

# Über die zeitliche Nutzung der Natur\*

Von Bruno S. Frey, Konstanz, und Gerhardt Schwödiauer, New York

## I. Die Problemstellung

### 1. Relative Knappheit natürlicher und produzierter Güter

Die Entwicklung der Beziehung zwischen Wirtschaft und Natur könnte in groben Zügen für die Industrieländer in drei Etappen eingeteilt werden. In der *ersten* Etappe, die bis zur industriellen Revolution dauerte, veränderte sich das Verhältnis zwischen hergestellten und natürlichen Gütern (oder zwischen Manufaktur und Natur) nur unwesentlich. Selbst zu dieser Zeit gab es zwar schon Schädigungen der Natur durch wirtschaftliche Einflüsse, etwa durch das Abholzen von ganzen Landstrichen für den Schiffbau. Derartige Schäden blieben jedoch in dieser Periode Ausnahmefälle. Die *zweite* Etappe kann von der industriellen Revolution bis Anfang der 60er Jahre unseres Jahrhunderts gesehen werden. Diese Periode ist durch eine ausgeprägte Verschiebung des Verhältnisses zwischen produzierten und natürlichen Gütern gekennzeichnet. Diese Entwicklung entsprach mehr oder weniger den Bedürfnissen: Die natürliche Umwelt war in dieser Periode im großen und ganzen noch „im Überfluß“ vorhanden, während eine empfindliche Knappheit an hergestellten Gütern bestand. Diese Tatsache zeigt sich etwa in den großen Wanderungsbewegungen vom „Land“ (mit einem relativ kleinen Verhältnis zwischen Manufaktur und Natur) in die „Stadt“ (mit einem höheren Verhältnis von Manufaktur zu Natur). Die *dritte* Etappe wird durch ein weiter steigendes Verhältnis zwischen produzierten und natürlichen Gütern charakterisiert, wobei nun aber die Umwelt zum knappen Faktor wird.

Die lange Periode des schmerzlosen Hineinwachsens der Produktion in die überreichliche Natur hat damit ihren Abschluß gefunden. Ein Reflex von vielen ist die Rückwanderung der Bevölkerung von der Stadt auf das Land, wo die schädlichen Umwelteinflüsse geringer eingeschätzt werden.

---

\* Die Autoren sind Dr. Klaus Jaeger und Dipl.-Volkswirt Jürgen Senger für wertvolle Diskussionen einer früheren Fassung dankbar.

Das Interesse der Wissenschaft (insbesondere der Ökonomik) am Verhältnis zwischen Wirtschaft und Umwelt wurde entscheidend durch diese relative Knappheit von Produktion und Natur beeinflusst. Bis in die 60er Jahre hat sich eine nicht langfristig denkende Wissenschaft noch wenig mit dem Umweltproblem befassen müssen, weil die Knappheit produzierter Güter viel drängender war. Heute beginnt die Wissenschaft die Umkehrung in den relativen Knappheiten langsam zu erfassen, ja die Umweltforschung ist sogar zu einem Modegebiet geworden. Der Wissenschaft kann aber der Vorwurf nicht erspart bleiben, daß sie nur verzögert auf die veränderten Verhältnisse reagiert hat.

## 2. Der Beitrag der Ökonomik

Der Ökonomik kommt innerhalb der Umweltforschung aus zwei verschiedenen Gründen eine große Bedeutung zu:

1. Die Umweltschäden gehen zu einem großen Ausmaß auf wirtschaftliche Faktoren zurück. Hier stellt sich also der Ökonomik als Sachgebiet eine Aufgabe.
2. Wie bereits angedeutet, läßt sich die Rolle der Umwelt unter dem Gesichtspunkt der Knappheit betrachten. Da die Ökonomik oft als „Wissenschaft von der optimalen Verwendung knapper Mittel“ definiert wird (etwa durch *Robbins*), können Umweltprobleme mit Hilfe der Ökonomik als Denkmethode untersucht werden. Selbst wenn diese recht enge (neoklassische) Auffassung der Ökonomik als zu einschränkend angesehen wird, ergeben sich darüber hinaus noch manche anderen Aspekte, die mit Hilfe der in der Ökonomik üblichen Gedankengänge sinnvoll angegangen werden können. Zu denken ist etwa an die Entscheidungsbildung in Bezug auf Umweltprobleme, die sich mit der „Ökonomischen Theorie der Politik“ analysieren lassen.

Es sollte unnötig sein zu betonen, daß die Ökonomik in der Umweltforschung nur *eine* unter vielen anderen Wissenschaften sein kann. Viele Aspekte fallen eindeutig in den Bereich anderer Wissensgebiete, insbesondere natürlich der Biologie und Ökologie. Auch die folgenden Überlegungen greifen teilweise auf derartige Untersuchungen zurück. Der Ökonomik als Sachgebiet oder Denkmethode stellen sich im Bereich der Umweltforschung verschiedene Ansatzmöglichkeiten. Grundsätzlich lassen sich drei Gesichtspunkte denken:

1. eine Erklärung der tatsächlich bestehenden Beziehungen zwischen Umwelt und anderen gesellschaftlichen Bereichen, insbesondere der Wirtschaft und der Bevölkerung;
2. eine normative Zielsetzung, die die gewünschte (oder optimale) Beziehung zwischen Umwelt und anderen Bereichen entwirft;

3. politische Ratschläge, die von einem Vergleich zwischen den tatsächlichen und gewünschten Beziehungen ausgehend die möglichen Wege zu einer Erreichung des optimalen Zustandes (oder Prozesses) aufzeigen.

### 3. Die tatsächliche Nutzung der Umwelt

Zwei Forschungsrichtungen innerhalb der Ökonomik beschäftigen sich heute mit der Frage, auf welche Weise Art und Ausmaß der tatsächlichen Nutzung der Umwelt erklärt werden kann.

1. Die erste Richtung geht von der Beobachtung aus, daß der „Gebrauch“ auch der „knapp“ gewordenen Umwelt in fast allen Fällen unentgeltlich ist, weil meistens entweder überhaupt kein Eigentumsanspruch existiert oder aber keine sinnvolle Möglichkeit besteht, einen vorhandenen Eigentumsanspruch durchzusetzen. Nichtzahlende Benutzer werden also nicht vom „Gebrauch“ der Umwelt ausgeschlossen. Da der Nutznießung der durch die Umwelt erbrachten „Leistung“ keine entsprechenden individuellen Kosten auf der Verbraucherseite entgegenstehen, findet eine Verschwendung der vorhandenen Umweltgüter statt: Die Nutzung wird zu einem Ausmaß ausgedehnt, bei dem der Grenznutzen null wird, während bei Berücksichtigung der dadurch entstehenden Schäden für die Gesamtgesellschaft in Form von Umweltzerstörungen die Nutzung nur so lange ausgedehnt wird, als der Grenznutzen die (positiven, wohl sogar ansteigenden) gesellschaftlichen Grenzkosten überschreitet, so daß weniger verbraucht wird. Derartige Konstellationen finden sich in verschiedenen Teilen der Wirtschaft. Die Umweltforschung kann daher auf die Theorie der externen Effekte, der Sozialkosten, der öffentlichen Güter und der Infrastruktur zurückgreifen. Dieser Zweig der Wirtschaftstheorie hat sich seit jeher teilweise mit Umweltproblemen beschäftigt<sup>1</sup>. Es muß jedoch offenbleiben, ob bei der heutigen Bedeutung der externen Effekte (im weitesten Sinn) dieser Ansatz — bei dem die als Externalitäten bezeichneten Phänomene als ein Versagen des Preissystems gedeutet werden — leistungsfähig genug ist und ob nicht eine Theorie entwickelt werden sollte, die die heute noch als „extern“ bezeichneten Ströme ins Zentrum der Betrachtung rückt<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Vgl. dazu etwa Ralph Turvey: Side Effects of Resource Use. — Ronald McKean: Some Problems of Criteria and Acquiring Information. Beide in Henry Jarret (Hrsg.): Environmental Quality in a Growing Economy. Baltimore 1966.

<sup>2</sup> Vgl. etwa die kritischen Bemerkungen bei K. Wilhelm Kapp: Environmental Disruption and Social Costs: A Challenge to Economics. *Kyklos*, Bd. 23 (1970), S. 834/5. — Gerhard Kade: The Economics of Pollution and the Interdisciplinary Approach to Environmental Planning. *International Social Science Journal*, Bd. 22 (1970), S. 569.



2. Die zweite Forschungsrichtung zur Erklärung der tatsächlichen Nutzung der Umwelt geht nicht von der Diskrepanz zwischen individuellem und gesellschaftlichem Nutzen und Kosten aus, sondern sucht die unmittelbaren Bestimmungsgründe des Umweltverzehr durch Produktion und Konsum zu ermitteln.

Die wichtigsten allgemeinen Determinanten des tatsächlichen „Verzehrs“ der Natur sind das Bevölkerungsniveau und die absolute Höhe des Volkseinkommens. Dabei kann jedoch nicht von einer linearen Beziehung ausgegangen werden, insbesondere weil je nach Struktur des Sozialprodukts die Umwelt in ganz unterschiedlichem Ausmaß beeinflußt wird.

Die Arbeiten von *Isard*, *Leontief*, *Hirsch*, *Bergman* und *Ayres* and *Kneese* knüpfen alle an diese Beobachtungen an, auch wenn sie dabei auf unterschiedliche Weise vorgehen<sup>3</sup>. Für einzelne Güterströme zwischen Industrien und von der Wirtschaft zum Verbraucher werden Koeffizienten aus dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial errechnet, die die dabei auftretenden Beeinträchtigungen der Umwelt wiedergeben. Mit Hilfe der Input/Output-Analyse läßt sich dann quantitativ ermitteln, welche Umweltschäden ein bestimmter Endverbrauchsvektor impliziert.

Die Arbeiten zur empirischen Berechnung derartiger Input/Output-Tabellen mit Umweltbeziehungen sind für die Vereinigten Staaten schon recht weit fortgeschritten. Neben *Isard* — der eine Studie für die Region Philadelphia unternommen hat — vermag *Leontief* den Grad der Luftverschmutzung anzugeben, den jede einzelne Komponente des Endverbrauchs bewirkt. Dazu sei ein Beispiel angeführt<sup>4</sup>: Der zusätzliche Ausstoß an Schwefeldioxyd, den unter den gegebenen technischen Verhältnissen alle Zulieferungen für die Produktion von Möbeln im Werte von 1 Mio. \$ nach sich ziehen, beträgt 31,1 t. Die gesamte Endnachfrage (für Konsum, Investition, Staat etc.) betrug im Jahre 1963 \$ 3 267 Mio. Die Endnachfrage nach Möbeln ist also in die-

<sup>3</sup> Walter *Isard*: On the Linkage of Socio-Economic and Ecologic Systems. Regional Science Association, Papers, Bd. 21 (1968). — *Ders.*: Some Notes on the Linkage of the Ecologic and Economic Systems. Regional Science Association, Papers, Bd. 22 (1969). — Wassily *Leontief*: Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input/Output Approach. Review of Economics and Statistics, Bd. 52 (1970). — Werner Z. *Hirsch*, Sidney *Sonenblum* and Jerry *Dennis*: Application of Input/Output Techniques to Quality of Urban Life Indicators. Kyklos, Bd. 24 (1971). — Barbara *Bergmann*: The Urban Economy and the Urban Crisis. American Economic Review, Bd. 59 (1969). — Robert *Ayres* and Allen *Kneese*: Production, Consumption and Externalities. American Economic Review, Bd. 59 (1969). — Allen *Kneese*, Robert *Ayres* and Ralph *D'Arge*: Economics and the Environment, A Material Balance Approach. Baltimore 1970.

<sup>4</sup> Wassily *Leontief*: Air Pollution and the Economic Structure: Empirical Results of Input/Output Computations. Vervielfältigtes Manuskript, Januar 1971, S. 4.

sem Jahr für den Ausstoß von 101 607 t (d. h.  $31,1 \times 3\,267$ ) Schwefeldioxyd verantwortlich. Gleichartige Berechnungen sind für andere Endnachfragekomponenten durchgeführt worden.

Der Vorteil des Input/Output-Ansatzes liegt neben der geeigneten Systematik für die empirische Messung vor allem auch in der Tatsache, daß sowohl den direkten als auch den indirekten Auswirkungen eines Endverbrauchs nachgegangen werden kann. Die direkten Einflüsse einer Aktivität sind im allgemeinen einfach zu erfassen, da sie wenigstens teilweise unmittelbar sichtbar sind und darum auch ins Bewußtsein eingehen. Viel schwieriger ist die Erfassung der indirekten Einflüsse, da sie sich einer intuitiven Beurteilung meist entziehen. Es ist durchaus denkbar, daß ein Endverbrauchssektor keine direkten Umweltschäden verursacht, indirekt aber stark daran beteiligt ist. Eine rationale Umweltpolitik muß beide Einflüsse beachten, da sie andernfalls wirkungslos bleibt oder sogar das Gegenteil des Erwünschten erreicht. Der oft gehörte Vorschlag etwa der Einführung eines elektrischen Automobils zur Bekämpfung der Luftverschmutzung erweist sich in dieser Betrachtungsweise als zumindest a priori nicht überzeugend, da ja auch die Produktion von Elektrizität teilweise beträchtliche Umweltschäden (z. B. Verunreinigung der Luft bei mit Kohle betriebenen Kraftwerken; grundlegende Veränderung des Landschaftsbildes bei Wasserkraftwerken) bewirken kann. Die erweiterte Input/Output-Analyse kann aber nicht nur dazu dienen, den Nachwirkungen einer bestimmten Veränderung des Endverbrauchs auf die Umwelt nachzuspüren. Durch geeignete Einführung von zusätzlichen Umweltsektoren kann auch untersucht werden, welche Zulieferungen von den herkömmlichen Wirtschaftssektoren benötigt werden, um eine bestimmte Verminderung der Umweltverschmutzung zu erzielen. Die Kosten der Erreichung derartiger Ziele können damit quantitativ erfaßt werden und z. B. in Form der dadurch erhöhten Produktpreise ausgedrückt werden.

#### 4. Die optimale Nutzung der Umwelt

Die Untersuchung der Bestimmungsgründe und Entscheidungsprozesse der tatsächlichen Nutzung der Umwelt gibt jedoch noch keinen Hinweis darauf, welche Kosten eine Gesellschaft übernehmen sollte, um Umweltschäden zu beseitigen oder um die Wirtschaft derart umzustrukturieren, daß eine geringere Umweltzerstörung durch Produktion und Konsum entsteht<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Diese Optimierungsprobleme sind z. B. ausführlich behandelt bei Serge-Christophe Kolm (Le service des masses. Paris 1971. Insb. im Kapitel 12: La croissance et la qualité de l'environnement S. 209 - 222).



Noch grundsätzlicher ist die Frage, über wieviel natürliche Umwelt eine Gesellschaft überhaupt zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügen will, d. h. wie die Nutzung der Umwelt über die Zeit hinweg verteilt sein soll. Das Problem der Verteilung des Nutzens der Natur über die Zeit hinweg ergibt sich aus der Tatsache, daß in der Gegenwart die Nutzung unterschiedlich hoch sein kann, wodurch aber die in der Zukunft zur Verfügung stehende Nutzungsmöglichkeit beeinflußt wird. Es ist also der Nutzen aus dem „Gebrauch“ der Umwelt in der Gegenwart mit dem zukünftigen Nutzen zu vergleichen. Bis vor kurzer Zeit hat man sich noch kaum mit dieser Frage der optimalen zeitlichen Nutzung der Natur beschäftigt, wohl in der Annahme, daß jede Generation schon dafür sorgen werde, daß auch die nachfolgenden Geschlechter über genügend natürliche Umwelt verfügen werden. Selbst wenn *jedem* Mitglied einer Generation diese wohlwollende Absicht unterstellt werden könnte, würde keineswegs folgen, daß diese Absicht durch das individuelle Verhalten tatsächlich erreicht würde. Bei dem in der Zukunft vorhandenen Naturbestand handelt es sich um den typischen Fall eines „öffentlichen Gutes“: Jedermann kommt in dessen Genuß, gleichgültig, ob er an dessen Aufbau und Erhaltung mitgewirkt hat. Ein seinen Eigennutzen maximierendes Individuum wird sich daher an dessen Erstellung nicht beteiligen, sondern im Gegenteil in der Gegenwart unbeschwert soviel Natur verbrauchen, wie es ihm beliebt.

In einer Gesellschaft, die eine bestimmte Größe überschreitet<sup>6</sup>, muß erwartet werden, daß sich jedermann in dieser Weise verhält, so daß es zu einer Nutzung der Natur in der Gegenwart kommt, die den Wünschen der Gesellschaft als Ganzes widerspricht. Heute sind die Umweltschäden für jedermann so offensichtlich geworden, daß die optimale Selbststeuerung der zeitlichen Nutzung der Natur durch individuelles Handeln der Glieder der Gesellschaft gegenstandslos geworden ist. Meist wird die Forderung erhoben, daß der Staat diese Aufgabe für die Gesellschaft zu übernehmen habe. Es müssen daher wissenschaftliche Kriterien zur optimalen zeitlichen Nutzung der Umwelt erarbeitet werden, die den staatlichen Entscheidungsträgern als Hilfsmittel für ihre Politik dienen können. Eine wissenschaftliche Untersuchung drängt sich insbesondere auch darum auf, weil heute in Bezug auf die zeitliche Nutzung der Natur oft ganz kategorische Ansichten vertreten und propagiert werden. Häufig wird behauptet, der bestehende „Bestand an Natur“ dürfe nicht angetastet werden, sondern müsse auf jeden Fall und zu welchen Kosten auch immer erhalten blei-

---

<sup>6</sup> Der Einfluß der Gruppengröße auf das Verhalten der Individuen bei öffentlichen Gütern wird u. a. untersucht bei Mancur Olson Jr.: *The Logic of Collective Action*. Cambridge (Mass.) 1965. — James M. Buchanan: *Ethical Rules, Expected Values, and Large Numbers*. *Ethics*, Bd. 76 (1965).

ben. Derartige Verlautbarungen mögen zwar für die Weckung des Bewußtseins in Bezug auf die natürliche Umwelt und zur Inangasetzung politischer Prozesse berechtigt sein, können aber nicht als ernsthafter Versuch zur Bestimmung der gewünschten Umweltverhältnisse betrachtet werden.

Das skizzierte Optimierungsproblem stellt sich ganz ähnlich in der Theorie des optimalen Wachstums, wo der Nutzen aus dem Gegenwartskonsum mit dem zukünftigen Konsumnutzen verglichen werden muß. Dort ist zu entscheiden, welcher Bruchteil der laufenden Produktion zur Kapitalbildung und daher zum Konsum in der Zukunft verwendet werden sollte. Aufgrund der Ähnlichkeit des Optimierungsproblems ist es nicht überraschend, daß auch die bestmögliche zeitliche Nutzung der Umwelt vielfach durch die gleichen Faktoren beeinflußt wird wie beim wirtschaftlichen Wachstum. So ergibt sich etwa im hier entwickelten Ansatz, daß die optimale Umweltnutzung entscheidend durch die Zeitpräferenzrate (oder äquivalent durch den Zeithorizont) und durch die Elastizität des Grenznutzens der Nutzung der Natur (resp. des Güterkonsums) bestimmt wird.

## 5. Zweck und Inhalt des Aufsatzes

In diesem Aufsatz wird versucht, das Problem der optimalen zeitlichen Nutzung der Umwelt auf so einfache Weise wie möglich zu behandeln. Dadurch soll erreicht werden, daß ein intuitives Verständnis für einige entscheidende Größen erreicht wird.

Kompliziertere Ansätze mit gleicher Problemstellung bestehen bereits, sie enthalten jedoch so viele Variablen und Beziehungen, daß das Verständnis schwierig wird und überdies oft die Schlußfolgerungen nur noch wenig aussagen. So kommen etwa Oscar *Burt* und Ronald *Cummings*<sup>7</sup> zum Ergebnis, daß bei unendlichem Zeithorizont der Gesellschaft der „Bestand an Natur“ entweder einem konstanten Wert zutreiben oder aber in einer endlichen Zeit ganz verschwinden soll. Die entsprechenden mathematischen Formeln sind jedoch so kompliziert, daß sie sich nicht intuitiv interpretieren lassen, und damit für praktische Zwecke unbekannt bleibt, unter welchen Bedingungen welches der beiden Ergebnisse angestrebt werden sollte.

In diesem Zusammenhang stellt sich ganz allgemein die Frage, ob die in der ökonomischen Theorie übliche Modellbildung mit nicht-numerischen Variablen auch auf Gebiete sinnvoll anwendbar bleibt, die durch eine sehr große Zahl interdependenter Beziehungen charakterisiert sind. Ein alternativer theoretischer Ansatz besteht in der

<sup>7</sup> Oscar *Burt* and Ronald *Cummings*: Production and Investment in Natural Resource Industries. American Economic Review, Bd. 60 (1970) S. 576 - 590.

„Systems Dynamics“ von Jay W. Forrester und seinen Mitarbeitern, bei der Digital-Computer zur Simulation realistischer mathematischer Modelle eine zentrale Aufgabe haben<sup>8</sup>.

Diese Methode ist auch schon zur Untersuchung von Umweltproblemen verwendet worden<sup>9</sup>. Vermutlich werden in der Zukunft nur noch entweder diese großen Computermodele (inklusive den ökonomischen Modellen) oder aber einfache, leicht zu handhabende und verständliche Modelle zu Teilproblemen eine Daseinsberechtigung haben.

In Abschnitt II wird über einen einfachen Ansatz berichtet, der zu einem konstanten (optimalen) Bestand an Natur führt. In Abschnitt III wird durch eine geringe Veränderung der zugrunde gelegten Regenerationsfunktion der Natur eine optimale zeitliche Abbau- (oder Aufbau-) Rate entwickelt und daraus in Abschnitt IV einige Folgerungen gezogen. In Abschnitt V werden die beiden Ansätze miteinander verglichen und die verbindenden Elemente aufgezeigt.

## II. Optimaler Bestand an Natur

Die optimale zeitliche Nutzung der Umwelt kann durch ein vereinfachendes Modell ermittelt werden, das aus drei Elementen besteht: Regeneration der Umwelt, Verzehr der Umwelt und Nutzen aus dem Umweltverzehr.

### 1. Regeneration der Umwelt

Bei der Untersuchung wird offen gelassen, ob es sich um eine tote Umwelt (z. B. in Form von Gebirge und Rohstoffen wie Kohle und Öl) oder um eine lebende Umwelt handelt, die eine bestimmte Regenerationskraft ( $R$ ) besitzt. Letztere kann am besten als „Natur“ bezeichnet werden. Die tote Umwelt wird also als Extremfall der Natur aufgefaßt, weil sie eine Regeneration von Null ( $R = 0$ ) impliziert. Aus diesem Grund können die Begriffe „Umwelt“ und „Natur“ in diesem Zusammenhang synonym verwendet werden. Das endogene Wachstum der Umwelt wird durch den „Bestand an Natur“ ( $N$ ) bestimmt

$$(1) \quad R_t = f(N_t) .$$

<sup>8</sup> Die „Systems Dynamics“ wurde ab 1940 am Massachusetts Institute of Technology zur Analyse aller Systeme (elektronische, chemische, biologische, gesellschaftliche) entwickelt, deren Elemente über die Zeit hinweg miteinander in Beziehung stehen und damit Systemänderungen nach sich ziehen. Jay W. Forrester: *Industrial Dynamics*. Cambridge (Mass.) 1961. — *Ders.*: *Urban Dynamics*. Cambridge (Mass.) 1969.

<sup>9</sup> Vgl. The Club of Rome Project on the Predicament of Mankind Phase I: *The Dynamics of Global Equilibrium*. Vervielfältigtes Manuskript, Massachusetts Institute of Technology, Nov. 1970.



Für die Umwelt als Ganzes ist nur wenig über diese Funktion bekannt.

Für einige Teile der Natur — wie Fische und Wald — kann jedoch empirisch nachgewiesen werden, daß diese Regenerationsfunktion quadratisch ist<sup>10</sup>.

$$(1a) \quad R_t = \lambda N_t - \varepsilon N_t^2,$$

Sie wird in Figur 1 grafisch wiedergegeben.

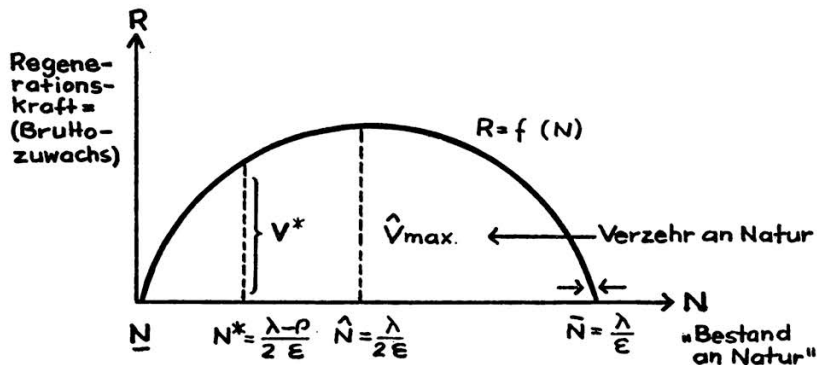


Fig. 1

C. G. Plourde<sup>11</sup> nimmt ohne weiteren Beweis an, daß diese spezielle Form der Regenerationsfunktion für alle Teile der Umwelt Geltung besitzt. Dadurch wird jedoch das Ergebnis seiner Untersuchung von vornherein in eine bestimmte Richtung festgelegt. Ohne Eingreifen des Menschen würde sich nämlich ein stabiles Gleichgewicht bei  $\bar{N} = \lambda/\varepsilon$  einstellen, wo die Natur eine Höhe erreicht hat, bei der die Regenerationskraft ausgeschöpft ist ( $R = 0$ ) und die Natur *konstant* bleibt ( $N$  ist ein instabiles Gleichgewicht). Eine quadratische Regenerationsfunktion erlaubt also kein dauerndes Wachsen oder Schrumpfen des Naturbestandes.

## 2. Der Verzehr der Umwelt

Die natürliche Umwelt kann genutzt oder — um die ökonomische Terminologie zu verwenden — verzehrt (konsumiert) werden. Der

<sup>10</sup> Vgl. z. B. V. Volterra: *Théorie mathématique de la lutte pour la vie*. Paris 1931.

<sup>11</sup> C. G. Plourde: *A Simple Model of Replenishable Resource Exploitation*. *American Economic Review*, Bd. 60 (1970), S. 518 - 522, insb. S. 518.

„Verzehr“ der Natur besteht im Fall von toten Rohstoffen wie Kohle und Rohöl in dessen Abbau. Im Falle der lebenden Umwelt wie etwa Wald, Fisch und Wild braucht der Begriff keine weitere Erläuterung. Bei der Umwelt in Form von Naturschönheit — die im Zeichen der Freizeitgesellschaft immer bedeutender wird — besteht der Verzehr der Natur in der negativen Beeinflussung durch menschliche Aktivitäten in der Produktions- und Konsumsphäre. Als Beispiel sei die Verschandelung der Natur durch den Bau von Autobahnen und durch die Gewässerverschmutzung genannt. Eine systematische und verlässliche Messung des Umweltverzehrs ist sicherlich nicht einfach, jedoch sind bereits einige fruchtbare Anstrengungen unternommen worden. Auf die Ansätze von *Isard* und *Leontief* wurde bereits oben hingewiesen<sup>12</sup>. In der eben entstehenden Erweiterung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung auf eine Gesellschaftliche Gesamtrechnung in Form der „Social Indicators“ bildet der Umweltfaktor eine wichtige Komponente<sup>13</sup>. Formal ergibt sich der Verzehr ( $V$ ) als Differenz zwischen der Regeneration oder dem Bruttozuwachs der Natur ( $R$ ) und dem übrigbleibenden Nettozuwachs der Natur  $\dot{N} \equiv dN/dt$ .

$$(2) \quad V = R - \dot{N}$$

Es stellt sich nun die Frage, wieviel natürliche Umwelt der Mensch dauernd verzehren kann. Aus der obenstehenden Figur kann abgelesen werden, daß der maximale Verzehr  $V$  (als dauernd aufrechtzuerhaltende Strömungsgröße) erreicht wird, wenn die größtmögliche Regenerationskraft erreicht ist, d. h. wenn

$$(3) \quad \frac{dR}{dN} = \frac{d(\lambda N - \varepsilon N^2)}{dN} = \lambda - 2\varepsilon N = 0, \\ \hat{N} = \lambda/2\varepsilon$$

Dem maximalen dauernden Verzehr  $V = \hat{V}_{\max}$  entspricht also ein Naturbestand  $\hat{N}$ .

### 3. Der Nutzen aus dem Umweltverzehr

Der einem maximalen Verzehr entsprechende Naturbestand konnte ohne Verwendung einer Nutzenfunktion ermittelt werden. Nun muß geprüft werden, ob dieser maximale Verzehr auch *optimal* ist, d. h. ein Maximum an Nutzen stiftet.

<sup>12</sup> Für den Bereich der Luftverschmutzung vgl. z. B. auch: Ronald G. *Ridker*: *Economic Costs of Air Pollution. Studies of Measurement*. New York 1967.

<sup>13</sup> Vgl. z. B.: Raymond A. *Bauer* (Hrsg.): *Social Indicators*. Cambridge (Mass.). 1966.

## Der Verzehr an Umwelt stiftet einen Nutzenstrom

$$(4) \quad u = u(V) ,$$

pro Zeiteinheit. Dieser Nutzenstrom besteht sowohl im *direkten* Verzehr der Natur als Begleiterscheinung des Güterkonsums als auch im *indirekten* Verzehr, der durch die Produktion dieser Endprodukte entsteht. Wenn also etwa die Produktionsstruktur verändert wird, um einen geringeren Verbrauch der Natur zu ermöglichen, entstehen *ceteris paribus* höhere Produktionskosten der Endprodukte, die eine Verringerung des verfügbaren Einkommens (oder Möglichkeitsraumes) darstellen und damit auch eine Einbuße des erreichbaren Nutzens nach sich ziehen. Ein vollständiges Modell müßte diesen Prozeß von den einzelnen Komponenten des Umweltverzehr zur Nutzenstiftung explizit darstellen, etwa indem das oben erwähnte erweiterte Input/Output-Modell von *Leontief* dazwischengeschaltet wird.

Der Nutzenstrom aus dem Umweltverzehr (4) wird über einen unendlichen Zeithorizont integriert und mit der Zeitpräferenzrate  $\rho$  diskontiert.

$$(5) \quad U = \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\rho t} u(V) dt , \quad \rho \geq 0$$

Der Naturbestand  $N$  soll derart gewählt werden, daß das Nutzenintegral  $U$  maximiert wird. Durch Anwendung des Maximum-Prinzips von *Pontryagin*<sup>14</sup> können zwei Differentialgleichungen

$$(6) \quad \dot{N} = \lambda N - \varepsilon N^2 - V(p)$$

$$(7) \quad \dot{p} = p(\rho - \lambda + 2\varepsilon N)$$

abgeleitet werden. Die Hilfsvariable  $p$  muß dabei der Bedingung

$$(8) \quad p = e^{-\rho t} \cdot u'(V)$$

genügen. *Plourde* zeigt grafisch wie das System (6) und (7) den optimalen Pfad beschreibt. An dieser Stelle sei jedoch nur das Gleichgewicht betrachtet, das durch

$$(9) \quad \dot{N} = 0 \quad \text{und} \quad \dot{p} = 0$$

<sup>14</sup> Eine gute Einführung gibt Wilhelm *Frank*: Mathematische Grundlagen der Optimierung. München und Wien 1969. — Vgl. auch Bruno S. *Frey*: Eine einfache Einführung zu Pontryagins Maximum-Prinzip im Wirtschaftswachstum. Weltw. Arch., Bd. 103 (1969).



definiert wird und über das interessante Aussagen möglich sind. Einsetzen von (9) in (6) und (7) ergibt einen optimalen Naturbestand

$$(10) \quad N^* = \frac{\lambda - \varrho}{2\varepsilon}.$$

Da der Bestand an natürlicher Umwelt nicht negativ (oder Null) sein kann, ist dieser Ansatz nur sinnvoll, solange  $\lambda > \varrho$ . Je stärker ceteris paribus die Gegenwart der Zukunft vorgezogen wird, (d. h. je größer  $\varrho$ ), desto geringer sollte der Naturbestand sein. Wenn eine Erhöhung des Umweltbestandes die Reproduktion stärker erhöht als verringert (d. h. wenn  $\lambda$  im Vergleich zu  $\varepsilon$  groß ist), so sollte im Optimum der Naturbestand größer sein: Eine Erhöhung lohnt sich, weil die Kosten seiner Erhaltung wegen der gesteigerten Reproduktionskraft gefallen sind. Ein Vergleich von (3) und (10) zeigt sofort, daß im allgemeinen der maximale Verzehr ( $\hat{V}_{\max}$ ) nicht dem optimalen Verzehr ( $V^*$ ) entspricht. Wenn nämlich die Zukunft diskontiert wird ( $\varrho > 0$ ), ist

$$N^* < \hat{N},$$

und dementsprechend ist auch

$$V^* < \hat{V}_{\max}.$$

Diese Konstellation ist in Fig. 1 wiedergegeben. Nur wenn die Zukunft nicht diskontiert wird ( $\varrho = 0$ ), gilt

$$(11) \quad N^* = \hat{N} \quad \text{und} \quad V^* = \hat{V}_{\max}.$$

Dieses Ergebnis kann folgendermaßen interpretiert werden. Wenn die Gesellschaft die Nutzung der Natur in der Gegenwart genau gleich hoch wie in der Zukunft einschätzt, also nicht nach dem Nutzungszeitpunkt unterscheidet, so ist es richtig, in jeder zukünftigen Periode gleichviel wie in der Gegenwart zu „verzehren“, und zwar den größtmöglichen, dauernd aufrecht zu erhaltenden Strom  $\hat{V}_{\max}$ . Wird jedoch der Verzehr in der Zukunft geringer als in der Gegenwart eingeschätzt ( $\varrho > 0$ ), so lohnt es sich, in der Gegenwart mehr als in der Zukunft zu verzehren. Das wird dadurch erreicht, daß (gegenüber dem Zustand ohne Zeitpräferenz) der Naturbestand einmalig von  $\hat{N}$  auf  $N^*$  reduziert und damit verzehrt wird. Die genaue Form dieses Verzehrs des Bestandes an natürlicher Umwelt wird durch das Differentialgleichungssystem (6) und (7) beschrieben. Entscheidend ist, daß dieser Umweltkonsum nicht im Aufbrauchen der natürlichen Regenerationskraft (also einer Strömungsgröße), sondern im (nur einmal möglichen) Ab-

bau des Bestandes an Natur besteht. Nach dieser Reduktion wird der in alle Zukunft fortdauernde Verzehr auf dem niedrigeren Niveau  $V^*$  ( $< \hat{V}_{\max}$ ) festgehalten. Auf diese Weise wird also die Differenzierung des Umweltverzehrs zwischen der Gegenwart und der Zukunft erreicht.

Dieses Resultat ist analog zur Theorie des optimalen Gleichgewichtswachstums<sup>15</sup>. Der maximale dauernde Konsumstrom  $\hat{C}_{\max}$  (der durch die „goldene Regel“ erreicht wird) ist nur optimal, wenn Zukunft und Gegenwart gleich bewertet werden. Sobald jedoch der Zukunftskonsum geringer eingeschätzt wird, lohnt es sich, den Kapitalstock durch einen einmaligen Konsumakt zu reduzieren und dann mit einem niedrigeren dauernden Konsumstrom  $C^*$  ( $< \hat{C}_{\max}$ ) zu leben (d. h. mit der „Goldenen Nutzenregel“).

### III. Optimale zeitliche Veränderung der Natur

Das im vorhergehenden Abschnitt abgeleitete Ergebnis über den optimalen gleichgewichtigen Naturbestand hängt entscheidend von dem unterstellten Regenerationsgesetz (1a) ab. Wird etwa angenommen, daß jedes Niveau an natürlicher Umwelt die gleiche (relative) Regenerationskraft besitzt, bricht das erzielte Resultat zusammen. In diesem Falle ist nämlich

$$(1b) \quad R = \lambda N, \quad \lambda \geq 0$$

Da nun  $\varepsilon \equiv 0$ , folgt, daß kein optimaler Naturbestand gemäß Gl. (10) mehr bestimmt werden kann. An dessen Stelle tritt im Optimum eine kontinuierlich wachsende oder schrumpfende Natur.

Der Verzehr der Natur  $V$  sei nun als Bruchteil  $\mu$  seines Bestandes angegeben

$$(12) \quad V = \mu N.$$

Der Netto-Zuwachs der Umwelt ist demnach

$$(13) \quad \dot{N} = R - V = (\lambda - \mu) N.$$

Zu maximieren ist wiederum das Integral des abdiskontierten zukünftigen Nutzenstromes  $u(V)$ <sup>16</sup>

<sup>15</sup> Vgl. z. B.: Robert M. Solow: Growth Theory. Oxford 1970. Kap. 5. — Bruno S. Frey: Optimales Wachstum: Übersicht und Kritik. Jb. f. Nat.ök. u. Stat., Bd. 184 (1970), S. 9 - 30.

<sup>16</sup> Neben dem Verzehr der Umwelt könnte auch dessen Bestand direkten Nutzen stiften, so daß der Nutzenstrom  $u = u(V, N)$  ist. Die Ergebnisse unterscheiden sich jedoch so geringfügig von der einfacheren Formulierung, daß auf eine Wiedergabe verzichtet wird.

$$(5) \quad U = \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\varrho t} u(V) dt .$$

Der Hamiltonsche Ausdruck ist

$$H = e^{-\varrho t} u(\mu N) + p \cdot (\lambda - \mu) N .$$

Die notwendigen Bedingungen für ein Maximum sind<sup>17</sup>

$$(14) \quad \frac{\partial H}{\partial \mu} = 0 \quad (\mu = \text{Kontrollvariable})$$

$$(15) \quad \frac{\partial H}{\partial N} = -\dot{p} \quad (N = \text{Zustandsvariable})$$

$$(16) \quad \frac{\partial H}{\partial p} = \dot{N} = (\lambda - \mu) N .$$

Nach einigen Manipulationen<sup>18</sup> ergibt sich für die optimale Rate des Umweltverzehr

$$(17) \quad \mu^* = \left( \frac{V}{N} \right)^* = \lambda + \frac{\varrho - \lambda}{\alpha} = \frac{(\alpha - 1) \lambda + \varrho}{\alpha} .$$

Die optimale Wachstumsrate des Umweltbestandes und des Verzehr ist

$$(18) \quad \left( \frac{\dot{N}}{N} \right)^* = \left( \frac{\dot{V}}{V} \right)^* = \lambda - \mu^* = \frac{\lambda - \varrho}{\alpha} .$$

<sup>17</sup> Diese Darstellungsform gibt Robert Dorfman in seinem glänzenden Aufsatz: An Economic Interpretation of Optimal Control Theory. Am. Ec. Rev., Bd. 59 (1969), S. 817 - 831, insb. S. 823.

<sup>18</sup> Aus (14) folgt:

$$(14)' \quad e^{-\varrho t} u'(\mu N) \cdot N - pN = 0 .$$

Zeitlich differenziert

$$(14)'' \quad -\varrho e^{-\varrho t} u'(\mu N) \cdot N + e^{-\varrho t} [u'' \cdot \mu \cdot \dot{N} \cdot N + u' \cdot \dot{N}] = \dot{p}N + p\dot{N} ,$$

und nach Division durch  $(-N)$  und Berücksichtigung von (16)

$$(14)''' \quad \varrho e^{-\varrho t} u'(\mu N) - e^{-\varrho t} [u'' \cdot \mu \cdot \dot{N} + u' \cdot (\lambda - \mu)] = -[\dot{p} + p(\lambda - \mu)]$$

Aus (15) ergibt sich

$$(15)' \quad e^{-\varrho t} u'(\mu N) \cdot \mu = -[\dot{p} + p(\lambda - \mu)] .$$

Nach Gleichsetzung von (14)''' und (15)' folgt nach einigen Umformungen:

$$\varrho - \frac{u'' \cdot V}{u'} (\lambda - \mu) - (\lambda - \mu) = \mu ,$$

d. h.

$$(17) \quad \mu^* = \lambda + \frac{\varrho - \lambda}{\alpha} = \frac{(\alpha - 1) \lambda + \varrho}{\alpha}$$



$\alpha$  ist die „Elastizität des Grenznutzens des Verzehrs an Natur“

$$(19) \quad \alpha = - \frac{u''(V) \cdot V}{u'(V)} > 0.$$

Damit wird eine Nutzenfunktion impliziert, die nach der Größe der Elastizität die verschiedenen Formen annimmt, wie sie in Fig. 2 (a) bis (c) grafisch dargestellt sind.

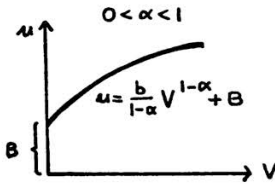


Fig. 2 a

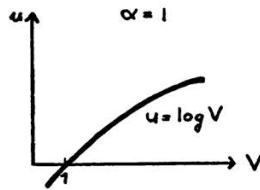


Fig. 2 b

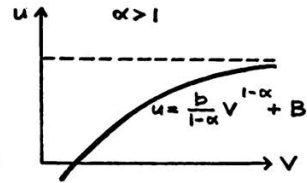


Fig. 2 c

Die optimalen Raten des Verzehrs und der Veränderung des Bestandes der Natur sind von nur drei Größen abhängig, nämlich von

- der Regenerationskraft der Natur ( $\lambda$ ),
- der Zeitpräferenzrate ( $\varrho$ ),
- der Grenznutzenelastizität des Umweltverzehrs ( $\alpha$ ).

Der erste Parameter ist biologisch bestimmt, der zweite und dritte gehören in die Nutzensphäre der Individuen und der Gesellschaft.

#### IV. Einige Folgerungen und Interpretationen

##### 1. Folgerung:

Ob der Naturbestand (und der Verzehr) dauernd vergrößert oder abgebaut werden sollte, hängt vom Verhältnis von Regenerationskraft zur Zeitdiskontierung ab.

Aus Gleichung (18) ist ersichtlich, daß:

- der Naturbestand und der Verzehr kontinuierlich vergrößert werden sollten, wenn die Regeneration größer als die Diskontrate ist:  $\lambda > \varrho$ .
- Umgekehrt sollten die Natur und Verzehr kontinuierlich abgebaut werden, wenn die Zukunft schneller diskontiert wird, als die Natur durch Regeneration wächst:  $\varrho > \lambda$ .

- Der Naturbestand und der Verzehr sollten konstant gehalten werden, wenn die beiden Raten gerade gleich groß sind:  $\varrho = \lambda$ . Die Regeneration entspricht dann dem Verzehr:  $\lambda = \mu^*$ .

Die erste Folgerung ist einfach zu verstehen. Die Rolle der Zeitpräferenz ( $\varrho$ ) läßt sich auch durch den Zeithorizont ausdrücken. Je größer die Diskontrate, desto weniger Gewicht wird der Zukunft gegeben. Dies entspricht einem kurzen Zeithorizont<sup>19</sup>. Je kürzer der Zeithorizont einer Gesellschaft (je höher  $\varrho$ ), desto eher sollte die Natur abgebaut werden. Kraß ausgedrückt: Umweltschädigungen, die im Moment Nutzen stiften (was ja auch gesamtwirtschaftlich meist der Fall ist) erweisen sich als berechtigt, wenn die Gesellschaft nur noch kurz zu existieren glaubt. Je längerfristig eine Gesellschaft denkt, desto eher wird die Umwelt „verschönert“. Bei diesen Überlegungen muß immer bedacht werden, daß es sich um stark aggregierte Größen handelt. Dies trifft insbesondere für den Regenerationsfaktor zu: Verschiedene Bereiche der Umwelt verfügen über ganz unterschiedliche Regenerationsmöglichkeiten, und es wäre wegen der Gewichtungssproblematik nicht einfach, daraus einen aussagekräftigen Durchschnitt zu ermitteln. Wenn die tote Umwelt — definiert durch  $\lambda_i \equiv 0$  — etwa ein großes Gewicht hat und damit  $\lambda$  nahe bei Null ist, läßt sich (cet. par.) um so eher erwarten, daß  $\varrho > \lambda$ ; die Natur sollte daher kontinuierlich abgebaut werden.

In Bezug auf die Zeitpräferenzrate  $\varrho$  werden noch viele grundsätzliche Probleme aufgeworfen, die jedoch an dieser Stelle nur gestreift werden können.

(1) Einmal stellt sich die Frage, ob die Reduzierung des Optimierungsproblems auf (unter anderem) die Diskontierungsrate  $\varrho$  eine sinnvolle „Lösung“ darstellt. Kann  $\varrho$  überhaupt als autonome Größe behandelt werden oder sollte vielleicht sogar umgekehrt vorgegangen werden? In diesem Falle würde von der Wertschätzung der Menschen bezüglich der Natur als oberstem Ziel ausgegangen und dann daraus die optimale Politik abgeleitet. Wenn etwa auf irgendeine Weise festgestellt werden könnte, daß die Natur erhalten werden muß, müssen die Präferenzen der Menschen beeinflußt werden, damit sie die Zukunft nicht mehr so stark diskontieren. Durch diese Beeinflussung muß erreicht werden, daß  $\varrho \leq \lambda$ , daß also die bestehende natürliche Umwelt zumindest erhalten bleibt.

Dieser „umgekehrte“ Schluß scheint für Ökonomen zwar etwas überraschend, ist jedoch weiterer Überlegungen wert. Das Problem bei diesem umgekehrten Ansatz besteht allerdings in der Ermittlung der

<sup>19</sup> Vgl. dazu M. Inagaki: Optimal Economic Growth. Shifting Finite versus Infinite Time Horizon. Amsterdam 1970. S. 61.

Wertschätzung der Natur. Wegen des eingangs erwähnten Externalitätenproblems darf sie nicht aus dem tatsächlichen Verhalten der Menschen gegenüber der Natur abgeleitet werden, sondern muß direkt erfaßt werden. Methoden wie die üblichen Meinungsbefragungen dürften sich dazu kaum eignen.

(2) Das Problem der empirischen Erfassung der Zeitpräferenzrate ist besonders heikel. Für den Konsumbereich bestehen einige Schätzungen, die aber über die üblichen ökonometrischen Zweifel hinaus nicht überzeugend sind. Koichi Mera benutzt zur Schätzung den eben erwähnten „umgekehrten“ Ansatz; aus der bestehenden Investitionsquote leitet er über ein Modell des optimalen Wirtschaftswachstums die damit implizierte Zeitpräferenz ab und kommt auf Werte von 3 bis 4 %<sup>20</sup>. Diese tatsächliche Zeitpräferenzrate müßte nun aber der „wahren“ Rate gegenübergestellt werden, deren Bestimmung nach wie vor offen bleibt.

(3) Weiter stellt sich die ethische Frage, ob die Gesellschaft als Ganzes überhaupt die Zukunft diskontieren darf, da ja ihre Lebensdauer (im Gegensatz zu den einzelnen Menschen) als unbeschränkt gelten kann. Dann entsteht aber ein neues Problem durch die Tatsache, daß zusätzliche Annahmen eingeführt werden müssen, um überhaupt eine optimale Politik ableiten zu können. Diese Auffassung wird durch Ramsay und Harrod vertreten<sup>21</sup>.

Im Zeitalter eines möglichen Atomkrieges muß jedoch selbst wiederum in Frage gestellt werden, ob die Gesellschaft als Ganzes eine unbeschränkte Lebensdauer hat: Wenn in jedem Jahr die Kriegswahrscheinlichkeit größer als Null ist, so ereignet sich — über längere Zeiträume betrachtet — der Krieg mit Gewißheit<sup>22</sup>. Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, ist auch der gesellschaftliche Zeithorizont endlich oder die Zeitpräferenz positiv.

## 2. Folgerung:

Die optimale Geschwindigkeit des Auf- und Abbaus der Umwelt und des Verzehrs hängt von der Differenz zwischen Regeneration und Zeitpräferenz und vom Grenznutzen des Umweltverzehrs ab.

Betrachtet sei der Fall  $\lambda < \rho$ , d. h. wo die Natur abgebaut werden sollte. Je größer die Zeitpräferenz (und je kleiner damit der Zeithorizont) und je kleiner die Regenerationskraft der Natur und die Elasti-

<sup>20</sup> Koichi Mera: An Empirical Determination of a Dynamic Utility Function. Review of Economics and Statistics, Bd. 50 (1968), S. 117-122, insb. S. 120 f.

<sup>21</sup> Frank Ramsey: A Mathematical Theory of Saving. Economic Journal, Bd. 38 (1928). — Roy F. Harrod: Towards a Dynamic Economics. London 1948.

<sup>22</sup> Vgl. dazu Carl Friedrich von Weizsäcker: Kriegsfolgen und Kriegsverhütung. München 1970.



zität des Grenznutzens des Umweltverzehr, desto schneller sollte die Natur abgebaut werden. Eine geringe Grenznutzenelastizität bedeutet, daß bei zunehmendem laufenden „Gebrauch“ der Natur der Grenznutzen nur langsam fällt. Je schneller also der Grenznutzen mit steigendem Verzehr der Natur fällt (d.h. je größer  $\alpha$ ), desto geringer sollte der laufende Verzehr sein<sup>23</sup> und desto langsamer geht daher der Abbau der Natur vor sich. Der Einfluß von  $\lambda$  und  $\alpha$  auf die Zuwachsrates der Natur ( $\dot{N}/N$ ) ist in Fig. 3 wiedergegeben.

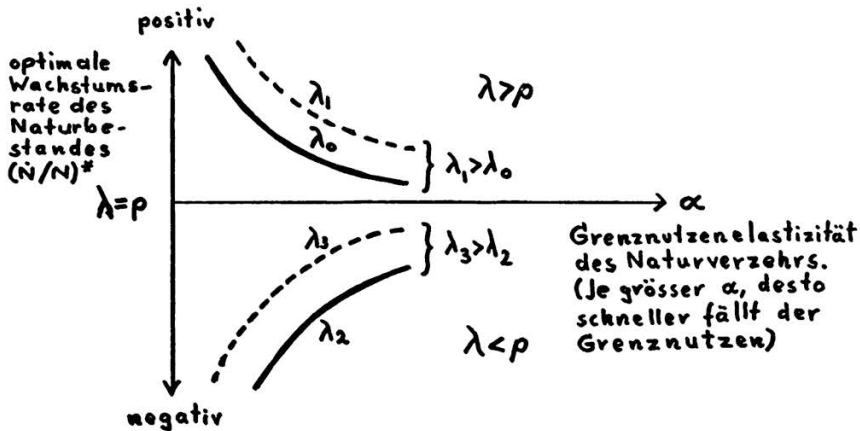


Fig. 3

### 3. Folgerung:

Entgegen den Erwartungen führt eine schnellere Regenerationsfähigkeit der Natur nicht immer zu einer Erhöhung des Anteils des optimalen laufenden Verzehr.

Aus Gleichung (17) ist ersichtlich<sup>24</sup>, daß eine schnellere Regeneration der Umwelt  $\lambda$  nur zu einer Erhöhung des verzehrten Teils des Naturbestandes führen sollte, wenn der Grenznutzen eines höheren laufenden Verzehr rasch fällt ( $\alpha > 1$ ). Die intuitive Begründung liegt darin, daß der wegen der stärkeren Regenerationsfähigkeit ceteris paribus

<sup>23</sup> Differenzierung von (21) nach  $\alpha$  ergibt  $\frac{d\mu^*}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \left[ \frac{(\alpha-1)\lambda + \varrho}{\alpha} \right] = \frac{\lambda - \varrho}{\alpha^2}$ .

Für den Fall des Umweltabbaus ( $\lambda < \varrho$ ) gilt also  $\partial\mu^*/\partial\alpha < 0$ .

<sup>24</sup> Differenzierung von (21) nach  $\lambda$  ergibt:

$$\frac{d\mu^*}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left[ \frac{(\alpha-1)\lambda + \varrho}{\alpha} \right] = \frac{(\alpha-1)}{\alpha}.$$

höhere zukünftige Bestand und damit auch Verzehr nicht mehr so viel zusätzlichen Nutzen stiftet. Daher lohnt sich ein vermehrter Verzehr in der Gegenwart. Wenn hingegen der Grenznutzen bei höherem Naturverzehr nur wenig abnimmt ( $\alpha < 1$ ), lohnt sich ein Zuwarten, um dann in der Zukunft entsprechend absolut mehr zu verzehren.

### V. Vergleich der Ansätze

Die angestellten Überlegungen über die optimale zeitliche Nutzung der Natur sind nur vorläufig, und es wäre verfrüht, wenn daraus bereits politische Folgerungen gezogen würden. Einer der Gründe dafür liegt darin, daß die Produktions- und Konsumtätigkeit der Wirtschaft nicht explizit in das Modell eingeführt wurde. Das bewußt einfach gehaltene Modell hat jedoch aufzeigen können, daß sowohl der optimale Bestand als auch die optimale Veränderung der natürlichen Umwelt durch einige zentrale Parameter bestimmt werden, die in jedem Fall (also auch in komplizierteren Ansätzen) eine entscheidende Rolle spielen oder deren Bedeutung zumindest neu überdacht werden muß. Zukünftige Forschungen sollten sich auf theoretischer und empirischer Ebene mit der Regenerationsfunktion der Natur beschäftigen, da davon abhängt, ob die Natur im Optimum konstant sein oder sich dauernd verändern sollte. In beiden Fällen wirkt das Verhältnis zwischen der proportionalen (positiven) Komponente der Regenerationsfunktion  $\lambda$  und der Zeitpräferenzrate  $\varrho$  in ähnlicher Weise:

Das konstante Optimum an Natur (bei  $\varepsilon > 0$ ) ist

$$(10) \quad N^* = \frac{\lambda - \varrho}{z \varepsilon} ; \quad \lambda > \varrho$$

und das veränderliche Optimum (bei  $\varepsilon \equiv 0$ )

$$(18) \quad \left( \frac{\dot{N}}{N} \right)^* = \frac{\lambda - \varrho}{\alpha} .$$

Wenn die Natur über eine große Regenerationskraft verfügt (wenn also  $\lambda$  groß ist), ist es sinnvoll diese Möglichkeit zu nutzen, indem ein höheres Niveau des Bestandes oder der Wachstumsrate der Natur angestrebt wird. Eine große Vorliebe der Gesellschaft für die Gegenwart gegenüber der Zukunft (ein hohes  $\varrho$ ) — oder äquivalent ein geringer Zeithorizont — sollte dazu führen, daß die durch die Natur gespendeten Möglichkeiten rasch aufgebraucht werden (kleiner Bestand und niedrige Wachstumsrate). Die Parameter  $\varepsilon$  (die „Bremswirkung“ eines erhöhten Naturbestandes auf die Regeneration) und  $\alpha$  (das Zurückgehen des Grenznutzens bei erhöhtem Verzehr der Natur) haben in

den beiden Ansätzen eine ähnliche Funktion. Je höher sie sind, desto stärker sollte der aus der Natur fließende Reichtum (in der Gegenwart) verzehrt werden, weil ein Verzicht auf Konsum und ein Aufsparen sich wegen der dadurch entstehenden „Kosten“ (in Form verminderter Regenerationskraft oder verminderten Grenznutzens) nicht lohnen würde. Auch wenn die auf verschiedenen Annahmen bezüglich der Regenerationsgesetze der Natur aufbauenden Ansätze auf den ersten Blick sich stark zu unterscheiden scheinen, bestehen doch grundsätzliche Gemeinsamkeiten.

### Summary

#### The Use of Nature over Time

The article deals with the intertemporal use of nature, i.e. the choice to use natural environment in the presence or in the future. Because of strong externalities present consumption of nature is likely to be higher than optimal. To decide which use of nature is optimal over time, the authors make two assumptions concerning the regeneration potential of natural environment. Under both assumptions, the higher regeneration potential should be used to build nature up, while a strong time preference indicates that it should be run down more quickly.