

Konrad, Kai A.

Article — Digitized Version

Intergenerationelle Gerechtigkeit bei bestandsabhängigen Extraktionskosten

Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik

Provided in Cooperation with:

WZB Berlin Social Science Center

Suggested Citation: Konrad, Kai A. (1988) : Intergenerationelle Gerechtigkeit bei bestandsabhängigen Extraktionskosten, Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, ISSN 0021-4027, Lucius und Lucius, Stuttgart, Vol. 205, Iss. 5, pp. 400-409

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/122573>

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.



WZB-Open Access Digitalisate

WZB-Open Access digital copies

Das nachfolgende Dokument wurde zum Zweck der kostenfreien Onlinebereitstellung digitalisiert am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH (WZB). Das WZB verfügt über die entsprechenden Nutzungsrechte. Sollten Sie sich durch die Onlineveröffentlichung des Dokuments wider Erwarten dennoch in Ihren Rechten verletzt sehen, kontaktieren Sie bitte das WZB postalisch oder per E-Mail:

Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH
Bibliothek und wissenschaftliche Information
Reichpietschufer 50
D-10785 Berlin
E-Mail: bibliothek@wzb.eu

The following document was digitized at the Berlin Social Science Center (WZB) in order to make it publicly available online.

The WZB has the corresponding rights of use. If, against all possibility, you consider your rights to be violated by the online publication of this document, please contact the WZB by sending a letter or an e-mail to:

Berlin Social Science Center (WZB)
Library and Scientific Information
Reichpietschufer 50
D-10785 Berlin
e-mail: bibliothek@wzb.eu

Digitalisierung und Bereitstellung dieser Publikation erfolgten im Rahmen des Retrodigitalisierungsprojektes **OA 1000+**. Weitere Informationen zum Projekt und eine Liste der ca. 1 500 digitalisierten Texte sind unter <http://www.wzb.eu/de/bibliothek/serviceangebote/open-access/oa-1000> verfügbar.

This text was digitizing and published online as part of the digitizing-project **OA 1000+**. More about the project as well as a list of all the digitized documents (ca. 1 500) can be found at <http://www.wzb.eu/en/library/services/open-access/oa-1000>.

Intergenerationelle Gerechtigkeit bei bestandsabhängigen Extraktionskosten

Intergenerational Equity in the Case of Stock-Dependent Extraction Costs

Von Kai A. Konrad*), München

In den vergangenen zwei Jahrzehnten ist das Bewußtsein für die Erschöpfbarkeit vieler im Produktionsprozeß verwendeter natürlicher Rohstoffe beträchtlich gewachsen. Für den Ökonomen drängt sich damit die Frage auf, unter welchen Bedingungen eine Ökonomie dauerhaft ein konstantes Nutzen- bzw. Konsumniveau aufrechterhalten kann, das dem von Solow (1974) intertemporal interpretierten Maximin-Kriterium interpersoneller Gerechtigkeit von Rawls (1971) entspricht. Hartwick (1977) beantwortet diese Frage für den Fall einer gesamtwirtschaftlichen Produktionsfunktion vom Cobb-Douglas-Typ: Ein dauerhaft positives und konstantes Konsumniveau bei intertemporaler Effizienz impliziert Investitionen in Höhe der Profite aus der Ressourcenextraktion. Buchholz (1980) verallgemeinert diese Hartwick-Regel für neoklassische Produktionsfunktionen und zeigt, daß bei gegebenen Investitionen in Höhe der Ressourcenprofite die Aufrechterhaltung eines konstanten Konsumniveaus intertemporale Effizienz impliziert.

Wir werden nun ausgehend von der Annahme bestandsabhängiger Kosten der Ressourcenextraktion eine Investitionsregel im Sinne der Hartwick-Regel ableiten, die unter der Bedingung intertemporaler Produktionseffizienz zu einem Pfad mit konstantem Konsumniveau führt. Das Ergebnis dieser Analyse ist folgendes: Obgleich – wie Sinn (1981) zeigt – die Annahme bestandsabhängiger Extraktionskosten die Bedingung intertemporaler technischer Effizienz wesentlich verändert, wirkt sich diese Veränderung auf die Investitionsvorschrift in einer bestimmten Periode nicht aus. Gleichwohl ergibt sich, daß angesichts bestandsabhängiger Extraktionskosten der Investitionsbedarf *ceteris paribus* kleiner ist als bei Abwesenheit von Extraktionskosten. Dieses Ergebnis werden wir ausführlich interpretieren.

Im zweiten Teil des Aufsatzes untersuchen wir, unter welchen technologischen Bedingungen ein Pfad mit konstantem Konsumniveau bei endlichem Ressourcenbestand und bestandsabhängigen Extraktionskosten überhaupt existiert. Wir stellen dabei fest, daß die Bestandsabhängigkeit der Extraktionskosten die von Solow (1974) abgeleiteten Existenzbedingungen nicht verändert.

*) Für zahlreiche Anregungen und Hinweise danke ich Wolfgang Buchholz, Harald Kotsch, Stephan Panther und Hans-Werner Sinn. Für die verbleibenden Fehler bin ich allein verantwortlich.

Wir wählen für unsere Analyse bewußt das Hartwick-Modell einer 1-Konsumgut-Ökonomie und nicht das in mancher Hinsicht allgemeinere Modell, wie es präsentiert wurde von Dixit/Hammond/Hoel (1980). Das hat zum einen den Grund, daß unser Modell ein von Dixit, Hammond und Hoel angesprochenes Problem lösen kann, nämlich die Beziehung zwischen Marktpreisen und der Hartwick-Regel bei bestandsabhängigen Extraktionskosten. Zum andern leiten Dixit, Hammond und Hoel die Hartwick-Regel nicht unter der Nebenbedingung von Produktionseffizienz ab, sondern unter der Nebenbedingung eines allgemeinen intertemporalen Konkurrenzgleichgewichts. Es läßt sich jedoch leicht zeigen, daß es Ökonomien gibt, in denen es Pfade konstanten Konsums und zugehörige Investitionsregeln gibt, die sich nicht als intertemporale Konkurrenzgleichgewichte realisieren lassen.

1. Das Modell

Wir betrachten im wesentlichen die gleiche Ökonomie wie Hartwick, erweitert um einen Ressourcenextraktionssektor, in dem die Extraktionskosten vom Ressourcenbestand abhängen. $Y(t) = F(K(t), R(t))$ sei die gesamtwirtschaftliche Produktionsfunktion. Die Technologie ist nicht zeitabhängig. Der Output zu einem Zeitpunkt hängt nur von der Größe von Variablen ab, die ebenfalls auf diesen Zeitpunkt bezogen sind. Zur Vereinfachung werden wir im folgenden den Zeitindex aller Variablen meist weglassen. Die Produktionsfunktion F sei zweimal stetig differenzierbar in R , der eingesetzten Ressourcenmenge, und in K , dem Kapitalstock. Es gelte $F_R > 0$, $F_K > 0$, $F_{RR} < 0$, $F_{KK} < 0$, $F_{RK} = F_{KR} > 0$. Der produzierte Output Y besteht aus einem Universalgut. Es kann konsumiert, investiert, zur Extraktion von Ressourcen benutzt oder kostenlos weggeworfen werden. Die Extraktionstechnologie ist beschrieben durch eine Extraktionskostenfunktion $E(S(t), R(t))$. E sei zweimal stetig differenzierbar in $S(t)$, dem Ressourcenbestand zum Zeitpunkt t , und in $R(t)$, dem Strom der Ressourcenextraktion im Zeitpunkt t . Es gelte $E(0, S) = 0$, $E_R > 0$, $E_S < 0$, $E_{RR} \geq 0$ und $E_{RS} \leq 0$. Die Extraktionskostenfunktion hat also folgende Eigenschaften: Erfolgt zu einem Zeitpunkt keine Extraktion, so entstehen in diesem Zeitpunkt auch keine Extraktionskosten. Die Grenzkosten der Extraktion in bezug auf die Extraktionsmenge R sind positiv und nicht fallend. Mit abnehmendem Ressourcenbestand S steigen die Extraktionskosten und die Grenzkosten E_R sinken zumindest nicht.

2. Die Hartwick-Regel bei bestandsabhängigen Extraktionskosten

Sinn (1981) hat gezeigt, daß technische Effizienz angesichts der Bestandsabhängigkeit der Extraktionskosten folgende verallgemeinerte intertemporale Effizienzbedingung impliziert:

$$\dot{F}_R = F_R F_K - F_K E_R + \dot{E}_R + E_S \quad (1)$$

F_X und E_X symbolisieren die partiellen Ableitungen von F und E nach $X \in \{S, R, K\}$, ein Punkt über einer Größe symbolisiert den Operator d/dt , zwei Punkte die zweimalige Anwendung dieses Operators. Die Bedingung (1) ist eine notwendige Voraussetzung effizienter Ressourcenallokation und daher auf jedem effizienten Produktions- und Ressourcenextraktionspfad erfüllt. Man beachte, daß (1) für den Fall $E \equiv 0$ die

gewöhnliche Solow-Stiglitz-Effizienzbedingung bzw. Hotellingregel (vgl. Hotelling 1931) ist. Es gilt nun folgender

Satz 1 (Hartwick-Regel im Fall bestandsabhängiger Extraktionskosten):

Seien F und E wie oben spezifiziert. Sei $\{(K(t), R(t))\}_{t \geq 0}$ ein Kapital-Ressourcenpfad, der in K und R bezüglich t zweimal stetig differenzierbar ist. Gilt die Solow-Stiglitz-Sinn-Effizienzbedingung (1), dann impliziert die Investitionsregel

$$\dot{K} = F_R R - E_R R \quad (2)$$

ein konstantes positives Konsumniveau. Zugleich impliziert die Konstanz des Konsumniveaus zusammen mit der Investitionsregel (2), daß die Effizienzbedingung (1) erfüllt ist.

Zum Beweis:

Aus (2) folgt

$$\ddot{K} = \dot{F}_R R + F_R \dot{R} - \dot{E}_R R - E_R \dot{R}. \quad (3)$$

Der Output $F(K, R)$ wird verwendet für Konsum C , Investition \dot{K} und für die Ressourcenextraktion E . Daher gilt

$$C = F - \dot{K} - E, \quad (4)$$

und also

$$\dot{C} = F_K \dot{K} + F_R \dot{R} - \dot{K} - E_R \dot{R} - E_S \dot{S} \quad (5)$$

bzw. durch Einsetzen von (2) und (3) in (5)

$$\dot{C} = F_K(F_R R - E_R R) + F_R \dot{R} - F_R \dot{R} - \dot{F}_R R + \dot{E}_R R + E_R \dot{R} - E_R \dot{R} - E_S \dot{S}. \quad (6)$$

Berücksichtigt man gleiche Summanden unterschiedlichen Vorzeichens, setzt für \dot{F}_R die Bedingung (1) ein, beachtet $\dot{S} = -R$ und multipliziert aus, so erhält man

$$\dot{C} = F_K F_R R - F_K E_R R - F_R \dot{R} + F_R \dot{R} - \dot{F}_R R + \dot{E}_R R + E_R \dot{R} - E_R \dot{R} - E_S R = 0. \quad (7)$$

Aus der Kapitalakkumulationsregel (2) unter der Bedingung intertemporaler technischer Effizienz (1) folgt somit die Konstanz des Konsumniveaus, was zu zeigen war. Gilt die Investitionsregel (2) und ist $\dot{C} = 0$, so folgt die Gültigkeit der Effizienzbedingung (1): Wegen (2) und $\dot{C} = 0$ gilt nach Gleichung (6):

$$\dot{C} = F_K(F_R R - E_R R) + F_R \dot{R} - F_R \dot{R} - \dot{F}_R R + \dot{E}_R R + E_R \dot{R} - E_R \dot{R} - E_S \dot{S} = 0, \quad (6')$$

bzw. nach Elimination identischer Summanden entgegengesetzten Vorzeichens und unter Berücksichtigung von $\dot{S} = -R$

$$F_K F_R R - F_K E_R R - \dot{F}_R R + \dot{E}_R R + E_S R = 0, \quad (6'')$$

und (6'') ist für $R \neq 0$ offenbar äquivalent zur Effizienzbedingung (1). Für eine Randlösung mit $R = 0$ ist die Solow-Stiglitz-Bedingung aber irrelevant.

Die Investitionsregel ist formal identisch mit der gewöhnlichen Hartwick-Regel ohne Bestandsabhängigkeiten, wenn man beachtet, daß Hartwick (1977) Extraktionskosten, die ausschließlich vom laufenden Extraktionsvolumen abhängen, implizit in der Produktionsfunktion berücksichtigt. Der Bestandseffekt E_S , der in der Effizienzbedingung eine wichtige Rolle spielt, erscheint in der Investitionsregel (2) nicht. Dennoch beeinflußt die Bestandsabhängigkeit wesentlich die Höhe der Investitionen, da $E_R = E_R(R, S)$: Im Laufe der Zeit nimmt bei positiven Extraktionsraten der Bestand an der Ressource ab. Wir haben mit $E_{RS} \leq 0$ unterstellt, daß die Extraktion eines bestimmten R um so teurer wird, je kleiner der verbleibende Bestand der Ressource ist. Da dieser Bestand im Zeitablauf kleiner wird, wird E_R ceteris paribus mit der Zeit größer, und damit sinkt das Investitionsvolumen, das erforderlich ist, ein konstantes Konsumniveau aufrechtzuerhalten.

Intuitiv hätte man vielleicht eher das Gegenteil erwartet: Sinkende Ressourcenbestände verteuern die Extraktion für zukünftige Generationen. Sollten wir diesen Generationen dann nicht eine entsprechend größere Menge an produziertem Kapital vererben als bei Abwesenheit von Extraktionskosten?

Die Hartwick-Regel bestimmt jenen Betrag an zusätzlich produziertem Kapitalgut, den wir unseren Erben hinterlassen müssen, wollen wir sie dafür kompensieren, daß wir eine bestimmte Menge natürlicher Ressourcen verbraucht haben. Im Fall bestandsabhängiger Extraktionskosten ist der Nutzen einer zusätzlich von uns verbrauchten Einheit der Ressource in situ für die zukünftige Generation kleiner als bei Abwesenheit dieser Extraktionskosten: Für die Extraktion müßte die zukünftige Generation Ressourcen einsetzen, die sie bei Abwesenheit von Extraktionskosten mehr konsumieren könnte. Entsprechend ist der Betrag an Kapitalgut kleiner, der ausreicht, die zukünftige Generation für die zusätzlich verwendete Einheit natürlicher Ressourcen zu kompensieren.

Dies sei an einem Beispiel erläutert: Kapitalgut, Konsumgut und Ressource mögen sich physisch nicht unterscheiden. Die Ressource muß aber zunächst extrahiert werden, bevor sie konsumiert oder investiert werden kann. Man benötigt zur Extraktion einer Einheit der Ressource α Einheiten des homogenen Konsum/Kapitalguts. Gibt es keine Extraktionskosten, ist $\alpha = 0$. Unseren Erben ist es deshalb gleichgültig, ob sie nun in ihrer Erbschaft eine zusätzliche Einheit Kapitalgut oder Ressource in situ erhalten.

Falls aber $\alpha > 0$, werden sie eine Einheit Kapitalgut gegenüber einer Ressourceneinheit präferieren. Vielmehr werden wir, falls wir eine Einheit der Ressource mehr extrahieren wollen, die zukünftige Generation bereits mit einer zusätzlichen Menge $(1 - \alpha)$ des Kapitalguts kompensieren können.

Dieses einfache Beispiel macht auch intuitiv klar, weshalb Bestandsabhängigkeit diesen Effekt noch verstärkt. Es sei $\alpha = \alpha(S)$ mit $\alpha_S < 0$. Sinkt der Bestand der natürlichen Ressource, dann steigt $\alpha(S)$. Wollen wir nun eine Einheit der Ressource mehr extrahieren, so müssen wir unsere Erben mit $(1 - \alpha(S))$ Einheiten zusätzlichen Kapitalguts beerben, um sie vollständig zu entschädigen. Da nun $(1 - \alpha(S))$ im Zeitverlauf mit sinkendem Ressourcenbestand sinkt, müssen wir der zukünftigen Generation zum Ausgleich für zusätzlichen Ressourcenabbau um so weniger Kapitalgut vererben, je kleiner der verbliebene Ressourcenbestand ist. Nun wollen wir versuchen, die Verbindung der abgeleiteten Investitionsregel zu Marktpreisen in einer Wettbewerbsökonomie herzustellen.

Wir betrachten das Profitmaximierungskalkül eines Ressourcenbesitzers und -Extrahenten auf vollkommenen Wettbewerbsmärkten. p sei der Marktgleichgewichtspreis der Ressource und r der Zinssatz. Der Ressourcenbesitzer wählt unter allen möglichen Extraktionspfaden $\{R(t)\}_{t \geq 0}$ den Pfad, für den der Barwert seines Gewinns maximal ist:

$$\max_{\{R(t)\}_{t \geq 0}} \int_0^{\infty} [p(t)R(t) - E(S(t), R(t))]e^{-rt} dt$$

unter den Nebenbedingungen

$$S(0) = S_0$$

$$\dot{S}(t) = -R(t).$$

Aus den notwendigen Bedingungen für ein Maximum erhält man aus der Hamiltonfunktion in laufenden Werten,

$$\mathcal{H} = pR - E(R, S) + \lambda(-R), \tag{8}$$

für den Schattenpreis der Ressource in situ

$$\lambda = p - E_R. \tag{9}$$

Berücksichtigt man wegen der Konkurrenzannahme $p = F_R$, so folgt

$$\lambda = F_R - E_R. \tag{9'}$$

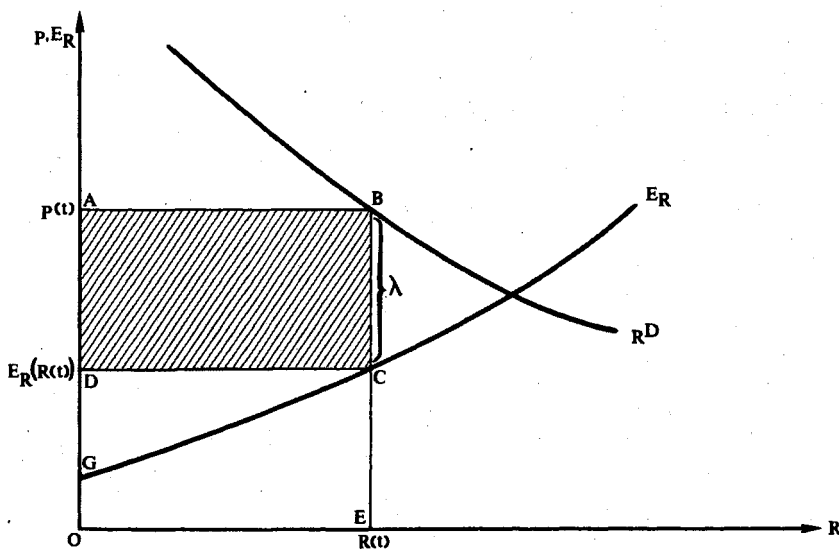


Abb. 1: Graphische Veranschaulichung der verallgemeinerten Investitionsregel.

Nach der verallgemeinerten Hartwick-Regel (2) muß also $\dot{K} = \lambda R$ gelten; jener Teil der Profite muß investiert werden, der dem Wert des laufenden Extraktionsvolumens der Ressource in situ entspricht. Abb. 1 veranschaulicht die Investitionsregel für einen Zeitpunkt t . $R(t)$ ist die Höhe der Extraktion in t gemäß dem gewählten effizienten Extraktionspfad. Der Erlös des Ressourcenbesitzers und -Extrahierenden im Zeitpunkt t ist also $p(t)R(t)$. $p(t)$ resultiert für gegebenes $R(t)$ aus der Ressourcennachfragefunktion R^D des Produktionssektors. Der Erlös pR besteht aus λR , dem Produkt aus Extraktionsmenge und dem (Schatten-)Preis der Ressource in situ, entsprechend der Fläche ABCD, den Gesamtkosten der Extraktion, entsprechend der Fläche CEOG unter der Grenzkostenkurve E_R , und der Extraktionsrente, entsprechend der Fläche GDC. Der Profit ist also die Summe der Flächen ABCD und GDC. Investiert wird nach (2) aber nur ABCD.

Nehmen wir einmal an, die Besitzer der Ressource (die „Scheichs“) extrahieren nicht selbst, sondern verkaufen die Extraktionsrechte an professionelle Extraktionsunternehmen (die „Ölmultis“). Herrscht unter den Scheichs und Ölmultis vollkommene Konkurrenz, dann werden die Scheichs für jede Ressourceneinheit genau den Schattenpreis λ erzielen. Die Investitionsregel besagt nun, daß nur in Höhe der Profite der Scheichs investiert werden muß: Die Höhe der Profite der Ölmultis ist irrelevant.

Die Hartwick-Regel ist von besonderem Interesse, wenn die technologische Möglichkeit besteht, das konstante positive Konsumniveau auf Dauer, d.h. unendlich lange aufrechtzuerhalten. Die Bedingungen dafür werden wir im folgenden kurz eruieren.

3. Existenzbedingungen

Welche Bedingungen muß man an die Produktions- und Extraktionstechnologie stellen, damit ein konstanter positiver Konsumstrom für immer, also über eine unendlich lange Zeitspanne aufrechterhalten werden kann? Die Frage ist bei Abwesenheit von Extraktionskosten für Produktionsfunktionen mit konstanter Substitutionselastizität vollständig beantwortet¹⁾. Wir wollen diese Frage nun für den Fall bestandsabhängiger Extraktionskosten untersuchen. Hierbei ist zunächst zu bemerken, daß im Falle bestandsabhängiger Extraktionskosten ökonomisch relevanter und physisch vorhandener Ressourcenbestand nicht notwendig gleich sind. Die Ressourcenextraktion ist ineffizient, sobald für den verbleibenden Bestand $E_R > F_R$ gilt. Der physische Ressourcenbestand wird unter Umständen also nicht erschöpft. Wir nehmen aber an, daß es einen positiven endlichen Teil des Bestandes gibt, für den Extraktionspfade existieren, so daß auf dem gesamten Pfad $E_R < F_R$ gilt, die Ressource also in diesem Sinne „ökonomisch wertvoll“ ist. Wir beweisen folgenden

Satz 2 (Existenzsatz):

Sei die Produktionsfunktion F der oben beschriebenen Ökonomie durch eine konstante Substitutionselastizität zwischen Kapitalgut und Ressource gekennzeichnet. Gelte ferner $K(0) = K_0 > 0$ und $S(0) = S_0 > 0$. Ein Konsumpfad mit positivem konstanten Konsum, der dauerhaft aufrechterhalten werden kann, existiert in die-

¹⁾ Vgl. *Dasgupta/Heal* (1979). Ausführlich und insbesondere auch unabhängig von der Annahme konstanter Substitutionselastizität der gesamtwirtschaftlichen Produktionsfunktion untersucht *Buchholz* (1984) die Frage der Existenz solcher Konsumpfade.

sem Falle genau dann, wenn (i) $\sigma = 1$ und die Produktionselastizität des Kapitals größer als die der natürlichen Ressource, oder (ii) wenn $\sigma > 1$ ist.

Wenn F eine Produktionsfunktion mit einer konstanten Substitutionselastizität $\sigma < 1$ ist, dann ist ein positives konstantes Konsumniveau auf Dauer nicht erreichbar. Schon wenn es keine Extraktionskosten gibt, kann in diesem Fall, gleichgültig welcher Extraktionspfad $\{R(t)\}$ gewählt wird, aus einer endlichen Ressourcenmenge nur eine endliche Outputmenge $\zeta = \int_0^{\infty} Y(t)dt$ produziert werden (vgl. Dasgupta/Heal 1979).

Wenn es Extraktionskosten gibt, muß ein Teil dieser Outputmenge ζ für die Extraktion verwendet werden. Das Endlichkeitsargument von ζ gilt daher a fortiori bei Extraktionskosten und überträgt sich auf den über alle Perioden aufsummierten Gesamtkonsum $\int_0^{\infty} C(t)dt$, für den ζ eine obere Schranke ist.

Wenn F eine Produktionsfunktion mit konstanter Substitutionselastizität $\sigma > 1$ ist, dann ist die Ressource für die Produktion nicht notwendig (vgl. Dasgupta/Heal 1979). Es kann für $K(0) > 0$ auch ganz ohne Ressourcenverwendung ein dauerhaft positives konstantes Konsumniveau $C(t) = F(K(t), 0) = F(K(0), 0) = \bar{C} > 0$ realisiert werden. Da Extraktionskosten nur anfallen, sofern eine Extraktion erfolgt, ist dieses konstante Konsumniveau \bar{C} auf Dauer möglich, z.B. einfach durch Verzicht auf jegliche Extraktion.

Schließlich bleibt noch der Fall einer konstanten Substitutionselastizität $\sigma = 1$, also die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion

$$Y = K^{\alpha_1} R^{\alpha_2} \quad (10)$$

Solow (1974) hat gezeigt, daß ohne Extraktionskosten ein dauerhaft positives konstantes Konsumniveau ausgehend von positiven Anfangsbeständen $K(0) = K_0$ und $S(0) = S_0$ für $\alpha_1 > \alpha_2$ aufrechterhalten werden kann. Diese Bedingung gilt für den Fall bestandsabhängiger Ressourcen unverändert: Der Beweisgedanke ist sehr einfach. Man unterstellt, die Ökonomie extrahiere insgesamt nur einen Teil ihres Gesamtressourcenbestandes und verfolge bezüglich dieses Bestandes \bar{S} einen Investitions- und Extraktionspfad, in dem die gewöhnliche Hartwick-Regel

$$\dot{K} = F_R R \quad (11)$$

und die Solow-Stiglitz-Bedingung für den Fall ohne Extraktionskosten

$$\dot{F}_R / F_R = F_K \quad (12)$$

eingehalten werden. Die Extraktionskosten finanziert diese Ökonomie einfach durch Konsumreduktion. Kann eine solche Ökonomie in jedem Zeitpunkt die Abbaukosten aus Konsumverzicht bestreiten, und bleibt dennoch zu jedem Zeitpunkt eine strikt positive Menge $C(t) \geq \varepsilon > 0$ für den eigentlichen Konsum übrig, dann gibt es einen Pfad dauerhaft konstanten Konsumniveaus mindestens des Niveaus ε . Je nach Art der Extraktionskostenfunktion reicht möglicherweise auf dem durch (10), (11) und (12) beschriebenen Extraktionspfad die Menge des verfügbaren Konsumguts zeitweise nicht aus, die Extraktionskosten zu bestreiten. Es zeigt sich aber, daß man die Positivität des

nach Abzug der Extraktionskosten verbleibenden Konsums gewährleisten kann, wenn man die Menge der Ressource, die insgesamt extrahiert wird, auf einen geeignet kleinen Teil des Gesamtbestands beschränkt:

Sei $\bar{S} = \int_0^{\infty} R(t)dt$ jener Teil des Ressourcenbestands S_0 , der insgesamt abgebaut wird,

und $S_{\infty} = S_0 - \bar{S}$ der Restbestand, der niemals abgebaut wird. Sei $\{R^H(t)\}_{\bar{S}}$ der Ressourcenabbaupfad, der sich unter Berücksichtigung der Hartwick-Regel (11) und Effizienzbedingung (12) zur Gesamtabbauemenge \bar{S} ergibt. Auf diesem Pfad ist der „Bruttokonsum“ $C_b \equiv Y - \dot{K}$ konstant. Ferner gilt wegen (10) und (11), daß $\dot{K} = \alpha_2 Y$, und also ist $C_b = (1 - \alpha_2)Y$. Somit ist auch $Y(t) = Y_0$ und konstant und die Investition $\dot{K}(t) = \alpha_2 Y_0$ und konstant. Differenziert man die Produktionsfunktion total nach der Zeit, so erhält man wegen $\dot{Y} = 0$, daß

$$F_K \dot{K} + F_R \dot{R} = 0, \tag{13}$$

bzw. wegen (11).

$$\dot{R}(t) \equiv \dot{R}(t)/R(t) = -F_K(K(t), R(t)). \tag{14}$$

Wegen (14) ist der Ressourcenabbaupfad monoton fallend und nimmt in $t = 0$ mit $R(0) \equiv R_0(\bar{S}) < \infty$ für $\bar{S} > 0$ sein Maximum an. Ferner gilt

$$\lim_{\bar{S} \rightarrow 0} R_0(\bar{S}) = 0, \tag{15}$$

wie sich durch Widerspruch zeigen läßt: Sei $\lim_{\bar{S} \rightarrow 0} R_0(\bar{S}) \geq \bar{R} > 0$. Dann gilt $\lim_{\bar{S} \rightarrow 0} R(0 + dt) = 0$ für ein beliebig kleines dt . Da der Extraktionspfad wegen (14) monoton ist, folgt $\lim_{\bar{S} \rightarrow 0} \dot{R}(0) = -\infty$. Wegen $\lim_{\bar{S} \rightarrow 0} R_0(\bar{S}) \geq \bar{R} > 0$ ist aber $\lim_{\bar{S} \rightarrow 0} \dot{R}(0) = -F_K(K(0), R_0(\bar{S})) > -\infty$. Diese Annahme führt also zu einem Widerspruch. Das beweist (15).

Nun wählt man \bar{S} , die gesamte Abbauemenge so klein, daß

$$E_R^* \equiv E_R(R_0(\bar{S}), S_{\infty}) < F_R(K_0, R_0(\bar{S})) \tag{16}$$

ist. Wegen der Stetigkeit von E und F , wegen (15) und wegen $E_R(0, S_0) < F_R(K_0, 0) = \infty$ gibt es ein strikt positives \bar{S}_m , so daß diese Bedingung (16) für alle $\bar{S} \leq \bar{S}_m$ erfüllt ist. Mit E_R^* erhält man eine obere Schranke für die Extraktionsstückkosten auf dem gesamten Pfad $\{R^H(t)\}$ und entsprechend eine obere Schranke für die Extraktionskosten: $E(R^H(t), S(t)) \leq R_0(\bar{S})E_R^*$.

Wir zeigen, daß auch bei Vorliegen von Extraktionskosten in dieser maximalen Höhe bei Wahl eines (angesichts der Extraktionskosten sogar ineffizienten) Pfades vom Typ $\{R^H(t)\}_{\bar{S}}$ ein strikt positiver Konsum ϵ in jeder Periode möglich ist. Daß ein konstanter strikt positiver Konsumpfad dann bei Berücksichtigung der wahren Extraktionskosten möglich ist, folgt unter der Annahme des free disposals a fortiori.

Nach Solow (1974) ist auf dem Extraktionspfad $\{R^H(t)\}_{\bar{S}}$ die „Brutto“-Konsummenge $C_b = Y - \dot{K} = K_0 F_K(K_0, R_0(\bar{S}))$ zu jedem Zeitpunkt strikt positiv. C_b wird für Konsum und Extraktionskosten verwendet: $C_b = C + E$. Wir zeigen, daß C_b für

hinreichend kleine Werte von \bar{S} die Extraktionskosten $R_0(\bar{S})E_R^*$ um einen strikt positiven Betrag übersteigt: Mit \bar{S} konvergieren $R_0(\bar{S})$, F_K und E_R^* gegen Null. Es gilt aber:

$$\lim_{R_0 \rightarrow 0} \frac{F_K(K_0, R_0)K_0}{R_0} = \lim_{R_0 \rightarrow 0} \frac{\alpha_1 K_0^{\alpha_1} R_0^{\alpha_2}}{R_0} = \alpha_1 Y_0 \lim_{R_0 \rightarrow 0} R_0^{-1} = \infty.$$

Wegen (15) gibt es also insbesondere ein $\bar{S} > 0$ mit zugehörigem R_0 , für das $C_b = F_K(K_0, R_0)K_0 > 2 R_0(\bar{S})E_R^*$ gilt. Ist $E_R^*(\bar{S}) = 0$, dann gibt es für dieses \bar{S} keine Extraktionskosten und Solows Existenzbeweis ist direkt anwendbar. Ist $E_R^*(\bar{S}) > 0$, so ist $R_0(\bar{S})E_R^*(\bar{S}) \equiv \varepsilon > 0$. Falls also nur \bar{S} abgebaut wird, ist die in jeder Periode nach Abzug der Extraktionskosten verfügbare Konsummenge größer $\varepsilon > 0$.

Falls $\alpha_1 \leq \alpha_2$, gibt es auch bei Abwesenheit von Extraktionskosten nach Solow (1974) keinen Pfad konstanten positiven Konsums, der dauerhaft aufrechterhalten werden kann. Auch dieses Argument gilt a fortiori, wenn zusätzlich aus dem Bruttooutput Extraktionskosten zu bestreiten sind. Damit ist der Beweis vollständig.

Wenn auch der konstante Konsumpfad im Fall bestandsabhängiger Extraktionskosten im allgemeinen unter einem möglichen Pfad bei Abwesenheit von Extraktionskosten liegt, so ist es doch ein vielleicht unerwartetes Ergebnis der vorangegangenen Bemerkungen, daß sich durch Extraktionskosten die Anforderungen an die Technologie für die Existenz eines dauerhaft positiven konstanten Konsumpfads nicht verschärfen.

Literatur

- Buchholz, W., Intergenerational Equity, a Savings Investment Rule, and the Efficient Allocation of an Exhaustible Resource, A Note Concerning Papers of Solow and Hartwick. *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* 195 (1980) 271–274.
- Buchholz, W., Intergenerationelle Gerechtigkeit und erschöpfbare Ressourcen. Duncker und Humblot: Berlin (1984).
- Dasgupta, P., *Heal, G.*, Economic Theory and Exhaustible Resources. Cambridge University Press: Cambridge (1979).
- Dixit, A., Hammond, P., Hoel, M., On Hartwick's Rule for Regular Maximin Paths of Capital Accumulation and Resource Depletion. *Review of Economic Studies* 47 (1980) 551–556.
- Hartwick, J. M., Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *American Economic Review* 67 (1977) 972–974.
- Rawls, J., *A Theory of Justice*. Harvard University Press: Cambridge, Mass. (1971).
- Sinn, H.-W., Stock-Dependent Extraction Costs and the Technological Efficiency of Resource Depletion. *Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften* 101 (1981) 507–517.
- Solow, R. M., Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. *Review of Economic Studies*, Symposium 41 (1974) 29–45.
- Solow, R. M., On the Intergenerational Allocation of Natural Resources. *Scandinavian Journal of Economics* 88 (1986) 141–149.

Zusammenfassung

Wird in einer Volkswirtschaft unter Verwendung einer erschöpfbaren Ressource produziert, dann stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen ein positives Konsumniveau dennoch dauerhaft aufrechterhalten werden kann. Wie verändern sich diese Bedingungen, wenn die Ressourcenextraktion bestandsabhängige Extraktionskosten verursacht?

In diesem Beitrag wird hierzu zunächst eine gegenüber der Hartwick-Regel verallgemeinerte Investitionsregel abgeleitet, die zeigt, daß bei bestandsabhängigen Extraktionskosten die Nettoressourcenprofite investiert werden, und daß damit unter Umständen die erforderlichen Investitionen niedriger sind als bei Abwesenheit von Extraktionskosten. Ferner wird gezeigt, daß die Existenzbedingungen von Minimax-Konsumpfaden mit dauerhaftem positiven Konsumniveau durch das Vorliegen von bestandsabhängigen Extraktionskosten nicht verändert werden.

Summary

If depletable resources are used as a means of production, what are the investment rules and existence conditions for achieving a positive constant level of consumption and maintaining it over an infinite period of time? This paper tries to answer these questions, extending Hartwick's rule to the case of stock-dependent extraction costs. It is shown that the necessary investment volume merely absorbs the rents net of "extraction profits". Therefore, the level of investment is less in the case of stock-dependent extraction costs. Moreover, existence conditions do not change in the case of stock-dependent extraction costs.

Kai A. Konrad, Seminar für Versicherungswissenschaft der Universität, Ludwigstr. 33/III, D-8000 München 22.