15]:

(18) $$p_j = \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right)^{-1} \cdot \varepsilon$$

Wählt man die Einheiten von x so, dass $\varepsilon = 1 - \frac{1}{\sigma}$ entspricht, dann erhält man gleiche Vorproduktpreise in den einzelnen Ländern. In unserem Fall gilt: $p_i = p_j = 1$.[16] Diese Normierung beeinträchtigt die Allgemeingültigkeit des Modells nicht, da die Einheiten, in denen das Vorprodukt abgebildet wird, frei variierbar sind, sofern man von möglichen Unteilbarkeiten absieht.

$\frac{x_j}{\sigma}$ stellt die erzielbaren Deckungsbeiträge dar:

(19) $$\frac{x_j}{\sigma} = \pi$$

Damit ergibt sich als Produktionsmenge für jede Firma:

(20) $$x_j = \pi \cdot \sigma$$

15 Vgl. hierzu Anhang B.

16 Die Tatsache, dass die Preise für ein einzelnes Vorprodukt in beiden Ländern gleich sind, vereinfacht die Nachfragefunk tionen für die einzelnen Vorprodukte signifikant und ermöglicht damit die analytische Lösbarkeit des Modelles. Dabei ist die tatsächliche Höhe der Preise unerheblich. Es spielt also bei diesem Vorgehen grundsätzlich keine Rolle, ob der Preis für eine Einheit des Vorproduktes genau dem des Numéraire entspricht [Vgl. hierzu auch Forslid/Ottaviano (2001)].

Jedes Vorprodukt wird sowohl im Inland als auch im Ausland konsumiert. Die Nachfrage nach dem Vorprodukt – ausgedrückt in monetären Einheiten - ergibt sich damit wie folgt:

(21)
$$p_i \cdot x_i = \frac{p_i^{-\sigma} \cdot (p_M \cdot M) \cdot a}{P_X^{(1-\sigma)}} + \frac{\phi \cdot p_i^{-\sigma} \cdot (p_M^* \cdot M^*) \cdot a^*}{P_X^{(1-\sigma)}}$$

bzw. $$p_i \cdot x_i = \frac{p_i^{-\sigma} \cdot (p_M \cdot M) \cdot a}{P_X^{(1-\sigma)}} + \frac{\phi \cdot p_i^{-\sigma} \cdot (p_M^* \cdot M^*) \cdot a^*}{P_X^{(1-\sigma)}}$$

mit $$a = \frac{\delta R}{\delta R + 1 - \delta}, a^* = \frac{\delta R^*}{\delta R^* + 1 - \delta}, \phi = \tau^{1-\sigma}$$

a und *a** stellen damit den Faktor der Regulierungsstärke im Inland bzw. im Ausland dar. Da wir die Annahme getroffen haben, dass *R* bzw. *R** größer oder gleich eins sind, gilt auch für a und a*: $a, a^* \geq 1$. ϕ stellt ein Maß für die Höhe die Handelskosten dar und nimmt je nach Höhe dieser Kosten Werte im Bereich [0;1[an, wobei bei prohibitiv hohen Handelskosten ϕ gegen Null geht und bei sehr geringen Handelskosten gegen 1. Wir folgen nun dem Vorgehen von Forslid/Ottaviano (2001) und substituieren den Preisindex in die monetäre Nachfrage nach dem Vorprodukt. Da die Produzentenpreise für inländische und ausländische Vorprodukte gleich sind, kann man die Gleichung deutlich vereinfachen. Damit erhält man nach Umformen und Kürzen die Nachfrage nach dem einzelnen Vorprodukt x_i im Sektorgleichgewicht:

(22) $$x_i = \frac{(p_M \cdot M) \cdot a}{n + \phi \cdot n^*} + \frac{\phi \cdot (p_M^* \cdot M^*) \cdot a^*}{\phi \cdot n + n^*}$$

Analog ergibt sich für das Ausland:

(23) $$x_i^* = \frac{\phi \cdot (p_M \cdot M) \cdot a}{n + \phi \cdot n^*} + \frac{(p_M^* \cdot M^*) \cdot a^*}{\phi \cdot n + n^*}$$

2.4) Kapitalproduzierender Sektor:

Wir unterstellen weiterhin, dass die Fixkosten für die Produktion einer Variante, *k*, in Form von Wissenskapital anfallen. Es soll genau eine Einheit Wissenskapital für die Produktion einer Variante des Vorproduktes eingesetzt werden. Die Höhe des Wissenskapitalstocks *K* entspricht damit der Anzahl der Firmen, die im Vorproduktsektor tätig sind:

(23) $K = n$

Wissenskapital soll unter vollkommener Konkurrenz produziert werden. Als Produktionsfaktor kommt lediglich Arbeit L_I zum Einsatz. Wir unterstellen ferner, dass bei der Produktion von Wissenskapital Lerneffekte auftreten. Ein höherer Output in der Vorperiode führt dazu, dass zur Produktion einer Einheit Wissenskapital eine geringere Einsatzmenge des Faktors L_I erforderlich wird. Gleichzeitig geht mit einer geringeren Outputmenge in der Vorperiode ein höherer Faktoreinsatzbedarf zur Produktion einer Einheit Wissenskapital einher. Damit wird berücksichtigt, dass neben dem Lerneffekt auch Vergessen wirksam wird. Die Produktionsfunktion des Sektors lautet:

(24) $Q_K = \frac{\xi \cdot L_I}{e_I}$ mit $e_I = \frac{1}{K_{t-1}^w \cdot \left[s_{n,t-1} + \psi \cdot (1 - s_{n,t-1})\right]}$ und $0 < \psi < 1$

ξ stellt einen Niveauparameter für den Lerneffekt dar. e_I gibt den Lerneffekt in Abhängigkeit vom inländischen Anteil an der weltweiten Produktion des Kapitalgutes K^w in der Vorperiode, $s_{n,t-1}$ sowie den internationalen Wissen-Spillover, $\psi \cdot (1 - s_{n,t-1})$, an. Die Kosten für die Produktion einer weiteren Einheit Wissenskapital liegen damit bei $\frac{e_I \cdot w_I}{\xi}$. Der Lohnsatz für Wissenskapital w_I entspricht wieder dem Lohnsatz des Agrarsektors und liegt bei 1.

Wir unterstellen zur Vereinfachung ferner, dass der Kapitalstock innerhalb einer Periode vollständig aufgezehrt wird, d.h. dass das Wissen zum Ende einer Periode hin veraltet. Damit gilt, dass der Wissenskapitalstock immer genau der produzierten Menge an Wissenskapital entspricht:

(25) $Q_K = K$

Diese Vereinfachung bewirkt, dass es keine periodenübergreifenden Einkommensströme aus der Bereitstellung von Wissenskapital gibt und erlaubt es damit, von einer intertemporalen Optimierung der Haushalte abzusehen.

2.5) Haushalte:

Es wird unterstellt, dass ein repräsentativer Haushaltstyp existiert, so dass alle Haushalte die gleiche Nutzenfunktion aufweisen. Die Nutzenfunktion ist vom Cobb-Douglas-Typ und nimmt folgende Form an:

(24) $U = c_M^{\alpha} \cdot c_A^{(1-\alpha)} + E \qquad \text{mit } 0 \leq \alpha < 1$

Dabei stellt c_M den Konsum von Endprodukten dar, c_A den Konsum von Agrarprodukten. E misst die allgemeine Umweltqualität im Inland, die den Konsumenten zur Verfügung steht. Sie wird dargestellt als $E = 1 - S$, wobei S die Summe der durch Produktion verbrauchten Umweltausstattung als Anteil der gesamten Umweltausstattung des Landes darstellt. Wir haben bereits festgelegt, dass der Umweltverbrauch direkt proportional zum Einsatz des Faktors Arbeit in der Endproduktindustrie (L_M) ist. Wir können deshalb anstelle S die Relation $\frac{L_M}{L}$ in der weiteren Modellierung verwenden[17], wenn wir die Einheiten für Umweltausstattung so festlegen, dass genau eine Einheit S mit dem Einsatz einer Einheit L_M einhergeht.

Es besteht keine Sparmöglichkeit für die Haushalte, d.h. alle in einer Periode erwirtschafteten Einnahmen werden auch in derselben Periode wieder ausgegeben. Damit haben die Haushalte selbst keine Möglichkeit, ihren Konsum intertemporal zu optimieren. Diese Annahme vereinfacht die Betrachtung erheblich, ohne die Bewertung unilateraler umweltpolitischer Maßnahmen wesentlich zu beeinträchtigen. Die Budgetrestriktion eines Haushalts ergibt sich in jeder Periode wie folgt:

(25) $y = p_A \cdot c_A + p_M \cdot c_M$

Da das landwirtschaftliche Gut, das unter vollkommener Konkurrenz produziert und ohne Handelskosten international gehandelt wird, das Numéraire darstellt, liegt sein Preis bei 1: $p_A = 1$.

Die Haushalte maximieren ihren Nutzen durch Wahl des optimalen Konsumverhältnisses zwischen Agrar- und Endprodukt. Die Umweltqualität geht nicht in ihr Nutzenkalkül mit ein, da sie sie nicht direkt beeinflussen können. Es ergibt sich damit folgendes Optimierungsproblem für den einzelnen Haushalt:

(26) $\text{Max}_{c_A, c_M} \ (25) \qquad \text{u.d.NB} \ (24)$

---

17 Diese Formulierung ist nur dann sinnvoll, wenn – wie hier geschehen – von einer fixen Bevölkerungsgröße L ausge gangen wird. Andernfalls würde ein Anwachsen der Bevölkerungsmenge L mit einer geringeren Umweltverschmutzung einhergehen.

Damit ergeben sich die Marshall'schen Nachfragen:

(27) $c_M = \left(\frac{p_M}{\alpha}\right)^{-1} \cdot y$

(28) $c_A = (1-\alpha) \cdot y$

Die indirekte Nutzenfunktion ergibt sich durch Einsetzen der Marshall'schen Nachfragen in die Zielfunktion. Sie lautet entsprechend:

(29) $V = (1-\alpha)^{(1-\alpha)} \cdot \alpha^{\alpha} \cdot p_M^{-\alpha} \cdot y \ + E$

Da wir in unserer Betrachtung repräsentative Haushalte unterstellen, kann die indirekte Nutzenfunktion eines solchen Haushaltes zugleich als die Wohlfahrtsfunktion der gesamten Volkswirtschaft verstanden werden. Man kann also an der Veränderung der indirekten Nutzenfunktion eines einzelnen Haushaltes gleichzeitig die Veränderung der gesamten Wohlfahrt eines Landes ablesen.

Die Haushaltseinkommen ergeben sich im dargestellten Modell aus den Löhnen für Arbeit. Wir haben definiert, dass für die Produktion einer Einheit des Agrargutes genau eine Einheit Arbeit erforderlich ist. Da das Agrargut als Numéraire einen Preis von 1 aufweist, ergibt sich auch ein Lohnsatz von 1 für eine Einheit Arbeit. Das Einkommen eines einzelnen Haushaltes ergibt sich entsprechend als $y = 1$.

Für die weitere Analyse ist eine aggregierte Betrachtung über alle Haushalte eines Landes hinweg möglich. Die Summe der individuellen Nachfragen c_a und c_M seien C_A und C_M. Da in der Betrachtung von Lagerhaltung abgesehen wird, ist die weltweit produzierte Menge immer gleich der weltweit konsumierten Menge.

3) Allgemeines Gleichgewicht:

Im Folgenden sollen zunächst die Bedingungen für ein allgemeines Gleichgewicht bei statischer Betrachtung der Ökonomie hergeleitet werden. Der darauf folgende Abschnitt widmet sich der Diskussion einiger Eigenschaften dieses allgemeinen Gleichgewichtes.

Nach dem Gesetz von Walras lässt sich bei der Betrachtung des allgemeinen Gleichgewichtes ein Sektor in der Betrachtung vernachlässigen. Wir verzichten bei der Ermittlung des allgemeinen Gleichgewichtes auf die nähere Betrachtung des Agrarsektors. Aus dem individuellen Optimierungskalkül in den Sektoren Endproduktindustrie, Vorproduktindustrie, wissenskapitalproduzierender Sektor und Haushalte ergeben sich die im Anschluss dargestellten Bedingungen, die im allgemeinen Gleichgewicht erfüllt sein müssen.

Endproduktmarkt

Die Markträumungsbedingung auf dem Endproduktmarkt des Inlandes bzw. des Auslandes werden durch die Gleichungen (30) respektive (31) angezeigt. Dabei wird berücksichtigt, dass das gesamtwirtschaftliche Einkommen (ausgedrückt in Einheiten des Numéraire) eines Landes genau der Einwohnerzahl entspricht (Y = L).

(30) $(p_M \cdot M) = \alpha \cdot Y$ bzw. $(p_M \cdot M) = \alpha \cdot L$

(31) $(p_M^* \cdot M^*) = \alpha \cdot Y^*$ bzw. $(p_M^* \cdot M^*) = \alpha \cdot L^*$

Vorproduktmarkt

Unter Berücksichtigung von (30) lässt sich die Nachfrage nach heimischen Vorprodukten (Gleichung 22) auch ausdrücken als:

(33) $x_i = B \cdot \frac{\alpha \cdot L}{K^W}$ mit $B = \frac{a}{\Delta} + \frac{\phi \cdot a*}{\Delta^*}$ und $\Delta = [s_n + \phi \cdot (1 - s_n)], \Delta^* = [(1 - s_n) + \phi \cdot s_n]$

Für das Ausland gilt entsprechend:

(34) $x_i^* = B^* \cdot \frac{\alpha \cdot L}{K^W}$ mit $B^* = \frac{\phi \cdot a}{\Delta} + \frac{a*}{\Delta^*}$

In B und $B*$ kommt die Beeinflussung der Nachfrage nach umwelttechnischen Vorprodukten durch Umweltpolitik zum Ausdruck. Der Marktanteil der heimischen umwelttechnischen Industrie wird mit s_n bezeichnet. K^W gibt den weltweiten Stock an Wissenskapital an. Im Gleichgewicht für den X-Sektor ergibt sich dann – unter Berücksichtigung von Gleichung (19) folgender Deckungsbeitrag:

(35) $\pi = B \cdot \frac{\alpha}{\sigma} \cdot \frac{L}{K^W}$ bzw. $\pi^* = B^* \cdot \frac{\alpha}{\sigma} \cdot \frac{L}{K^W}$

Unterschiede in den Deckungsbeiträgen ergeben sich demnach nur durch unterschiedliche Marktanteile am Vorproduktsektor oder durch eine unterschiedlich starke Beeinflussung der Nachfrage nach umwelttechnischen Gütern aus unterschiedlich starken Umweltregulierungspolitiken. Ein Anstieg der inländischen Regulierung führt in beiden Ländern zu einem Anstieg der Nachfrage nach umwelttechnischen Gütern. Der Anstieg im Inland liegt jedoch aufgrund der Existenz der Handelskosten über dem Anstieg der Nachfrage, die im Ausland verursacht wird.

Für den X-Sektor liegen keine Markteintrittsbarrieren vor, so dass freier Markteintritt unterstellt werden kann. Sofern in einem Land Vorprodukte hergestellt werden (d.h. es existiert entweder ein internes Gleichgewicht oder ein Agglomerationsgleichgewicht in diesem Land), werden neue Firmen werden so lange in den Markt eintreten, bis die erzielbaren Deckungsbeiträge π gleich den Fixkosten in Form der Kosten für eine Einheit Wissenskapital sind, der durch einen Markteintritt erzielbare Gewinn also gleich 0 ist. Da Wissenskapital in jeder Periode vollständig abgeschrieben wird, liegen die Fixkosten genau in der Höhe der Produktionskosten für eine Einheit Wissenskapital, $\frac{e}{\xi}$:

(36) $$\frac{e}{\xi} = B \cdot \frac{\alpha}{\sigma} \cdot \frac{L}{K^W}$$

Markt für Wissenskapital

Im Gleichgewicht beschreibt der Kapitalstock K die Anzahl der im Inland angesiedelten Firmen n. Die Produktion von Wissenskapital innerhalb einer Periode determiniert den Kapitalstock. Mithin gilt:

(37) $$Q_K = K = n = s_n \cdot K^W = \frac{\xi \cdot L_I}{e}$$

Löst man Gleichung (36) und (37) nach K^W auf und setzt sie gleich, so erhält man nach Umformung die Größe für den Arbeitskräftebedarf im kapitalproduzierenden Sektor, L_I:

(38) $$L_I = B \cdot \frac{\alpha}{\sigma} \cdot L \cdot s_n$$

Substitution von Gleichung (38) in die Produktionsfunktion für Wissenskapital ergibt die Anzahl der im Inland angesiedelten Firmen n:

(39) $$n = \frac{\xi}{e} \cdot B \cdot \frac{\alpha}{\sigma} \cdot L \cdot s_n$$

Für das Ausland gilt analog:

(40) $$n^* = \frac{\xi}{e} \cdot B^* \cdot \frac{\alpha}{\sigma} \cdot L \cdot (1 - s_n)$$

Damit lässt sich – nach Einsetzen von B und B^* - eine Bestimmung des heimischen Marktanteils erreichen:

(41) $$s_n = \frac{n}{n + n^*} = \frac{c \cdot (\phi \cdot e - e^*) - \phi \cdot (\phi \cdot e^* - e)}{(1 - \phi) \cdot [c(\phi \cdot e - e^*) + (\phi \cdot e^* - e)]}$$

Dabei markiert $c = \frac{a}{a^*}$ den Asymmetriefaktor für die Umweltregulierung.

Arbeitsmarkt

Da Vollbeschäftigung unterstellt wird, liegt ein Gleichgewicht auf dem Arbeitsmarkt dann vor, wenn die aggregierte Nachfrage nach Arbeit aller drei Produktionssektoren genau der Anzahl der Arbeitskräfte entspricht.

(42) $$L = L_A + L_M + L_X + L_I$$ mit

$$L_A = A \qquad L_M = \frac{(1 - \delta) \cdot p_M \cdot M}{(\delta R + 1 - \delta)} \qquad L_X = \varepsilon \cdot B \cdot \alpha \cdot L \cdot s_n$$

Analog ergibt sich für das Ausland:

(43) $$L = L_A^* + L_M^* + L_X^* + L_I^*$$ mit

$$L_A^* = A^* \qquad L_M^* = \frac{(1 - \delta) \cdot p_M^* \cdot M^*}{(\delta R^* + 1 - \delta)} \qquad L_X^* = \varepsilon \cdot B^* \cdot \alpha \cdot L \cdot (1 - s_n)$$

Unter Berücksichtigung von Gleichung (30) ergibt sich für die Arbeitsnachfrage der inländischen Endproduktindustrie:

(44) $$L_M = \frac{(1 - \delta) \cdot \alpha \cdot L}{(\delta R + 1 - \delta)}$$

Am Ausdruck für L_M wird noch einmal deutlich, dass eine höhere Umweltregulierung c.p. zu einer Verringerung des Arbeitseinsatzes in der Endproduktindustrie und damit im gleichen Maß zu einer Verringerung des Schadstoffausstoßes führt. Analog gilt für das Ausland:

(45) $$L_M^* = \frac{(1-\delta)\cdot\alpha\cdot L}{(\delta R^* + 1 - \delta)}$$

4) Exogene Umweltregulierung

Für den Fall völliger Symmetrie der Länder (also auch bezüglich der Ausprägung der Umweltpolitik) in der Ausgangssituation gilt sowohl $n_{t-1} = n_{t-1}{}^*$ als auch $R = R^*$ bzw. $a = a^*$. An Gleichung (41) erkennt man schnell, dass in diesem Fall der heimische Anteil an der Vorproduktindustrie ½ ergibt, die Vorproduktindustrie also gleichmäßig auf beide Länder verteilt ist. Das Ergebnis ist unabhängig von der Höhe der Transportkosten und unabhängig von der Frage, ob ein staatlicher Eingriff zur Regulierung der Umweltverschmutzung stattfindet oder nicht (im zweiten Fall wäre $R = R^* = 1$).

Im Folgenden soll untersucht werden, wie sich asymmetrische Umweltpolitik auf die Anteile des In- und Auslandes an der umwelttechnischen Industrie auswirkt. Gleichung (41) stellt eine Hyperbel dar, deren vertikale Asymptote im s_n-$s_{n,t-1}$-Raum jedoch nie im Definitionsbereich des Modells liegt. Die Analyse kann sich damit auf den Verlauf eines (des rechten) Hyperbelastes beschränken.[18]

Unilateral striktere Umweltpolitik bei symmetrischer Ausgangssituation:

Zunächst soll untersucht werden, inwiefern – bei gleich starker in- und ausländischer Umweltpolitik – ein höherer Marktanteil in der Vorperiode zu einer weiteren Verschiebung der Marktanteile führt. Für c=1 ergibt sich aus Gleichung (41):

(46) $$s_n\Big|_{c=1} = \frac{2\phi\cdot e - (1+\phi^2)\cdot e^*}{(1-\phi)\cdot(\phi-1)\cdot(e+e^*)}$$

Der Marktanteil s_n wird genau dann größer als 50%, wenn gilt:

(47) $$-(1-\phi)^2\cdot e < (1+\phi^2)\cdot e^* - (1-\phi^2)\cdot e^*$$

---

[18] Vergleiche Anhang C

Es zeigt sich sofort, dass dies bei einem Marktanteil der Vorperiode $s_{n,t-1}$ von mehr als 50% und damit $e<e^*$ immer erfüllt ist. Ein höherer historischer Marktanteil wird dementsprechend c.p. immer zu einem höheren künftigen Marktanteil des Inlandes führen.

Als nächstes soll geklärt werden, welche Auswirkung eine striktere heimische Regulierung – ausgehend von einem symmetrischen Gleichgewicht – auf die weitere Marktanteilsentwicklung hat. An der Stelle $s_{n,t-1}=1/2$ ergibt sich:

(48) $$s_n\Big|_{s_{n,t-1}=\frac{1}{2}} = \frac{c-\phi}{(1-\phi)\cdot(c+1)}$$

Auch hier zeigt sich, das der heimische Anteil am Markt für umwelttechnische Güter für eine stärkere inländische Regulierung, also für jedes c>1, zunimmt und über 50% steigt. Ausgehend von einem symmetrischen Gleichgewicht ergibt also eine striktere heimische Umweltregulierung einen erhöhten Marktanteil.

Die Grad des Einflusses einer unilateral strikteren Umweltpolitik auf die Standortwahl der umwelttechnischen Industrie ist von der Höhe der Handels- und Transportkosten und damit vom Grad der Handelsfreiheit abhängig. Abbildung 1 zeigt die Auswirkungen einer strikteren heimischen Umweltpolitik für verschiedene Parametereinstellungen für den Grad der Handelsfreiheit. Je höher der Grad der Handelsfreiheit, desto eher bewirkt eine unilateral striktere Umweltpolitik eine Verlagerung der umwelttechnischen Industrie in das Land mit der strikteren Regulierung. In diesem Fall stehen den Nachfrageeffekten aus umweltpolitischen Maßnahmen, die für die Standortentscheidung relevant sind, niedrigere Kosten bei der Belieferung des zweiten Landes gegenüber, so dass es lohnend ist, einen größeren Teil der Produktion im Land mit dem größeren heimischen Markt anzusiedeln und von dort aus seine Produkte auch in das zweite Land zu exportieren.

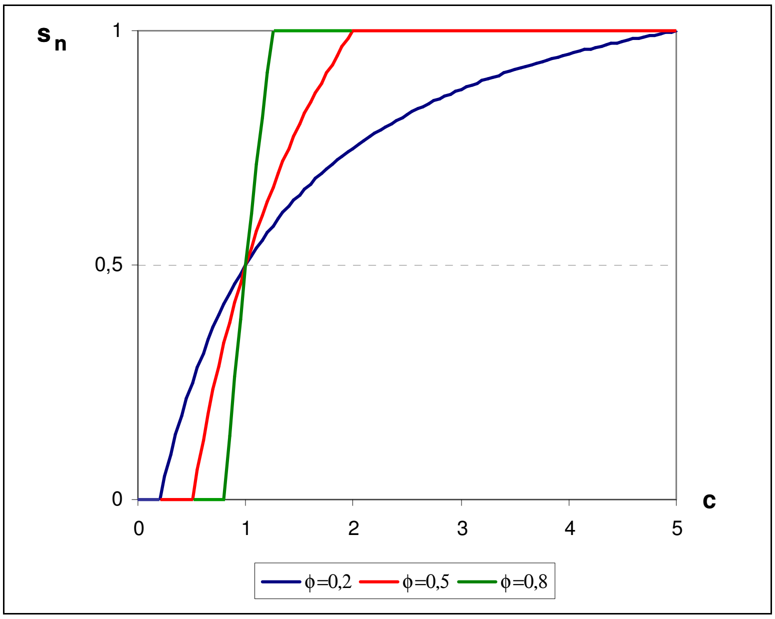

Abbildung 1: Unilaterale Umweltpolitik bei symmetrischer Verteilung in der Vorperiode

Differenzengleichung und interne Gleichgewichte:

Bildet man die Differenzengleichung, so lässt sich zeigen, dass es maximal zwei intertemporale Gleichgewichte im Definitionsbereich gibt, wovon maximal eines lokal stabil und maximal eines lokal instabil ist. Während die Existenz eines internen Gleichgewichts im wesentlichen von der relativen Stärke der heimischen Umweltpolitik im Vergleich zur Stärke der Umweltpolitik des Auslandes abhängt, wird die Stabilität eines internen Gleichgewichtes vom Grad der Handelfreiheit, der Höhe der Wissensspillover maßgeblich beeinflusst.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch für einen hohen Grad an Handelsfreiheit und einen ebenso hohen Grad an Wissensspillovern, dass die hieraus resultierenden internen Gleichgewichte instabil sind und sich in der Folge jeweils eine Konzentration der umwelttechnischen Industrie im Inland oder im Ausland ergibt.

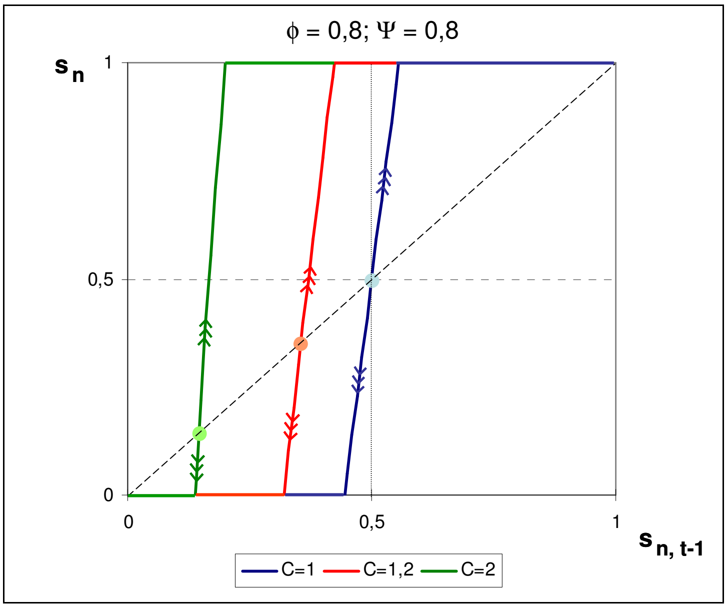

Abbildung 2:Lokal instabile interne Gleichgewichte

Abbildung 3 gibt dagegen exemplarisch eine Parameterkonstellation wider, bei der sich stabile interne Gleichgewichte einstellen können, d.h. also eine stabile asymmetrische Verteilung der umwelttechnischen Industrie auf beide Länder ergeben kann. Solche Konstellationen treten insbesondere dann auf, wenn der Grad der Handelsfreiheit relativ gering ist, Wissensspillover hingegen eine größere Rolle spielen. Dann profitiert die Industrie im schwächer regulierenden Land einerseits vom Wissenstransfer, was sich positiv auf die Fixkosten auswirkt, andererseits existiert durch die vergleichsweise hohen Handels- und Transportkosten eine partielle Abschottung dieser Industrie von der günstiger produzierenden umwelttechnischen Industrie desjenigen Landes, das eine striktere Umweltpolitik betreibt.

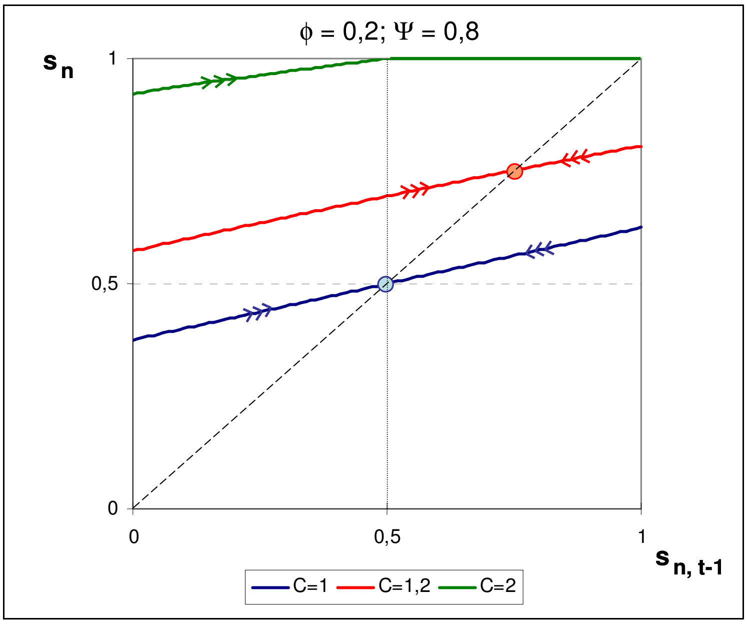

Abbildung 3: Lokal stabile interne Gleichgewichte

Agglomerationsgleichgewicht:

Als nächstes soll – ausgehend von einer vollständigen Konzentration der Vorproduktindustrie im Inland - untersucht werden, inwiefern durch eine striktere Umweltpolitik des Auslandes die Stabilität des Agglomerationsgleichgewichtes bricht. An der Stelle $s_{n,t-1}$ =1 ergibt sich:

(49) $$s_n\Big|_{s_{n,t-1}=1} = \frac{c\cdot(\phi\psi-1)-\phi\cdot(\phi-\psi)}{(1-\phi)\cdot[c\cdot(\phi\psi-1)+(\phi-\psi)]}$$

Der heimische Marktanteil liegt entsprechend genau dann gerade noch bei 100%, wenn gilt:

(50) $$c \geq \frac{\phi-\psi}{\phi\cdot(\phi\psi-1)}$$

Da c immer größer Null sein muss, bedeutet dies, dass eine striktere ausländische Umweltregulierung nur dann zu einem Bruch der Stabilität des Agglomerationsgleichgewichtes führen kann, wenn c kleiner als die rechte Seite von Ungleichung 50 wird. Sofern die Wissensspillover geringer als der Grad der Handelsfreiheit sind, existiert im Definitionsbereich kein a*, mit dem dies gelingen kann. Eine striktere ausländische Umweltpolitik wird dann niemals zu einer Verschiebung der Marktanteile führen können.

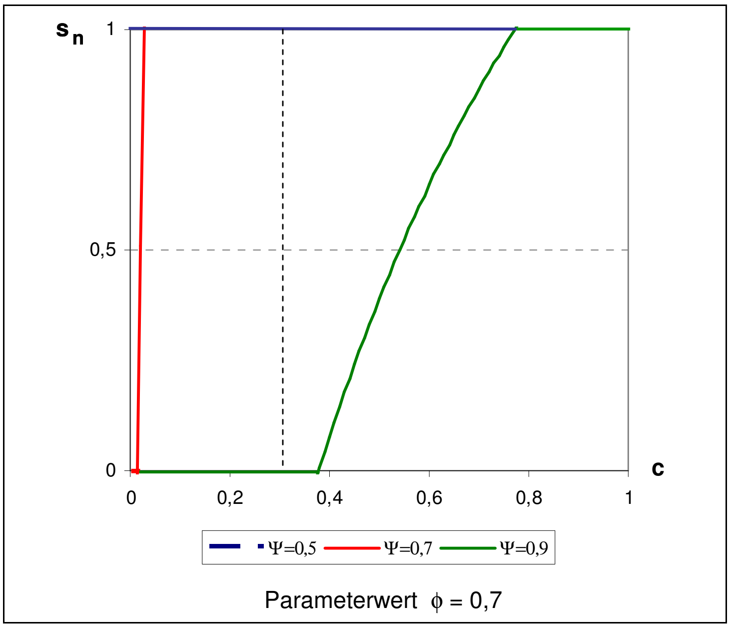

Abbildung 4: Aufbrechen eines Agglomerationsgleichgewichtes

Abbildung 4 veranschaulicht noch einmal die sich ergebenden Möglichkeiten, ein einmal (hier im Inland) existierendes Agglomerationsgleichgewicht durch unilateral striktere Umweltpolitik (hier des Auslandes) aufzubrechen und eine veränderte Ansiedlung der umwelttechnischen Industrie zu bewirken. Je schwächer die Wissensspillover sind, desto schwieriger wird dieses Unterfangen. Sind die Wissensspillover geringer als der Grad der Handelsfreiheit, so ist der Fixkostenvorteil der heimischen umwelttechnische Industrie derart groß, dass es keine Möglichkeit für das Ausland gibt, durch unilateral striktere Umweltpolitik das Agglomerationsgleichgewicht aufzubrechen.

5) <u>Fazit:</u>

Im vorliegenden Beitrag wurde aufgezeigt, dass durchaus Situationen denkbar sind, bei denen eine frühzeitige oder kurzzeitig striktere Umweltpolitik zu einer Konzentration der umwelttechnischen Industrie im Inland führen kann. Zudem wurde gezeigt, dass für bestimmte Parameterkonstellationen die ausländische Regierung keine Möglichkeit hat, durch striktere Umweltpolitik die einmal entwickelte Konzentration der umwelttechnischen Industrie in einem Land umzukehren.

Dasjenige Land, in dem sich die umwelttechnische Industrie konzentriert, weist zudem eine größere nationale Wohlfahrt auf, als das Land ohne umwelttechnische Industrie. Ursächlich hierfür ist, dass aufgrund der Existenz von Handels- und Transportkosten für umwelttechnische Güter der Preisindex für diese Güter im Land mit der Agglomeration dieser Industrie niedriger liegt als im anderen Land. Mit dem niedrigeren Preisindex gehen niedrigere Schadstoffvermeidungskosten einher. Festzuhalten bleibt, dass in dieser Untersuchung Wohlfahrtseffekte aufgrund der Schaffung zusätzlicher Arbeitsplätze in Ländern mit Arbeitslosigkeit nicht berücksichtigt sind. Insofern wird ein Hauptargument der Befürworter unilateral strikter Umweltpolitik hier nicht untersucht.

Die Ergebnisse wurden zudem in einem vergleichsweise spezifischen Modellrahmen erzielt, so dass die Tragweite der Ergebnisse eingeschränkt zu sehen ist. So bringt die Nichthandelbarkeit des Endproduktes zwangsläufig mit sich, dass negative Auswirkungen auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit dieser Industrie, resultierend aus unilateralen umweltpolitischen Maßnahmen, nicht in die Betrachtung einflossen. Ebenso wurde frühzeitiges Reagieren des Auslandes in der Betrachtung ausgeblendet. Daneben wurde ein rein nationales Umweltgut betrachtet, grenzüberschreitende Umweltverschmutzung wurde nicht berücksichtigt. Das Modell wird in einer späteren Fassung um diese Aspekte zu ergänzen sein.

Dies bedeutet in Summe, dass sich aus den Ergebnissen der Untersuchung nicht direkt Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger ableiten lassen. Vielmehr wurde der hier unterbreitete Untersuchungsrahmen vor dem Hintergrund ausgewählt, einzelne Wirkungskanäle einer unilateral strikteren Umweltpolitik deutlicher, als dies mit alternativen Modellen möglich ist, herauszuarbeiten.

Literatur:

Albrecht, J. (1998): „Environmental Policy and the Inward Investment Position of US ‚Dirty‘ Industries“, in: Intereconomics, July/August 1998, S. 186 – 194.

Baldwin, R. (1999): "Agglomeration and Endogenous Capital", in: European Economic Review, Vol. 43, S. 253-280.

Baldwin, R. / Forslid, R. (2000): "Trade Liberalisation and Endogenous Growth – A q-Theory Approach", in: Journal of International Economics, Vol. 50, S. 497 – 517.

Baldwin, R. / Forslid,R. / Martin, R. / Ottaviano, G. / Robert-Nicoud, F. (2003): "Economic Geography and Public Policy", Princeton.

Barker, T. (1999): „Limits of the Tax Approach for Mitigating Global Warming“, in: Hacker, J. / Pelchen, A.: Goals and Economic Instruments for the Achievement of Global Warming Mitigation in Europe, Dordrecht.

Dixit, A. / Stiglitz, J. (1977): „Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity“, in: American Economic Review, Vol. 67, S. 297 – 308.

Ederington, J. / Levinson, A. / Minier, J. (2003): „Footloose and Pollution-Free“, Working Paper.

Ekins, P. / Speck, S. (1998): „The Impacts of Environmental Policy on Competitiveness: Theory and Evidence“, in: Barker, T. / Köhler, J. (Hrsg.): International Competitiveness and Environmental Policies, Cheltenham.

Forslid, R. / Ottaviano, G. (2001): „Trade and Location: Two Analytically Solvable Cases“, mimeo.

Forslid, R. / Midelfart Knarvik, K. H. (2001): "Internationalisation, Industrial Policy and Clusters", Working Paper.

Fujita, M. Krugman, P. Venables, A.	(1999):	„The Spatial Economy“, Cambridge (Mass.).
Keller, W.	(2001):	„Geographic Localization of International Technology Diffusion“, Working Paper university of Texas, erscheint in: American Economic Review.
Krugman, P.	(1991):	„Geography and Trade”, Cambridge (Mass.).
Porter, M. / v.d. Linde, C.	(1995):	„Toward a New Concept of the Environment-Competitiveness Relationship“, in: Journal of Economic Perspectives, 9 (4), S. 97-118.
Rauch, J.	(1999):	„Networks versus Markets in International Trade“, Journal of International Economics, 48 (1), S. 7 – 35.
Romstad, E.	(1998):	„Environmental Regulation and Competitiveness“, in: Barker, T. / Köhler, J. (Hrsg.): International Competitiveness and Environmental Policies, Cheltenham.
Venables, A.	(1996):	“Equilibrium Locations of Vertically Linked Industries”, International Economic Review, 37 (2), S. .

Anhang A: Herleitung des Preisindexes

Der Preisindex für das von der Endproduktindustrie konsumierte Bündel an Vorprodukten stellt die Minimalkostenkombination für den Kauf dieses Güterbündels dar. Entsprechend wird er durch Ausgabenminimierung der Endproduktindustrie für das gewählte Güterbündel ermittelt. Die Teilproduktionsfunktion für Vorprodukte im Einsatz bei der Endproduktherstellung stellt sich gemäß Gleichung (12) wie folgt dar:

(A.1) $$X = \left[\int_{i=0}^{n+n^*} (x_i)^{(1-1/\sigma)} di \right]^{\frac{1}{(1-1/\sigma)}}$$

mit n^* = Anzahl (Masse) der im Ausland ansässigen Vorprodukthersteller

n = Anzahl (Masse) der im Inland ansässigen Vorprodukthersteller

x_i = Menge, die von einer bestimmten Variante i nachgefragt wird.

σ = konstante Substitutionselastizität zwischen den n+n* Varieties

Aufgrund der Intervalladditivität des bestimmten Integrales lässt sie sich auch darstellen als:

(A.2) $$X = \left[\int_{i=0}^{n} (x_i)^{(1-1/\sigma)} di + \int_{j=0}^{n^*} (x_j)^{(1-1/\sigma)} dj \right]^{\frac{1}{(1-1/\sigma)}}$$ bzw.

(A.3) $$\Leftrightarrow X^{(1-1/\sigma)} = \left[\int_{i=0}^{n} (x_i)^{(1-1/\sigma)} di + \int_{j=0}^{n^*} (x_j)^{(1-1/\sigma)} dj \right]$$

Die Kostengleichung K_X muss neben den jeweiligen Produktpreisen für ein einzelnes Vorprodukt auch die Transport- und Transaktionskosten τ berücksichtigen, die beim Einsatz eines ausländischen Vorproduktes in der heimischen Endproduktindustrie entstehen. Sie lautet entsprechend:

(A.4) $$K_X = \int_{i=0}^{n} p_i \cdot x_{ii} \; di + \int_{j=n}^{n^*} \tau \cdot p^*{}_j \cdot x_{ji} \; dj$$

Das Endproduktunternehmen optimiert seine Bezugskosten über x_i, x_j unter Berücksichtigung seiner eigenen Produktionsbedingungen. Damit ergibt sich folgender Lagrange-Ansatz:

(A.5) $$L = \int_{i=0}^{n} p_i \cdot x_i \; di + \int_{j=n}^{n^*} \tau \cdot p_j^* \cdot x_j \; dj - \lambda \cdot \left[\int_{i=0}^{n} (x_i)^{(1-1/\sigma)} di + \int_{j=0}^{n^*} (x_j)^{(1-1/\sigma)} dj - X^{1-1/\sigma} \right]$$

Die Bedingungen erster Ordnung lauten:

(A.6) $$\frac{\partial L}{\partial x_i} = -p_i \cdot x_i - \lambda \cdot x_i^{1-1/\sigma} \overset{!}{=} 0 \quad \text{bzw.} \quad x_i = p_i^{-\sigma} \cdot \lambda^{\sigma}$$

(A.7) $\frac{\partial L}{\partial x_j} = -\tau p_j \cdot x_j - \lambda \cdot x_j^{1-1/\sigma} \stackrel{!}{=} 0$ bzw. $x_j = (\tau \cdot p_j)^{-\sigma} \cdot \lambda^{\sigma}$

(A.8) $\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \int_{i=0}^{n} (x_i)^{(1-1/\sigma)} di + \int_{j=0}^{n^*} (x_j)^{(1-1/\sigma)} dj - X^{1-1/\sigma} \stackrel{!}{=} 0$

Einsetzen von (A.6) und (A.7) in (A.8) ergibt:

(A.9) $X^{1-1/\sigma} = \int_{i=0}^{n} (p_i^{-\sigma} \cdot \lambda^{\sigma})^{(1-1/\sigma)} di + \int_{j=0}^{n^*} \left[(\tau \cdot p_j)^{(-\sigma)} \cdot \lambda^{\sigma}\right]^{1-1/\sigma} dj$ bzw. nach λ aufgelöst

(A.10) $\lambda = X^{1/\sigma} \left[\int_{i=0}^{n} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j=0}^{n^*} (\tau \cdot p_j)^{1-\sigma} dj\right]^{1/(1-\sigma)}$

Einsetzen von λ in die Bedingung erster Ordnung ergibt die Nachfrage nach dem jeweiligen Produkt im Optimum:

(A.11) $x_i = p_i^{-\sigma} \cdot X \left[\int_{i=0}^{n} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j=0}^{n^*} (\tau \cdot p_j)^{1-\sigma} dj\right]^{\sigma/(1-\sigma)}$

(A.12) $x_j = (\tau \cdot p_j)^{-\sigma} \cdot X \left[\int_{i=0}^{n} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j=0}^{n^*} (\tau \cdot p_j)^{1-\sigma} dj\right]^{\sigma/(1-\sigma)}$

Einsetzen in die Kostengleichung K_X ergibt die Minimalkostenkombination für das Produktbündel X:

(A.13)

$$K_X = \int_{i=0}^{n} p_i \cdot p_i^{-\sigma} \cdot X \left[\int_{i=0}^{n} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j=0}^{n^*} (\tau \cdot p_j)^{1-\sigma} dj\right]^{\sigma/(1-\sigma)} \mathrm{di} + \int_{j=0}^{n^*} (\tau \cdot \mathrm{p_j}) \cdot (\tau \cdot p_j)^{-\sigma} \cdot X \left[\int_{i=0}^{n} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j=0}^{n^*} (\tau \cdot p_j)^{1-\sigma} dj\right]^{\sigma/(1-\sigma)} \mathrm{dj}$$

Unter Ausnutzung der Intervalladditivität lässt sich die Kostengleichung auch zusammenfassen zu:

(A.14) $K_X = X \cdot \underbrace{\left[\int_{i=0}^{n} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j=0}^{n^*} (\tau \cdot p_j)^{1-\sigma} dj\right]^{1/(1-\sigma)}}_{P_X}$

X stellt das optimale Vorproduktbündel dar. P_X ist der Preisindex für das Vorproduktbündel *X* in der Minimalkostenkombination, d.h. P_X gibt die Minimalkosten für den Kauf einer Einheit aus dem Vorproduktbündel wider. Er kann damit als Ausgabenfunktion für den Kauf einer Einheit des Vorproduktes betrachtet werden.

Anhang B: Gewinnmaximierung eines Vorproduktherstellers

Die Kostenfunktion eines Vorproduktherstellers lautet:

(B.1) $\chi_j = k + w \cdot \varepsilon \cdot x_j \qquad \text{mit} \quad k = \frac{w \cdot \gamma}{\xi \cdot n_{t-1}^{\Delta}} \qquad \text{und} \quad \Delta = 1$,

wobei k die Fixkosten beziffert, γ den Normalisierungsparameter für den Fixkosteneinsatz markiert, ξ einen Niveauparameter für den Lerneffekt und Δ die Lernelastizität sowie ε den Inputkoeffizienten für Arbeit in die variablen Kosten darstellen. Es wird vereinfachend unterstellt, dass die Lernelastizität gleich eins ist. Der Lohnsatz w entspricht ebenfalls eins. Als Gewinnfunktion ergibt sich:

(B.2) $\pi = p_j \cdot x_j - \left[\frac{w \cdot \gamma}{\xi \cdot n_{t-1}} + w \cdot \varepsilon \cdot x_j \right] \quad \text{mit} \quad x_j = \frac{p_j^{-\sigma}}{P_X^{1-\sigma}} \cdot \underbrace{\delta R(\delta R + 1 - \delta)^{-1}}_{a} \cdot (p_M \cdot M)$

Die Gewinnmaximierung ergibt:

$$\frac{\partial \pi}{\partial p_j} = (1-\sigma) \cdot a \cdot (p_M \cdot M) \cdot P_X^{-(1-\sigma)} \cdot p_j^{-\sigma} + \sigma \cdot \varepsilon \cdot a \cdot (p_M \cdot M) \cdot P_X^{-(1-\sigma)} \cdot p_j^{-\sigma-1} \overset{!}{=} 0$$

(B.3) $\Leftrightarrow \quad (1-\sigma) \cdot p_j^{-\sigma} = -\sigma \cdot \varepsilon \cdot p_j^{-\sigma-1}$

$$\Leftrightarrow \quad p_j = \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right)^{-1} \cdot \varepsilon$$

Dies entspricht der Robinson-Amoroso-Relation.