

Siebert, Horst

**Article**

## Ökonomische Theorie natürlicher Ressourcen

Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (ZWS) - Vierteljahresschrift der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Verein für Socialpolitik

**Provided in Cooperation with:**

Duncker & Humblot, Berlin

*Suggested Citation:* Siebert, Horst (1981) : Ökonomische Theorie natürlicher Ressourcen, Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (ZWS) - Vierteljahresschrift der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Verein für Socialpolitik, ISSN 0342-1783, Duncker & Humblot, Berlin, Vol. 101, Iss. 3, pp. 267-298,  
<https://doi.org/10.3790/schm.101.3.267>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/291493>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

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

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

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

**Terms of use:**

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

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

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



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# Ökonomische Theorie natürlicher Ressourcen

## Ein Überblick

Von Horst Siebert\*

Der Beitrag untersucht die optimale Allokation erneuerbarer und nicht erneuerbarer natürlicher Ressourcen auf verschiedene Generationen. Bedingungen einer optimalen Nutzung von natürlichen Ressourcen in der Zeit — als Konsumgut und als Produktionsfaktor — werden erarbeitet. Ferner wird gefragt, wie Märkte die Ressourcennutzung in der Zeit steuern.

Seit den Veröffentlichungen des *Club of Rome* und der markanten Preiserhöhung für Erdöl im vierten Quartal 1973 und in den Jahren 1978, 1979 und 1980 ist die Knappheit natürlicher Ressourcen zu einem zentralen wirtschaftstheoretischen und -politischen Problem geworden. Das *Bouldingsche* Erklärungsparadigma des Raumschiffs Erde (1971) akzentuiert die neue Fragestellung der Wirtschaftswissenschaft: Werden die natürlichen Ressourcen wie Erdöl, andere Energieressourcen, natürliche Rohstoffe wie Minerale und Nahrungsmittel in Zukunft (auch angesichts steigender Bevölkerungszahlen) knapper? Inwieweit kann wirtschaftliches Wachstum der Industrienationen und der Entwicklungsländer bei sich verknappenden Ressourcen auf dem bisherigen Niveau aufrecht erhalten werden? Soll die heutige Generation bei der Nutzung der Ressourcenbasis die Interessen der Zukunft berücksichtigen und inwieweit soll sich dieses Interesse in den heutigen Entscheidungen niederschlagen? Welche Anpassungsprozesse sind möglich, um eine Verknappung natürlicher Ressourcen aufzufangen und welche Rolle spielen Märkte und Wirtschaftspolitik in diesem Kontext?

Im folgenden verstehen wir unter natürlichen Ressourcen die von der Natur potentiell bereitgestellten Mittel zur direkten und indirekten Erfüllung menschlicher Wünsche. Der Begriff der natürlichen Ressourcen kann nicht allein auf die der Natur entnommenen Produktionsmittel abstellen, da eine solche Interpretation wesentliche Aspekte des Ressourcenproblems im landläufigen Sinn wie z. B. von der Natur gelieferte

---

\* Für eine kritische Durchsicht des Manuskripts danke ich *H. Meder* und *S. Toussaint*. Ferner danke ich der VW-Stiftung für wissenschaftliche Förderung.

Konsumgüter (Fische oder Allmendegüter wie die Sauerstoffhülle der Erde) ausschließen würde.

Natürliche Ressourcen lassen sich u. a. nach ihrer Produktionsweise in der Natur, nach der Wiederverwertbarkeit, nach der Anwendungsmöglichkeit des Ausschlußprinzips und nach der Verwendung klassifizieren. Nach der Produktionsweise in der Natur sind erneuerbare (biologische Wachstumsprozesse [Holz], Wachstumsprozesse bei Tierpopulationen [Fische]) und nicht erneuerbare Ressourcen zu unterscheiden, bei denen natürliche Entstehungsprozesse (wie Sedimentierung) für menschliche Planungshorizonte keine Rolle spielen. Natürliche Ressourcen können in ökonomischen Prozessen untergehen (Agrarprodukte) oder grundsätzlich wiederverwertbar oder rückgewinnbar sein (Erze). Nach der Anwendungsmöglichkeit des Ausschlußprinzips unterscheiden wir natürliche Ressourcen mit Zuweisung von einzelwirtschaftlichen Nutzungsrechten und Allmendegüter (Erdatmosphäre, Weltmeere), wobei die institutionelle Definition von Nutzungsrechten die Klassifikation beeinflusst. Schließlich können natürliche Ressourcen Konsumgüter oder Produktionsmittel sein. Durch die explizite Einführung eines Extraktionssektors verschiebt sich diese Klassifikation.

### 1. Die Knappheitsthese

Die These, daß natürliche Ressourcen „knapper“, „besonders knapp“ oder in einem „dramatischen Sinn“ knapp werden, ist der Ausgangspunkt der Ressourcentheorie. Die These der Verknappung läßt sich in fünf verschiedene Richtungen entwickeln.

*Dogmengeschichtlich* ist von Interesse, welche Ideen und Perspektiven Wirtschaftswissenschaftler in der Vergangenheit zur Ressourcenfrage entwickelt haben. Von der Knappheitsrente bei *Adam Smith*, *Ricardos* Gesetz der Nutzung qualitätsmäßig schlechterer Anbauböden und dem *Malthusianischen* Szenario bis zu *Mills* stationärem Zustand und *Jevons* (1865) Problematisierung der Kohlevorräte lassen sich Knappheitskonzepte in nationalökonomischen Gedankengebäuden verfolgen<sup>1</sup>. *Wirtschaftstheoretisch* wird es verlockend zu untersuchen, wann besondere Knappheitssituationen aufgetreten sind, welche Anpassungsprozesse sich eingestellt haben und wie sich die relative Knappheit bestimmter Güter (z. B. Salz, Silber) in der Zeit, auch über lange Zeiträume, verändert hat. *Allokationstheoretisch* ergibt sich die Frage, an welchem Indikator eine Ressourcenverknappung gemessen werden kann. *Empirisch-ökonomisch* ist zu analysieren, ob eine Verknappung in der Vergangenheit beobachtet werden konnte. Schließlich kann man die

---

<sup>1</sup> Vgl. auch *R. Nasse* (1893).

*spekulativ-prognostizierende Frage* aufwerfen, ob Ressourcen in Zukunft knapper werden.

Sieht man von einem dramatischen Knappheitskonzept ab, das sich im Erklärungsparadigma des „Raumschiffs Erde“ (*Boulding* [1971]), Weltuntergangsszenarios (*Meadows* [1972]) oder an der These einer schwindenden Möglichkeit artikuliert, bestehende Wachstumsprozesse aufrecht erhalten zu können, so sind für die Messung der Knappheit natürlicher Ressourcen (denen privatisierbare Nutzungsrechte zugewiesen werden können) folgende Kriterien vorgeschlagen worden<sup>2</sup>: i) Anzahl der Jahre, für die die bekannten Ressourcenbestände bei vorgegebenen Verbrauchsdaten reichen (Verfügbarkeitskonzept), ii) reale Durchschnittskosten der Extraktion, iii) Realpreise rohstoffintensiv produzierter Produkte und iv) Nutzungskosten.

Das vorwiegend von Geologen vertretene Verfügbarkeitskonzept (*Brobst* [1976]; *M. H. Govett* und *G. J. S. Govett* [1977]) berücksichtigt nicht die Anpassungsprozesse auf Angebots- und Nachfrageseite wie Exploration, technischer Fortschritt in der Rohstoffextraktion, Substitution durch alternative Technologien oder neue Produkte. Auch weniger naive Formulierungen dieses physischen Knappheitskonzeptes, in denen z. B. Anpassungen der Nachfrage enthalten sind, ziehen potentielle Anpassungsprozesse nur ungenügend in Betracht. Das Verfügbarkeitskonzept hat jedoch den Vorzug, eine Vorstellung vom Ausmaß der erforderlichen Anpassungsprozesse zu vermitteln und damit die Anpassungslücke zu verdeutlichen.

An steigenden realen Durchschnittskosten der Extraktion vermag man zwar zu erkennen, daß es lohnender geworden ist, ungünstigere Rohstoffgehalte abzubauen, Minen mit ungünstigerem Zugang in Angriff zu nehmen, oder daß die Nachfrage zugenommen hat. Falls aber technischer Fortschritt in der Extraktion vorliegt, können die Extraktionskosten sinken; dann zeigen die niedrigeren Extraktionskosten nicht den Fall an, daß bekannte Ressourcenmengen rapide abnehmen. Generell gibt das Kriterium der realen Durchschnittskosten die aktuellen Opportunitätskosten der Ressourcennutzung in Form der Extraktionskosten an, aber nicht die Opportunitätskosten zukünftiger Generationen.

Steigende Realpreise eines ressourcenintensiv produzierten Gutes zeigen an, daß die Extraktionskosten zunehmen, daß die Nachfrage wächst, das Angebot geringer und die Substitution schwieriger wird. Der Realpreis berücksichtigt auch die Erwartungen. Nehmen die Ressourcenbestände ab und erwartet der Ressourcenbesitzer in Zukunft einen

---

<sup>2</sup> Zu einer Übersicht vgl. *Brown* und *Field* (1978), *Fisher* und *Petersen* (1977), *Pethig* (1979), *Siebert* (1979).

höheren Preis, so wird er die Ressource heute nicht verkaufen; dann sinkt die angebotene Menge, und der Realpreis steigt. Analog wirken sich die Knappheitserwartungen der Nachfrager aus. Der Realpreis des rohstoffintensiv produzierten Gutes beinhaltet also die privaten Nutzungskosten (user costs).

Auch gegen Realpreise des rohstoffintensiv produzierten Gutes als Knappheitsindikator lassen sich Argumente vortragen: Erwartungen können falsch sein, private Nutzungskosten können möglicherweise nicht den (bekannteren?) gesellschaftlichen Nutzungskosten entsprechen. Monopolisierung, z. B. der Extraktionsbranche, kann die Realpreise verzerren. Idealerweise wird die Verknappung natürlicher Ressourcen an den Nutzungskosten (user costs) gemessen. *Brown* und *Field* (1978) sprechen vom „Preis der Ressource in situ“, oder der „rental rate“, *Smith* (1977), 3) unterscheidet anschaulich zwischen „price for meat on the hoof“ und „price for meat on the hook“. User costs geben die Opportunitätskosten der Ressourcennutzung durch die heutige Generation an. Diese Opportunitätskosten bestehen in dem entgangenen Nutzen zukünftiger Generationen. Die Nutzungskosten können als der Knappheitspreis bezeichnet werden, den die heutige Generation dafür anzusetzen hat, daß sie der zukünftigen Generation die Nutzung einer knappen Ressource entzieht.

Die vorstehenden Maße der Verknappung beziehen sich auf natürliche Ressourcen, denen private Nutzungsrechte zugewiesen werden können. Bei denjenigen Gütern, die historisch als Allmendegüter (common property resource) behandelt wurden, lautet die Frage, ob im Sinn des property rights Ansatzes private Nutzungsrechte definierbar sind. Ist dies nicht der Fall, so kann Knappheit nur festgestellt werden, wenn Qualitätsnormen für diese Güter (z. B. Umweltmedien) definiert und diese Qualitätsstandards in monetäre Größen umgesetzt werden, z. B. ausgedrückt als Kosten der Aufrechterhaltung einer bestimmten Qualitätsnorm.

Sieht man vom Erdöl in der jüngsten Zeit ab, so muß der empirische Nachweis der Verknappungsthese als ungelöst bezeichnet werden. *Barnett* und *Morse* (1963) können mit Ausnahme der Forst- und Fischereiwirtschaft zeigen, daß für den Zeitraum 1870 - 1957 die Durchschnittskosten der Extraktion für Rohstoffe (und landwirtschaftliche Produkte) real gesunken und die Preise dieser Produkte, bezogen auf einen Index von Preisen anderer Güter, leicht gesunken sind. Dieses Resultat ergibt sich bei ihnen auch für einen Index aller entnommenen Naturprodukte (einschließlich Forst- und Fischereiwirtschaft). Die Studien von *Christie* und *Potter* (1962), *Irland* (1974), *Nordhaus* (1974) sowie *Ruttan* und *Callahan* (1962) unterstützen dieses Resultat. *Radetzki* (1977) kann für

die Realpreise von Kupfer, Aluminium und Eisenerz keinen langfristig steigenden Trend für den Zeitraum 1900 - 1970 zeigen. Neuere Interpretationen der Daten von *Barnett* und *Morse* durch *Dasgupta* und *Heal* (1979) und *K. V. Smith* (1979) bezweifeln die Möglichkeit einer definitiven Aussage.

## 2. Die Grundstruktur des Allokationsproblems

Ausgangspunkt des intertemporalen Allokationsproblems ist die Gültigkeit einer Ressourcenrestriktion zwischen den Generationen. Bei den nicht erneuerbaren Ressourcen besteht diese Restriktion darin, daß die Nutzung heute — schließt man Recycling aus — eine Nutzung in zukünftigen Perioden vereitelt (Kurve  $TT'$  in Schaubild 1 a). Die zukünftige Generation sieht sich dann einer kleineren Ressourcenbasis gegenüber. Ist die natürliche Ressource regenerierbar, so können sich die heutigen Entnahmen ( $C_0$ ) auf die Regeneration der Ressource (z. B. Bestände als Input in den Regenerationsfunktionen) und damit auf die Verfügbarkeit in der Zukunft auswirken. Eine geringere Entnahme der Ressource heute bewirkt infolge der Regeneration eine größere Menge in der Zukunft (Kurve  $TT'$  in Schaubild 1 b). Es ist interessant festzustellen, daß die Transformationsfunktion  $TT'$  in Schaubild 1 b sowohl für eine regenerierbare natürliche Ressource wie z. B. Fischbestände gilt als auch für Kapital, bei dem die produktiven Produktionsumwege sich ähnlich auswirken wie ein natürlicher Zuwachs. Bei Allmenderesourcen tangiert die heutige Nutzung sowohl über Regenerationsfunktionen (Fische der Weltmeere) als auch über andere Interdependenzen (Schadstoffakkumulation bei Umweltqualität, Bodenrestriktion bei einer Verwendungskonkurrenz zwischen Naturpark und offenem Tagebau [sog. Hells-Canon-Problematik nach *Krutilla* (1972)]) quantitativ- oder qualitätsmäßig zukünftige Nutzungen.

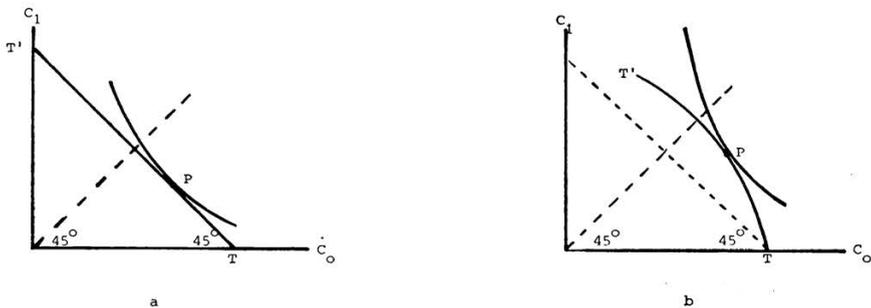


Schaubild 1

Die Analyse der Verwendungskonkurrenz zwischen Generationen kann als das zentrale Thema der Ressourcentheorie im Sinn einer positiven Wissenschaft verstanden werden. Erklärungsobjekt ist der Zusammenhang zwischen Natur und ökonomischem System (Schaubild 2), und zwar

- i) die Auswirkungen der Ressourcennutzung auf Konsum, Produktion, Wachstum und andere Variable, auch in der Zukunft
- ii) die Entnahme aus der Natur
- iii) das Verhalten natürlicher Systeme
- iv) der Einfluß des ökonomischen Systems auf die Natur über den Rückfluß von Materialien.

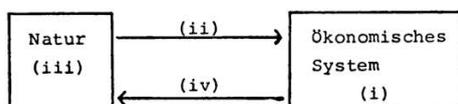


Schaubild 2

Als besonderer Zusammenhang führt die Ressourcentheorie Regenerationsfunktionen ein, die eine Abhängigkeit der Veränderung  $\dot{z}$  eines Bestandes vom Bestand  $z$  und einem Vektor anderer Größen  $x$  postulieren, wobei nicht erneuerbare Ressourcen als Grenzfall mit  $f(z, x) = 0$  interpretiert werden

$$(1) \quad \dot{z} = f(z, x) .$$

In der Regel werden einfache Regenerationsfunktionen betrachtet (z. B. *Plourde* (1970)). Neben Wachstumsfunktionen in der Natur (Fische, Holz), die einer Grundfunktion  $\partial f / \partial z \geq 0 : z \leq \bar{z}$  zu folgen scheinen, sind andere Regenerationsprozesse von Interesse (z. B. Sauerstoffproduktion durch das Phytoplankton der Weltmeere). Hier wird deutlich, daß regenerierbare Ressourcen sowohl privatisierbare Güter als auch öffentliche Güter sein können. Die Berücksichtigung des Zusammenhangs  $\partial f / \partial x \neq 0$  erlaubt es, die Ressourcenfrage mit der Umweltproblematik im engeren Sinn zu verbinden, da eine Reihe von Größen im  $x$ -Vektor von Emissionen beeinflusst werden. Allerdings werden intertemporale Allokationsansätze, die solche Zusammenhänge berücksichtigen, schnell unüberschaubar.

Neben die explikative Analyse des Zusammenhangs von Natur und ökonomischem System, z. B. die Analyse der intertemporalen Verwendungskonkurrenz, tritt die normative Frage, inwieweit die Interessen zukünftiger Generationen bei heutigen Entscheidungen berücksichtigt

werden sollen. Dabei werden Optimalitätskriterien hypothetisch eingeführt. Neben die traditionellen Kriterien der Wohlfahrtstheorie (*Koopmans*-Effizienz, *Pareto*-Rangordnungsregel, soziale Wohlfahrtsfunktion) tritt u. a. das *Rawl'sche* Fairness-Kriterium (1971). Dabei ist zu beachten, daß die Frage nach dem Gewicht, das dem Interesse zukünftiger Generationen bei heutigen Ressourcenentscheidungen beizumessen ist, als equity-Problem zwischen den Generationen aufzufassen ist. Bereits bei der Auswahl hypothetischer Optimalitätskriterien zeigt sich also der Zielkonflikt zwischen „efficiency“ und „equity“. Mit Ausnahme der *Koopmans*-Effizienz dokumentiert sich bei der Anwendung der Optimalitätskriterien die normative Frage der Verteilungsgerechtigkeit zwischen Generationen in der Auswahl der Diskontrate.

Während die normative Fragestellung im Sinne der Wohlfahrtsökonomie das intertemporale Allokationsoptimum (Punkt P in Schaubild 1) und seine Implikationen bestimmt, sind in einem weiteren Schritt die gedanklichen oder realen Allokationsmechanismen (Märkte, wirtschaftspolitische Eingriffe) darzustellen und darauf hin zu überprüfen, inwieweit sie zu einem Allokationsoptimum führen.

### 3. Intertemporales Allokationsoptimum

Unter Vorgabe eines Wohlfahrtskriteriums, z. B. einer sozialen Wohlfahrtsfunktion, und einer „gesellschaftlichen“ Diskontrate werden die Implikationen eines Wohlfahrtsmaximums, insbesondere das Zeitprofil der Ressourcennutzung und des Schattenpreises der Ressource, abgeleitet. Dabei kann die Ressource Konsumgut, Produktionsfaktor, privates oder Allmendegut, erneuerbar oder nicht erneuerbar sein.

Das einfachste Allokationsmodell enthält die folgenden Komponenten: eine Wohlfahrtsfunktion, gemäß der die Wohlfahrt  $W_t$  von den konsumierten Menge  $C_t$  eines Gutes abhängt; eine Bewegungsgleichung gemäß der die Veränderung des Ressourcenbestandes  $R_t$  durch die Veränderung in der Natur  $g(R_t)$  und die Entnahmen  $E_t$  definiert wird und Gleichungen, die die Verwendung der Ressource im ökonomischen System beschreiben. Die Gleichungssysteme 2 a - c sind alternativ zu verwenden. Im Fall 2 a ist die Ressource Konsumgut. Im Fall 2 b wird die Ressource als Produktionsfaktor  $Z$  eingesetzt und mit ihr ein normales Konsumgut erstellt, das durch Nichtkonsum zu einem Kapitalgut wird (*Meade'sche* „cow-economy“). Fall 2 c schließlich berücksichtigt die Verwendung der natürlichen Ressource sowohl im Konsum als auch in der Produktion ( $C^C$ : normales Konsumgut;  $C^R$ : konsumierte Ressourcennenge).

$$\text{Max } w = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} W_t(C_t) dt$$

unter den Bedingungen

$$(2) \quad \begin{aligned} \dot{R}_t &= g(R_t) - E_t \\ \text{a) } E_t &= C_t \\ \text{b) } E_t &= Z_t \\ \dot{K} &= F(K_t, Z_t) - C_t \\ \text{c) } C_t &= C_t^C + C_t^R \\ E_t &= C_t^R + Z_t \\ \dot{K} &= F(K_t, Z_t) - C_t^C \end{aligned}$$

Produktions- und Wohlfahrtsfunktion seien durch abnehmende Zuwächse gekennzeichnet (z. B.  $W_C > 0$ ,  $W_{CC} < 0$ ,  $W_{CCC} > 0$ ). Für die Regenerationsfunktion wird unterstellt  $g_R \geq 0$  für  $R \leq \bar{R}$  und  $g_{RR} < 0$  für alle  $R$ .

### 3.1 Natürliche Ressourcen als Konsumgut

*Erneuerbare Ressourcen.* Ist die Ressource ein Konsumgut, gilt also  $E = C$ , so lautet die Hamilton-Funktion<sup>3</sup>

$$(3) \quad H = W_t(C_t) + p_t [g(R_t) - C_t]$$

Notwendige Bedingungen für das Optimum sind

$$(3i) \quad W_C = p$$

$$(3ii) \quad \dot{p} = p(\delta - g_R)$$

$p$  ist der Schattenpreis des Ressourcenbestandes. Er gibt die Veränderung im Gegenwartswert des Zielfunktionalen an, wenn im Zeitpunkt  $t$  der Ressourcenbestand parametrisch (exogen) um eine Einheit vermehrt wird.  $p$  gibt damit an, wieviel eine zusätzliche Ressourceneinheit für die verbleibende Planungszeit von  $t$  bis  $\infty$ , also für alle zukünftigen Generationen, (unter Berücksichtigung der Abdiskontierung) wert ist. Dieser Schattenpreis kennzeichnet die Nutzungskosten oder user costs.

Gleichung (3i) ist ein allgemeines Resultat der intertemporalen Ressourcenallokation: Der Schattenpreis eines Ressourcenbestandes ist so zu wählen, daß der Grenznutzen des Konsums heute den Opportunitätskosten dieses Konsums für zukünftige Generationen gleich ist.

<sup>3</sup> Aus schreibtechnischen Gründen werden Zeitindices vernachlässigt.

Der Schattenpreis  $p$  der Ressource muß auch dem Kapitalwert des Ressourcenbestandes entsprechen. Dies folgt aus

$$(3iii) \quad p = W_C = \dot{p} / (\delta - g_R)$$

Aus  $p = W_C(C)$  folgt, daß  $\dot{p} = W_{CC}\dot{C}$ . Folglich gibt  $\dot{p}$  die Bewertung einer Änderung des Konsumstromes an. Der Ausdruck  $\delta - g_R$  ist eine Nettozinsrate, die deshalb anzusetzen ist, weil die Regeneration der Ressource  $g_R$  (für  $R < \bar{R}$ ) eine niedrigere effektive Zinsrate bewirkt. Damit kennzeichnet die rechte Seite von Gleichung 3iii den Wert des Bestandes (Kapitalwert)<sup>4</sup>. Der Schattenpreis ist also für eine sich regenerierende Ressource so zu setzen, daß er dem Kapitalwert der Ressource und dem Grenznutzen aus dem Konsum heute entspricht.

Die steady state Lösung des in Gleichung 2a beschriebenen Problems ist in Schaubild 3 dargestellt. In Schaubild 3 a ist die  $\dot{p} = 0$ -Kurve durch  $\delta = g_R(R^*)$  bestimmt. Die Eigenschaften der  $\dot{R} = 0$ -Kurve ergeben sich aus  $g(R) = C(p)$  mit

$$\frac{dp}{dR} = g_R W_{CC} \leq 0 \quad \text{für } R \leq \bar{R}$$

$$\frac{d^2p}{dR^2} = g_{RR} W_{CC} + g_R^2 W_{CCC} > 0 \quad \text{für } R < \bar{R}$$

Alternativ kann die steady state Lösung im  $C$ - $R$ -Raum dargestellt werden (Schaubild 3 b). Die  $\dot{R} = 0$ -Kurve verläuft wie die Regenerationsfunktion im  $\dot{R}$ - $R$ -Raum. Die  $\dot{C} = 0$ -Kurve ergibt sich aus  $W_C(C) = p$  und damit aus  $\dot{C} = \frac{W_C}{W_{CC}} (\delta - g_R)$ . Die  $\dot{C} = 0$ -Kurve ist eine Vertikale für  $\delta = g_R(R^*)$ .

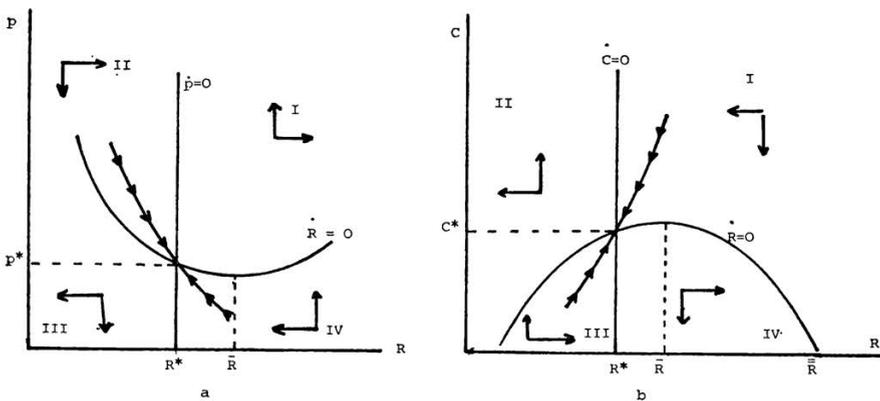


Schaubild 3

<sup>4</sup> Analog bestimmt sich der Kapitalwert in der Zinsrechnung durch Zins-einnahmen und Zinssatz.

Als Resultat erhält man: Ist die Anfangsausstattung  $R_0 > R^*$  (großzügige Ressourcenausstattung), so muß der Schattenpreis der Ressource in der Zeit ansteigen. Der in den Ausgangsperioden niedrige Schattenpreis erlaubt es, in diesen Anfangsperioden eine größere Ressourcmenge zu konsumieren als sich regeneriert. Dadurch wird der Bestand auf die langfristig optimale Menge zurückgeführt. Der steigende Schattenpreis reduziert die Entnahme. Ist dagegen die Anfangsausstattung  $R_0 < R^*$  (ungünstige Ausgangssituation), so muß in den Ausgangsperioden ein hoher Schattenpreis gesetzt werden, um die Entnahmen klein zu halten. Im Verlauf der Zeit steigt der Bestand, der Schattenpreis kann sinken, und die Entnahmen können ansteigen.

*Nicht erneuerbare Ressourcen.* Ist der Ressourcenbestand vorgegeben, so entfällt in Gleichung 3 die Regenerationsfunktion  $g(R)$ . Dieser Fall ist als „cake-eating“ Problem in die Literatur eingegangen. Die Gesellschaft sieht sich einem vorgegebenen Kuchen gegenüber, dessen Konsum sie auf mehrere Perioden aufteilen muß. Der Schattenpreis der nicht erneuerbaren Ressource wächst mit der Diskontrate (Schaubild 4 a),  $\dot{p} = p \delta$ . Aus  $W_C = p$  ergibt sich  $\dot{C} = \frac{p \delta}{W_{CC}} < 0$ , so daß der Konsum pro Periode immer geringer wird, bis letztlich der letzte Liter Öl in immer kleinere Entnahmeeinheiten aufgeteilt wird (Schaubild 4 b). Schaubild 4 kann als Spezialfall der erneuerbaren Ressource dargestellt werden. Schaubild 4 a entspricht Region IV in Schaubild 3 a; und Schaubild 4 b entspricht Region I in Schaubild 3 b.

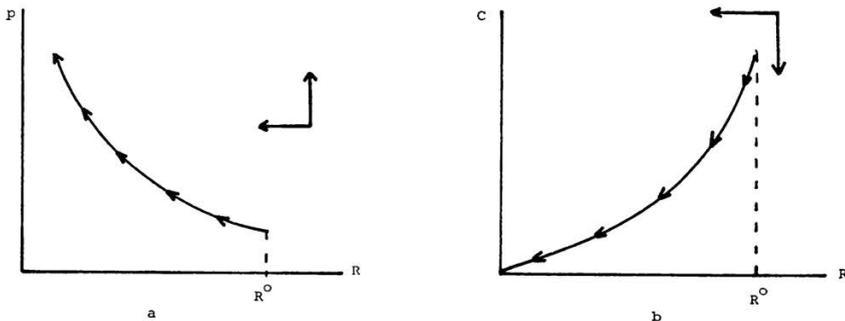


Schaubild 4

Aus  $\dot{p} = p \delta$  folgt, daß der Gegenwartswert der Ressource für alle Perioden gleich ist, daß also unter Beachtung von  $W_C = p$  gilt

$$p_0 = W_{C_0} = p_1 e^{-\delta 1} = W_{C_1} e^{-\delta 1} = W_{C_2} e^{-\delta 2} = \dots = W_{C_n} e^{-\delta n}$$

Das Zeitprofil der Entnahme ist also so zu steuern, daß diese Bedingung erfüllt ist. Es läßt sich zeigen, daß die Ressource in endlicher Zeit nicht erschöpft ist (*Dasgupta und Heal* (1979), 166).

### 3.2 Natürliche Ressourcen als Produktionsfaktor

*Nicht erneuerbare Ressourcen.* Sind natürliche Ressourcen Produktionsfaktor und nicht erneuerbar, so ergibt sich aus Gleichung 2b die Hamilton-Funktion

$$(4) \quad H = W(C) + p[-Z] + \pi[F(K, Z) - C]$$

Die notwendigen Bedingungen sind

$$\begin{aligned} (i) \quad & W_C = \pi \\ (ii) \quad & p = \pi F_Z \\ (iii) \quad (5) \quad & \dot{p} = \delta p \\ (iv) \quad & \dot{\pi} = \pi(\delta - F_K) \end{aligned}$$

Der Grenznutzen des Konsums für die heutige Generation entspricht den entgangenen Nutzen der zukünftigen Generation, oder den „user costs“ des Konsumgutes, das ja durch Nicht-Konsum in ein Kapitalgut transformiert werden kann. Der Schattenpreis der Ressource, in jeder Periode gleich dem Grenzwertprodukt, steigt mit der Diskontrate.

Differentiation der Bedingung 5ii nach der Zeit und Einsetzen der Preisgleichungen 5iii und 5iv ergibt die notwendige Bedingung für jede Periode

$$(5v) \quad \dot{F}_Z/F_Z = F_K$$

$\dot{F}_Z$  kennzeichnet die Änderung der Grenzproduktivität der natürlichen Ressource in der Zeit;  $\dot{F}_Z/F_Z$  ist die relative Veränderung der Grenzproduktivität, also die Eigenzinsrate der natürlichen Ressource.  $F_K$  ist die Eigenzinsrate des Kapitals. Bedingung 5v fordert also die Gleichheit der Eigenzinsraten zweier unterschiedlicher Bestandgrößen (*Hotelling* (1931); *Stiglitz* (1974); *Dasgupta und Heal* (1974), (1979)).

Im steady state, falls ein solches existiert, gilt  $F_K = \delta$ . Die Kapitalakkumulation wird so lange verfolgt, bis die Grenzproduktivität gleich der Diskontrate ist.

Wie bei anderen intertemporalen Allokationsmodellen, so werden an das hier skizzierte Modell zwei Grundfragen gestellt:

- i) Durch welche Eigenschaften ist ein steady state gekennzeichnet? Insbesondere: Kann langfristig ein — wenn auch minimaler — Konsum pro Kopf aufrecht erhalten werden?

- ii) Geht man von gegebenen Anfangsbedingungen aus, durch welchen Zeitpfad erreicht das System das steady state? Wie sind die Ressourcenentnahmen und der Konsum (und der Schattenpreis der Zustandsvariablen) in der Zeit zu steuern, damit das Wohlfahrtsfunktional maximiert wird?

Die Beantwortung dieser Fragen hängt entscheidend von den Annahmen über die Produktionsfunktion ab. Ist die natürliche Ressource nicht notwendig in der Produktion, kann also ohne sie produziert werden, gilt also  $F(K, 0) > 0$ , so kann die Ressource durch andere Faktoren substituiert werden. In diesem Fall kann die Begrenztheit der natürlichen Ressource durch Kapitalakkumulation kompensiert werden. Bei einer CES-Funktion gilt  $F(K, 0) > 0$ , wenn die Substitutionselastizität  $\sigma > 1$ . Dann ist die Ressource nicht notwendig zur Produktion. Ist dagegen  $\sigma < 1$ , ist die Ressource notwendig; die Substitutionsmöglichkeiten sind bei gegebener Technik dermaßen begrenzt, daß die Akkumulation des Kapitals die Endlichkeit der Ressourcenmenge nicht kompensieren kann. Der Output nimmt langfristig ab (*Dasgupta und Heal* (1979), 200)).

Der Fall  $\sigma = 1$  der Cobb-Douglas-Funktion liegt zwischen den beiden oben beschriebenen Fällen der leichten und schweren Substituierbarkeit. Dieser Fall der Cobb-Douglas-Funktion ist ausführlich in der Literatur diskutiert worden, u. a. weil die vereinfachenden Annahmen der Cobb-Douglas-Funktion eine überschaubare Analyse des steady-state gestatten (*Solow* (1974); *Stiglitz* (1974); *Dasgupta und Heal* (1979)). Es ergeben sich folgende Resultate.

Liegt weder technischer Fortschritt noch Bevölkerungswachstum vor, so ist ein konstanter Konsum pro Kopf langfristig möglich, wenn die Produktionselastizität des Kapitals größer ist als die Produktionselastizität der Ressource und Kapital schnell genug akkumuliert (*Solow* (1974); *Dasgupta und Heal* (1979)). Intuitiv kann man argumentieren: In einer solchen Wirtschaft wird die Endlichkeit des Ressourcenbestandes durch die Zunahme des Kapitalstocks aufgefangen. Dies ist möglich, weil Kapital der „bedeutendere“ Produktionsfaktor ist. Wenn die Produktionselastizität der Ressource größer als die des Kapitals ist, nimmt der Output ab, und ein konstantes Konsumniveau kann langfristig nicht aufrecht erhalten werden.

Liegt technischer Fortschritt vor und ist dieser hinreichend groß, so kann ein konstantes Konsumniveau pro Kopf langfristig aufrecht erhalten werden, ohne daß Kapital der bedeutendere Produktionsfaktor ist.

Liegt kein technischer Fortschritt aber exogen gegebenes Bevölkerungswachstum vor, so kann ein konstantes Konsumniveau langfristig

bei begrenzten Ressourcen nicht aufrecht erhalten werden. Das aus der älteren Wachstumstheorie bekannte Konzept einer „natürlichen“ Wachstumsrate (*Harrod*) läßt sich in einem Szenario mit natürlichen Ressourcen nicht halten. Aus diesem Dilemma können zwei Wege herausführen. Erstens: Ist technischer Fortschritt hinreichend groß, so kann er den negativen Effekt des Bevölkerungswachstums auf den Konsum pro Kopf kompensieren, und langfristig ist ein konstanter Konsum pro Kopf möglich (*Solow* (1974)). Zweitens: Falls der Konsum pro Kopf die Zunahme der Bevölkerung beeinflußt, kann sich — auch ohne technischen Fortschritt — langfristig ein steady-state ergeben (*Niehans* (1975)).

Das in der Gleichung 2b dargestellte Optimierungsproblem erfordert die geeignete Auswahl der Instrumentvariablen Konsum und Ressourcenentnahme. Dieses Problem wird überschaubarer, wenn man eine konstante Sparneigung vorgibt. Man beraubt das Optimierungsproblem dann einer Kontrollvariablen. Zusammen mit der Annahme einer Cobb-Douglas-Funktion wird das steady-state dann leichter graphisch darstellbar (*Dasgupta und Heal* (1975), 235)). Betrachtet man in einem zweiten Schritt  $s$  als eine Kontrollgröße, analysiert man also isoliert die Frage der optimalen Kapitalakkumulation, so zeigt sich, daß eine notwendige Bedingung

$$\alpha_1 = F_K \frac{K}{Y} = s$$

ist, d. h. die Produktionselastizität des Kapitals muß der Sparneigung entsprechen<sup>5</sup>. Dieses Resultat ist auch als Aussage über die optimale Investitionsquote  $\alpha_1 = I/Y$  oder wegen  $F_K = S/K = \dot{K}/K = \hat{K}$  als goldene Regel der Kapitalakkumulation bekannt. Für  $\delta \geq 0$ , gibt die Bedingung  $F_K = \delta$  des steady-state an, wie weit die Kapitalakkumulation vorangetrieben werden soll (goldene Nutzenregel).

Die Bedingung gibt eine interessante Finanzierungsregel der Kapitalbildung an. Schreibt man die Bedingung um, so ist erforderlich

$$F_K K = \dot{K} = S$$

Die optimale Kapitalakkumulation ist dann sichergestellt, wenn das gesamte Kapitaleinkommen ( $F_K K$ ) zur Kapitalbildung verwendet wird.

Ein verwandtes Resultat ist die *Hartwick-Regel* (*Hartwick* (1977)). Wenn alle Renten aus der natürlichen Ressource für die Kapitalbildung verwendet werden, läßt sich ein konstanter Konsum pro Kopf aufrecht erhalten. In diesem Fall gilt

<sup>5</sup> Eine Voraussetzung zur Existenz eines stationären Gleichgewichts für das Problem mit konstanter Sparneigung und Cobb-Douglas-Funktion ist  $\alpha_1 \geq s$ .

$$F_Z Z = sY = S \quad \text{oder} \quad \alpha_2 = F_Z \frac{Z}{Y} = s$$

Voraussetzung ist, daß Kapital eine größere Produktionselastizität als die natürliche Ressource hat, d. h.  $\alpha_1 > \alpha_2$ . Die Fälle  $\alpha_1 = s$  und  $\alpha_2 = s$  geben also eine mögliche Sparregel für ein Szenario an, in dem man den Konsum pro Kopf konstant halten will.

Die beiden dargestellten Fälle der Finanzierung der Kapitalbildung aus Kapitaleinkommen oder aus den Ressourcenrenten scheinen Extremfälle der Finanzierung darzustellen. Es ist zu erwarten, daß auch eine Kombination der Finanzierungsmöglichkeiten zulässig ist.

*Erneuerbare Ressourcen.* Ist die Ressource erneuerbar, so gilt  $\dot{p} = p(\delta - g_R)$ . Die notwendige Bedingung für jede Periode ist

$$\dot{F}_Z/F_Z + g_R = F_K,$$

da die Eigenzinsrate der natürlichen Ressource jetzt nicht nur durch die Zunahme der Produktivität in der Zeit, sondern auch die Regeneration pro Einheit definiert wird. Im steady-state muß die Kapitalakkumulation und die Ressourcenentnahme so gesteuert werden, daß  $g_R = F_K = \delta$ .

### 3.3 Natürliche Ressourcen als öffentliches Konsumgut

Natürliche Ressourcen können Güter sein, die „in gleicher Menge von allen konsumiert werden müssen“ (*Samuelson* (1954)). Solche öffentlichen Güter existieren, weil es keine Ausschlußtechnologie gibt, die einen Ausschluß von Individuen gestaltet. In Gleichung 2 ist dann  $C$  als Konsummenge eines öffentlichen Gutes zu interpretieren, während die Bewegungsgleichung die Regenerationsfunktion des öffentlichen Gutes beschreibt. Beispiele sind die Sauerstoffhülle oder die Ozonschicht der Erde, Umweltqualität im weitesten Sinn, Schönheit der Landschaft und das Vorhandensein natürlicher Systeme wie einer Pflanzen- oder Tierart, denen ein Wert per se zugesprochen wird. Modelle zur Erfassung dieser Gütertypen müssen zwangsläufig wesentlich komplexer sein als die einfache Bewegungsgleichung in Gleichung 2. Insbesondere ist zu berücksichtigen, wie sich die Regenerationsfunktion  $g$  durch ökonomische Aktivitäten wie beispielsweise Schadstoffakkumulation verändert (z. B. Sauerstoffproduktion des Phytoplanktons in den Weltmeeren).

Die Implikationen eines Optimums müssen auch in diesem Fall die Zurechnung aller user costs verlangen, und zwar sowohl in einem statischen Sinn die Annäherung der einzelwirtschaftlichen an die volks-

wirtschaftlichen Kosten als auch die Berücksichtigung der Nutzenverluste (und Risiken) zukünftiger Generationen. Auf die ungelöste Frage nach der anzustrebenden Menge (Qualität des öffentlichen Gutes), dem Freifahrerproblem und den sozialen Mechanismen zur Aufdeckung von Präferenzen sei verwiesen. Ferner sei daran erinnert, daß in diesem Kontext das Problem der natürlichen Ressourcen in die Frage der optimalen Umweltnutzung übergeht (Siebert [1981 a]).

#### 4. Wettbewerbsgleichgewicht

Erfolgt die Allokation der natürlichen Ressourcen über Märkte, so läßt sich unter geeigneten Annahmen zeigen, daß das in Abschnitt 3 beschriebene Optimum der Ressourcennutzung durch ein intertemporales Wettbewerbsgleichgewicht erreicht werden kann. Ein intertemporales Wettbewerbsgleichgewicht kann als eine Allokation und ein Preisvektor beschrieben werden, bei denen 1. die Konsumenten ihren Nutzen über einen Zeitraum (von 0 bis  $\infty$ ) maximieren, 2. die Produzenten ihren Gewinn über diesen Zeitraum maximieren (einschließlich der Produzenten von natürlichen Ressourcen) und 3. die Nachfrage und das Angebot an Gütern (einschließlich natürlicher Ressourcen) in allen Perioden und über den gesamten Zeitraum ausgeglichen sind.

Ein solches Wettbewerbsgleichgewicht muß man sich wie folgt vorstellen. Die Nachfrager haben gegebene Präferenzen, die sich in der Zeit nicht ändern. Unter der Beachtung der Budgetrestriktion ergibt sich eine Nachfragefunktion für jede Periode. In der Regel wird diese Fragestellung dahingehend vereinfacht, daß man eine gegebene Nachfragefunktion unterstellt, die in allen Perioden gilt (Dasgupta und Heal [1979], 153 f.). Dann erspart man sich die Ableitung der Nachfragefunktion aus dem intertemporal nutzenmaximierenden Verhalten eines Haushalts (wobei sich ja die Zeitpräferenzrate auf das Nachfrageverhalten späterer Perioden auswirken muß) und die Aggregation der Nachfrage über alle Haushalte (wobei Hypothesen über die Veränderung der Bevölkerung relevant werden). Ferner vernachlässigt man die Frage, wie die Nachfrage späterer Perioden von der Verteilung und Verwendung der Knappheitsrenten für natürliche Ressourcen beeinflusst wird. Die Produzenten, insbesondere die Anbieter von natürlichen Ressourcen, maximieren ihren Gewinn über einen Zeitraum und leiten aus diesem Kalkül ihr intertemporales Angebotsverhalten bei vorgegebenen Preisen ab. Damit ist auch das Zeitprofil ihrer Abbaupolitik für vorgegebene Preise bestimmt.

Es existiert für jedes Gut ein spot-Markt und eine Vielzahl von perfekten Terminmärkten, und zwar für jede Periode und jedes Gut ein Terminmarkt. Ein Auktionator ruft sowohl für den spot-Markt als auch

die Vielzahl von Zukunftsmärkten Preise aus. Auf diese Preisnennungen reagieren die Nachfrager und Anbieter mit Nachfrage- und Angebotsmengen.

Aufgabe des Auktionators ist es nun, Marktgleichgewichte herzustellen, und zwar nicht nur für jede Periode, sondern über den gesamten Zeitraum. Ein Marktgleichgewicht würde etwa bestehen, wenn der Auktionator den Preis in den Anfangsperioden so niedrig setzen würde, daß dann große Mengen nachgefragt werden und in zukünftigen Perioden die Ressource nicht mehr vorhanden ist, obwohl eine positive Nachfrage zu einem nichtnegativen Preis vorliegt (der höher liegt als die Abbaukosten der natürlichen Ressource). Andererseits müssen die Preise so gesetzt werden, daß die Ressource nicht in späteren Perioden noch in Mengen angeboten wird, die niemand nachfragt.

Wenn perfekte spot- und Zukunftsmärkte existieren, erfüllen diese genau die oben beschriebene Funktion des Auktionators. Alle Marktpartner, auch die der zukünftigen Perioden, treten heute bereits auf, und alle Abschlüsse werden heute getätigt. In einem solchen Wettbewerbsgleichgewicht liegen alle zukünftigen Mengen und alle zukünftigen Preise fest. In der Zukunft sind keine Entscheidungen mehr zu fällen; es werden lediglich die Vertragsabschlüsse von heute vollzogen.

Ein solches Wettbewerbsgleichgewicht mit perfekten Zukunftsmärkten ist durch eine optimale Allokation gekennzeichnet. Die Grundüberlegung läßt sich für den Fall, daß keine Abbaukosten vorliegen, wie folgt kennzeichnen. Jeder Ressourcenbesitzer muß ein Kalkül anstellen, ob er eine Ressourceneinheit heute verkaufen soll oder nicht. Verkauft er die Ressource heute, so erzielt er einen Preis  $p_0$ , der durch Verzinsung in der nächsten Periode auf  $p_0(1 + \delta)$  anwächst. Der Verkauf in der nächsten Periode bringt den Preis  $p_1$ . Gilt  $p_0(1 + \delta) > p_1$ , so lohnt sich der Verkauf heute. Wenn  $p_0(1 + \delta) < p_1$ , so lohnt es sich, die Ressource im Boden zu lassen und erst morgen zu verkaufen. Die Ressource wird also so lange angeboten, bis

$$p_0(1 + \delta) = p_1$$

Durch Umformulierung erhält man

$$(6) \quad \hat{p} = \frac{p_1 - p_0}{p_0} = \delta$$

Dies entspricht der Bedingung  $\dot{p} = p \delta$ . (Gleichung 5 iii). Der Preis der Ressource muß mit der Diskontrate wachsen. Damit muß sowohl in einem Wettbewerbsgleichgewicht als auch in einem für ein institutionelles Vakuum definiertem Optimum der Preis mit der Rate  $\delta$  steigen. Es läßt sich zeigen, daß sich in einem Optimum im Zeitpunkt unendlich der

Ressourcenbestand null nähert. Genau diese Bedingung erfüllt aber auch das Wettbewerbsgleichgewicht. Damit sind nicht nur die Raten der Preisänderung, sondern auch die Niveaus der Preise in beiden Fällen identisch. Man beachte, daß in einem Wettbewerbsgleichgewicht unter den hier gewählten Bedingungen der gewinnmaximierende Ressourcenbesitzer durchaus in seinem Kalkül *user costs* berücksichtigt. Für ihn bestehen die Opportunitätskosten eines Abbaus heute darin, daß ihm in Zukunft Gewinn entgeht. Damit sind in unserem Kontext auch alle volkswirtschaftlichen *user costs* erfaßt, da alle Gründe für eine Divergenz von einzelwirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen *user costs* aus unserer Analyse explizit ausgeschlossen sind.

Die oben beschriebene *Hotelling*-Bedingung läßt sich auch für den Fall der erneuerbaren Ressourcen ableiten. Der Verkauf einer Ressourceneinheit heute zum Preis  $p_0$  ergibt einen Wert  $p_0(1 + \delta)$  in der nächsten Periode. Wird dagegen in der nächsten Periode verkauft, so erzielt der Ressourcenbesitzer neben dem Preis  $p_1$  auch den Zuwachs der Ressource in der Natur in der Periode 0, von dem angenommen wird, daß er am Ende der Periode 0 verkauft wird. Wenn  $p_0(1 + \delta) > p_1 + p_0g_R$ , so lohnt es sich, die Ressource heute zu verkaufen. Im Gegenfall lohnt es sich, sie im Boden zu belassen. Es muß also gelten

$$p_0(1 + \delta) = p_1 + p_0g_R$$

oder nach Umformulierung

$$(7) \quad \hat{p} = \frac{p_1 - p_0}{p_0} = \delta - g_R$$

In einem Wettbewerbsgleichgewicht verändert sich der Preis der erneuerbaren Ressourcen also wie im Optimum.

Es ist keine Überraschung, daß sich eine analoge Bedingung für das Kapitalgut ergibt. Aus dem Vergleich des Verkaufs eines Kapitalgutes heute mit  $\pi_0(1 + \delta)$  in der nächsten Periode und dem Verkauf morgen mit  $\pi_1 + p_0F_K$  folgt, daß sich der Preis des Kapitalgutes gemäß

$$(8) \quad \pi = \delta - F_K$$

verändert. Diese Bedingung entspricht der Gleichung 5 iv des Optimums.

### 5. Die Einflussfaktoren der intertemporalen Ressourcenallokation

Die in den beiden vorstehenden Abschnitten behandelten Allokationsprobleme beziehen sich auf einfache Grundmodelle. Als eines der wesentlichen Resultate ergab sich, daß die Zeitpräferenzrate bei erneuerbaren Ressourcen zusammen mit der Regeneration das Zeitprofil

des Schattenpreises der Ressource und damit die Entnahmemengen jeder Periode bestimmt. Die dargestellten Grundmodelle werden wesentlich komplexer, wenn zusätzliche Bedingungen wie Abbaukosten, technischer Fortschritt usw. eingeführt werden. Diese Frage kann sowohl für das Optimum als auch für das Wettbewerbsgleichgewicht gestellt werden; im folgenden konzentrieren wir uns im wesentlichen auf den Fall der vollständigen Konkurrenz. Dabei sollen tendenzmäßig die Resultate insbesondere für das zeitliche Abbauprofil angegeben werden. Die Beschränkung auf den Fall der vollständigen Konkurrenz ermöglicht es, das Angebotsverhalten des Ressourcenanbieters herauszuarbeiten, ohne die Eigenschaften eines intertemporalen Konkurrenzgleichgewichts im einzelnen erörtern zu müssen. Der Ressourcenanbieter in vollständiger Konkurrenz sieht sich einem gegebenen Marktpreis gegenüber, den er als Datum betrachtet. Die Frage lautet, ob von den Abbaubedingungen her, und mit welchem Zeitprofil, eine Unternehmung anbietet. Man kann die Resultate auch dahingehend interpretieren, wie sich der Marktpreis von den Abbaubedingungen her, also von der Angebotsseite her, in der Zeit verändern muß, damit ein Angebot erfolgt. In einem zweiten Schritt kann dann das Zusammentreffen des Angebots und der Nachfrage auf dem Ressourcenmarkt betrachtet werden.

### 5.1 Nicht erneuerbare Ressourcen

Gewinnmaximierung über einen Zeitraum wird erreicht, wenn in jeder Periode der Gewinn aus dem Abbau einer Ressourceneinheit dem entgangenen Gewinn zukünftiger Perioden gleich ist. Indem eine Unternehmung heute abbaut, entgeht ihr ein möglicher Gewinn aus der zukünftigen Entnahme der Ressourceneinheit. Dies sind die *user costs* des heutigen Abbaus, hier als entgangener Gewinn zu verstehen. Der Gegenwartswert der Gewinne aus den verschiedenen Perioden muß also gleich sein. Dieses Resultat gilt sowohl für den Fall, daß Abbaukosten vorliegen wie auch für den Fall, daß man Abbaukosten vernachlässigen kann.

*Abbaukosten.* Berücksichtigt man Abbaukosten, so resultiert der Preis der abgebauten Ressource aus der Knappheitsrente (*user costs*) und den anteiligen Abbaukosten. Sind diese Abbaukosten relativ gering, so bewegt sich das System ähnlich wie im Fall ohne Abbaukosten. Der Preis des abgebauten Produkts entspricht in etwa dem Knappheitspreis, und beide nehmen mit der Diskontrate zu. Man hat diesen Fall auch mit dem Schlagwort großer Ressourcenbestand belegt (*Dasgupta und Heal [1979]*). Sind dagegen die Abbaukosten bedeutend, so treiben sie einen Keil zwischen den Marktpreis der abgebauten Ressource und die Knappheitsrente. Bei konstanten Abbaukosten bewegt sich der Marktpreis je-

weils um den Betrag der konstanten Abbaukosten über der Knappheitsrente. Wenn jedoch die Abbaukosten mit sinkendem Ressourcenbestand zunehmen, so wird der Keil zwischen Marktpreis und Knappheitsrente immer größer. Die Knappheitsrente kann wegen der steigenden Abbaukosten auf null sinken; dann wird der Abbau der Ressource uninteressant, obwohl der Bestand noch nicht in einem physischen Sinn erschöpft ist.

*Unterschiedliche Rohstofflager.* Bei einer Mine mit zwei unterschiedlichen Rohstofflagern wird, wie bereits durch Ricardianische Analyse unterschiedlicher Bodenqualitäten bekannt, der günstigere Rohstoff zuerst abgebaut (vgl. *Schneider* und *Schulz* [1976]). Beide Rohstofflager werden nie zur gleichen Zeit abgebaut. Wenn man von einem Rohstofflager zu dem anderen übergeht, muß der Marktpreis zu diesem Zeitpunkt zwangsläufig identisch sein. Wegen der ungünstigeren Abbaukosten aber fällt die Knappheitsrente schlagartig beim Übergang.

*Backstop-Technologie.* Eine Backstop-Technologie ist als ein Ressourcensubstitut definiert, dessen Angebot ab einem bestimmten Preis konkurrenzfähig wird. Zur Vereinfachung wird gerne ein beliebig großes Angebot des Ressourcensubstituts zu diesem Preis unterstellt (*Dasgupta* und *Heal* [1979]). Folgt man dieser Annahme, so wirkt eine Backstop-Technologie ähnlich wie ein ungünstigeres Ressourcenlager, nur daß jetzt ein konstanter Preis gehalten werden kann.

*Exploration.* Berücksichtigt man Exploration, etwa die Anzahl der Bohrungen, und Abbaukosten, so wird ebenfalls wieder die Fallunterscheidung zwischen unbedeutenden und bedeutenden Abbaukosten relevant. Bei großem Ressourcenbestand und unbedeutenden Abbaukosten kann man die Exploration in die Zukunft verschieben. Es lohnt sich nicht, die Exploration intensiv zu betreiben. Ist der Ressourcenbestand dagegen gering und sind die Abbaukosten bedeutend, so lohnt sich die Exploration. Auch in diesem Fall können die Abbaukosten so stark steigen (wenn die Bestände entsprechend gesunken sind), daß sich der Abbau und die Exploration nicht mehr lohnen und die Ressource nicht mehr abgebaut wird.

*Pindyck* (1978) kann für diese Prämissen einen u-förmigen Verlauf eines Ressourcenpreises in der Zeit konstruieren. Sind die bekannten Bestände in einer Ausgangssituation (Erdöl wird an der Erdoberfläche entdeckt) gering, so liegt der Preis hoch. Die Abbaukosten sind bedeutend. Die Exploration beginnt, die bekannten Ressourcen nehmen zu, die Abbaukosten sinken. Schließlich aber nehmen die Bestände ab, und die Abbaukosten steigen wieder. Wenn die Exploration die bekannten Bestände nicht zunehmend vermehren kann, wirkt sich die Zunahme der Abbaukosten (in Abhängigkeit von bekannten Beständen) so stark aus,

daß die Knappheitsrenten schließlich auf null sinken und die Ressource nicht mehr abgebaut wird, obwohl noch Bestände vorhanden sind.

*Endogenisierung des technischen Fortschritts.* Neben der Suche nach Ressourcen kann man sich eine Vielzahl von Erscheinungsformen des technischen Fortschritts vorstellen. Eine Variante zur Endogenisierung des technischen Fortschritts besteht darin, nach dem Datum zu fragen, wann technischer Fortschritt eintritt. Diese von *Dasgupta* und *Stiglitz* (1979) aufgeworfene Fragestellung reduziert die vielfältige Größe technischer Fortschritt auf eine Zeitvariable. Ein Resultat ist, daß das Datum der Erfindung mit der Größe des Ressourcenbestandes variiert, d. h. eine Erfindung erfolgt bei kleinerem Ressourcenbestand schneller (*Dasgupta, Gilbert* und *Stiglitz*, [1980]). Dieses Resultat entspricht dem Ergebnis von *Pindyck*, daß die Explorationsanstrengungen mit der Höhe der Abbaukosten variieren (die ihrerseits wieder vom Ressourcenbestand abhängen). *Dasgupta, Gilbert* und *Stiglitz* (1980) analysieren, wie sich unterschiedliche Marktformen auf das Datum der Erfindung auswirken, und welche Marktkonstellationen sich ergeben, je nachdem, ob etwa die Erfindung von einem Ressourcenmonopolisten oder einer anderen Unternehmung gemacht wird (Oligopol zwischen Ressourcenbesitzer und Unternehmung des Substituts).

*Kapitalbildung in dem Abbausektor.* Wird Kapitalbildung im Abbausektor zugelassen (*Burt* und *Cummings* [1970]), so wird der Output weniger variabel als im einfachen Grundmodell. Der Produktionsfaktor Kapital ist dann ein wichtiger Bestimmungsfaktor der Größe einer Mine. Unterauslastung der Kapazität ist möglich, verursacht aber Kosten: eine Ausdehnung der Kapazität erfordert Zeit.

*Diskontrate.* In dem einfachen Grundmodell bewirkt eine höhere Zeitpräferenzrate einen stärkeren Abbau zugunsten der gegenwärtigen Generation; die zukünftigen Gewinne werden stärker abdiskontiert und erhalten damit ein geringeres Gewicht. Berücksichtigt man aber Exploration und andere investitions-ähnliche Aktivitäten, so kann die Erhöhung der Diskontrate eine Verringerung dieser Tätigkeiten (wie Exploration) und damit zumindest zeitweise — eine geringere Abbaurate zur Folge haben. Dies folgt aus der Überlegung, daß eine hohe Diskontrate die Finanzierungskosten der Exploration und der Kapitalbildung im Abbaubereich erhöht.

*Grenzleistungsfähigkeit des Kapitals.* Die Diskontrate kann auch als Indikator der Grenzleistungsfähigkeit des Kapitals aufgefaßt werden. Ist diese in der Wirtschaft insgesamt hoch, so stellen die alternativen Verwendungsmöglichkeiten von Finanzmitteln einen Anreiz dar, die Mittel eher in der Kapitalbildung in anderen Bereichen einzusetzen als in der Kapitalbildung im Abbaubereich.

Es ist klar zu unterscheiden zwischen dem Einfluß der Diskontrate auf die Kapitalbildung im Abbaubereich und auf die Abbaumengen. Die Abbaumengen selbst werden von einer hohen Grenzleistungsfähigkeit des Kapitals im Restbereich der Wirtschaft positiv beeinflusst. Wenn *ceteris paribus* in dem Arbitrage-Kalkül des Ressourcenbesitzers die Diskontrate (Indikator der Renditen in anderen Bereichen) steigt, so lohnt es sich bei gegebenem  $p_0$  und  $p_1$ , die Ressource verstärkt abzubauen und diese Erlöse in anderen Bereichen anzulegen.

Diese Aussagen haben einen durchaus realen Hintergrund etwa für das Angebotsverhalten der erdölproduzierenden Länder. Haben diese eine hohe interne Zinsrate, so lohnt es sich für sie, die Erdöleinnahmen für die Kapitalbildung im eigenen Land zu verwenden und damit die Wirtschaft voranzutreiben. Die Kapitalbildung und Entwicklung wiegt den Rohstoffabbau auf. Ist dagegen die Absorptionsfähigkeit an Direktinvestitionen begrenzt oder die interne Zinsrate gering, so werden heute weniger Ressourcen angeboten. Neben der internen Zinsrate spielt bei diesen Überlegungen auch der langfristige Zinssatz auf dem internationalen Kapitalmarkt eine Rolle.

*Erwartungen.* Wird in Zukunft eine Verknappung einer Ressource erwartet, so steigt der erwartete Ressourcenpreis  $p_1$  in Gleichung 6, und *ceteris paribus* wird heute weniger angeboten. Die Erwartung einer zukünftigen Verknappung bewirkt also ein geringeres Angebot heute. Wenn die Erwartung objektiv richtig war, so hat diese Anpassung die gewünschten Signale gesetzt. Die Ressource wird heute teuer, und Anpassungsprozesse auf der Angebots- und Nachfrageseite werden stimuliert. Die erwartete zukünftige Knappheit wird über Marktpreise den Entscheidungen signalisiert.

Bestätigt sich die Erwartung nicht, so steigt der Preis heute, und es finden unnötige Anpassungsprozesse statt, die mit Kosten verbunden sind. Preisschwankungen auf den Ressourcenmärkten stellen sich ein (instabile Märkte). Eine wichtige Frage lautet, unter welchen Bedingungen Ressourcenmärkte stabil sind und wie lange sich falsche Erwartungen halten können, d. h. wie schnell sie von Marktinformationen korrigiert werden.

*Risiko.* In der Realität besteht Ungewißheit über den Ressourcenbestand, („How to eat a cake of unknown size“, *Kemp* [1976]), über die Veränderung der bekannten Ressourcenmengen (Exploration), den Zeitpunkt der Veränderung in den bekannten Beständen, die Entwicklung von Substitutionsgütern einschließlich des Zeitpunkts ihres Erscheinens und über Änderungen in der Nachfrage. Unter vereinfachenden Annahmen, etwa wenn nur auf das Datum eines zusätzlichen Res-

sourcenfundes abgestellt wird und eine Poisson-Verteilung für das Entdeckungsdatum unterstellt wird, wirkt sich Unsicherheit in der Erhöhung der Diskontrate aus (Heal [1979]).

*Common Pool Probleme.* Wenn Abbaurechte einzelnen Unternehmen klar zugewiesen sind, tragen diese auch die Opportunitätskosten ihrer Abbaupolitik für ein bestimmtes Ressourcenlager. Wenn Abbaurechte nicht eindeutig zugewiesen sind, wenn etwa ein Ölfeld aus verschiedenen Bohrlöchern angezapft wird, geht die Ressource an denjenigen, der sie zuerst abgebaut hat. Die user costs einer Entnahme werden nicht von dem einzelnen getragen; es besteht kein Anreiz, die user costs einer Entnahme, also die entgangenen Gewinne zukünftiger Perioden, in den Entscheidungen heute zu berücksichtigen. Die Ressource wird zu stark abgebaut.

*Monopol.* Geben wir die bisher unterstellte Prämisse der vollständigen Konkurrenz unter den Extraktionsfirmen auf und unterstellen wir die Marktform des Monopols, so stellt sich die Frage, ob der Monopolist des Umweltschützers Freund ist (Solow [1974], 8). Das vordergründige Argument lautet, daß der Monopolist im Vergleich zum Fall der vollständigen Konkurrenz eine geringere Menge anbietet und damit im Interesse zukünftiger Generationen handelt. Bei diesem Vergleich unterstellt man eine gegebene Nachfragefunktion für alle Perioden. Es läßt sich zeigen, daß bei einer isoelastischen Nachfragekurve in beiden Marktformen das Zeitprofil der Entnahme identisch ist, das obige Argument also nicht zieht (Stiglitz [1976]; Dasgupta und Heal [1979]). Erlaubt man eine Variation der Preiselastizität der Nachfrage, etwa in Abhängigkeit des Bestandes, so läßt sich sowohl der Fall konstruieren, in dem der Monopolist zunächst sparsamer mit der Ressource umgeht und in späteren Perioden mehr anbietet, als auch der Fall, in dem der Monopolist in den Anfangsperioden einen niedrigeren Preis als in vollständiger Konkurrenz fordert. Das Resultat variiert mit dem Einfluß des Ressourcenbestandes auf die Nachfrageelastizität. Ferner ist unterstellt, daß keine Arbitrage zwischen Perioden stattfindet, da ansonsten die Position des Monopolisten tangiert wird.

*Nachfrageverhalten.* Auch das Nachfrageverhalten kann das zeitliche Profil des Ressourcenpreises beeinflussen. Gottinger und Yaari (1980) betonen einen Gewöhnungseffekt, unterstellen also eine Präferenzänderung zugunsten einer natürlichen Ressource infolge niedriger Preise. Durch niedrige Ressourcenpreise gewöhnen sich Wirtschaftssubjekte an den Verbrauch einer Ressource. Ist diese Präferenzverschiebung einmal erfolgt, so lassen sich die Preise seitens der Anbieter erhöhen. Dieses absatzpolitische Verhalten seitens der Anbieter und die durch Preise induzierten Präferenzänderungen der Konsumenten begründen Preis-

spielräume für die Anbieter in späteren Perioden. Auch auf diese Weise läßt sich ein u-förmiger Verlauf eines Ressourcenpreises erklären. Den gleichen Effekt erzielt man im übrigen, wenn man die Umstrukturierung der Nachfrage mit Anpassungskosten und technologisch bedingten Starrheiten belegt, etwa wegen der Umstellung in der Verwendung einer Technologie auf eine andere.

*Vielzahl von Anpassungsprozessen.* Neben den hier erwähnten Faktoren kann man sich eine Vielzahl von Anpassungsprozessen vorstellen. In der Regel enthalten die intertemporalen Allokationsmodelle lediglich einen oder wenige Aspekte einer Anpassung. Je mehr Anpassungsprozesse man zuläßt, und zwar simultan, wie Exploration, technischer Fortschritt im Abbau, Recycling, Substitution bei Angebot und Nachfrage, Präferenzverschiebung, Korrektur von Erwartungen und Anpassungen, desto eher wird das Ressourcenproblem gelöst. Zusätzliche Anpassungsmöglichkeiten heben sozusagen Restriktionen teilweise auf oder reduzieren deren Schärfe. Da das Ressourcenproblem durch Anpassungsprozesse in seiner Brisanz gemildert wird, ist eine staatliche Politik gut beraten, nicht solche Instrumente einzusetzen, die Anpassungsprozesse verzögern oder lähmen.

## 5.2 Erneuerbare Ressourcen

Sind natürliche Ressourcen regenerierbar, so muß der Ressourcenanbieter in seinem Kalkül berücksichtigen, wie sich die Entnahme auf den Bestand auswirkt. Im Grundmodell ohne Entnahmekosten (Fangkosten bei Fischen, Einschlagkosten bei Holz) muß der Gegenwartswert des Gewinns (d. h. hier Erlöses) in jeder Periode gleich sein. Langfristig wird genau diejenige Menge des Bestandes gehalten, bei der  $g_R$  gleich der Diskontrate ist. Es wäre möglich, langfristig permanent eine noch größere Menge der natürlichen Ressource zu entnehmen, nämlich die Menge des konstanten Ertrages (constant yield). In diesem Fall würde man genau denjenigen Bestand halten, bei dem die Regenerationsrate am größten ist (Bestand  $R$  in Schaubild 3 b). Warum wird dieser auf Ewigkeit aufrecht zu erhaltende Ertrag nicht gewählt? Er wird deshalb nicht gewählt, weil er zusätzliches Warten bedeutet. Man müßte die Ressource so lange wachsen lassen, bis ihre Eigenzinsrate auf null gegangen ist. Dazu ist man aber nicht bereit, wenn eine positive Diskontrate vorliegt. Nur wenn die Diskontrate null ist, wird (im Fall der Entnahmekosten von null) die Politik des konstanten Ertrages verfolgt (vgl. *Petersen und Fischer [1977]*).

*Abbaukosten.* Ohne Abbaukosten wird die langfristige Entnahmemenge durch die Diskontrate bestimmt. Sind Entnahmekosten zu be-

rücksichtigen, so wird wieder die Fallunterscheidung zwischen „bedeutenden“ und „nicht bedeutenden“ Extraktionskosten relevant. Sind die Extraktionskosten unbedeutend, so behält die Zeitpräferenzrate ihre dominierende Stellung und der langfristig optimale Bestand liegt links von  $\bar{R}$  in Schaubild 3 b. Sind dagegen die Entnahmekosten bedeutend und sinken die Entnahmekosten mit zunehmendem Bestand, so lohnt es sich, wegen der Entnahmekosten einen größeren Bestand zu halten (rechts von  $\bar{R}$  in Schaubild 3 b).  $g_R$ , die Eigenzinsrate der natürlichen Ressource, kann dann negativ sein, aber dieses wird durch die geringeren Entnahmekosten aufgewogen. Man hält sozusagen einen größeren Bestand an Fischen, damit man sie besser fangen kann. Wegen der Entnahmekosten gibt man sich mit einem Bestand zufrieden, bei dem die Zuwachsraten zwar positiv, aber schon abnehmend sind.

Diskontrate und Abbaukosten in Abhängigkeit von der Größe des Bestandes wirken also in entgegengesetzter Richtung. Die Diskontrate wirkt auf einen Bestand mit positiver Eigenzinsrate der natürlichen Ressource, der Kosteneffekt der Entnahme wirkt auf einen größeren Bestand mit negativer Eigenzinsrate hin. Halten sich beide Einflußfaktoren gerade die Waage, ergibt sich die Politik des konstanten Ertrages, und zwar jetzt bei positiver Zeitpräferenz.

*Abbaukosten und Ausrottung.* Man kann sich eine Situation vorstellen in der der Preis eines Gutes, die Entnahmetechnologie, die Entnahmekosten und die Diskontrate so beschaffen sind, daß es sich nicht lohnt, die Ressource zu entnehmen. Dies wäre dann der Fall, wenn man eine Ressource nur kostendeckend (für den Extraktionssektor) entnehmen könnte, wenn sich die Ressource im instabilen Zustand der natürlichen Überpopulation befindet (rechts von  $\bar{R}$  in Schaubild 3 b). Nach einer oder wenigen Entnahmen wäre dieser Zustand dann schnell beseitigt. Andererseits kann man sich eine solche Situation vorstellen, in der Preis, Entnahmekosten und Diskontrate gerade so beschaffen sind, daß es sich lohnt, auch sehr kleine Mengen der Ressource (die letzte See-robbe) zu entnehmen. Dann kann eine natürliche Ressource ausgerottet werden, und zwar selbst dann, wenn eindeutige Nutzungsrechte zugewiesen sind. In diesem Fall ist der Kapitalwert der Ressource so gering oder der laufende Wert so hoch, daß man nicht bereit ist, auf die Regeneration der Ressource zu warten.

*Entnahmefunktion.* Anstelle einer Kostenfunktion, in der Regel in Abhängigkeit vom Bestand formuliert, kann man auch mit einer Entnahmefunktion arbeiten, die ja einer Kostenfunktion zugrunde liegt. Im wesentlichen bestätigen sich die oben angesprochenen Resultate. Die Entnahmefunktion kann in unterschiedlicher Weise formuliert wer-

den. Eine Möglichkeit besteht darin, einen allgemein gehaltenen Produktionsfaktor wie „Effort“ einzusetzen oder etwa im Fischfang von Anzahl von Schiffen zu sprechen. Dies erlaubt es, allein den Entnahmesektor zu betrachten, für den man dann gerne noch zur Vereinfachung der Analyse gegebene Preise (etwa wegen eines engen Substitutionsgutes auf der Absatzseite) unterstellt. Eine weitere Möglichkeit ist, explizit neben der Extraktion noch eine weitere Aktivität (Produktion eines Normalgutes) zu berücksichtigen und einen gegebenen Faktorbestand (Arbeit) zwischen diesen beiden Verwendungen zu allokalieren. Dann erhält man Resultate über die relative Stellung der Extraktionsbranche, gemessen am relativen Arbeitseinsatz (*Smith [1977]*). Diese Modelle sind also weniger partialanalytisch, da sie einfache allgemeine Gleichgewichtsmodelle darstellen und die Rückwirkungen der Änderungen im Knappheitspreis der natürlichen Ressource auf die Faktorallokation und die Faktorpreise mit einbeziehen.

*Allmenderessourcen.* Ist die natürliche Ressource eine Allmenderessource (common property resource), so kann sie zum Nulltarif entnommen werden. Ähnlich wie bei dem common-pool Problemen der nicht erneuerbaren Ressourcen werden die user costs der Entnahme nicht angemessen berücksichtigt, und die Ressource wird zu schnell entnommen. Die Ausrottung einer Art ist möglich. Zur Beseitigung von Fehlallokationen müssen die Preise korrigiert werden. Geht man von der Vorstellung aus, daß ein Wirtschaftszweig wie die Fischindustrie aus einer Reihe von Firmen (Schiffen) besteht und freier Marktzugang gegeben ist, so kommt Fehlallokation zustande, weil die einzelne Unternehmung nicht den Überfüllungseffekt (overcrowding) ihres Markteintritts und auch nicht die user costs für zukünftige Generationen berücksichtigt. Die wirtschaftspolitische Korrektur erfordert in diesem Fall sowohl eine Lizenz pro Unternehmung (Schiff) zur Korrektur des Überfüllungseffekts als auch einen Preis pro Einheit der entnommenen Ressource zum Ausweis der user costs (im Interesse zukünftiger Generationen) (*Dasgupta und Heal [1979]*). Erhebt man etwa nur eine Lizenzgebühr pro Schiff, so wird nicht ausgeschlossen, daß die natürliche Ressource zu stark beansprucht wird. Erhebt man nur einen Preis pro Einheit der natürlichen Ressource, so ist nicht ausgeschlossen, daß ein zusätzliches Schiff nicht bei Dritten verursachten Kosten (Überfüllung) berücksichtigt. Diese Aussagen gelten für den Fall einer Steuerung der Allmenderessourcen über Preise. Alternativ kann man sich vorstellen, daß die Entnahmemengen pro Periode in einem Optimierungskalkül festgelegt werden und die Fangrechte dafür auktioniert werden (Property-rights-Lösung). In diesem Fall sichert die Auktionierung die Einhaltung bestimmter Zielgrößen und setzt damit implizit Preise für Ressourcen und Schiffe.

*Weitere Faktoren.* Die Regeneration kann verbessert werden, wenn man selektiv entnimmt (*Lecomber* [1979]). Beispielsweise kann man Brutgebiete ausnehmen und schnell wachsende Ressourcen (junge Ressourcen) nicht entnehmen (Frage der optimalen Netzgröße beim Fischfang). In einer Reihe von Fällen lohnt sich eine künstliche Regeneration, die als Investition zu behandeln ist und den üblichen Investitionskriterien unterliegt. Man beachte, daß eine hohe Diskontrate Arten mit schnellem Wachstum favorisiert (z. B. Weichholz). Schließlich kann man die Bestandssicherung als Argument in die Wohlfahrtsfunktion einbringen, etwa wenn Mindestgrößen gesetzt werden, um eine Art vor der Ausrottung zu bewahren.

## 6. Marktallokation versus Politikallokation

### 6.1 Marktunvollkommenheiten

Unter den vereinfachenden Bedingungen einer idealen Welt stellt das in Abschnitt 4 beschriebene Wettbewerbsgleichgewicht ein Allokationsoptimum dar. In der Realität jedoch gibt es eine Reihe von Tatbeständen, die die Äquivalenz eines Wettbewerbsgleichgewichts mit einem Allokationsoptimum in Frage stellen.

1. Die natürliche Ressource ist ein öffentliches Gut und kann infolge mangelnder Ausschlußtechnologie und nicht definierter Nutzungsrechte nicht effizient über den Markt auf die konkurrierenden Verwendungen gelenkt werden.

2. Die Abwesenheit von Zukunftsmärkten oder — soweit sie existieren — deren mangelnde zeitliche Tiefe (*Streit* (1979)) bedeutet, daß die Preise und Knappheiten der Zukunft nicht hinreichend bekannt und damit die user costs nicht „richtig“ angezeigt sind.

3. Die Unvollkommenheit der Zukunftsmärkte könnte aufgehoben werden, wenn Risikomärkte existieren würden, die die Unsicherheiten einer Abbauentcheidung und damit die user costs korrekt zum Ausdruck bringen würden. Das Risiko bezieht sich dabei nicht nur auf solche Variablen wie Nachfrageverhalten, neue Ressourcenfunde und Auftreten einer Backstop-Technologie, sondern auch auf die Unsicherheit der Nutzungsrechte (z. B. Einfluß einer zu erwartenden Verstaatlichung auf den Ressourcenabbau).

4. Instabilität von Ressourcenmärkten. Sowohl die Märkte für erneuerbare als auch für nicht erneuerbare Ressourcen scheinen durch starke kurz- und mittelfristige Preisschwankungen gekennzeichnet zu sein (*Stiglitz* (1979)).

5. Geht man von der These aus, daß es eine soziale Diskontrate unabhängig von den Präferenzen der Individuen gibt, so stellt sich das Argument ein, daß Marktteilnehmer eine (im Vergleich zu der sozialen Diskontrate) zu hohe Zeitpräferenzrate ansetzen (*Pigou (1920)*).

6. Es ergeben sich Nicht-Konvexitäten in der intertemporalen Produktionsmenge, womit eine Voraussetzung der Äquivalenz von Wettbewerbsgleichgewicht und Allokationsoptimum entfällt (*Heal, 1980*). Es kann jedoch gezeigt werden, daß dieses Resultat nur deshalb erzielt wird, weil mit Kostenfunktionen gearbeitet wird und nicht mit den diesen Kostenfunktionen zugrunde liegenden Produktionsfunktionen (*Reiß und Breyer (1981)*).

### 6.2 Die These des Marktversagens

Die vorstehenden Argumente begründen die These des „Marktversagens“. Man muß sich darüber im klaren sein, wie diese These gewonnen wird. Die wohlfahrtsökonomische Argumentation definiert einen Idealzustand der Allokation, der in dem idealen Allokationsmechanismus eines Wettbewerbsgleichgewichts erreicht wird, und vergleicht diesen mit den Bedingungen und Ergebnissen eines real existierenden Allokationsmechanismus. Bei einer Würdigung der These des Marktversagens sind im Kontext einer Theorie der natürlichen Ressourcen folgende Argumente zu berücksichtigen.

1. Märkte erlauben eine dezentrale Steuerung der Allokationsprozesse, und dies ist gerade bei den Anpassungen an Verknappungstendenzen von zentraler Bedeutung.

2. Märkte stellen aufgrund der dezentralen Allokation ein beachtliches Substitutions- und Innovationspotential bereit (von *Weizsäcker (1980)*).

3. Märkte bringen — wenn im Vergleich zu einem Idealzustand auch nicht vollkommen — die user costs der Nutzung natürlicher Ressourcen zum Ausdruck. In das Kalkül des Ressourcenbesitzers geht der (durch den heutigen Abbau) entgangene Gewinn zukünftiger Perioden als user costs ein. Das Argument, daß ein Ressourcenbesitzer wegen der zeitlichen Begrenztheit der menschlichen Existenz nicht langfristig genug plant, muß nicht immer zutreffen. Organisationen haben in der Regel längere Planungshorizonte als Individuen. Zudem ist der Planungshorizont in der Extraktionsbranche aufgrund technischer Bedingungen und wegen des gebundenen Kapitals lang (Bergwerk). Institutionelle Regelungen wie Erbschaft oder die Einführung personenunabhängiger Rechtsformen dehnen den Planungshorizont aus. Den gleichen Effekt hat die Sicherheit und Beständigkeit eines Nutzungsrechts

(*Siebert* (1980)). Schließlich kann ein Ressourcenbesitzer einen Ressourcenbestand heute verkaufen und dessen Kapitalwert Erlösen. Der Kapitalwert eines Ressourcenbestandes ist Ausdruck der *user costs* (*Stiglitz* (1976)).

### 6.3 Politikversagen

Wenn der Allokationsmechanismus Markt nicht die Resultate des (hypothetischen) Allokationsoptimums bewerkstelligt, so ergibt sich die Frage nach der Notwendigkeit staatlicher Eingriffe in die Allokation natürlicher Ressourcen. Marktversagen begründet staatliche Eingriffe, aber sichern staatliche Eingriffe jene optimalen Resultate, die als Referenzrahmen für Marktversagen dienen? Gibt es die Möglichkeit des Politikversagens? Folgende Probleme treten auf.

Akzeptiert man den einfachen Ansatz der politischen Ökonomie, daß politische Parteien Stimmen maximieren, so ist politisches Handeln durch eine kurzfristige Orientierung gekennzeichnet, die u. U. kurzfristiger sein kann als der Planungshorizont einer Unternehmung der Extraktionsbranche. Bei anderen Verhaltensannahmen (Verfolgung von Parteiprogrammen) kann sich eine längerfristige Orientierung politischen Verhaltens ergeben.

Neben die Frage der Existenz einer sozialen Wohlfahrtsfunktion tritt das Problem der Informiertheit des „gesamtgeseellschaftlichen Planers“, seiner Anpassungsfähigkeit aufgrund institutioneller Bedingungen (z. B. Bürokratie), des Einflusses von Interessengruppen usw.

Schließlich kann sich Politikversagen auch bei der Anwendung spezifischer Instrumente einstellen. Rationierungsmaßnahmen (*Siebert* (1981 b)) und Preisregulierungen schließen viele potentielle Anpassungsprozesse aus und reduzieren das Substitutions- und Innovationspotential. Der Vorschlag einer Niedrigzinspolitik ist unrealistisch, weil er entweder zu einer geringeren Kapitalbildung führt und damit zukünftige Generationen negativ tangiert; oder weil eine Spaltung des Diskontsatzes für den Ressourcenmarkt völlig undurchführbar ist. Außerdem ist der Diskontsatz ein in der Stabilisierungspolitik bereits reichlich strapaziertes Instrument. Auch die implizite Rohstoffpolitik, die in Form von Abbaugenehmigungen, Abschreibungsregelungen, Steuergesetzen und anderen staatlichen Maßnahmen wie Regionalpolitik betrieben wurde, bedarf der Überprüfung. Schließlich darf man die Gewinnregulierung aus allokationstheoretischer Sicht mit einem Fragezeichen versehen.

Als Ansatzpunkte einer staatlichen Ressourcenpolitik scheinen damit interessant zu sein: die Einführung einer Abbausteuer („*extraction tax*“,

*Hotelling* (1931); „severance tax“, *Page* (1977)), die Preissetzung für Abbaurechte, die Institutionalisierung von Nutzungsrechten im Fall der Allmendegüter, Verbrauchssteuern bei rohstoffabhängigen Volkswirtschaften sowie die Stärkung von Terminmärkten und die Bereitstellung von Anpassungsflexibilität im Wirtschaftssystem.

### Zusammenfassung

Der Beitrag gibt einen Überblick über die ökonomische Theorie natürlicher Ressourcen. Konzepte zur Messung der Verknappung natürlicher Ressourcen und Ansätze zur empirischen Überprüfung dieser These werden diskutiert. Die Bedingungen einer optimalen Ressourcennutzung in der Zeit werden abgeleitet, wobei zwischen Ressourcen als Konsumgut, Produktionsfaktor und als Allmendegut unterschieden wird. Die Frage, ob Wachstum möglich ist, wenn die Ressource Produktionsfaktor ist und die Bestände endlich sind, wird erörtert. Das Konzept eines intertemporalen Wettbewerbsgleichgewichts der Ressourcennutzung wird vorgestellt und mit dem Allokationsoptimum in der Zeit verglichen. Ferner wird diskutiert, wie sich unter Wettbewerbsbedingungen die Ressourcenallokation ändert, wenn Faktoren wie Abbaukosten, unterschiedliche Rohstofflager, Exploration, Kapitalbildung, Diskont-rate, Erwartungen und Nachfrageverhalten in Betracht gezogen werden. Schließlich werden Markt- und Politikallokation verglichen.

### Summary

The paper surveys the literature and the main problems of resource economics. Concepts of measuring resource scarcity and the hypothesis of a reduced availability of resources are discussed. The implications of an optimal resource use over time are derived where the resource may be a consumption good, a factor of production or a common property resource. The problem of maintaining growth or a positive consumption level with finite resource is studied. The allocation optimum is compared to an intertemporal competitive equilibrium. The time profile of extraction is analyzed for competitive conditions if such factors as extraction costs, exploration, the discount rate, capital accumulation and demand behavior are considered. Finally, the allocation via markets is compared with allocation through political decisions.

### Literaturverzeichnis

- Barnett*, H. J. und *C. Morse* (1963), *Scarcity and Growth. The Economics of Natural Resource Availability*. Baltimore.
- Boulding*, K. E. (1971), *Economics of Pollution*. New York.
- Brown*, G. M. und *B. C. Field* (1978), *Implications of Alternative Measures of Natural Resource Scarcity*. *Journal of Political Economy* 86 (1978), 229 - 243.
- Burt*, O. R. und *R. G. Cummings* (1970), *Production and Investment in Natural Resource Industries*. *American Economic Review* 60 (1970), 576 - 590.

- Cass, O.* und *T. Mitra* (1980), Persistence of Economic Growth Despite Exhaustion of Natural Resource, *viervielfältigt*.
- Christy jr., A. T.* und *N. Potter* (1962), Trends in Natural Resource Commodities: Statistics of Prices, Output, Consumption, Foreign Trade, and Employment in the United States, 1870 - 1957, Baltimore.
- Dasgupta, P., R. J. Gilbert* und *J. E. Stiglitz* (1980), Invention and Innovation under Alternative Market Structures, *Econometric Research Program, Research Memorandum No. 263, Princetown University, New Jersey. March 1980.*
- und *G. Heal* (1974), The Optimal Depletion of Natural Resources, *The Review of Economic Studies* 41 (1974), 3 - 28.
- und *J. E. Stiglitz* (1980), Market Structure and Resource Depletion. A Contribution to the Theory of Intertemporal Monopolistic Competition. *Econometric Research Program, Research Memorandum No. 261. Princetown University. New Jersey. March 1980.*
- Gottinger, H. W.* und *M. E. Yaari* (1980), Endogenous Changes of Preferences in the Energy Market, in: *H. Siebert (Hrsg.), Erschöpfbare Ressourcen, Schriften des Vereins für Socialpolitik, 108 (1980), 113 - 128.*
- Govett, M. H.* und *G. J. S. Govett* (1977), Scarcity of Basic Material and Fuels: Assessments and Implications, in: *D. W. Pearce und I. Walter (Hrsg.), Resource Conservation, New York, 33 - 63.*
- Hartwick, J. M.* (1977), Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources, *American Economic Review* 67 (1977), 972 - 974.
- (1978), Substitution Among Exhaustible Resources and Intergeneration Equity, *Review of Economic Studies* 45 (1978), 347 - 354.
- Heal, G.* (1979), Uncertainty and the Optimal Supply Policy for an Exhaustible Resource, in: *R. S. Pindyck (Hrsg.), The Production and Pricing of Energy Resources, Greenwich, Conn. (1979), 119 - 147.*
- (1980), Intertemporal Allocation and Intergenerational Equity, in: *H. Siebert (Hrsg.), Erschöpfbare Ressourcen, Schriften des Vereins für Socialpolitik, 108 (1980), Berlin, 37 - 73.*
- Hotelling, H.* (1931), The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy* 39 (1931), 137 - 175.
- Ireland, L. C.* (1974), Is Timber Scarce? The Economics of a Renewable Resource, in: *Bulletin No. 83, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies.*
- Jevons, W. S.* (1865), *The Coal Question, London.*
- Kemp, M. C.* (1976), How to eat a Cake of Unknown Size, in: *M. C. Kemp, Three Topics in the Theory of International Trade. New York (1976), 297 - 308.*
- Kneese, A. V.* (1976), Natural Resources Policy 1975 - 1975. *Journal of Environmental Economics and Management* 3 (1976), 253 - 288.
- Krutilla, J. V.* (1972), *Natural Environments. Studies in Theoretical and Applied Analysis. Baltimore and London.*
- Lecomber, R.* (1979), *The Economics of Natural Resources. London.*
- Meadows, D. L. u. a.* (1972), *The Limits to Growth. New York.*
- Nasse, R.* (1893), *Die Kohlenvorräte der europäischen Staaten, insbesondere Deutschlands, und deren Erschöpfung. Berlin.*

- Niehans, J.* (1975), *Economic Growth and Decline with Exhaustible Resources*, *De Economist* 123 (1975), 1 - 22.
- Nordhaus, W. D.* (1973), *World Dynamics: Measurement without Data*, *Economic Journal* 83 (1973), 1156 - 1183.
- Page, T.* (1977), *Conservation and Economic Efficiency. An Approach to Materials Policy*. Baltimore.
- Peterson, F. M.* und *A. C. Fisher* (1977), *The Exploitation of Extractive Resources. A Survey*. *The Economic Journal* 87 (1977), 682 - 721.
- Pethig, R.* (1979), *Die Knappheit natürlicher Ressourcen*. *Jahrbuch für Sozialwissenschaften* 30 (1979), 189 - 209.
- Pigou, A. C.* (1920), *The Economics of Welfare*, London, 1. Bd.
- Pindyck, R. S.* (1978), *The Optimal Exploration and Production of Non-renewable Resources*. *Journal of Political Economy* 86 (1978), 841 - 861.
- Plourde, L. G.* (1970), *A Simple Model of Replenishable Natural Resource Exploitation*. *The American Economic Review* 60 (1970), 518 - 522.
- Radetzky, M.* (1980), *Will the Long-run Global Supply of Industrial Minerals be Adequate? A Case Study of Iron, Aluminium and Copper*, in: C. Bliss und M. Boserup (Hrsg.), *Economic Growth and Resources*, London and Basingstoke (1980), 86 - 104.
- Rawls, J.* (1977), *A Theory of Justice*, Cambridge, Mass.
- Ruttan, V. W.* und *J. C. Callahan* (1962), *Resources Inputs and Output Growth: Comparison Between Agriculture and Forestry*. *Journal of Political Economy* 8 (1962), 68 - 84.
- Samuelson, P. A.* (1954), *The Pure Theory of Public Expenditure*. *Review of Economics and Statistics* 36 (1954), 387 - 389.
- Schneider, H. K.* und *W. Schulz* (1976), *Die optimale Nutzung erschöpfbarer Energieressourcen*, in: O. Issing (Hrsg.), *Ökonomische Probleme der Umweltpolitik*, Berlin 1976, 119 - 161.
- Siebert, H.* (1979), *Indikatoren der Knappheit natürlicher Ressourcen*, *Wirtschaftsdienst*, Nr. 8, August 1979, 409 - 416.
- (1980), *Allokationen zwischen Generationen*, in: D. Duwendag und H. Siebert (Hrsg.), *Politik und Markt. Wirtschaftspolitische Probleme der 80er Jahre*. Festschrift für H. K. Schneider, Stuttgart (1980), 353 - 370.
- (1981 a), *Economics of the Environment*, Lexington.
- (1981 b), *Öl- und Benzinrationierung — ein ratsamer Ansatz?*, *Wirtschaftsdienst*, Januar 1981.
- Sinn, H.-W.* (1980), *Besteuerung, Wachstum und Ressourcenabbau. Ein allgemeiner Gleichgewichtsansatz*, in: H. Siebert (Hrsg.), *Erschöpfbare Ressourcen*, *Schriften des Vereins für Socialpolitik*, Berlin. 108 (1980), 498 - 523.
- Smith, V. K.* (1979), *Natural Resource Scarcity: A Statistical Analysis*. *Review of Economic and Statistics* 6 (1979), 423 - 427.
- Smith, V. L.* (1977), *Control Theory Applied to Natural and Environmental Resources. An Exposition*. *Journal of Environmental Economics and Management* 4 (1977), 1 - 24.
- Solow, R. M.* (1974), *Intergenerational Equity and Exhaustible Resources*. *Review of Economic Studies* 41 (1974), 29 - 45.

- (1974), *The Economics of Resources or the Resources of Economics*. *American Economic Review* 64 (1974), 1 - 14.
- Stiglitz, J. E.* (1974), *Growth with Exhaustible Natural Resources: Efficient and Optimal Growth Paths*. *Review of Economic Studies* 41 (1974), 123 - 137.
- (1974), *Growth with Exhaustible Natural Resources. The Competitive Economy*. *Review of Economic Studies* 41 (1974), 139 - 152.
- (1976), *Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources*. *American Economic Review* 66 (1976), 655 - 661.
- (1979), *A Neoclassical Analysis of the Economics of Natural Resources*, in: V. K. Smith (Hrsg.), *Scarcity and Growth Reconsidered*, Baltimore und London (1979), 36 - 66.
- Streit, M. E.* (1979), *Terminkontraktmärkte und ihr möglicher Lösungsbeitrag zu internationalen Rohstoffproblemen*, Discussion Paper No. 119 - 79, Mannheim.
- Weiß, W. und F. Breyer* (1981), *Variable Resource Endowments and the Convexity of the Attainable Consumption Set*, in: W. Eichhorn u. a. (Hrsg.), *Natural Resources and Production*, Würzburg und Wien.
- Weizsäcker, C. C. von* (1980), *Leistet der Markt die optimale intertemporale Allokation der Ressourcen*, in: H. Siebert (Hrsg.), *Erschöpfbare Ressourcen*, Schriften des Vereins für Socialpolitik, Berlin. 108 (1980), 795 - 814.