

3. Sonstige Beiträge:

Dieter Bullinger:

Wirtschaftlich-technologischer Strukturwandel und regionale Entwicklung: Situationsanalyse und Konsequenzen für unternehmerische und öffentliche Maßnahmen - Fallbeispiel Elsaß

Siegfried Brenke:

Gesamtwirtschaftliche und regionale Aspekte der Entwicklung der Wohnungsnachfrage

Günter Krebs:

Methodische Probleme bei der Schätzung kleinräumlicher Bodenpreisstrukturen

Gunther Maier, Peter Weiss:

Die Bedeutung regionaler Faktoren für die persönliche Einkommensverteilung - am Beispiel Österreichs

Dirk Zumkeller:

Sind die Prognosen zur Energiesituation nur verdrängt oder schon vergessen? - Eine Retrospektive zu Einsparungsmöglichkeiten von privaten Haushalten

-----

KALKULATIONSZINS FÜR ÖFFENTLICHE

PROJEKTE

Werner Rothengatter

Gliederung

Seite

1. Der Kalkulationszins für öffentliche Projekte als Ergebnis ökonomischer Totalmodelle	2
2. Der Zins in einem Totalmodell für eine Ökonomie mit erschöpfbaren Ressourcen	8
3. Die empirischen Untersuchungen und deren Ergebnisse	13
Literatur	17
Anhang	18

Adresse:

Prof.Dr.Werner Rothengatter  
Abteilung Wirtschaftswissenschaften  
der Universität Ulm  
Oberer Eselsberg N25  
7900 Ulm

1. Der Kalkulationszins für öffentliche Projekte als Ergebnis ökonomischer Totalmodelle

Eine Beurteilung von öffentlichen Projekten mit Hilfe von Kennzahlen, die abgezinste Nutzen- und Kostenströme gegenüberstellen, erfordert besondere Sorgfalt bei der Festlegung des Kalkulationszinses. Einerseits benachteiligt ein zu hoher Zins häufig Projekte mit sehr langer Nutzungsdauer gegenüber Projekten mit kurzfristiger Bindung des investierten Kapitals. Einer solchen Investitionspolitik wird oft unterstellt, daß sie in unzureichendem Maße die Interessen zukünftiger Generationen wahrnimmt. Andererseits kann ein zu niedriger Zins langfristige, öffentliche Projekte fördern, die eine geringere Verzinsung als alternative private Projekte aufweisen. Durch eine überdimensionierte Verwendung von Kapitalressourcen im öffentlichen Bereich wurden dann zukünftige Generationen schlechter gestellt, wenn durch die Realisierung kurzfristiger privater Projekte über eine attraktive Reinvestitionskette eine insgesamt höhere Verzinsung des Kapitals erwirtschaftet werden könnte. Eine auf Dauer erfolgreiche kurzfristige Investitionspolitik setzt allerdings voraus, daß zukünftig weiterhin Anlagemöglichkeiten mit genügend hoher Verzinsung existieren.

In einem derartigen Spannungsfeld kann eine zufriedenstellende Antwort auf die Frage nach dem "richtigen" Kalkulationszins für öffentliche Investitionsprojekte ad hoc nicht gegeben werden. Der aus gesamtwirtschaftlicher Sicht "richtige" Kalkulationszins ist nur als Ergebnis einer Totalmodellierung einer Ökonomie ermittelbar, in die die gesellschaftlichen Wertvorstellungen, die Produktionsmöglichkeiten und alle Arten der Kapitalverwendung einfließen. Eine derartige Modellierung besitzt strukturelle Ähnlichkeiten zu Modellen aus der Unternehmenstheorie, in denen auf privatwirtschaftlicher Ebene relevante Kalkulationszinsen endogen bestimmt werden [Hax (1979), Moxter (1975)]. Die Wertvorstellungen und Produktionsmöglichkeiten beziehen sich aber nicht auf eine einzelne Untersuchungen, sondern auf eine Ökonomie insgesamt. Das nachfolgende einfache Zwei-Perioden-Modell

versucht diesen Sachverhalt zu verdeutlichen:

Zwei-Perioden-Modell einer Ökonomie:

Betrachtet wird eine Ökonomie, in der nur ein einziges Gut produziert wird. Der Kapitalvorrat zu Beginn der ersten Periode sei  $\bar{K}_0$ . Das Gut kann innerhalb der Periode sowohl konsumiert als auch in N verschiedene Projekte investiert werden. Die Projekte seien durch ihren Kapitalbedarf  $K_i$  in Periode 1 und ihren Kapitaloutput  $(1+r_i) \cdot K_i$ ,  $i=1,2,\dots,N$  in Periode 2 charakterisiert. Mit  $r_i$  sei die Verzinsung bei Projekt  $i$  bezeichnet. Die Zinssätze  $r_i$  seien der Größe nach geordnet, wobei  $r_1 > r_2 > \dots > r_N$  gelte. Mit Hilfe der Investitionsprojekte lassen sich für die Perioden 1 und 2 verschiedene gesamtwirtschaftliche Konsumpläne  $(C_0, C_1)$  verwirklichen, die durch eine gesamtwirtschaftliche Transformationskurve  $T(C_0)$  dargestellt werden können.

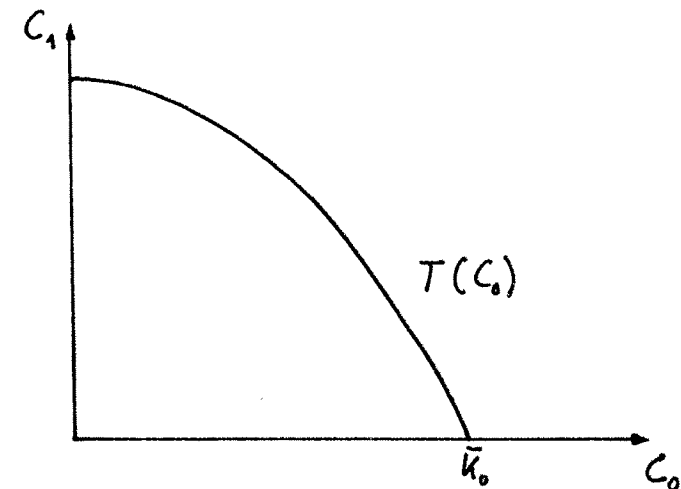


Fig. 1: Gesamtwirtschaftliche Transformationskurve

Die Transformationskurve gibt an, in welcher Weise in der Gesellschaft Konsum "heute" in Konsum "morgen" transferiert werden kann. Ist für die Ökonomie eine gesamtwirtschaftliche Produktionsfunktion der Form  $y = F(K)$

bekannt, so bestimmt sich die Transformationskurve zu

$$C_1 = T(C_0) = F(\bar{K}_0 - C_0) + \bar{K}_0 - C_0$$

Bei hinreichend großer Anzahl von Projekten kann die Transformationskurve als differenzierbar angenommen werden. Die Steigung  $-\frac{dT}{dC_0} = 1 + \frac{dF}{dK} = (1+r)$  beschreibt dann die Verzinsung der verfügbaren Projekte.

Die Frage, wieviel Kapital in Periode 1 konsumiert und wieviel investiert werden soll, läßt sich ohne Explizierung von Wertvorstellungen nicht beantworten. Nur bei Angabe einer sozialen Zeitpräferenz kann eine gesamtwirtschaftlich optimale Allokation von Konsum und Investitionen bestimmt werden. Das Optimum ergibt sich als Tangentialpunkt einer Indifferenzkurve der sozialen Zeitpräferenz mit der volkswirtschaftlichen Transformationskurve.

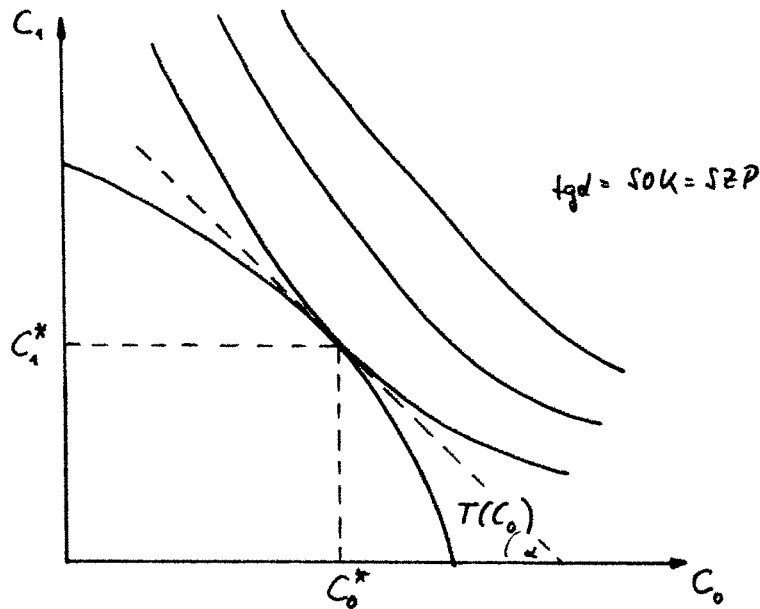


Fig. 2.: Optimale Allokation von "Konsum heute" und "Konsum morgen"

Im Optimum findet man mit der "sozialen Zeitpräferenzrate" (SZP) als Grenzrate der Substitution zwischen "Konsum heute" und "Konsum morgen" und der sozialen "Opportunitätskostenrate" (SOK) als Verzinsung des Grenzprojekts zwei eng mit dem Kalkulationszins zusammenhängende Größen, wobei die erste mehr an den Wertvorstellungen und die zweite mehr an den Produktionsmöglichkeiten orientiert ist. Die SZP beantwortet die Frage, wieviel Einheiten "Konsum morgen" man einer Gesellschaft mindestens bieten muß, damit diese auf eine Einheit "Konsum heute" verzichtet. Die Opportunitätskostenrate gibt dagegen an, wieviel Einheiten "Konsum morgen" eine Gesellschaft mit einer Einheit "Konsum heute" maximal produzieren kann. Eine gesellschaftlich optimale Allokation von "Konsum heute" und "Konsum morgen" ist dann erreicht, wenn der durch Produktion maximal erreichbare "Konsum morgen" gleich dem von der Gesellschaft mindestens geforderten Wert ist, also wenn soziale Zeitpräferenzrate und Opportunitätskostenrate übereinstimmen.

Ist eine optimale Allokation von "Konsum heute" und "Konsum morgen" bestimmt, so ist auch das optimale Investitionsprogramm festgelegt. Es stellt sich die Frage, ob das gesamtwirtschaftlich optimale Investitionsprogramm auch bei Dezentralisierung der Entscheidungen über die  $N$  verfügbaren Investitionsprojekte herbeigeführt werden kann. Bestimmt man für die  $N$  Projekte Kapitalwerte

$$C_{0i} = -K_i + \frac{(1+r_i) \cdot K_i}{(1+r)}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

und verwendet als Kalkulationszins die im Optimum identischen SZP bzw. SOK, d.h.

$$r^* = -\frac{dT(C_0^*)}{dC_0} - 1 = \frac{dF(\bar{K}_0 - C_0^*)}{dK} = SOK = SZP$$

so erkennt man folgenden Sachverhalt: Alle Projekte, die bei einem Kalkulationszins  $r^*$  positive Kapitalwerte besitzen ( $r_i \geq r^*$ ), sind im optimalen Investitionsprogramm enthalten, alle Projekte mit negativem Kapitalwert ( $r_i < r^*$ ) dagegen nicht. Die dezentrale Entscheidungsregel

"Realisiere alle Investitionsprojekte, die bei einem Kalkulationszins  $r^*$  positive Kapitalwerte liefern", führt demnach zu dem gewünschten optimalen Investitionsprogramm. Der aus gesamtwirtschaftlicher Sicht "richtige" Kalkulationszins  $r^*$  läßt sich dann als derjenige Zins definieren, mit dem bei dezentraler Planung der Projekte nach der Kapitalwertmethode ein gesamtwirtschaftlich optimales Investitionsbudget erstellt werden kann.

Die im Rahmen eines Zwei-Perioden-Modells beschriebene Verfahrensweise zur Bestimmung gesamtwirtschaftlich "richtiger" Kalkulationszinsen hat auch für Modelle mit mehr als zwei Perioden Gültigkeit. Für soziale Zeitpräferenzen vom utilitaristischen Typ läßt sich sogar eine besonders einfache Formel (Ramsey-Regel) für die SZP bzw. SOK angeben. Nehmen wir an, die Gesellschaft bewerte einen in der Zeit kontinuierlichen Konsumstrom  $(C_t)_{t \geq 0}$  mit Hilfe des Kriteriums

$$(1) \quad W((C_t)_{t \geq 0}) = \int_0^{\infty} u(C_t) \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot dt, \quad \delta \geq 0.$$

Das Kriterium aggregiert die gemäß einer Rate  $\delta$  diskontierten Nutzen des Konsums in den einzelnen Zeitpunkten  $t$  der Planungsperiode  $[0, \infty)$ . Die Diskontierungsrate  $\delta$  kann dabei als Unduldsamkeitsmaß der Gesellschaft interpretiert werden. Je größer  $\delta$ , desto myopischer wird das Entscheidungsverhalten der Jetztgeneration, d.h. desto größeres Gewicht wird dem Nutzen der Jetztgeneration gegenüber dem zukünftiger Generationen beigemessen. Ein kleines  $\delta$  bzw. ein  $\delta$  gleich Null signalisiert dagegen ein hohes Maß an Sensitivität gegenüber den Konsummöglichkeiten zukünftiger Generationen. Für soziale Zeitpräferenzen wie in (1) gilt für die soziale Zeitpräferenzrate  $\rho_t$  zum Zeitpunkt  $t$  die folgende einfache Ramsey-Regel

$$(2) \quad \rho_t = \delta + n_{C_t} \cdot \gamma_{C_t}, \quad t \geq 0$$

mit  $n_{C_t} := -\frac{u''(C_t)}{u'(C_t)} \cdot C_t \cong$  Elastizität des Grenznutzens bei Konsum  $C_t$  und

$$\gamma_{C_t} := \frac{C_t}{C_t} \cong \text{Wachstumsrate des Konsums zum Zeitpunkt } t.$$

Für strikt konkave Nutzenfunktionen  $u$  (Gesetz vom abnehmenden Grenznutzen) ist  $n_{C_t}$  positiv. Ist die Wachstumsrate  $\gamma_{C_t}$  ebenfalls positiv, d.h. genießen zukünftige Generationen einen höheren Konsum als die gegenwärtige, so ist der zweite Summand in (2) positiv. Abnehmender Grenznutzen und positive Wachstumsraten des Konsums implizieren demnach eine Diskontierung des Konsums zukünftiger Generationen. Dies ist eine weitverbreitete Ansicht [Dasgupta/Pearce (1978)], die hier eine Bestätigung findet.

Selbst wenn kein Wachstum des Konsums existiert, d.h.  $\gamma_{C_t} = 0 \quad t \geq 0$ , kann ein Bedürfnis bestehen, den zukünftigen Konsum zu diskontieren. Beispielsweise könnte die gegenwärtige Generation für zukünftige Generationen ein Risiko der Vernichtung sehen und deshalb ihren Konsum gegenüber dem Konsum zukünftiger Generationen stärker bewerten, was sich in einem steigenden  $\delta$  niederschlägt.

Befindet sich eine Ökonomie im Zustand eines steady state, d.h. gilt entlang eines optimalen Programms  $\rho_t \equiv i \equiv r_t \quad \forall t \geq 0$  und damit  $i_t \equiv i \quad \forall t \geq 0$ , so ist wie gewohnt  $Q_t = \frac{1}{(1-i)^t}$ ,  $t \geq 0$ . Berechnet man mit den Diskontfaktoren  $Q_t$ ,  $t \geq 0$ , Kapitalwerte für die einzelnen Projekte, so ergibt sich, daß alle Projekte mit positivem Kapitalwert im optimalen Investitionsbudget enthalten sind, alle Projekte mit negativem Kapitalwert hingegen nicht. Man kann also das optimale gesamtwirtschaftliche Investitionsbudget wie im Zwei-Perioden-Modell mit Hilfe von Kapitalwerten bestimmen. Der im Modell endogen bestimmte Zinssatz  $i$  ist demnach der "richtige" Kalkulationszinssatz, mit dem eine Investitionsplanung gemäß der Kapitalwertmethode zu der von der Gesellschaft gewünschten Optimallösung  $(C_t^*)_{t \geq 0}$  führt.

2. Der Zins in einem Totalmodell für eine Ökonomie mit erschöpfbaren Ressourcen

Im folgenden betrachten wir das Modell einer Ökonomie mit einer erschöpfbaren Umweltressource (Wasser bzw. Luft bestimmter Qualität, Landschaft). Um etwas produzieren zu können muß ein Teil der erschöpfbaren Ressource abgebaut und im Produktionsprozeß eingesetzt werden. Der durch Produktion mögliche Kapitalkonsum sei aber nur bei positivem Bestand der Umweltressource nutzenstiftend. Ohne positiven Ressourcenbestand sei ein positiver Nutzen des Konsums nicht möglich. Die Umweltressource kann demnach auf zweierlei Weise Nutzen stiften, zum einen indirekt über den mit ihr produzierbaren Kapitalkonsum, zum anderen direkt, beispielsweise bei Verwendung für Erholungszwecke oder zur Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen. Die Opportunitätskosten des Abbaus der erschöpfbaren Ressource werden dann nicht nur durch die Preissteigerungsrate der Ressource bestimmt, sondern auch durch den bewerteten Nutzenverlust der Konsumenten, der sich bei einer Verminderung des Ressourcenbestandes ergibt. Ohne Produktion sei aber ebenfalls kein positiver Nutzen möglich, d.h. ein positiver Bestand der erschöpfbaren Umweltressource ist nur dann nutzenstiftend, wenn gleichzeitig ein positiver Konsum existiert. Das Modell sei durch die folgenden Annahmen charakterisiert:

C1:

Es wird eine Ökonomie betrachtet, in der nur ein einziges Kapitalgut produziert wird. Der Kapitalstock zum Zeitpunkt t sei K\_t. K\_0 > 0 bezeichne den Anfangsbestand des Kapitalgutes. Der zum Zeitpunkt t verfügbare Output des Gutes sei Y\_t. Y\_t kann sowohl konsumiert als auch investiert werden. Eine Investition sei dabei als Erhöhung des Kapitalstocks K\_t verstanden. Es gilt demnach die Beziehung

(3) Y\_t = C\_t + K\_t, t >= 0,

wobei C\_t den Konsum und K\_t die Veränderung des Kapitalstocks K\_t zum Zeitpunkt t bezeichne.

C2:

Das Kapitalgut besitze die Fähigkeit, in Verbindung mit dem Einsatz von Arbeit und dem Verbrauch einer erschöpfbaren Ressource sich selbst zu reproduzieren. Bezeichne L\_t das Arbeitskräftepotential, S\_t den Bestand und R\_t die im Produktionsprozeß eingesetzte Menge der erschöpfbaren Ressource jeweils zum Zeitpunkt t. Mit S\_0 > 0 gilt dann die Beziehung

(3) S\_t = S\_0 - integral from 0 to t of R\_tau \* d tau, t >= 0,

d.h. der Anfangsbestand S\_0 wird bei positiven Abbauraten R\_t ständig abgebaut. Der Output Y\_t des Kapitalgutes werde gemäß einer Cobb-Douglas Produktionsfunktion

Y\_t = F(K\_t, L\_t, R\_t, t) = K\_t^alpha1 \* L\_t^alpha2 \* R\_t^alpha3 \* e^lambda \* t, alpha\_i > 0, i = 1,2,3, sum from i=1 to 3 of alpha\_i = 1, lambda > 0, produziert, welche Y\_t als Funktion des Kapitalstocks K\_t, des Arbeitskräftepotentials L\_t und der verbrauchten Menge R\_t der erschöpfbaren Ressource beschreibt.

C3:

Die Gesellschaft bewerte einen Konsumstrom (C\_t)\_t >= 0 gemäß einer utilitaristischen Wohlfahrtsfunktion

(4) W((C\_t)\_t >= 0) = integral from 0 to infinity of u\_B^n(C\_t, S\_t) \* e^-delta \* t dt, delta > 0.

u\_B^n(C, S) sei eine Nutzenfunktion der Form u\_B^n(C, S) = - C^-(n-1) \* (1-beta) \* S^-(n-1) \* beta, n > 1, beta in [0, 1). Für beta = 0 erhält man die Nutzenfunktion u\_0^n(C, S) = - C^-(n-1), n > 1. Für beta > 0 ist u\_B^n(C, S) eine Funktion des Konsums C und des Ressourcenbestandes S.

Zum Zeitpunkt  $t = 0$  wählt die Gesellschaft einen wohlfahrtsmaximalen, zulässigen Konsumplan  $(C_t^*)_{t \geq 0}$  und einen Plan  $(R_t^*)_{t \geq 0}$  für den Verbrauch der erschöpfbaren Umweltressource aus. Für  $\beta = 0$  sind im Optimum folgende beiden Bedingungen erfüllt:

$$(5) \quad \frac{\partial F}{\partial R_t} = \delta + n \cdot \frac{\dot{C}_t}{C_t} \quad (\text{Ramsey-Regel}), \quad *$$

d.h. die interne Verzinsung  $\frac{\partial F}{\partial R_t}$  des Grenzprojekts ist gleich der sozialen Zeitpräferenzrate  $SZP = \delta + n \cdot \frac{\dot{C}_t}{C_t}$ . Die soziale Zeitpräferenzrate

ergibt sich als Summe der Nutzendiskontierungsrate  $\delta$  und dem Produkt aus der Elastizität des Grenznutzens und der Wachstumsrate des Konsums.

$$(6) \quad \frac{\partial F}{\partial R_t} = \frac{(-\frac{\partial F}{\partial R_t})}{\frac{\partial F}{\partial R_t}} \quad (\text{Hotelling-Regel}),$$

d.h. die interne Verzinsung des Grenzprojekts ist gleich der Veränderungsrate des Grenzprodukts (Preissteigerungsrate) der erschöpfbaren Umweltressource. Diese Veränderungsrate beschreibt die Opportunitätskosten des Abbaus einer Ressourceneinheit. Der Abbau erfolgt so lange, wie der Zinsertrag größer ist als die Opportunitätskosten.

Für  $\beta > 0$  sind im Optimum folgende Bedingungen erfüllt:

$$(7) \quad \frac{\partial F}{\partial R_t} = \delta + \beta \cdot (n - 1) \cdot \frac{\dot{S}_t}{S_t} + (1 + (1 - \beta) \cdot (n - 1)) \cdot \frac{\dot{C}_t}{C_t},$$

$$(8) \quad \frac{\partial F}{\partial R_t} = \frac{(-\frac{\partial F}{\partial R_t})}{\frac{\partial F}{\partial R_t}} + \frac{1}{\frac{\partial F}{\partial R_t}} \cdot \frac{\frac{\partial u_B^n}{\partial S_t}}{\frac{\partial u_B^n}{\partial C_t}}$$

d.h. die interne Verzinsung des Grenzprojekts ist gleich der Summe aus Veränderungsrate des Grenzprodukts (Preissteigerungsrate) der Umweltressource und der Bewertung des Nutzenverlustes der Konsumenten bei einer Verminderung des Ressourcenbestandes.

\*) Im folgenden bezeichnen Größen der Form  $\frac{\dot{X}}{X}$  Wachstumsraten für Variable  $x$

Ein Vergleich der Bedingungen (5), (6) und (7), (8) zeigt, daß

- im Gegensatz zu  $\beta = 0$  der bei  $\beta > 0$  sich ergebende Kapitalzins den durch Ressourcenabbau bedingten direkten Nutzenverlust der Konsumenten berücksichtigt. Die Opportunitätskosten des Ressourcenabbaus liegen bei  $\beta > 0$  höher als bei  $\beta = 0$ . Eine unmittelbare Folge davon ist, daß der Ressourcenabbau bei  $\beta > 0$  schon dann gestoppt wird, wenn er bei  $\beta = 0$  noch Vorteile bieten würde, d.h. der Zinsertrag größer ist als die Preissteigerungsrate.

- in Unterscheidung zu  $\beta = 0$  die soziale Zeitpräferenzrate bei  $\beta > 0$  noch von der Abbaurrate  $\frac{\dot{S}_t}{S_t}$  der Umweltressource abhängt. Warum dies so ist wird sofort klar, wenn man die Wohlfahrtsfunktion (4) auf andere Weise darstellt. Es gilt:

$$\int_0^{\infty} -C_t^{-(n-1) \cdot (1-\beta)} \cdot S_t^{-(n-1) \cdot \beta} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot dt =$$

$$= \int_0^{\infty} -C_t^{-(n-1) \cdot (1-\beta)} \cdot e^{-\int_0^{\infty} v(\tau) \cdot d\tau} \cdot dt$$

mit  $v(\tau) := \delta + \beta \cdot (n-1) \cdot \frac{\dot{S}_t}{S_t}$

$v(\tau)$  kann als effektive Nutzendiskontierungsrate interpretiert werden. Die Wohlfahrtsfunktion in (4) ist demnach für  $\beta > 0$  vom gleichen Typ wie diejenige für  $\beta = 0$ . Sie unterscheiden sich in der Elastizität des Grenznutzens des Konsums und in der Nutzendiskontierungsrate. Die soziale Zeitpräferenzrate für Wohlfahrtsfunktionen mit  $\beta = 0$  ergibt sich als Summe der Nutzendiskontierungsrate und dem Produkt aus der Elastizität des Grenznutzens und der Wachstumsrate des Konsums. Die soziale Zeitpräferenzrate für  $\beta > 0$  hängt damit über  $v(\tau)$  von der Abbaurrate  $\frac{\dot{S}_t}{S_t}$  der erschöpfbaren Umweltressource ab.

Nach geeigneter Umformulierung läßt sich der Zins für  $\beta = 0$  für Zustände des steady state explizit in der Form

$$z_2 = \frac{\alpha_2 \cdot \delta + n \cdot \lambda}{\alpha_2 + \alpha_3 \cdot n}$$

angeben. Schränkt man für  $\beta > 0$  die Menge der zulässigen Konsum- bzw. Verbrauchspläne  $(C_t)_{t \geq 0}$  bzw.  $(R_t)_{t \geq 0}$  auf die Menge der bei  $\beta = 0$  effizienten Pläne (Pläne, die die Hotelling-Regel (10) erfüllen) ein und wählt unter diesen wohlfahrtsmaximale Pläne  $(C_t^*)_{t \geq 0}$  bzw.  $(R_t^*)_{t \geq 0}$  aus, so erhält man für  $\beta > 0$  im steady state einen Zins von

$$(9) \quad z_3 = \frac{\alpha_2 \cdot (\delta - \beta \cdot (n-1) \cdot \gamma_\infty) + (1 + (1-\beta) \cdot (n-1)) \cdot \lambda}{\alpha_2 + \alpha_3 \cdot (1 + (1-\beta) \cdot (n-1))}$$

mit  $\gamma_\infty := -\frac{\dot{S}_\infty}{S_\infty}$ , wobei  $\frac{\dot{S}_\infty}{S_\infty}$  die Abbaurrate für die erschöpfbare Umweltressource im steady state bezeichne. Ist  $\gamma_\infty > 0 \forall \beta > 0$ , so ist wegen  $\lambda > \alpha_3 \cdot \delta$  der Zins  $z_3$  für alle  $\beta > 0$  kleiner als der Zins  $z_2$ .

Sucht man für  $\beta > 0$  unter den für  $\beta > 0$  effizienten Konsum- und Verbrauchsplänen  $(C_t)_{t \geq 0}$  bzw.  $(R_t)_{t \geq 0}$  (Pläne, die die Bedingung (8) erfüllen) wohlfahrtsmaximale Pläne aus, so läßt sich der Zins im steady state als Lösung einer quadratischen Gleichung bestimmen. Über die Höhe des Zinses lassen sich bisher wegen der Komplexität der Bestimmungsgleichung noch keine exakten Angaben machen. Auch kann nicht ausgeschlossen werden, daß die quadratische Gleichung zwei verschiedene positive Lösungen besitzt, was die Existenz zweier voneinander verschiedener steady state Zustände und damit zwei verschiedene Zinssätze implizieren würde.

### 3. Die empirischen Untersuchungen und deren Ergebnisse

Die empirische Untersuchung stützt sich zum einen auf die logarithmisch-linearisierte Form der Cobb-Douglas Produktionsfunktion und zum anderen auf die direkte Schätzung der unbekannt Parameter dieses Produktionsansatzes. Dabei werden die Modelle jeweils mit und ohne den Produktionsfaktor Ressource geschätzt. Die Modelle ohne Ressourceneinsatz dienen daher als Referenzmodelle.

Schätzmodell in logarithmisch-linearisierter Form:

$$(10) \quad \begin{aligned} \ln Y_t &= \ln \bar{A} + \lambda t + \tilde{\alpha}_1 (\ln K_{GES,t}) + \tilde{\alpha}_2 (\ln L_t) \text{ und} \\ \ln Y_t &= \ln A + \lambda t + \alpha_1 (\ln K_{GES,t}) + \alpha_2 (\ln L_t) + \alpha_3 (\ln R_t) \end{aligned}$$

und in direkter Form:

$$(11) \quad \begin{aligned} Y_t &= \bar{A} \cdot E(\lambda \cdot t) \cdot \text{EXP}(K_{GES,t}^{\tilde{\alpha}_1}) \cdot \text{EXP}(L_t^{\tilde{\alpha}_2}) \text{ und} \\ Y_t &= A \cdot E(\cdot \cdot t) \cdot \text{EXP}(K_{GES,t}^{\alpha_1}) \cdot \text{EXP}(L_t^{\alpha_2}) \cdot \text{EXP}(R_t^{\alpha_3}) \end{aligned}$$

Die Schätzungen selbst wurden mit dem ökonometrischen Methodenbanksystem "MEBA" durchgeführt [Lösch, 1981]. Bei der Modellspezifikation (11) bedeuten nach den MEBA-Konventionen  $E(\cdot)$  die Exponentialfunktion mit der Basis e und  $\text{EXP}(\cdot, \cdot)$  die Exponentialfunktion in der Form  $\text{EXP}(\text{BASIS}, \text{EXPONENT})$ .

Für den logarithmisch-linearen Ansatz erhält man für die Gesamtwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland als Schätzung über dem Zeitraum 1960 bis 1982 die folgenden Regressionsgleichungen <sup>1)</sup>:

$$(12) \quad \text{ohne Ressource} \\ \ln Y_t = -4,07 + 0,026 \cdot t + 0,43 \cdot \ln K_{\text{GES},t} + 0,65 \cdot \ln L_t \\ \quad \quad \quad (\pm 1,21) \quad (\pm 0,006) \quad (\pm 0,09) \quad \quad \quad (\pm 0,16)$$

$$(13) \quad \text{mit Ressource} \\ \ln Y_t = -4,38 + 0,025 \cdot t + 0,4 \cdot \ln K_{\text{GES},t} + 0,66 \cdot \ln L_t + 0,08 \cdot \ln R_t \\ \quad \quad \quad (\pm 1,15) \quad (\pm 0,006) \quad (\pm 0,08) \quad \quad \quad (\pm 0,15) \quad \quad \quad (\pm 0,04)$$

Aus den Parameterprüfmaßen (Anhang 2) geht hervor, daß die statistische Qualität der beiden Regressionen als durchweg zufriedenstellend angesehen werden kann. Insbesondere sind die ex post Prognoseeigenschaften (Anhang, S. A4) der beiden logarithmisch-linearen Modellansätze als gut zu bezeichnen.

Die Summe der Elastizitäten ist im Modell ohne Ressource  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1,08$  und im Modell mit Ressource  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1,14$ , Größen die unter Berücksichtigung der Standardabweichungen der geschätzten Parameter bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% nicht signifikant verschieden von 1 sind. Das Ergebnis der beiden Regressionen schließt also die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion in linear-homogener Form vom Grad 1 nicht aus.

<sup>1)</sup> In Klammern unter den geschätzten Werten der Parameter der Produktionsfunktionen stehen die zugehörigen geschätzten Standardabweichungen für die logarithmisch-linearen Modellansätze.

Tabelle 1: Die geschätzten Koeffizienten des logarithmisch-linearen Ansatzes

	Rate des technischen Fortschritts	Produktionselastizitäten		
		Kapital	Arbeit	Ressource
ohne Ressource	2,6 %	0,43	0,67	-
mit Ressource	2,5 %	0,40	0,69	0,08

Bei diesem Ansatz zeigt sich, daß bei Hinzunahme eines weiteren Produktionsfaktors - der Ressource Wasser - ceteris paribus die Rate des technischen Fortschritts sowie die Produktionselastizität des Kapitals sinkt und die Produktionselastizität des Faktors Arbeit steigt. Dies würde bedeuten, daß das Fehlen des Produktionsfaktors "Ressource" durch eine größere Rate des technischen Fortschritts sowie einer erhöhten Kapitalelastizität ausgeglichen werden muß.

Für den zweiten, nichtlinearen Schätzansatz erhält man für die Gesamtwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland die folgenden Schätzergebnisse, denen ebenfalls der Beobachtungszeitraum von 1960 bis 1982 zugrundeliegt.

$$(14) \quad \text{ohne Ressource} \\ Y_t = 0,008 \cdot \exp(0,027 \cdot t) \cdot K_{\text{GES},t}^{0,49} \cdot L_t^{0,58}$$

$$(15) \quad \text{mit Ressource} \\ Y_t = 0,0137 \cdot \exp(0,020 \cdot t) \cdot K_{\text{GES},t}^{0,48} \cdot L_t^{0,49} \cdot R_t^{0,07}$$

Zunächst zeigt sich auch bei der direkten Schätzung der unbekanntenen Koeffizienten, wie beim linearisierten Ansatz, daß bei der Einführung des Produktionsfaktors Ressource die Rate des technischen Fortschritts verkleinert wird. Auch ist eine Abnahme der Produktionselastizität des Faktors Kapital und eine Zunahme der Elastizität des Arbeitseinsatzes zu verzeichnen.

Zum Vergleich der geschätzten Koeffizienten für den indirekten und direkten Modellansatz muß zunächst der indirekte Ansatz zurücktransformiert



werden. Für die im Vordergrund stehende Struktur der Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit erschöpfbarer Ressource sind die Koeffizienten in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Parameter Schätzung	Absolutglied A	Rate des techn. Fortschritts λ	Produktionselastizitäten		
			Kapital α <sub>1</sub>	Arbeit α <sub>2</sub>	Ressource α <sub>3</sub>
indirekt	0,0092	0,0248	0,4007	0,6861	0,0833
direkt	0,0137	0,0201	0,4840	0,5985	0,0769

Tabelle 2 : Ergebnisse der indirekten und direkten Schätzungen

Sensitivitätsanalyse

Für die in Kapitel 2 hergeleitete Zinsformel  $z_3$  wird hier mit Hilfe der quantifizierten Modellparameter die Sensitivität des Zinses in Abhängigkeit der ethischen Parameter  $\beta$  und  $\eta$  untersucht. Dabei stützt sich die Untersuchung auf die Modellparameter gemäß Tabelle 2 wobei hier von der optimistischeren ex post Rate des technischen Fortschritts im indirekten Modellansatz ausgegangen wird. Damit berechnet sich der Zins  $z_3$  in Abhängigkeit der Parameter  $\beta$  und  $\eta$  bei  $\delta = 0,01$  und  $r_w = 0,05$  gemäß der folgenden Tabelle.

$\eta$ \ $\beta$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,0	5,5	6,7	7,8	8,9	9,8	10,6	11,4	12,0
0,1	5,2	6,1	6,9	7,7	8,4	9,1	9,7	10,0
0,2	4,8	5,4	6,0	6,5	7,0	7,5	7,9	8,3
0,3	4,5	4,8	5,0	5,3	5,5	5,8	6,0	6,2
0,4	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9
0,5	3,8	3,4	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8	1,5
0,6	3,4	2,7	2,0	1,3	0,7	0	.	.
0,7	3,0	2,0	0,9	.	.	.	.	.
0,8	2,7	1,2	.	.	.	.	.	.
0,9	2,3	0,5	.	.	.	.	.	.
1,0	1,9	.	.	.	.	.	.	.

Tabelle 3 : Sensitivität des Zinses  $z_3$  in Abhängigkeit der Parameter  $\beta$  und  $\eta$  in Prozent

Literatur

Die für diese Arbeit verwendete Literatur ist dem folgenden Forschungsbericht zu entnehmen:

Kotz, R., Müller, P. und W. Rothengatter: Entwicklung eines Verfahrens für dynamische Investitionsplanung und Ermittlung des bei der Fortschreibung der Bundesverkehrswegeplanung anzuwendenden Zinssatzes. Projektabschnitt I. Ulm, 1984.

Produkt	Menge	Wasserbedarf (l)
Auto	1 Stück	380 000
Stahl	1 Tonne	290 000
Erdoel	1000 l	10 000

Tabelle A1 : Wasserverbrauch für einige Produkte

Quelle: Natur 8/1983, S. 88 .

Industrie	für (Maßeinheit)	Wasser-	Abwasser-	Bedarf je Beschäf- tigten m <sup>3</sup> /a
		bedarf m <sup>3</sup>	anfall m <sup>3</sup>	
Brauereien	1 m <sup>3</sup> Bier	24	20	1 000
Brennereien	1 t Kartoffeln	20	15	
	1 t Melasse	18	8 - 15	
Holzverzuckerung	1 t Zucker	1,7 - 2,4	1,7 - 2,4	
Zuckerfabriken	1 t Ruben	10 - 20	10 - 20	10 000
Molkereien	1 m <sup>3</sup> Milch	5 - 6	5 - 6	900
Schlachthöfe	1 Schlachtung	bis 4	1,5 - 2	180
Fischmehl Fabriken	1 t Fisch	50	30	180
Stärkefabriken	1 t Kartoffeln	20	20	
Pappefabriken	1 t Pappe	135	130	3 470
Zellwollherstellung	1 t Zellwolle	150 - 200	100	4 500 - 7 500
Kohlegewinnung	1 t Kohle	10	10	1 650

Tabelle A2 : Wasserbedarf und Abwasseranfall für Produktionseinheiten verschiedener Industrien.

Quelle: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, S. 344 .

Industriegruppe	Wasser- aufkommen Mill. m <sup>3</sup> /a	Abwasser- ableitung Mill. m <sup>3</sup> /a
Energie- und Wasserversorgung	80,3	52,9
Bergbau	2 500,8	2 080,3
Grundstoffe- und Produktionsgüter	760,2	714,2
Investitionsgüter	571,1	537,8
Verbrauchsgüter	522,1	477,9
Nahrungs- und Genussmittel	526,0	458,3
Baugewerbe	51,2	49,3
Handel	39,4	22,2
Verkehr	6,7	4,8
Banken und Versicherungen	7,9	7,2
Dienstleistungsgewerbe	63,0	59,6
Insgesamt	12 128,7	10 942,7

Tabelle A3 : Wasseraufkommen und Abwasserableitung der Industrie im Jahre 1975.

Quelle: Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, S. 345 .

Tabelle A4

Entwicklung des Abwasseraufkommens in der Bundesrepublik Deutschland von 1960 bis 1982

Jahr	Abwasser in Millionen Erhebung <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> /Tag Trend <sup>2)</sup>
1957	9,9	
60		11,0
61		11,1
62		11,2
63	13,3	11,3
64		11,4
65		11,5
66		11,6
67		13,2
68		14,0
69	17,2	15,4
70		15,9
71		16,6
72		17,5
73		18,0
74		18,4
75	18,9	18,9
76		19,5
77		20,2
78		20,9
79	20,8	21,6
80		22,2
81		22,9
82		22,8

Quellen: 1) Korrespondenz Abwasser 10/1983, S. 693

2) Eigene Berechnungen

Tabelle A5

Realzinssatz in der BRD 1960 - 1983<sup>4)</sup>

Jahr	Emissionsrendite 1)	Preisveränderungsrate BSP 2)	Realzinssatz 3)
1960			
61	5,8	4,3	1,5
62	6,1	4,0	2,1
63	6,1	3,1	3,0
64	6,2	2,7	3,5
65	7,0	3,5	3,5
66	7,9	3,6	4,3
67	7,0	1,1	5,9
68	6,5	1,5	5,0
69	6,8	3,5	3,3
70			
71	8,3	7,1	1,2
72	8,0	7,8	0,2
73	7,9	5,9	2,0
74	9,3	5,8	3,5
75	10,2	7,1	3,1
76	8,6	8,0	0,6
77	7,8	3,4	4,4
78	6,5	3,7	2,8
79	6,1	4,7	1,4
80	7,6	3,5	4,1
81	8,5	4,4	4,1
82	10,2	4,2	6,0
83*	8,9	4,7	4,2
	7,6	3,2	4,4

- 1) Renditen der im Berichtszeitraum erstmalig abgesetzten festverzinslichen Wertpapiere (Anleihen der öffentlichen Hand) in %. Aus: Statistische Beihefte zu den Monatsberichten der Deutschen Bundesbank, Reihe 2, Wertpapierstatistik, September 1983 Tabelle 8a
- 2) Änderung des Preisindex für das BSP gegenüber dem Vorjahr in % wobei 1976 = 100. Statistisches Jahrbuch 1983 Tabelle 23.17
- 3) Als Maß für die Kapitalkosten wird zweckmäßigerweise der Realzinssatz im Sinne der Differenz Emissionsrendite minus Preissteigerungsrate benutzt.
- 4) Realer Durchschnittszinssatz für die Jahre von 1960 bis 1983 beträgt danach 3,2 %.

\* Durchschnittswerte bis Juli 1983.

Abbildung A1 Log.-linearer Ansatz zurücktransformiert mit Pessource

\*\*\*\*\* EX-POST-PROGNOSE \*\*\*\*\*

MODELL: B2  
NORMALSTRUKTUR

PROGNOSEVERFAHREN:  
NEWTOMAEHNLICHES VERFAHREN VON BROHN  
PROGNOSEZEITRAUM: 6001-8201 \*\*\*  
PERIODIZITÄT: 1  
ANZ. D. PROGNOSEN: 23  
EX-POST-PROGNOSE

1 BRIL		RESIDUEN	
ZEITREIHE	PROGNOSE	PROGNOSE	RESIDUEN
6001	428.5185	428.5185	0.2215
6101	450.5800	449.3444	1.2356
6201	470.4600	470.5063	-0.0463
6301	484.5000	486.6821	-2.1821
6401	517.0100	519.5624	-2.5524
6501	546.1200	546.5922	-0.4722
6601	559.7500	565.0495	-10.2995
6701	558.8400	558.7665	0.0735
6801	593.9700	600.9076	-6.9376
6901	640.4600	647.8343	-7.3743
7001	678.7500	685.1269	-6.3769
7101	700.6800	704.5086	-3.8286
7201	726.2800	726.8215	-0.5415
7301	761.8400	761.8129	0.0271
7401	765.9500	763.7058	2.2412
7501	751.8000	745.5358	6.2642
7601	790.5900	794.0709	-3.4809
7701	841.5800	827.0275	14.5525
7801	840.8400	840.5425	0.2975
7901	878.3200	870.4089	7.9111
8001	894.5000	881.2862	13.2138
8101	893.8000	891.9024	1.8976
8201	884.4900	901.8228	-17.3328

\*\* PRUEFFASSE \* 6001-8201 \*

MITTL. QUADR. FEHLER :	43.8585
WURZEL	6.6226
BIAS-ANTEIL	0.0031
VARIANZ-ANTEIL	0.0546
KOVARIANZ-ANTEIL	0.9422
THEIL. UNGL.-KOEFF.	0.0047
MITTL. PROZ. FEHLER	0.6126
MAXIM. PROZ. FEHLER	1.9596
WENDEPUNKTINDEX	0.4286 ( 4 / 0 / 3 )

Abbildung A2 Direkter Schätzansatz mit Ressource

\*\*\*\*\* EX-POST-PROGNOSE \*\*\*\*\*

MODELL: B6  
NORMALSTRUKTUR

PROGNOSEVERFAHREN:  
NEWTOMAEHNLICHES VERFAHREN VON BROHN  
PROGNOSEZEITRAUM: 6001-8201 \*\*\*  
PERIODIZITÄT: 1  
ANZ. D. PROGNOSEN: 23  
EX-POST-PROGNOSE

6 BR		RESIDUEN	
ZEITREIHE	PROGNOSE	PROGNOSE	RESIDUEN
6001	428.7400	427.0940	1.6460
6101	450.5800	447.6823	2.8977
6201	470.4600	469.3216	1.1384
6301	484.5000	485.9532	-1.4532
6401	517.0100	519.0520	-2.0420
6501	546.1200	546.4624	-0.3424
6601	559.7500	564.4470	-4.6970
6701	558.8400	557.3525	1.4875
6801	593.9700	602.0853	-8.1153
6901	640.4600	650.2936	-9.8336
7001	678.7500	687.4996	-8.7496
7101	700.6800	704.2664	-3.5864
7201	726.2800	726.4851	-0.2051
7301	761.8400	763.6018	-1.7618
7401	765.9500	764.4345	1.5155
7501	751.8000	743.8175	7.9825
7601	790.5900	793.6370	-3.0470
7701	841.5800	825.7944	15.7856
7801	840.8400	840.6521	0.1879
7901	878.3200	873.1218	5.1982
8001	894.5000	883.0488	11.4512
8101	893.8000	890.9816	2.8184
8201	884.4900	898.5803	-14.0903

\*\* PRUEFFASSE \* 6001-8201 \*

MITTL. QUADR. FEHLER :	42.9284
WURZEL	6.5520
BIAS-ANTEIL	0.0015
VARIANZ-ANTEIL	0.0345
KOVARIANZ-ANTEIL	0.9640
THEIL. UNGL.-KOEFF.	0.0047
MITTL. PROZ. FEHLER	0.6703
MAXIM. PROZ. FEHLER	1.8757
WENDEPUNKTINDEX	0.4286 ( 4 / 0 / 3 )