

# Nachhaltige Entwicklung durch endogene Umweltwahrnehmung

*Ingrid Ott und Susanne Soretz\**

## *1. Einleitung*

Dieser Aufsatz untersucht den gleichgewichtigen Wachstumspfad einer Ökonomie, in der die Umweltqualität einerseits durch die Produktion verschlechtert und andererseits durch Umweltschutzaktivitäten verbessert wird. Wir gehen davon aus, dass die Individuen sich der Auswirkungen ihrer eigenen Entscheidungen auf das Umweltverschmutzungsniveau nur zum Teil bewusst sind. Dies führt dazu, dass das gleichgewichtige Niveau der Umweltverschmutzung ebenso wie die gleichgewichtige Wachstumsrate in der Ökonomie suboptimal hoch sind.

Wir vergleichen diese Ergebnisse mit einer Gesellschaft, in der die Entwicklung der Umweltwahrnehmung endogen erklärt ist und nehmen dafür an, dass das Wissen über die Zusammenhänge zwischen individuellen Entscheidungen und Umweltqualität mit dem Wohlstand einer Gesellschaft zunimmt. Einerseits kann dies durch steigende Ausgaben für Umweltbildung erklärt werden, andererseits aber auch dadurch, dass umweltbewusstes Verhalten eine Art Luxusgut darstellt. Erst mit hinreichend hohem Einkommen werden die Wirtschaftssubjekte weniger Trittbrettfahrerverhalten in Bezug auf die Umweltqualität zeigen, sondern sich stattdessen stärker moralisch verhalten. Unter dieser Annahme konvergiert die Ökonomie gegen den Pareto-optimalen Wachstumspfad. Sowohl Wachstumsrate als auch Verschmutzungsniveau sind im Anpassungsprozess suboptimal hoch, sinken aber monoton, bis die jeweiligen optimalen Werte erreicht werden.

Mit dieser Thematik gehen wir auf zwei Problemfelder ein, die Franz Haslinger intensiver bearbeitet hat: auf die Frage, inwiefern Entwicklungspfade als nachhaltig zu bezeichnen sind (siehe vor allem Haslinger 1997c) und auf

\* Wir bedanken uns bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Frühjahrstagung 2005 des Arbeitskreises politische Ökonomie und bei Annemarie Ott für wertvolle Anregungen.

die Frage nach der Moral in der Ökonomie (siehe dazu vor allem Haslinger 1997a,b). Im Rahmen der ersten Frage nach der Nachhaltigkeit von Entwicklungspfaden geht es einerseits um die Existenz nachhaltiger Wachstumspfade vor dem Hintergrund begrenzt vorhandener Umweltkapazitäten. Hier sind als prominente neuere Beispiele die Arbeiten von Smulders und Gradus (1996), Byrne (1997) oder auch Stokey (1998) zu nennen. Die Existenz eines nachhaltigen Wachstumspfad hängt dabei zentral von den Produktionsbedingungen ab. So zeigt Stokey (1998), dass kein nachhaltiger Wachstumspfad erreicht werden kann, wenn die Umweltverschmutzung ein notwendiges Nebenprodukt der Konsumgutproduktion ist. Gradus/Smulders (1993) hingegen weisen nach, dass der optimale Wachstumspfad sogar unabhängig von dem Vorliegen beschränkter Ressourcen sein kann, falls ein Wachstumssektor existiert, in dem ohne den Einsatz von Ressourcen bzw. verschmutzungsfrei akkumuliert werden kann, wie beispielsweise der Humankapitalsektor in einem Wachstumsmodell nach Lucas (1988).

Andererseits geht es im Rahmen der Nachhaltigkeit von Entwicklungspfaden zentral um die Erreichbarkeit des optimalen Wachstumspfad im dynamischen Gleichgewicht durch geeignete wirtschaftspolitische Maßnahmen, da das Gleichgewicht wegen externer Effekte in der Regel vom Optimum abweicht. Hier sind beispielsweise die Beiträge von Gradus/Smulders (1993), sowie für die Analyse von Zertifikatlösungen im dynamischen Kontext Stokey (1998), Grimaud (1999) oder auch Ono (2002) zu nennen. Im Rahmen dieser Fragestellung untersuchen wir im Folgenden, inwiefern das dynamische Gleichgewicht von dem Pareto-optimalen Wachstumspfad abweicht, wenn das Ausmaß der externen Effekte, die von der Umweltverschmutzung ausgehen, endogen determiniert ist. Mit dieser Frage greifen wir Franz Haslingers Überlegungen zur Rolle der Moral in der Ökonomie (Haslinger, 1997b) auf, indem wir das Ausmaß, inwiefern das aggregierte Verschmutzungsniveau als „von den anderen verursacht“ aufgefasst und inwiefern somit Trittbrettfahrerverhalten hervorgerufen wird, in das Zentrum der Betrachtungen rücken und endogenisieren. Die Realisierung der Pareto-optimalen Umweltqualität wird in der Realität vor allem dadurch erschwert, dass asymmetrische Information über das Verhalten der einzelnen Wirtschaftssubjekte vorliegt. In diesem Zusammenhang betont Haslinger (2000, 581) „Da die Einhaltung der Regeln – selbst wenn sie vollständig spezifiziert wären – in diesen Fällen sich einer Kontrolle entzieht, ist schon aus diesem Grunde eine die Moral bezüglich der Regeln ergänzende Individualmoral erforderlich.“<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siehe für eine weitere Erläuterung der Argumentation auch Haslinger (1999).

Der sich anschließende Abschnitt 2 stellt die Modellannahmen detaillierter dar, um darauf aufbauend in Teil 3 das dynamische Gleichgewicht bei exogen gegebener und konstanter Umweltwahrnehmung zu analysieren. Es wird gezeigt, dass Wachstum und Verschmutzungsniveau aufgrund der Umweltexternalitäten suboptimal hoch sind. Abschnitt 4 geht einen Schritt weiter und endogenisiert die Umweltwahrnehmung auf der Basis des Wohlstands in der Ökonomie. Es zeigt sich, dass unter dieser Annahme die Ökonomie gegen den nachhaltigen Wachstumspfad konvergiert und insbesondere langfristig die gleichgewichtige Verschmutzungsintensität das Pareto-optimale Niveau erreicht. Der darauf folgende Abschnitt 5 schlägt eine alternative Erklärung für die Entwicklung der Umweltwahrnehmung vor: Hier wird angenommen, dass die Sensibilität für die Konsequenzen individueller Entscheidungen auf die Umweltqualität steigt, wenn das Verschmutzungsniveau zunimmt und so die ökologischen Folgen offensichtlich werden. In diesem Fall kann das optimistische Ergebnis des Abschnitts 4 nicht Aufrecht erhalten werden, die Ökonomie konvergiert nicht mehr gegen den nachhaltigen Pfad, sondern verharrt mit suboptimal hohem Wachstum und suboptimal geringer Umweltqualität. Abschnitt 6 fasst die Ausführungen zusammen.

## 2. Modellannahmen

Im Folgenden soll der Wachstumspfad einer Ökonomie betrachtet werden, wenn durch die Produktion des homogenen Konsumgutes Umweltverschmutzung entsteht und der individuelle Einfluss auf die Verschmutzung nur partiell wahrgenommen wird. In diesem Abschnitt werden zunächst die Auswirkungen der partiellen Wahrnehmung analysiert: da die Wirtschaftssubjekte die resultierende Umweltverschmutzung nur zum Teil auf ihre individuellen Entscheidungen zurückführen, entstehen externe Effekte in der Umweltverschmutzung, die zu einem suboptimal hohen gleichgewichtigen Verschmutzungsniveau sowie einer suboptimal hohen Wachstumsrate führen.

Die Umweltverschmutzung ist eine Konsequenz aus der Produktion des Konsumgutes und folgt der Funktion

$$P(t) = \left(\frac{K}{E}\right)^\delta \left(\frac{k}{e}\right)^{1-\delta}, \quad 0 \leq \delta < 1 \quad (1)$$

wobei  $K$  den aggregierten Kapitalbestand,  $E$  die aggregierten Umweltschutzausgaben und  $k$  bzw.  $e$  die entsprechenden Pro-Kopf-Größen (bzw. die indivi-

duellen Größen) bezeichnen. Mit zunehmendem Kapitalbestand<sup>2</sup> steigt somit die Umweltverschmutzung, während sie durch zunehmende Umweltschutzausgaben reduziert wird. Diese Darstellung geht unter anderem auf die Analyse von Smulders und Gradus (1996) zurück, die im Rahmen eines allgemeineren Ansatzes zeigen, dass ein nachhaltiger Wachstumspfad (mit konstantem Verschmutzungsniveau) nur zu erreichen ist, wenn die Elastizität der Verschmutzung in Bezug auf das Kapital höchstens so groß ist wie die Elastizität der Verschmutzung in Bezug auf die Umweltschutzausgaben. Diesem Ergebnis wird hier Rechnung getragen, indem beide Elastizitäten gleich groß und (ohne Verlust an Allgemeinheit) gleich eins gesetzt werden.

Die Wahrnehmung des individuellen Einflusses auf die Umweltqualität ist durch den Parameter  $\delta$  dargestellt und kennzeichnet das Ausmaß der Umweltverschmutzung, das die Individuen als unabhängig von ihren eigenen Entscheidungen betrachten. Gilt  $\delta = 0$ , dann begreifen die Wirtschaftssubjekte die Verschmutzung als durch sie selbst verursacht und beziehen die negativen Konsequenzen der Umweltverschmutzung vollständig in ihr Kalkül ein. Ist hingegen  $\delta$  nahe bei eins, dann scheint die Umweltverschmutzung fast ausschließlich durch die anderen Wirtschaftssubjekte verursacht zu sein, und die eigenen Einflussmöglichkeiten scheinen verschwindend gering. Somit entsteht eine Umweltexternalität, sobald  $\delta$  positiv ist, da dann die Auswirkung der individuellen Entscheidungen (über die aggregierten Größen) auf die Umweltverschmutzung unterschätzt werden. Ähnlich argumentiert auch Eriksson (2004), dass eine individuelle Präferenz für umweltfreundliche Güter zu einer teilweisen Internalisierung von Externalitäten führen kann.

Alternativ kann  $1 - \delta$  auch als Rivalitätsgrad der Umweltverschmutzung interpretiert werden, analog zur Darstellung von Überfüllungseffekten staatlich bereitgestellter Güter (siehe z.B. Edwards 1990, Glomm/Ravikumar 1994 und Turnovsky 2000, Kap. 13). Der Extremfall  $\delta = 0$  beschreibt dann den Fall der proportionalen Rivalität, in dem die Individuen ausschließlich unter der durch sie selbst verursachten Verschmutzung leiden. Als Beispiel für diesen Fall wäre die Müllansammlung im eigenen Garten zu nennen. Der andere Extremfall  $\delta = 1$  beschreibt das Fehlen von Rivalität, wie im Beispiel der Luftverschmutzung. In diesem Fall leiden alle Individuen unter der aggregierten Verschmutzung der gemeinsamen Atemluft.

<sup>2</sup> Aufgrund der im Folgenden unterstellten linearen Produktionstechnologie gemäß (4) ist die Abhängigkeit der Verschmutzung vom Kapitalbestand äquivalent zu einer durch die Produktionshöhe verursachten Verschmutzung.

Viele Umweltgüter weisen jedoch partielle Rivalität auf, das heißt sie sind durch einen Rivalitätsgrad zwischen null und eins gekennzeichnet. Durch kontrolliert biologisch angebaute Lebensmittel beispielsweise sinkt einerseits die individuelle Schadstoffbelastung beim Verzehr, diesbezüglich herrscht Rivalität. Gleichzeitig sinkt aber auch die Schadstoffbelastung der Landschaft beim Anbau, in dieser Hinsicht liegt keine Rivalität vor. Als weiteres Beispiel kann die Ausbringung von Pestiziden selbst angeführt werden. Ein Teil der Pestizide verbleibt in den Pflanzen, die auf dem Grundstück wachsen, ein anderer Teil wird ins Grundwasser ausgeschwemmt. Auch hier ist somit der Rivalitätsgrad in der durch die Pestizide verursachten Umweltverschmutzung positiv aber kleiner als eins.

Die Umweltverschmutzung zeigt Auswirkungen für die individuellen Entscheidungen, da sie Disnutzen verursacht. Der Einfachheit halber soll im Folgenden von einem Kontinuum unendlich lang lebender, homogener Individuen ausgegangen werden, die ihren intertemporalen Nutzen maximieren. Die intertemporale Nutzenfunktion kann jedoch auch im Zusammenhang eines Modells überlappender Generationen interpretiert werden, in dem die jeweiligen Eltern Altruismus gegenüber ihren Kindern aufweisen. Die Annahme von Altruismus ist im Zusammenhang mit der Entwicklung der Umweltqualität besonders plausibel, da häufig die Bedeutung der Umweltqualität für die Individuen erst durch ihre Nachkommen virulent wird. Viele Wirtschaftssubjekte interessieren sich für die Entwicklung der Umweltqualität primär aufgrund der erwarteten Konsequenzen für ihre Kinder. So resultiert beispielsweise die negative Bewertung einer Abnahme der Wasserqualität weniger daraus, dass die Individuen selbst auf den Genuss des Bades verzichten müssen, als vielmehr daraus, dass ihre Kinder nicht mehr in den Flüssen schwimmen können.

Der intertemporale Nutzen sei additiv separabel in der Zeit und durch

$$U = \int_0^{\infty} \exp(-\rho t) u(c, P) dt \quad (2)$$

mit positiver Zeitpräferenzrate  $\rho$  beschrieben. Insbesondere im Zusammenhang mit Fragen der Nachhaltigkeit ist die Wahl einer positiven Zeitpräferenzrate intensiv kritisiert worden, prominent bereits 1928 durch Ramsey mit der Aussage, die Diskontierung zukünftigen Nutzens sei „... a practise which is ethically indefensible and arises merely from the weakness of the imagination.“ (vgl. Ramsey 1928, 543). Hier wird jedoch mit einer positiven Zeitpräferenzrate gearbeitet, da die reale Entwicklung einer Ökonomie beschrieben werden soll, nicht ein sozial wünschenswerter Zeitpfad. Empirisch ist die positive Diskontierung

unter anderem dadurch belegt, dass die reale Kapitalertragsrate in der Regel die Wachstumsrate einer Ökonomie deutlich übersteigt.

Die intratemporale Nutzenfunktion  $u(c, P)$  ist durch eine konstante intertemporale Substitutionselastizität  $\varepsilon$  gekennzeichnet, sowie durch eine intratemporale Substitutionselastizität zwischen Konsum und Verschmutzung von eins. Beide Eigenschaften sind zwingende Voraussetzung für die Existenz eines nachhaltigen Wachstumspfad mit konstantem Verschmutzungsniveau (vgl. Smulders und Gradus 1996) und sie resultieren in der folgenden Gestalt für die intratemporale Nutzenfunktion

$$u(c, P) = \frac{(cP^{-\gamma})^{1-1/\varepsilon}}{1-1/\varepsilon}, \quad 0 < \varepsilon < 1, \quad \gamma > 0. \quad (3)$$

Die zusätzliche Annahme, dass die intertemporale Substitutionselastizität kleiner ist als eins, resultiert aus empirischen Studien, die diesbezüglich einheitliche Ergebnisse erzielen (siehe z.B. Hall 1988; Epstein/Zin 1991). Der Parameter  $\gamma$  kennzeichnet die relative Bedeutung des Disnutzens aus Umweltverschmutzung.

Die Produktion des homogenen Konsumgutes erfolgt durch den Einsatz von Kapital vermöge der linearen Produktionsfunktion

$$f = Ak, \quad A > 0. \quad (4)$$

Aufgrund der Abstraktion von dem Produktionsfaktor Arbeit ist der Faktor Kapital breit zu interpretieren und schließt insbesondere Humankapital mit ein. Bewusst wurde auf Externalitäten innerhalb der Konsumgutproduktion verzichtet und die Produktionsstruktur möglichst schlicht gewählt, um die Konzentration auf die Auswirkungen der Umweltexternalität zu ermöglichen.

### 3. Die Umweltverschmutzung im Wachstumsgleichgewicht

In diesem Abschnitt werden einerseits die Auswirkung der Umweltverschmutzung auf das Wachstumsgleichgewicht und andererseits die Konsequenzen einer partiellen Wahrnehmung des individuellen Einflusses auf die Umweltqualität untersucht. Die Wachstumsrate ist eindeutig kleiner als in einer vergleichbaren Ökonomie, in der verschmutzungsfrei produziert werden könnte.<sup>3</sup> Darüber

<sup>3</sup> Dieses Resultat ist eng mit der Annahme nur eines Sektors in der Volkswirtschaft verbunden. Gäbe es beispielsweise zusätzlich einen Humankapitalsektor, in dem verschmutzungsfrei akkumuliert werden könnte, dann hätte die Verschmutzung weder Einfluss auf

hinaus wird gezeigt, dass das gleichgewichtige Verschmutzungsniveau sowie die gleichgewichtige Wachstumsrate um so höher sind, je geringer das Ausmaß der Umweltverschmutzung ist, das von den Individuen auf ihre eigenen Entscheidungen zurückgeführt wird.

Zur Ermittlung des Wachstumsgleichgewichts muss zunächst die intertemporal optimale Entscheidung der Wirtschaftssubjekte ermittelt werden. Das Optimierungsproblem besteht darin, den intertemporalen Nutzen bei gegebener Kapitalbewegung zu maximieren

$$\max_{c, e, k} U = \int_0^{\infty} \exp(-\rho t) u(c, P) dt \quad (5)$$

u. N.  $\dot{k} = Ak - c - e,$

so dass die Hamiltonfunktion

$$\mathcal{H} = \exp(-\rho t) u(c, P) + \lambda(Ak - c - e) \quad (6)$$

resultiert. Die optimale Wahl des Konsums, der Umweltschutzausgaben und des Kapitalstocks führt zu den notwendigen Bedingungen

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial c} = \exp(-\rho t) u_c - \lambda \stackrel{!}{=} 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial e} = -\exp(-\rho t) u_P (1 - \delta) \frac{P}{e} - \lambda \stackrel{!}{=} 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial k} = \exp(-\rho t) u_P (1 - \delta) \frac{P}{k} + \lambda A \stackrel{!}{=} -\dot{\lambda}. \quad (9)$$

Gleichsetzen von (7) und (8) ergibt die (individuell) optimale Abstimmung von Konsum und Umweltschutzausgaben

$$\frac{e}{c} = \gamma(1 - \delta) \quad (10)$$

und determiniert damit die intratemporale Entscheidung. Das Verhältnis zwischen Umweltschutzausgaben  $e$  und Konsumausgaben  $c$  wird durch die Bedeutung der Umweltpräferenzen  $\gamma$  sowie die individuelle Wahrnehmung  $\delta$  bestimmt. Je größer der wahrgenommene Disnutzen aus Umweltverschmutzung, um so größer sind auch die relativen Ausgaben für Umweltschutz. Hier zeigt sich bereits die zentrale Bedeutung der individuellen Umweltwahrnehmung: Je

die optimale noch auf die gleichgewichtige Wachstumsrate, vgl. hierzu Gradus/Smulders (1993).

größer die Anteil  $\delta$  der Umweltqualität, der auf des Verhalten des Aggregats zurückgeführt wird und somit individuell nicht beeinflussbar erscheint, um so geringer ist der wahrgenommene Nutzen der Umweltschutzausgaben und um so geringer ist somit auch der Anteil des Budgets, der für Umweltschutz verwendet wird.

Darüber hinaus zeichnet sich hier bereits eine zentrale Eigenschaft des gleichgewichtigen Wachstumspfad ab: Umweltschutzausgaben und Konsum wachsen mit gleicher und konstanter Wachstumsrate. Ursache dafür ist die intratemporale Substitutionselastizität zwischen Konsum und Umweltverschmutzung von eins.

Ermittelt man die Veränderung des Schattenpreises des Kapitals  $\dot{\lambda}$  aus Bedingung (7) und benutzt diese in Bedingung (9), so erhält man die Keynes-Ramsey-Bedingung

$$\hat{c} = \varepsilon(A - e/k - \rho - \gamma(1 - 1/\varepsilon)\hat{P}), \quad (11)$$

die die Wachstumsrate des Konsums beschreibt. Auf dem gleichgewichtigen Wachstumspfad ist die Ausgabenquote für Umweltschutz  $e/k$  und damit die Veränderungsrate der Umweltverschmutzung  $\hat{P}$  endogen bestimmt. Es lässt sich zeigen, dass im Gleichgewicht alle makroökonomischen Variablen mit der gleichen Rate wachsen, mithin sowohl  $e/k$  als auch das Verschmutzungsniveau  $P$  konstant sind. Die Wachstumsrate unterscheidet sich dann nur durch den Term  $-e/k$  von derjenigen Wachstumsrate einer Ökonomie, in der verschmutzungsfrei produziert werden kann und deren Wachstumsrate durch  $\hat{c} = \varepsilon(A - \rho)$  gegeben ist. Das gleichgewichtige Wachstum fällt bei Integration der Verschmutzung eindeutig geringer aus: Durch den Disnutzen aus Umweltverschmutzung, die an die Kapitalakkumulation gekoppelt ist, sinkt das effektive Grenzprodukt des Kapitals und damit auch die gleichgewichtige Wachstumsrate in der Ökonomie.

Der Wachstumsprozess kann endogen determiniert werden, indem die Bedingungen (10) und (11) mit der Wachstumsrate des Kapitals  $\hat{k} = A - c/k - e/k$  kombiniert werden. Gleichsetzen der Wachstumsraten von Konsum und Kapital liefert dann die Konsumquote

$$\frac{c}{k} = \frac{\varepsilon\rho + (1 - \varepsilon)A}{1 + (1 - \varepsilon)\gamma(1 - \delta)} \quad (12)$$

und damit die explizite Lösung für die gleichgewichtige Konsumwachstumsrate

$$\hat{c} = \frac{\varepsilon}{1 + (1 - \varepsilon)\gamma(1 - \delta)}(A - (1 + \gamma(1 - \delta)\rho)). \quad (13)$$

Je stärker die Umweltpräferenzen ausgeprägt sind (höheres  $\gamma$ ), um so geringer ist die gleichgewichtige Wachstumsrate. Durch den stärkeren Disnutzen aus Umweltverschmutzung sinkt die effektive Kapitalproduktivität, so dass auch die gleichgewichtige Kapitalakkumulation zurückgeht. Dieser Effekt wird außerdem größer, wenn der Wahrnehmungsparameter  $\delta$  sinkt, das heißt ein größerer Teil der Verschmutzung auf eigene Entscheidungen zurückgeführt wird. Relevant für die Akkumulationsentscheidung ist ausschließlich die wahrgenommene Verschmutzung, die sich in  $\gamma(1 - \delta)$  zusammenfassen lässt. Die unvollständige Wahrnehmung der Auswirkungen individueller Entscheidungen auf das Verschmutzungsniveau ( $\delta > 0$ ) führt dazu, dass die Produktivität des Kapitals überschätzt wird. Der negative Effekt der Kapitalakkumulation über die Verschmutzung auf den intertemporalen Nutzen wird nicht in seiner ganzen Stärke erfasst, so dass die zu hoch wahrgenommene Kapitalproduktivität zu einer suboptimal hohen Wachstumsrate führt. Bei vollständigem Wissen über die Zusammenhänge zwischen aggregierten und individuellen Größen in der Entstehung der Verschmutzung ( $K/E = k/e$  und somit  $P = k/e$ ) würde das optimale Konsumwachstum  $\hat{c} = \varepsilon(A - (1 + \gamma)\rho)/(1 + (1 - \varepsilon)\gamma)$  resultieren, das geringer wäre als das gleichgewichtige Wachstum (11). Diesbezüglich lassen sich die erwarteten Ergebnisse bestätigen: der negative externe Effekt, der von der Kapitalakkumulation ausgeht, führt zu suboptimal hoher Kapitalakkumulation.

Die Auswirkung der wahrgenommenen Umweltverschmutzung auf das gleichgewichtige Verhältnis zwischen Umweltschutzausgaben und Kapitalstock

$$\frac{e}{k} = \gamma(1 - \delta) \frac{\varepsilon\rho + (1 - \varepsilon)A}{1 + (1 - \varepsilon)\gamma(1 - \delta)} \quad (14)$$

ist mehrschichtig: es gibt einen positiven Substitutions- und einen negativen Einkommenseffekt. Steigt die wahrgenommene Umweltverschmutzung, so wird einerseits weniger konsumiert bzw. Kapital akkumuliert und stattdessen mehr Umweltschutz betrieben. Dies ist der Substitutionseffekt, der die Umweltschutzausgaben erhöht. Andererseits besteht eine Tendenz dazu, die Umweltschutzausgaben zu senken, um mehr Kapital akkumulieren zu können (negativer Einkommenseffekt). Der größere Kapitalstock ermöglicht in zukünftigen Zeitpunkten ein höheres Produktionsniveau und erleichtert dadurch zukünftige Umweltschutzaufwendungen. Es lässt sich jedoch zeigen, dass der Gesamteffekt der wahrgenommenen Umweltverschmutzung auf die Umweltschutzausgaben immer positiv ist

$$\frac{\partial e/k}{\partial \gamma(1-\delta)} = \underbrace{\frac{e/k}{\gamma(1-\delta)}}_{SE} - \underbrace{\frac{\gamma(1-\delta)(1-\varepsilon)e/k}{1+(1-\varepsilon)\gamma(1-\delta)}}_{EE}$$

$$= \frac{\varepsilon\rho + (1-\varepsilon)A}{(1+(1-\varepsilon)\gamma(1-\delta))^2} > 0 \quad (15)$$

und damit der Substitutionseffekt immer überwiegt. Steigt die Präferenz für Umweltqualität oder der Anteil der auf individuelle Entscheidungen zurückgeführten Umweltverschmutzung, so nehmen die gleichgewichtigen Umweltschutzausgaben zu.

Vergleicht man andererseits den gleichgewichtigen mit dem optimalen Wachstumspfad, so führt die partielle Wahrnehmung des individuellen Einflusses auf die Verschmutzung stets zu einer suboptimal geringen gleichgewichtigen Umweltqualität. Dieses Ergebnis könnte nun dazu führen, die mit der Umweltverschmutzung verbundenen Externalitäten durch ein geeignetes Steuer-Transfer-System zu internalisieren. In dem hier vorgestellten Modell könnte man dies durch eine Verschmutzungssteuer oder auch eine Kapitalertragsteuer in Verbindung mit einer Umweltschutzsubvention erreichen. Andererseits entsteht unmittelbar die Frage, durch welche Umstände die partielle individuelle Wahrnehmung determiniert wird. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass dieser Parameter über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg konstant bleibt. Hingegen erscheint es eher realistisch, von einer im Zuge des Wachstumsprozesses größer werdenden Sensibilität für die Auswirkungen individueller Entscheidungen auf die Umweltverschmutzung auszugehen.

Ein Grund hierfür könnte ein Zugewinn an Wissen über die Zusammenhänge sein, beispielsweise durch mehr Umweltbildung, wie von Eriksson (2004) vorgeschlagen, aber auch eine größere Bereitschaft zu moralischem Verhalten, das dem Trittbrettfahrerverhalten entgegenwirkt. Wie Haslinger (1997b) ausführt, ist bei asymmetrischer Information die individuelle Moral entscheidend für das Marktergebnis: „In Gesellschaften, in denen *individuelle Moral*tugenden, wie z.B. Verantwortlichkeit und Fairness im Umgang mit anderen, einen hohen Stellenwert besitzen und effektiv gelebt werden, wird dieses Vertrauen nachträglich bestätigt und die Richtigkeit der getroffenen Entscheidungen gerechtfertigt. Diese Erfahrung trägt im Allgemeinen auch dazu bei, sich selbst „moralisch korrekt“ zu verhalten und stabilisiert damit die Effektivität der Moralnormen“ (Haslinger 1997b, 160, Hervorhebung im Original). Ein anderer möglicher Grund könnte darin liegen, dass die Umweltqualität Aspekte eines Luxusgutes aufweist: erst wenn die Gesellschaft über ein hinreichend hohes

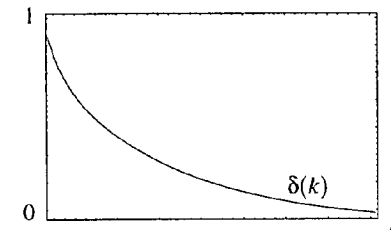
Einkommen verfügt, kann sie sich Problemen wie der Umweltverschmutzung zuwenden und diese stärker einbeziehen.

Im folgenden Abschnitt wird analysiert, welche Konsequenzen auf den gesamtwirtschaftlichen Wachstumsprozess sowie die Entwicklung des Verschmutzungsniveaus von einer endogenen Umweltwahrnehmung ausgehen. Dafür werden wir zunächst den Fall analysieren, in dem die Umweltwahrnehmung durch zunehmenden Wohlstand der Ökonomie besser wird, und anschließend den Fall gegenüberstellen, in dem ein höheres Verschmutzungsniveau selbst die Ursache für die steigende Sensibilität gegenüber den Umweltfolgen eigener Aktivitäten ist.

#### 4. Endogene Umweltwahrnehmung

Die Wahrnehmung des individuellen Einflusses auf die Umweltverschmutzung wird im Folgenden über die Entwicklung der Ökonomie erklärt: Wir nehmen an, dass der Anteil der Umweltverschmutzung, den die Wirtschaftssubjekte auf ihre eigenen Entscheidungen zurückführen, das heißt mit ihren individuellen Aktionen in Verbindung bringen, mit zunehmendem Vermögen steigt. Bei geringem Entwicklungsstand der Ökonomie wird somit der Wahrnehmungsparameter  $\delta(k)$  hoch sein und im Zuge des Wachstumsprozesses dann sinken. Über die Wahrnehmungsfunktion  $\delta(k)$  wird angenommen, dass  $\delta' < 0$  und  $\delta'' > 0$ , mit  $\delta(k_0) < 1$  und  $\lim_{k \rightarrow \infty} \delta = 0$ . Diese Annahmen sind in Abbildung 1 zusammengefasst.

Abbildung 1: Entwicklung der Umweltwahrnehmung.



Die Endogenisierung der Umweltwahrnehmung wirkt sich weder auf die Wahl des Konsums noch der Umweltschutzausgaben aus, so dass die notwendigen Bedingungen (7) und (8) sowie die Bedingung für die (individuell) opti-

male Abstimmung von Konsum und Umweltschutz (10) erhalten bleiben. Die Wahl bezüglich der Kapitalakkumulation verändert sich jedoch und lautet nun

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial k} = -\exp(-\rho t)(1 - 1/\varepsilon)\gamma_k'' \left(1 - \delta \left(1 - \xi \ln \frac{\delta}{1 - \delta}\right)\right) + \lambda A \stackrel{!}{=} -\dot{\lambda}, \quad (16)$$

wobei  $\xi = \delta'k/\delta < 0$  die Elastizität der Umweltwahrnehmung in Bezug auf den Kapitalstock angibt und konstant angenommen wird. Zusammen mit den Entscheidungen über Konsum (7) und Umweltschutzausgaben (10) ergibt sich dann die Wachstumsrate des Konsums

$$\hat{c} = \varepsilon \left( A - \gamma \left(1 - \delta \left(1 - \xi \ln \frac{\delta}{1 - \delta}\right)\right) \frac{c}{k} - \rho - \gamma(1 - \varepsilon)\hat{P} \right). \quad (17)$$

Die direkte Grenzproduktivität des Kapitals  $A$  wird erneut reduziert um die indirekten Kosten des Kapitaleinsatzes  $\gamma(1 - \delta(1 - \xi \ln \frac{\delta}{1 - \delta}))c/k$ , die den Disnutzen aus Umweltverschmutzung widerspiegeln. In diesen Kosten ist nun auch die Änderung der Umweltwahrnehmung als zusätzlicher Term enthalten, der unmittelbar zeigt, dass sich das Konsumwachstum an die Veränderungen in der Umweltwahrnehmung anpasst.

Wenn die Voraussetzungen für dauerhaft positives Kapitalwachstum gegeben sind, wird der Wahrnehmungsparameter gegen null konvergieren  $\lim_{t \rightarrow \infty} \delta = 0$ , das heißt, letztendlich werden alle Individuen die Auswirkungen ihrer Entscheidungen auf die Umweltqualität vollständig in ihr Kalkül einbeziehen. Damit konvergieren die gleichgewichtige Konsumquote, die gleichgewichtige Verschmutzung sowie die gleichgewichtige Wachstumsrate gegen die jeweiligen optimalen Werte

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{c}{k} = \frac{\varepsilon \rho + (1 - \varepsilon)A}{1 + (1 - \varepsilon)\gamma} \quad (18)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P = \frac{1 + (1 - \varepsilon)\gamma}{\gamma(\varepsilon \rho + (1 - \varepsilon)A)} \quad (19)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \hat{c} = \frac{\varepsilon(A - (1 + \gamma)\rho)}{1 + (1 - \varepsilon)\gamma}. \quad (20)$$

Die Umweltverschmutzung wird somit langfristig geringer sein als in dem im letzten Abschnitt analysierten Gleichgewicht bei exogen gegebener und konstanter Umweltwahrnehmung. Da die Gesellschaft annahmegemäß im Zuge des Wachstumsprozesses auch an Wissen über die Zusammenhänge zwischen Kapitalakkumulation, Umweltschutz und Umweltqualität hinzugewinnt, nähert

sie sich im Zeitablauf dem Pareto-optimalen Wachstumspfad an. Interessanterweise ist dieser Näherungsprozess jedoch nicht in allen Variablen monoton. Stattdessen folgt die Entwicklung des privaten Kapitalgrenzprodukts einem U-förmigen Verlauf, das heißt das Kapital wird zunächst weniger produktiv, um ab einem bestimmten Entwicklungsstadium wieder an Produktivität zu gewinnen und dann gegen das soziale Grenzprodukt zu konvergieren. Dieser Zusammenhang wird mit Abbildung 2 genauer erläutert werden.

Die Veränderung der makroökonomischen Variablen während des Anpassungsprozesses an das langfristige Gleichgewicht kann anhand des folgenden Systems mit Hilfe der Veränderung der Konsumquote und der Veränderung der Umweltqualität beschrieben werden

$$\widehat{c/k} = \hat{c} - \hat{k} \quad (21)$$

$$\hat{P} = \hat{k} - \hat{c}, \quad (22)$$

wobei die Konsumwachstumsrate durch (17) und die Kapitalwachstumsrate durch  $\hat{k} = A - e/k - c/k$  gegeben sind. Die Wachstumsrate der Umweltschutzausgaben wird aus (10) ermittelt. Es ist nun zweckmäßig, zunächst die Änderungsrate der Umweltqualität zu bestimmen. Dafür ist zu beachten, dass die Ausgaben für Umweltschutz nach (10) einerseits mit den Konsumausgaben steigen (Konsum und Umweltqualität sind komplementäre Güter in der Nutzenfunktion (3)), andererseits mit steigendem Vermögen durch die stärkere Wahrnehmung des individuellen Einflusses zunehmen. Daraus ergibt sich für die Entwicklung der Umweltqualität

$$\hat{P} = \hat{k} - \widehat{(1 - \delta)} - \hat{c} = \frac{\delta'k}{1 - \delta} - \widehat{c/k} = \xi \frac{\delta}{1 - \delta} \hat{k} - \widehat{c/k}. \quad (23)$$

Auf dem gleichgewichtigen Anpassungspfad werden die Individuen eine Konsumquote wählen, die impliziert, dass Konsum und Kapital mit der selben Rate wachsen.<sup>4</sup> Die Entwicklung der Umweltschutzausgaben resultiert dann in  $\hat{c} = \widehat{(1 - \delta)} + \hat{k}$ . Da mit zunehmendem Vermögen auch ein größerer Anteil der Umweltverschmutzung auf die eigenen Entscheidungen zurückgeführt wird ( $\delta$  sinkt), nehmen die Wirtschaftssubjekte mit fortschreitender Entwicklung der Ökonomie die negativen Konsequenzen der Kapitalakkumulation in Form der Umweltverschmutzung stärker wahr. Entsprechend wählen sie für die Umweltschutzausgaben eine größere Wachstumsrate als für den Kapitalstock. Dadurch resultiert für die Entwicklung der Umweltqualität  $\hat{P} = \xi \frac{\delta}{1 - \delta} \hat{k}$ . Eine wachsende

<sup>4</sup> Die Berechnungen zur transitorischen Dynamik finden sich im Anhang.

Ökonomie wird somit immer durch ein sinkendes Verschmutzungsniveau gekennzeichnet sein, da durch die verbesserte Umweltwahrnehmung ( $\xi < 0$ ) die Umweltschutzausgaben schneller steigen als der Kapitalstock.

Die Entwicklung des Kapitalstocks entspricht im Gleichgewicht derjenigen des Konsums ( $\hat{c} = \hat{k}$ ) nach der Keynes-Ramsey-Regel (17). Ist die Kapitalproduktivität hinreichend hoch, um positives Wachstum der Ökonomie zu ermöglichen, dann wird sich die Umweltwahrnehmung im Laufe des Wachstumsprozesses verbessern ( $\delta' < 0$ ). Dadurch verändert sich die effektive Grenzproduktivität des Kapitals und somit auch die Kapitalakkumulation. In der gleichgewichtigen Wachstumsrate (17) ist das effektive Grenzprodukt des Kapitals  $r$  durch

$$r = A - \gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1 - \delta} \right) \right) \mu \quad (24)$$

gegeben wobei  $\mu$  das gleichgewichtige Verhältnis zwischen Konsum und Kapital darstellt und in (A.3) definiert ist (siehe Anhang). Das Grenzprodukt des Kapitals verändert sich mit steigendem Kapitalstock gemäß

$$\frac{\partial r}{\partial k} = \gamma \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1 - \delta} - \frac{\xi}{1 - \delta} \right) \mu \delta'. \quad (25)$$

Ein steigender Kapitalstock führt somit zu einem Anstieg oder einem Rückgang der Kapitalgrenzproduktivität, je nach der Stärke der Umweltwahrnehmung. Nehmen die Individuen die Umweltqualität als vorwiegend „durch die anderen verursacht“ wahr ( $\delta > 0.5$ ), dann steigt die Grenzproduktivität mit einem Anstieg des Kapitalstocks. Der Grund hierfür ist, dass die Individuen in dieser Situation die negativen Konsequenzen der Kapitalakkumulation durch die Umweltverschmutzung noch wenig mit ihren eigenen Entscheidungen in Zusammenhang bringen. Wenn nun eine Zunahme des Kapitalstocks bewirkt, dass die Individuen an Wissen über die Zusammenhänge zwischen ihren individuellen Entscheidungen und der resultierenden Umweltverschmutzung gewinnen, dann sehen sie stärker die Notwendigkeit, Umweltschutz zu betreiben, was die Grenzproduktivität des Kapitals senkt.

Im Zuge des Wachstumsprozesses verbessert sich die Umweltwahrnehmung immer weiter ( $\delta$  sinkt). Ist  $\delta$  hinreichend gering, so wird die Ableitung (25) positiv. In dieser Situation nehmen die Individuen die Umweltqualität bereits als vorwiegend durch ihre individuellen Entscheidungen determiniert wahr. Durch die Kapitalakkumulation steigt auch das Einkommen und es überwiegt nun der Effekt, dass die Umweltschutzausgaben leichter aufzubringen sind, so dass die Grenzproduktivität mit steigendem Kapitalstock zunimmt. Die Entwicklung

der Grenzproduktivität des Kapitals durch die endogene Umweltwahrnehmung ist in Abbildung 2(a) zusammenfassend dargestellt.

Um den Wachstumsprozess der Ökonomie zutreffend beschreiben zu können, müssen jedoch in der gleichgewichtigen Wachstumsrate (17) auch die Veränderung der Konsumquote sowie der Umweltqualität berücksichtigt werden. Die Wachstumsrate des Kapitalstocks lässt sich durch Einsetzen der Konsumquote nach (A.3) sowie der Verschmutzungswachstumsrate  $\hat{p} = \xi \frac{\delta}{1 - \delta} \hat{k}$  nach (23) als

$$\hat{k} = \frac{\varepsilon}{1 + (1 - \varepsilon)\gamma \left( 1 - \delta - \xi \frac{\delta}{1 - \delta} - \xi \delta \gamma \right) - \varepsilon \gamma \xi \delta \ln \frac{\delta}{1 - \delta}} \times \left\{ \left( 1 - (1 - \varepsilon)\gamma \xi \frac{\delta}{1 - \delta} \right) \left( 1 + \gamma \delta \xi \ln \frac{\delta}{1 - \delta} \right) A - \left( 1 + \gamma \left( 1 - \delta - (1 - \varepsilon)\xi \frac{\delta}{1 - \delta} (1 + \gamma(1 - \delta)) \right) \right) \rho \right\} \quad (26)$$

bestimmen. Im Zuge des Wachstumsprozesses wird die Umweltwahrnehmung immer besser, das heißt der von den Individuen als exogen wahrgenommene Teil der Umweltverschmutzung sinkt. Dadurch verändert sich die Kapitalwachstumsrate. Der Verlauf der Kapitalwachstumsrate im Anpassungsprozess ist nicht eindeutig bestimmbar,<sup>5</sup> es kann jedoch gezeigt werden, dass für realistische Parameterwerte<sup>6</sup> das Wachstum monoton abnimmt, bis es wegen  $\lim_{t \rightarrow \infty} \delta = 0$  gegen die in (20) gegebene Wachstumsrate konvergiert, wie in Abbildung 2(b) dargestellt.

Das Verschmutzungsniveau sinkt während des Anpassungsprozesses monoton und konvergiert gegen das nachhaltige Verschmutzungsniveau (19), das erreicht wird, wenn die Individuen ihren individuellen Einfluss auf die Umweltverschmutzung vollständig in ihr Optimierungskalkül einbeziehen. Die Konvergenz des Verschmutzungsniveaus wird dabei durch die Konvergenz des Kapitalwachstums sowie durch die Entwicklung der Umweltwahrnehmung bestimmt

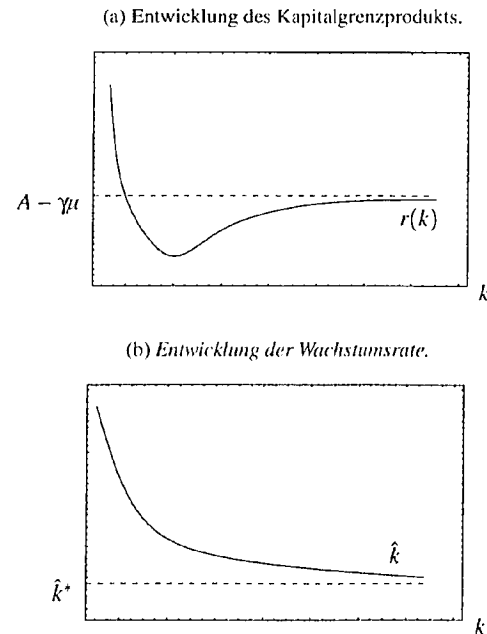
$$\frac{\partial \hat{p}}{\partial k} = \frac{\xi}{(1 - \delta)^2} \delta' \hat{k} + \frac{\xi \delta}{1 - \delta} \frac{\partial \hat{k}}{\partial k} > 0. \quad (27)$$

<sup>5</sup> Siehe hierzu die Darstellung im Anhang.

<sup>6</sup> Für Abbildung 2(b) wurde  $\varepsilon = 0.1$ ,  $\gamma = 1$ ,  $\xi = -1$ ,  $A = 0.4$  und  $\rho = 0.03$  angenommen.

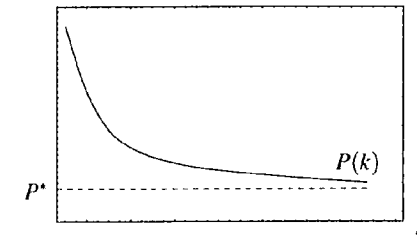


Abbildung 2: Die Anpassungsdynamik.



Das Kapitalwachstum führt einerseits direkt zu einer Erhöhung der Umweltverschmutzung und lässt andererseits die gleichgewichtigen Umweltschutzausgaben steigen. Dieser Effekt ist durch den zweiten Term in (27) dargestellt und eindeutig positiv: mit steigendem Kapitalstock wird die Kapitalwachstumsrate geringer und die (negative) Wachstumsrate der Verschmutzung nimmt zu. Die Umweltverschmutzung sinkt damit immer langsamer, bis sie schließlich gegen ihren Optimalwert konvergiert. Durch das Kapitalwachstum gewinnen die Individuen aber auch an Wissen über ihren individuellen Einfluss auf die Umweltverschmutzung hinzu, so dass sich die optimale Abstimmung zwischen Umweltschutz und Konsum entsprechend (10) ändert und die Umweltverschmutzung sinkt. Dieser direkte Effekt auf die Veränderung der Umweltverschmutzung ist durch den ersten Term in (27) ausgedrückt. Der Gesamteffekt ist in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Anpassung der Umweltverschmutzung.



Es konnte somit gezeigt werden, dass bei einer mit steigendem Wohlstand besseren individuellen Umweltwahrnehmung die Ökonomie gegen den nachhaltigen Wachstumspfad konvergiert. Das Kapitalwachstum und damit auch das Verschmutzungsniveau bleiben jedoch während des gesamten Anpassungsprozesses suboptimal hoch. Damit besteht unmittelbar Bedarf für umweltpolitische Eingriffe, die beispielsweise daran ansetzen könnten, die Entwicklung der Umweltwahrnehmung zu beschleunigen.

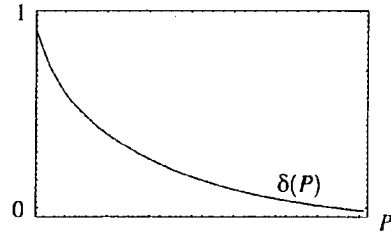
##### 5. Umweltbewusstes Handeln durch zunehmende Umweltverschmutzung

Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor für die Entwicklung der individuellen Umweltwahrnehmung ist die Umweltqualität selbst. Auf diesen Einflussfaktor werden wir im Folgenden eingehen. Solange die Umweltverschmutzung sehr gering ist, beziehen die Individuen die Konsequenzen ihrer individuellen Handlungen auf die Umweltqualität nicht mit in ihr Kalkül ein. Sie achten lediglich auf die Höhe ihres individuellen Konsums. Mit zunehmender Verschmutzung werden jedoch die negativen Auswirkungen der Kapitalakkumulation für die Umweltqualität stärker sichtbar und fördern so individuell umweltbewusstes Handeln. Es rückt stärker in das Bewusstsein der Individuen, dass ihre individuellen Entscheidungen Auswirkungen für die aggregierte Umweltverschmutzung haben.

Ist beispielsweise die Wasserqualität eines Flusses sehr gut, so werden dessen Anrainer ihre Abwässer in den Fluss leiten, ohne die Folgen für die Wasserqualität zu berücksichtigen. Mit zunehmender Wasserverschmutzung wird die Problematik jedoch offensichtlich, und dies legt den Anrainern nahe, andere Lösungen für die Entsorgung ihrer Abwässer zu suchen. Bei geringer Verschmutzung  $P$  wird somit der Wahrnehmungsparameter  $\delta(P)$  hoch sein und

bei zunehmender Verschmutzung dann sinken. Für die Wahrnehmungsfunktion  $\delta(P)$  gelte außerdem  $\delta' < 0$  und  $\delta'' > 0$ , mit  $\delta(P_0) < 1$  und  $\lim_{P \rightarrow \infty} \delta = 0$ . Diese Annahmen sind in Abbildung 4 zusammengefasst.

Abbildung 4: Umweltwahrnehmung in Abhängigkeit von der Verschmutzung.



Die Wahl des optimalen Konsums bleibt von der Entwicklung der Umweltwahrnehmung unbeeinflusst und wird durch Gleichung (7) repräsentiert. Hingegen verändert sich die Entscheidung über die Ausgaben für Umweltschutzaktivitäten  $e$ , da mit steigender Verschmutzung die positiven Konsequenzen des Umweltschutzes offensichtlicher werden. Die entsprechende notwendige Bedingung lautet

$$\frac{\partial \mathcal{H}}{\partial e} = \exp(-\rho t) (1 - 1/\varepsilon) \gamma \frac{u}{e} \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right) \right) - \lambda \stackrel{!}{=} 0, \quad (28)$$

wobei  $\xi = \delta_P P / \delta$  nun die prozentuale Veränderung der Wahrnehmung durch eine einprozentige Steigerung der Verschmutzung darstellt.

Aus der Kombination der notwendigen Bedingungen für individuell optimalen Konsum (7) und für individuell optimale Umweltschutzausgaben (28) lässt sich zunächst die optimale Relation zwischen Umweltschutzaktivitäten und Konsum ermitteln

$$e = \gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right) \right) c, \quad (29)$$

und Differenzieren nach der Zeit führt zu der Wachstumsrate der Umweltschutzausgaben

$$\hat{e} = \xi \frac{\frac{\delta}{1-\delta} \xi - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right)}{\gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right) \right)} (\hat{k} - \hat{e}) + \hat{c}. \quad (30)$$

Die optimale Konsumwahl (7) zusammen mit der Entscheidung über die Kapitalakkumulation, die unverändert gemäß Gleichung (16) erfolgt, ergibt die ebenfalls unveränderte Wachstumsrate des Konsums nach Gleichung (17). Somit bleiben auch die Überlegungen zur Anpassungsdynamik von Konsum und Kapital erhalten: Die Individuen realisieren gleiche Wachstumsraten von Konsum und Kapital. Eine wesentliche Änderung der Ergebnisse tritt jedoch bezüglich der Entwicklung der Umweltqualität ein.

Für gleiche Wachstumsraten von Konsum und Kapital ergibt sich nun, dass auch die Umweltschutzausgaben mit der selben Rate wachsen, das heißt im dynamischen Gleichgewicht gilt für jeden Zeitpunkt  $\hat{c} = \hat{k} = \hat{e}$ . Mithin befindet sich die Gesellschaft sofort auf dem gleichgewichtigen Wachstumspfad, ohne einen Anpassungsprozess zu durchlaufen.

Das Wachstumsgleichgewicht wird dann durch die konstante Wachstumsrate des Konsums und die konstante Umweltverschmutzung beschrieben

$$\hat{c} = \frac{\varepsilon \left( A - \left( 1 + \gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right) \right) \right) \rho \right)}{1 + (1 - \varepsilon) \gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right) \right)} \quad (31)$$

$$P = \frac{\gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right) \right)}{1 + (1 - \varepsilon) \gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1-\delta} \right) \right)} (\varepsilon \rho + (1 - \varepsilon) A). \quad (32)$$

Die endogene Entwicklung der Umweltwahrnehmung bewirkt somit keine Entwicklung zum nachhaltigen Wachstumspfad, wenn die Wahrnehmung der Zusammenhänge an die Umweltqualität selbst gekoppelt ist. Verbessert sich die Umweltwahrnehmung durch das Erleben der Verschmutzung, dann stellt sich hingegen ein Gleichgewicht ein, in dem Kapital und Umweltschutzausgaben mit der gleichen Rate wachsen. Dadurch bleibt das Verschmutzungsniveau über die Zeit konstant, so dass keine Impulse für eine bessere Wahrnehmung entstehen. Auch die Umweltwahrnehmung der Individuen bleibt damit konstant und die Ökonomie verharrt in dem suboptimalen Zustand. Eine Anpassung an den nachhaltigen Wachstumspfad, wie sie aus dem Einfluss des Wohlstands auf die Umweltwahrnehmung resultierte, erfolgt hier nicht.

## 6. Zusammenfassung

Dieser Beitrag analysiert die Bedeutung der unvollständigen Wahrnehmung individueller Einflüsse für die Entwicklung der Umweltqualität. Ist der Anteil der

Umweltverschmutzung, den die Individuen auf ihre individuellen Entscheidungen zurückführen, exogen gegeben und konstant, so resultiert ein Wachstumspfad mit konstanter gleichgewichtiger Wachstumsrate und konstantem Verschmutzungsniveau. Jedoch ist das dynamische Gleichgewicht nicht Pareto-optimal, da aus der unvollständigen Wahrnehmung des individuellen Einflusses auf die Umweltqualität ein negativer externer Effekt in der Kapitalakkumulation sowie ein positiver externer Effekt der Umweltschutzaktivitäten folgt. Entsprechend sind die gleichgewichtige Wachstumsrate und das gleichgewichtige Verschmutzungsniveau suboptimal hoch.

Im zweiten Teil des Papiers wird die individuelle Umweltwahrnehmung endogenisiert. Es wird zunächst angenommen, dass mit steigendem Kapitalstock das Wissen über den Zusammenhang zwischen den individuellen Entscheidungen und der Umweltqualität zunimmt. Ein Grund dafür könnte sein, dass der Staat bei steigendem Einkommen auch mehr Umweltbildung betreibt, oder auch dass sich die Wirtschaftssubjekte bei steigendem Vermögen stärker für Umweltbelange einsetzen. Wir zeigen, dass in diesem Fall sowohl die gleichgewichtige Wachstumsrate als auch die Umweltqualität transitorischer Dynamik unterliegen und letztlich gegen den nachhaltigen Wachstumspfad konvergieren, wenn bei hinreichend hohem Vermögen der Einfluss des einzelnen Wirtschaftssubjektes auf die Umweltqualität vollständig in das individuelle Optimierungskalkül einbezogen wird.

Die Sensitivität der Ergebnisse wird verdeutlicht, indem anschließend die Annahme getroffen wird, dass die Umweltwahrnehmung der Individuen nicht von ihrem Wohlstand, sondern von der Umweltqualität selbst abhängt: Solange das Verschmutzungsniveau noch gering ist, befassen sich die Wirtschaftssubjekte kaum mit den Folgen ihrer ökonomischen Aktivitäten für die Umwelt. Verschlechtert sich die Umweltqualität, so steigt die Sensibilität für die Zusammenhänge zwischen individuellen Handlungen und aggregierter Verschmutzung. Unter dieser Annahme ist das optimistische Ergebnis der Anpassung an den nachhaltigen Wachstumspfad nicht aufrechtzuerhalten. Stattdessen wird ein Gleichgewicht realisiert, in dem die Umweltqualität auf suboptimal geringem Niveau konstant bleibt und mithin keine Impulse zur Verbesserung der individuellen Umweltwahrnehmung auslöst.

Die Analyse macht deutlich, dass die Bestimmungsgründe für Externalitäten sowie ihre Entwicklung die Aussagen über die langfristige Beurteilung von Marktgleichgewichten entscheidend mit beeinflussen, und dass gerade im für Umweltprobleme typischen Kontext nicht vollständig beobachtbarer individueller Aktionen die Entwicklung der individuellen Moral eine entscheidende Rolle einnimmt. „Moralische Regeln mögen vernünftig (und daher gültig) sein.

Ihre reale Befolgung oder reale Akzeptanz ist damit nicht gesichert. Die Moral hat keine reale Macht zu ihrer Durchsetzung, es sei denn, die Menschen machen sie sich zu eigen“ (Haslinger 1997a, 52).

#### Anhang: Bestimmung der transitorischen Dynamik

Der Anpassungsprozess an das langfristige Gleichgewicht wird durch die Entwicklung von Konsumquote  $c/k$ , Verschmutzungsniveau  $P$  und Kapitalwachstumsrate  $\hat{k}$  determiniert. Für die Bestimmung der transitorischen Dynamik ist es dabei zweckmäßig, zunächst die Entwicklung der Konsumquote zu ermitteln und darauf aufbauend die Anpassungsdynamik des Kapitalwachstums und des Verschmutzungsniveaus abzuleiten.

Die Veränderung der Konsumquote lässt sich zunächst durch Ersetzen von  $\hat{P}$  gemäß (23) in der Konsumwachstumsrate (17) darstellen als

$$\begin{aligned} \widehat{c/k} = & \varepsilon \left( A - \gamma \left( 1 - \delta \left( 1 - \xi \ln \frac{\delta}{1 - \delta} \right) \right) \right) \frac{c}{k} - \rho \\ & - \gamma \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon} \right) \left( \xi \frac{\delta}{1 - \delta} \hat{k} + c/k \right) - \hat{k}. \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

Durch die Verwendung von (10) in  $\hat{k} = A - e/k - c/k$  kann man nach der Wachstumsrate der Konsumquote auflösen und erhält

$$\begin{aligned} (1 + (1 - \varepsilon)\gamma)\widehat{c/k} = & \left( 1 + (1 - \varepsilon)\gamma \left( 1 - \delta - \xi \frac{\delta}{1 - \delta} - \xi \delta \gamma \right) - \varepsilon \gamma \delta \ln \frac{\delta}{1 - \delta} \right) \frac{c}{k} \\ & - \varepsilon \rho - (1 - \varepsilon) \left( 1 - \gamma \xi \frac{\delta}{1 - \delta} \right) A, \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

woraus für die Bewegung der Konsumquote folgt

$$\begin{aligned} \widehat{c/k} & \geq 0 \\ \Leftrightarrow \frac{c}{k} & \geq \frac{\varepsilon \rho + (1 - \varepsilon) \left( 1 - \gamma \xi \frac{\delta}{1 - \delta} \right) A}{1 + (1 - \varepsilon)\gamma \left( 1 - \delta - \xi \frac{\delta}{1 - \delta} - \xi \delta \gamma \right) - \varepsilon \gamma \xi \delta \ln \frac{\delta}{1 - \delta}} \equiv \mu. \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

So lange für den Wahrnehmungsparameter  $\delta > 1/2$  gilt, ist  $\ln \frac{\delta}{1 - \delta}$  positiv, so dass mit  $\xi < 0$  der Nenner von  $\mu$  positiv ist. Somit ist die Konsumquote instabil und intertemporal nutzenmaximierendes Verhalten impliziert, dass die

Konsumquote  $c/k = \mu$  gewählt wird. Daraus folgt unmittelbar, dass die Wachstumsraten von Konsum und Kapital im gleichgewichtigen Anpassungsprozess übereinstimmen

Im Zuge des Wachstumsprozesses sinkt jedoch  $\delta$ , so dass es einen Zeitpunkt gibt, ab dem  $\ln \frac{\delta}{1-\delta}$  negativ wird. Es kann zunächst gezeigt werden, dass der Nenner von  $\mu$  für alle denkbaren Werte von  $\delta$  positiv ist, falls die intertemporale Substitutionselastizität  $\varepsilon$  hinreichend gering ist. Der Term  $-\varepsilon\gamma\xi\delta\ln \frac{\delta}{1-\delta}$  erreicht sein Minimum für  $\ln \frac{\delta}{1-\delta} = -\frac{1}{1-\delta}$ . Daraus folgt

$$\begin{aligned} -\varepsilon\gamma\xi\delta\ln \frac{\delta}{1-\delta} &\geq \varepsilon\gamma\xi \frac{\delta_{min}}{1-\delta_{min}} \\ \Rightarrow 1 + (1-\varepsilon)\gamma \left(1 - \delta - \xi \frac{\delta}{1-\delta} - \xi\delta\gamma\right) - \varepsilon\gamma\xi\delta\ln \frac{\delta}{1-\delta} \\ &\geq 1 + (1-\varepsilon)\gamma \left(1 - \delta - \xi \frac{\delta}{1-\delta} - \xi\delta\gamma\right) + \varepsilon\gamma\xi \frac{\delta}{1-\delta}, \quad (A.4) \end{aligned}$$

und für ein hinreichend kleines  $\varepsilon$  gilt wegen  $\xi < 0$  weiter

$$\varepsilon < 1 - \varepsilon \Rightarrow \varepsilon\gamma\xi \frac{\delta}{1-\delta} > (1-\varepsilon)\gamma\xi \frac{\delta}{1-\delta} \quad (A.5)$$

und somit

$$\begin{aligned} 1 + (1-\varepsilon)\gamma \left(1 - \delta - \xi \frac{\delta}{1-\delta} - \xi\delta\gamma\right) + \varepsilon\gamma\xi \frac{\delta}{1-\delta} &> 1 + (1-\varepsilon)\gamma(1 - \delta - \xi\delta\gamma) \\ &> 0. \quad (A.6) \end{aligned}$$

Ist hingegen die intertemporale Substitutionselastizität hinreichend groß, dann wäre es möglich, dass der negative Term  $-\varepsilon\gamma\xi\delta\ln \frac{\delta}{1-\delta}$  den Nenner von  $\mu$  dominiert. Dieser Fall wird im Folgenden ausgeschlossen, indem das Produkt  $\varepsilon\gamma\xi$  hinreichend klein angenommen wird. Empirisch relevant ist die oben beschriebene Situation, in der keine weiteren Annahmen über die Entwicklung der Umweltwahrnehmung  $\xi$  und die Umweltpräferenzen  $\gamma$  nötig sind, da die intertemporale Substitutionselastizität  $\varepsilon$  unterhalb 0.5 liegt.

Mithin bleibt festzuhalten, dass die Konsumquote gemäß (A.3) eindeutig instabil ist und die Individuen im Rahmen ihres Optimierungskalküls  $c/k = \mu$  wählen, das heißt gleiche Wachstumsraten für Konsum und Kapital.

Die Kapitalwachstumsrate (26) verändert sich auf dem Anpassungspfad wie folgt:

$$\frac{\partial \hat{k}}{\partial t} = \frac{\partial \hat{k}}{\partial \delta} \delta' \dot{\delta} = \varepsilon \left( \frac{\partial(\dots)/\partial \delta - \partial(\dots)\partial \delta}{N} - \hat{k} \frac{\partial N/\partial \delta}{N} \right) \xi \delta \dot{\delta}, \quad (A.7)$$

wobei  $(\dots)$ ,  $(\dots)$  und  $N$  die Bestandteile der Wachstumsrate  $\hat{k} = \varepsilon((\dots) - (\dots))/N$  bezeichnen. Die jeweiligen Ableitungen sind

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\dots)}{\partial \delta} &= A(1-\varepsilon) \frac{\gamma\xi}{1-\delta} \left( -\frac{1}{1-\delta} + \gamma\xi \frac{\delta}{1-\delta} + \gamma\xi\delta \ln \frac{\delta}{1-\delta} \left( \frac{1}{1-\delta} + 1 \right) \right) \\ &\quad - A\gamma\xi \left( \ln \frac{\delta}{1-\delta} + \frac{1}{1-\delta} \right) \quad (A.8) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial(\dots)}{\partial \delta} = -\rho\gamma(1 + (1-\varepsilon)\xi \frac{1 + \gamma(1-\delta)^2}{(1-\delta)^2}) \quad (A.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial \delta} &= -(1-\varepsilon)\gamma \\ &\quad - \frac{\gamma\xi}{(1-\delta)^2} \left( 1 - \varepsilon\delta + (1-\delta)^2((1-\varepsilon)\gamma + \varepsilon \ln \frac{\delta}{1-\delta}) \right), \quad (A.10) \end{aligned}$$

und sie weisen uneindeutige Vorzeichen auf. Die Vorzeichen der Ableitungen (A.8) sowie (A.10) hängen dabei primär von der Höhe des Wahrnehmungsparameters ab: beide sind für hinreichend große Werte von  $\delta$  positiv, für hinreichend geringe  $\delta$  negativ. Auch das Vorzeichen der Ableitung (A.9) ist für hinreichend große  $\delta$  positiv, für kleine  $\delta$  lässt sich hier jedoch ohne weitere Einschränkungen bezüglich der Relation zwischen  $\varepsilon$ ,  $\xi$  und  $\gamma$  keine Aussage treffen. Insgesamt resultiert, dass die Änderungsrichtung der Kapitalwachstumsrate während des Anpassungsprozesses nicht eindeutig bestimmbar ist.

### Literatur

- Byrne, M. M. (1997): Is Growth a Dirty Word? Pollution, Abatement and Endogenous Growth, *Journal of Development Economics*, 54, 261–284.
- Edwards, J. H. Y. (1990): Congestion Function Specification and the „Publicness“ of Local Public Goods, *Journal of Urban Economics*, 27, 80–96.
- Epstein, L. G., Zin, S. E. (1991): Substitution, Risk Aversion, and the Temporal Behaviour of Consumption and Asset Returns: An Empirical Analysis, *Journal of Political Economy*, 99, 2, 263–286.
- Eriksson, C. (2004): Can Green Consumerism Replace Environmental Regulation? – A Differentiated-Products Example, *Resource and Energy Economics*, 26, 281–293.

- Glomm, G., Ravikumar, B. (1994): Public Investment in Infrastructure in a Simple Growth Model, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18, 1173–1187.
- Gradus, R., Smulders, S. (1993): The Trade-off Between Environmental Care and Long-term Growth – Pollution in Three Prototype Growth Models, *Journal of Economics*, 58, 25–51.
- Grimaud, A. (1999): Pollution Permits and Sustainable Growth in a Schumpeterian Model, *Journal of Environmental Economics and Management*, 38, 249–266.
- Hall, R. E. (1988): Intertemporal Substitution in Consumption, *Journal of Political Economy*, 96, 2, 339–357.
- Haslinger, F. (1997a): Das Ende der Wirtschaftsethik: Grenzen einer ökonomischen Methode, in: *Wirtschaftsethik und Moralökonomik*, herausgegeben von Aufderheide, D. et al., Duncker & Humblot, Berlin, 43–58.
- Haslinger, F. (1997b): Individuum und Verteilung in einer unsicheren Welt: Zur Rolle der Moral in der Ökonomie, in: *Normative Grundfragen der Ökonomik: Folgen für die Theoriebildung*, herausgegeben von Held, M., Campus-Verlag, Frankfurt/Main.
- Haslinger, F. (1997c): Zum Konzept der „nachhaltigen“ Entwicklung, in: *Neuere Entwicklungen in der Umweltökonomie und -politik*, herausgegeben von Feser, H.-D., von Hauff, M., Transfer-Verlag, Regensburg, 3–16.
- Haslinger, F. (1999): Institutionen reduzieren Unsicherheit – Neue Unsicherheiten entwickeln sich, in: *Institutionen prägen Menschen*, herausgegeben von Held, M., Nutzinger, H. G., Campus-Verlag, Frankfurt/Main, 171–190.
- Haslinger, F. (2000): Ökonomie und die ethische Dimension der ökonomischen Vernunft, *Ethik und Sozialwissenschaften*, 11, 4, 579–582.
- Lucas, R. E. (1988): On the Mechanics of Economic Development, *Journal of Monetary Economics*, 22, 3–42.
- Ono, T. (2002): The Effects of Emission Permits on Growth and the Environment, *Environmental and Resource Economics*, 21, 75–87.
- Ramsey, F. P. (1928): A Mathematical Theory of Saving, *The Economic Journal*, 38, 543–559.
- Smulders, S., Gradus, R. (1996): Pollution Abatement and Long-Term Growth, *European Journal of Political Economy*, 12, 505–532.
- Stokey, N. L. (1998): Are There Limits to Growth?, *International Economic Review*, 39, 1–31.
- Turnovsky, S. J. (2000): *Methods of Macroeconomic Dynamics*, MIT Press, Cambridge/Mass., 2nd edn.