

Siebert, Horst

Article — Digitized Version

Die intertemporale Allokation natürlicher Ressourcen

Wirtschaftswissenschaftliches Studium

Provided in Cooperation with:

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

Suggested Citation: Siebert, Horst (1980) : Die intertemporale Allokation natürlicher Ressourcen, Wirtschaftswissenschaftliches Studium, ISSN 0340-1650, Beck, München, Vol. 9, Iss. 1, pp. 11-14

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/3562>

Standard-Nutzungsbedingungen:

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

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

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

Terms of use:

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

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

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

Die intertemporale Allokation natürlicher Ressourcen

Von Prof. Dr. Horst Siebert, Mannheim

Die Veröffentlichungen des Club of Rome und das Erklärungsparadigma des Raumschiffs Erde haben der These der Rohstoffknappheit Aktualität verliehen. Die Vervierfachung der Erdölpreise im 4. Quartal 1973 und die darauf erfolgte weitere Preiserhöhung haben deutlich gemacht, daß die Knappheitsthese zumindest für einige natürliche Ressourcen von Bedeutung sein kann. Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung haben sich Ökonomen zunehmend mit der Knappheit natürlicher Ressourcen beschäftigt.

Dr. Horst Siebert ist o. Professor für Volkswirtschaftslehre und Außenwirtschaft an der Universität Mannheim. Bevorzugte Forschungsgebiete: Außenhandels-, Umwelt- und Ressourcentheorie.

1. Problemstellung

Geht man davon aus, daß der Bestand an natürlichen Ressourcen begrenzt ist, so ergibt sich eine Ressourcenrestriktion zwischen den Generationen, da die Nutzung der Ressourcen heute ihren Gebrauch für zukünftige Generationen unmöglich macht. Die normative Frage lautet, ob und inwieweit wir bei dem Einsatz natürlicher Ressourcen für Konsum und Produktion heute die Interessen zukünftiger Generationen berücksichtigen sollen. Messen wir zukünftigen Generationen überhaupt kein Gewicht bei, so können wir die Ressourcenbasis der Erde ohne Rücksicht auf die Effekte für zukünftige Generationen in Anspruch nehmen. Wird dagegen den zukünftigen Generationen ein Gewicht beigemessen, so muß dies eine Rückwirkung auf unsere Nutzung der natürlichen Ressourcen haben.

Die heutige und die zukünftigen Generationen ziehen Nutzen aus dem Einsatz natürlicher Ressourcen. Unsere normative Fragestellung lautet, ob die Nutzen der zukünftigen Generationen in gleicher Weise angesetzt werden sollen wie die Nutzen der heutigen Generation. In der ökonomischen Theorie akzentuiert sich dieses Problem in der Frage, ob der Nutzen zukünftiger Generationen **abdiskontiert** werden soll, d. h. in der Frage, ob die Diskontrate Null sein soll oder ob es eine positive Diskontrate geben soll. Eine Diskontrate von Null gibt dem Nutzen zukünftiger Generationen das gleiche Gewicht wie dem Nutzen der heutigen Generation. Je höher die Diskontrate gewählt wird, um so geringer wird das Gewicht der zukünftigen Generationen.

2. Annahmen

(1) Eine Ressource R kann von verschiedenen Generationen genutzt werden. Um ein möglichst einfaches Pro-

blem analysieren zu können, wollen wir im folgenden unterstellen, daß die Ressource sich nach einer sehr einfachen Funktion erneuert. Die Ressource wachse in der Natur nach einem ertragsgesetzlichen Verlauf, so daß bei kleinen Beständen R starke Zuwächse erfolgen, aber mit steigendem Ressourcenbestand die Zuwächse kleiner werden, so daß gilt:

$$(1) \quad \dot{R} = f(R); \quad \frac{df}{dR} > 0 \text{ und } \frac{d^2f}{dR^2} < 0.$$

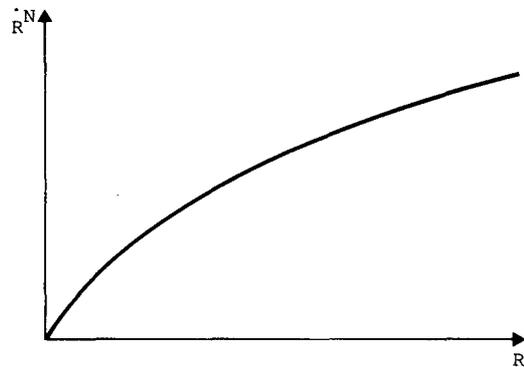


Abb. 1

(2) In jeder Periode wird die Menge C_t an Ressourcen in Konsum eingesetzt, so daß sich der Ressourcenbestand wie folgt verändert:

$$(2) \quad \dot{R}_t = f(R) - C_t.$$

(3) Für jede Periode existiert eine gesellschaftliche Wohlfahrtsfunktion mit $W = W(C)$ und $W' > 0$, $W'' < 0$. Die Wohlfahrtsfunktion ist also konkav.

(4) Die Wohlfahrt zukünftiger Generationen wird abdiskontiert. Ein „Planer“ maximiert bei infinitem Planungshorizont das Funktional:

$$(3) \quad \omega = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} W_t(C_t) dt.$$

3. Kontrolltheorie

Die Maximierung des Funktional (3) unter Beachtung der Bewegungsgleichung (2) ist ein kontrolltheoretisches Problem. Für die Lösung dieses Problems gilt folgendes:

Kennzeichne χ die Zustandsvariable eines Systems und m die Kontrollvariable, so lautet das allgemeine Kontrollproblem (M. D. Intriligator, Mathematical Optimization and Economic Theory, Englewood Cliffs, N. J. 1971, Kap. 14):

$$(4) \quad \max J = \int_{t_0}^{\infty} e^{-\delta t} I(\chi, m, t) dt$$

unter Beachtung der Restriktionen

$$\dot{\chi} = f(\chi, m, t)$$

$$(5) \quad \chi(t_0) = \chi_0$$

wobei $I(\dots)$ und $f(\dots)$ gegebene stetig differenzierbare Funktionen sind. t_0, χ_0 sind gegebene Parameter, t_0 kennzeichnet den Anfangszeitpunkt und χ_0 den Anfangswert der Zustandsvariablen. Das Integral der Werte der f -Funktion in dem Zeitraum von t_0 bis ∞ ist zu maximieren. Die $\dot{\chi}$ -Funktion ist die Bewegungsgleichung des Systems.

Die Technik des Maximum-Prinzips besteht darin, die *Hamilton-Funktion* als $H(\chi, m, \mu, t) = I(\chi, m, t) + \mu f(\chi, m, t)$ zu definieren und ihren Wert für jeden Zeitpunkt durch geeignete Wahl der Zeitpfade $\{m(t)\}$, $\{\mu(t)\}$ und $\{\chi(t)\}$ zu maximieren. Die Maximierung des Werts der H -Funktion für jeden Zeitpunkt des Planungszeitraums $t \in [0, \infty]$ verlangt die Erfüllung der folgenden notwendigen Bedingungen (die sog. Transversalitätsbedingung wird hier nicht weiter berücksichtigt):

$$(6) \quad (a) \quad \frac{\partial H}{\partial m} = 0,$$

$$(b) \quad \dot{\chi} = \frac{\partial H}{\partial \mu},$$

$$(c) \quad \dot{\mu} = \mu\delta - \frac{\partial H}{\partial \chi}.$$

Die Maximierung der *Hamilton-Funktion* für jede Periode, d. h. eine geeignete Auswahl der Kontrollvariablen auf jedem Punkt der optimalen Trajektorie, wird durch $\partial H/\partial m = 0$ sichergestellt. Die Gleichung $\dot{\chi} = \partial H/\partial \mu$ gibt die Bewegungsgleichungen des Systems wieder.

4. Implikationen des Allokationsoptimums

Für das in den Gleichungen (2) und (3) dargestellte Maximierungsproblem lautet die *Hamilton-Gleichung*

$$(7) \quad H = W_t(C_t) + p[f(R) - C_t].$$

H ist nicht abdiskontiert, so daß die *Hamilton-Funktion* in laufenden Werten ausgedrückt ist. Dementsprechend ist p als laufender Wert zu interpretieren.

Für jede Periode muß gelten:

$$(7') \quad \frac{\partial H}{\partial C_t} = \frac{\partial W_t}{\partial C_t} - p = 0 \text{ oder } \frac{\partial W_t}{\partial C_t} = p$$

Der Schattenpreis der Ressource p (in laufenden Werten) muß also dem „gesellschaftlichen“ Grenznutzen der Ressource (in laufenden Werten) entsprechen. p kann auch als „user cost“ interpretiert werden, denn ${}^0p(t) = p(t) e^{-\delta t}$ gibt an, wie sich der Gegenwartswert des Wohlfahrtsfunktionals verändert, wenn im Zeitpunkt t eine Ressourceneinheit in die Volkswirtschaft hineingegeben wird.

Die kanonischen Gleichungen des Systems sind die Gleichung in (2) und

$$(7'') \quad \dot{p} = \partial p - \frac{\partial H}{\partial R} = \partial p - p \frac{df}{dR}$$

5. Graphische Interpretation

Eine graphische Analyse der kanonischen Gleichungen und des „steady state“ erlaubt eine Interpretation der Lösung. Das steady-state ist ein langfristiges Gleichgewicht, das „in Ewigkeit“ aufrecht erhalten bleiben kann. Dieses Gleichgewicht ist dadurch gekennzeichnet, daß sich die Zustandsvariable R und der zugeordnete Schattenpreis p nicht mehr verändern. Es muß also gelten $\dot{R} = 0$ und $\dot{p} = 0$. Als Vorüberlegung suchen wir in einem p - R -Diagramm die Kombinationen von p und R , für die $\dot{R} = 0$ und $\dot{p} = 0$, also die $\dot{R}=0$ -Kurve und die $\dot{p}=0$ -Kurve.

Für die $\dot{p}=0$ -Kurve gilt:

$$(8) \quad \dot{p} = 0: \delta = \frac{df}{dR},$$

so daß im langfristigen Gleichgewicht der Zinssatz dem Zuwachs der Ressource entspricht. Es sei δ gegeben.

Dann gibt es wegen $\frac{df}{dR}(R)$ genau einen Ressourcenbestand, bei dem Zinssatz δ und df/dR gleich sind, so daß $\dot{p} = 0$. Die $\dot{p}=0$ -Kurve ist also eine Gerade (Abb. 2a). Links von der $\dot{p} = 0$ -Kurve gilt $df/dR > \delta$, d. h. p muß sinken (Pfeil). Rechts von der $\dot{p}=0$ -Kurve gilt $df/dR < \delta$, d. h. p muß steigen (Pfeil).

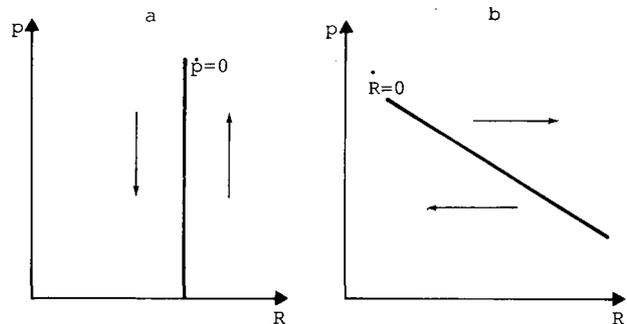


Abb. 2

Für die $\dot{R}=0$ -Kurve gilt aus Gleichung (2):

$$(9) \quad \dot{R} = 0: f(R) = C_t.$$

Wegen Gleichung (7') ist die Entnahme C_t abhängig vom dem Schattenpreis der Ressource p . Denn $dC_t/dp = 1/W'' < 0$.

Aus Gleichung (9) ergibt sich

$$(9') \quad \frac{dp}{dR} = \frac{df/dR}{dC_t/dp} < 0,$$

da $df/dR > 0$ und $dC_t/dp < 0$. Die $\dot{R}=0$ -Kurve hat also negative Steigung. Für unsere Zwecke soll es ausreichen, ein linearisiertes Segment der $\dot{R} = 0$ -Kurve zu betrachten (Abb. 2b).

Man betrachte ein gegebenes R und einen Preis p , der für dieses R oberhalb der $\dot{R} = 0$ -Kurve liegt. Dann gilt

wegen $dC_t/dp < 0$: $f(R) > C_t(p)$, d.h. $\dot{R} > 0$, und der Ressourcenbestand nimmt zu (Pfeil nach rechts in Abb. 2b). Liegt p dagegen unterhalb der $\dot{R}=0$ -Kurve, so gilt $f(R) < C_t(p)$ und $\dot{R} < 0$. Der Ressourcenbestand nimmt ab (Pfeil nach links).

Überträgt man die Abb. 2a und 2b in Abb. 3, so lassen sich die vier Felder der Abb. 3 wie folgt charakterisieren:

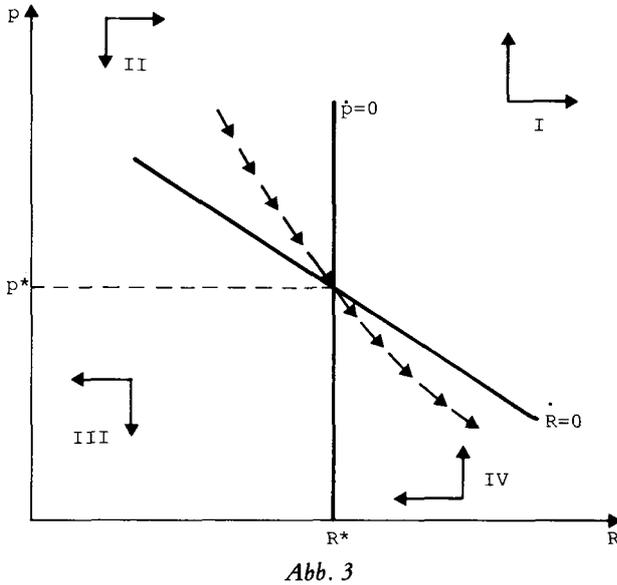


Abb. 3

(1) Befindet sich die Wirtschaft in einer Situation $R < R^*$ und wird ein relativ niedriger Schattenpreis gesetzt (Feld III), so sind die Ressourcenentnahmen stärker als das natürliche Wachstum der Ressourcen. Der niedrige Schattenpreis bewirkt langfristig keine Schonung der Ressource, sondern deren Verknappung (Politik der langfristigen Ressourcenverknappung).

(2) In der gleichen Situation $R < R^*$ kann ein höherer Schattenpreis bewirken, daß sich die Ökonomie langfristig der Situation R^* anpaßt (Feld II). In diesem Fall hat der hohe Schattenpreis zur Folge, daß die Entnahmen reduziert werden, so daß R steigen kann. Mit steigendem R kann aber der Schattenpreis sinken.

(3) Befindet sich die Wirtschaft in einer Situation $R > R^*$, d.h. es liegt ein „Überbestand“ an Ressourcen vor, so bewirkt eine Politik des hohen Schattenpreises (Feld I), daß die Entnahmen reduziert werden. Da $\dot{R} > 0$, nimmt der Bestand zu (Politik des langfristigen Ressourcenüberflusses).

(4) Für $R > R^*$ bewirkt ein niedriger Schattenpreis (Feld IV) eine Zunahme der Entnahmen und damit eine Verringerung des Bestandes.

Die in Abb. 3 eingezeichneten Pontryagin-Pfade führen zu der langfristig optimalen Ressourcenentnahme $C^* = f(R^*)$.

6. Nicht erneuerbare Ressourcen

Unterstellt man, daß keine Regeneration der Ressourcen stattfindet, so daß $\dot{R}^N = f(R) = 0$, so reduziert sich die

Bewegungsgleichung des Systems auf $\dot{R} = -C_t$. Die Hamilton-Funktion lautet in diesem Fall

$$(10) \quad H = W(C_t) + p(-C_t)$$

mit der notwendigen Bedingung

$$(10') \quad \frac{\partial W}{\partial C_t} = p$$

und den kanonischen Gleichungen

$$(10'') \quad \dot{p} = \delta p$$

$$(10''') \quad \dot{R} = -C_t$$

Die $\dot{p}=0$ -Kurve fällt für $\delta > 0$ mit der R-Achse zusammen (Abb. 4). Wenn ein positives p festgelegt wird, so gilt $\dot{p} > 0$, d.h. p steigt.

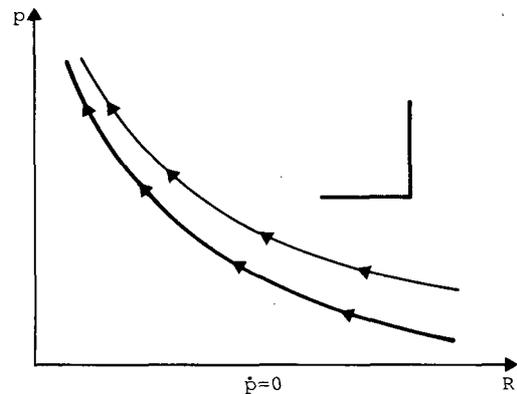


Abb. 4

Die Ressourcenentnahme C_t hängt gemäß (10') vom Schattenpreis der Ressource ab. Aus den Bedingungen (10')-(10''') folgt:

(1) Für das Problem nicht erneuerbarer Ressourcen existiert kein stationäres Gleichgewicht bei positiver Ressourcenentnahme, weil wegen $dW/dC = p > 0$ eine Ressourcenentnahme von Null und (wegen 10'') für $\delta > 0$ der Fall $\dot{p} = 0$ ausgeschlossen sind.

(2) Für die Pontryagin-Pfade ergibt sich aus der in Abb. 4 eingezeichneten Bewegungsrichtung, daß der Preis mit abnehmendem Ressourcenbestand steigen muß:

$$\dot{p}/p = \delta > 0.$$

Bei konstanter Ressourcenmenge muß also der Preis mit der Diskontrate wachsen. Die Zuwachsrate des Schattenpreises einer Ressource ist also durch den Zinssatz gegeben. Diese Aussage kann man auch wie folgt begründen. Wenn δ fixiert ist, so erwartet der Rohstoffbesitzer für den zukünftigen Preis $p(t) = p(0)e^{\delta t}$, d.h. die Ressource nimmt wie ein anderer Wertgegenstand mit der Rate δ an Wert zu. Die Ressource hat die gleiche Rendite wie andere Anlagemöglichkeiten.

Der Verlauf der in Abb. 4 eingezeichneten alternativen Zeitpfade des Systems ist wie folgt plausibel zu machen: Wenn die Ressource immer knapper wird, wird der Grenznutzen höher, und wegen $\partial W/\partial C = p$ muß auch p steigen. Wenn nur noch eine winzig kleine Menge der Ressourcen vorhanden ist, wird ein Teil davon zu einem

sehr hohen Preis verkauft (z. B. der letzte halbe Liter Öl zur Herstellung eines besonders wertvollen Arzneimittels). Der *Pontryagin*-Pfad muß sich asymptotisch an die Ordinate annähern, wenn R gegen Null geht.

Dieses Resultat ergibt sich aus

$$\frac{dp}{dR} = \frac{\dot{p}}{\dot{R}} = \frac{\delta p}{-C} < 0.$$

Mit abnehmendem Ressourcenbestand steigt p und sinkt C, so daß die Steigung des *Pontryagin*-Pfads (dp/dR) absolut immer steiler wird.

Je nachdem, welchen Preis man in einer Ausgangssituation setzt, erhält man unterschiedliche *Pontryagin*-Pfade, die aber alle durch $dp/dR < 0$ und die asymptotische Eigenschaft gekennzeichnet sind: Es gibt also eine Vielzahl von Pfaden. Es gilt: Je höher man in der Ausgangslage den Schattenpreis für die Ressource setzt, um so langsamer wird der Bestand abgebaut.

7. Erweiterungen der Fragestellung

Die vorstehende sehr vereinfachte Fragestellung gibt nur einen ersten Hinweis auf die Lösung des intertemporalen Allokationsproblems. Folgende Fragen wurden beispielsweise aus der Analyse ausgeklammert:

(1) Welche Anpassungsprozesse erfolgen bei Exploration und Extraktion bei steigenden Ressourcenpreisen wie z. B. technische Fortschritte in der Extraktion (Beispiel Nordsee-Öl)?

(2) Welche konkurrierenden Substitutionsprodukte zu knapper werdenden natürlichen Ressourcen werden entwickelt (z. B. Kunstkautschuk)?

(3) Welche Anpassungsprozesse erfolgen bei den Wiederverwendern der natürlichen Ressourcen (in der Produktion, im Konsum) mit steigenden Ressourcenpreisen?

Die Antworten zu diesen und anderen Fragen der intertemporalen Allokation müssen von der ökonomischen Theorie erwartet werden, bevor wir wirtschaftspolitische Maßnahmen der Ressourcenlenkung im Interesse zukünftiger Generationen empfehlen können.

Literatur

Siebert, H., *Ökonomische Theorie der Umwelt*, Tübingen 1978.
Solow, R. M., *The Economics of Resources or the Resources of Economics*, in: *American Economic Review*, Vol. 64 (1974), S. 1-14.

Kontrollfragen

1. Diskutieren Sie eine alternative Regenerationsfunktion, die für die Wachstumsprozesse in der Natur typischer sein könnte als Gleichung (1).
2. Diskutieren Sie die Krümmung der $\dot{R}=0$ -Kurve.
3. Angenommen der Planer wähle eine höhere Diskonttrate. Wie wirkt sich diese auf die optimale Ressourcennahme und den Ressourcenbestand aus?
4. Wie kann im Fall der nicht regenerierbaren Ressourcen die Entdeckung neuer Ressourcen berücksichtigt werden?

Die Antworten auf die Kontrollfragen finden Sie im WiSt-Testbogen auf S. 47f.

Fertigungssteuerung

Überblick und Materialbewirtschaftung

Von Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Warnecke und
Dipl.-Ing. Gerhard Rabus, Stuttgart

Die ungenügende Rentabilität vieler Unternehmen ist oft auf Schwachstellen im technisch-organisatorischen Bereich zurückzuführen. Hier nimmt die Fertigungssteuerung neben der Fertigungsplanung eine Schlüsselstellung ein, da sie als zentrale Planungs-, Steuerungs- und Überwachungsfunktion die Auftragsabwicklung, die Höhe der Umlaufbestände und die Auslastung der Betriebsmittel bestimmt. Die Fertigungssteuerung ist somit verantwortlich für Kosten, die durch zu lange Durchlaufzeiten, zu hohe Werkstatt- und Lagerbestände, eine zu geringe Kapazitätsausnutzung und mangelhafte Termineinhaltung entstehen. Trotz dieser Bedeutung findet sie erst in letzter Zeit die ihr angemessene Beachtung.

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Warnecke ist o. Professor für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb an der Universität Stuttgart und Direktor des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart. Bevorzugte Forschungsgebiete: Produktionstechnik, Automatisierung.

Dipl.-Ing. Gerhard Rabus ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung.

1. Einleitung

Wie Untersuchungen, zum Beispiel im Bereich des Maschinenbaus, zeigen, sehen fast alle Unternehmen Rationalisierungsmaßnahmen in der **Fertigungssteuerung** als we-