

# Ressourcenknappheit und intertemporale Theorie

*„Wenn die Naturwissenschaftler predigen, daß es ihnen möglich sein wird, den Menschen von allen Schranken zu befreien, und die Nationalökonomien es ihnen nachtun, indem sie bei der Analyse des ökonomischen Prozesses von den dem Menschen durch die materielle Umwelt gesetzten Grenzen absehen - ist es dann ein Wunder, daß niemand gemerkt hat, daß wir nicht »größere und bessere« Kühlschränke, Autos oder Düsenflugzeuge herstellen können, ohne damit auch »größern und bessern« Abfall zu erzeugen?“*  
[Georgescu-Roegen 1979, S. 107]

Dieses Kapitel möchte, dass Sie

1. erfahren, dass die Schädigung der Umwelt durch den Menschen ein altes Problem ist, das sich aber mit der industriellen Revolution deutlich verschärft hat,
2. erkennen, dass heutige Entscheidungen, heutige Versäumnisse und heutige Fehler unser zukünftiges Leben und das unserer Nachfahren mitbestimmen,
3. Grundzüge einer intertemporalen ökonomischen Theorie kennen lernen,
4. das Wesen des Zinses in einem einfachen Zwei-Perioden-Modell erkennen,
5. Zins als einen intertemporalen Steuerungsmechanismus kennen lernen,
6. Grundkenntnisse der Zins- und Zinseszinsrechnung erlernen,
7. den Zusammenhang zwischen Zins, Preis und Ressourcennachfrage in einem einfachen Modell kennen lernen und
8. die grundsätzliche Kritik von Georgescu-Roegen an der neoklassischen Wirtschaftstheorie diskutieren.

## Ökologie - ein historischer Überblick

In den letzten Jahrzehnten werden Wirtschaftswissenschaftler, Unternehmer und Politiker immer häufiger aufgefordert, bei ihren Ideen und Vorhaben den ‚ökologischen‘ Zusammenhang zu berücksichtigen.

‚Ökologie‘ stammt aus dem Griechischen und bedeutet ‚Haushaltslehre‘. Diese sieht ihre Aufgabe darin, zu erklären, wie ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen Einnahmen und Ausgaben erreicht wird. Damit hat das Wort ‚Ökologie‘ ursprünglich fast die gleiche Bedeutung wie ‚Ökonomie‘, aber wir gebrauchen es jetzt, um das Verhältnis von Lebewesen zu ihrer Umwelt zu beschreiben. Überwiegend beschreibt ‚Ökologie‘ die Auswirkungen wirtschaftlicher Tätigkeiten auf die Umwelt und versucht, Störungen des natürlichen Gleichgewichts zu verhindern oder wenigstens seine Ursachen aufzudecken.

‚Gleichgewicht‘ hat hier eine andere Bedeutung als die, die wir in der Ökonomie kennen gelernt haben. Da sich die Welt ständig verändert, die Evolution nicht abgeschlossen ist, gibt es im eigentlichen Sinne des Wortes kein Gleichgewicht. Kreeb [Kreeb 1979, S. 91] definiert das annähernde Gleichgewicht so: „In für menschliches Ermessen unvorstellbar großen Zeiträumen bleibt ein ungestörtes Ökosystem in sich, d. h. von seiner Struktur und seinen Funktionen her gesehen, konstant.“

Beim Lesen der vielen Veröffentlichungen zum Thema ‚Störung des ökologischen Gleichgewichts‘ kann leicht der Eindruck entstehen, dass uns die industrielle Revolution diese Probleme beschert hat. Das ist jedoch ein Irrtum; es handelt sich hier um ein uraltes Problem.

Die Schäden durch Industrie waren in der Antike und im Mittelalter lokal begrenzt. Erst seit der industriellen Revolution haben sie weltweite Ausmaße angenommen. Im Moment klaffen auf der Erde die Gegensätze: In den unterentwickelten Ländern unterscheidet sich die Situation nicht sehr von dem beschriebenen Raubbau.

In den hochentwickelten Ländern wurde mit Hilfe von Industrie und Technik ein bisher einzigartiger Lebensstandard erreicht: Seuchen und Hungersnöte sind verschwunden, die Medizin verhilft zu langer Lebenserwartung, die Versorgung mit Lebensmitteln, Kleidung, Wohnungen, Energie und Konsumgütern scheint gesichert. Der Preis für diese Sicherheit sind eine geschädigte Umwelt, verschmutztes Wasser und verschmutzte Luft sowie belastete Lebensmittel und wachsende Müllhalden.

Trotz der Polarisierung in arme und reiche Länder ist beiden Gruppen die Störung des Gleichgewichts gemein. Weltweit lassen sich drei große, eng miteinander verflochtene Problemkreise der Ökologie ausmachen, nämlich die Energie, die Ressourcen- und die Nahrungsmittelfrage.

Wie kann man diese Probleme lösen? Schon die Ursachen für den Hunger zeigen, dass ein Zusammenspiel von wirtschaftlichen, sozialen, politischen und kulturellen Faktoren nötig ist, um Abhilfe zu schaffen. Pestel schlägt in seinem Bericht an den Club of Rome [Gabor u. a. 1976, S. 14] vor, dass die Verantwortlichen zunächst anstelle von sich oft widersprechenden Einzelzielen „systemar vernetzte, miteinander verträgliche Ziele formulieren. Nur solche sind es wert, verfolgt zu werden, weil nur sie in der Zukunft Bestand haben können beziehungsweise eine gute Ausgangsbasis für weitere Entwicklungen darstellen. Mit der Verkopplung in die Zukunft, das heißt mit einer Orientierung unseres Handelns an einem System zukunftsbezogener Zielvorstellungen, können wir dann die Einzelschritte wieder logisch-kausal vornehmen, also uns in unserem weiteren Planen und Handeln auch auf die in der Vergangenheit gewonnene Erfahrung abstützen.“

Um erreichbare Ziele zu formulieren, muss man zunächst eine Bestandsaufnahme machen. Da die wirtschaftliche Entwicklung in den armen Ländern mit der Bevölkerungsexplosion nicht mithalten kann, scheint eine Drosselung des Bevölkerungswachstums ein notwendiger Schritt zu sein. Einleuchtend ist es, den Verbrauch von nicht reproduzierbaren Rohstoffen einzuschränken, indem man Güter mit längerer Lebensdauer

herstellt oder die Materialien mehrmals verwendet. Notwendig ist die Erforschung von Energien, die auf nicht erschöpfbaren Ressourcen beruhen und die Umwelt wenig oder gar nicht belasten. Wasser-, Wind- und Sonnenenergie scheinen im Moment viel versprechende Möglichkeiten zu sein. Da von einer Idee bis zu ihrer großräumigen Anwendung durchaus 20 Jahre vergehen können, ist es wichtig, intensiv in mehrere Richtungen zu forschen, um für möglichst viele Probleme der Zukunft gewappnet zu sein.

Umstritten ist bei den Forschern die Rolle des Wirtschaftswachstums in den Industrieländern; während einige glauben, dass un gelenktes Wachstum lediglich zur Produktion von Überflüssigem und damit zur Vergeudung von Ressourcen führt, sehen andere im Wachstum die Möglichkeit, Mittel für den Schutz der Umwelt zu verdienen.

Pestel [Gabor u. a. 1976, S. 12] macht Hoffnung und warnt zugleich: „Sicherlich liegt ein Vermeiden von großräumigen und langzeitigen Katastrophen im Bereich unserer technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten, die allerdings kaum Chance auf Verwirklichung haben, wenn der gegenwärtige politische Stil des kurzatmigen Planens und Handelns weiter fortbesteht“.

Nitsche (zitiert nach [Kreeb 1979, S. 163]) beschreibt unsere Situation so: „Die Menschheit steht an einem Wendepunkt. Sie kann die zweite industrielle Revolution bis zur Vernichtung ihrer Gattung weitertreiben. Sie kann aber auch durch eine dritte industrielle Revolution die Versöhnung von Technologie und Ökologie erreichen.“

Diese Analyse der ökologischen Situation der Welt klingt bedrückend; trotzdem lassen wir uns dadurch meistens nicht für längere Zeit beunruhigen, denn wir wissen, dass zu unseren Lebzeiten und vermutlich auch zu denen unserer Kinder die unmittelbar bedrohlichen Ereignisse nicht eintreten werden. Es ist nötig, diese Probleme zukünftiger Generationen in einem Modell zu behandeln, das die Zeit explizit berücksichtigt.

## **Der intertemporale Ansatz**

Die Welt, in der wir leben, wurde durch das Handeln unserer Vorfahren mitbestimmt und unsere heutigen Entscheidungen betreffen in positiver wie negativer Weise unsere Nachkommen.

Wer bestimmt, was, wie viel und für wen produziert wird?

Wie viel dürfen wir von den knappen Ressourcen verbrauchen, wie viel an Kapital müssen und wie viel an Müll dürfen wir hinterlassen?

Wer soll koordinieren?

Gibt es eine ‚intertemporale unsichtbare Hand‘, also einen automatisch wirkenden intertemporalen marktwirtschaftlichen Koordinationsmechanismus?

## Das Zinsproblem

Der Zins, der uns im täglichen Leben begegnet, besteht aus einer Reihe von Komponenten.

- Der Zins enthält also eine Inflationskomponente.
- Der Zins enthält eine Risikoprämie.
- Der Zins enthält eine Bearbeitungsgebühr.

Zins kann nicht allein aus einer Bearbeitungsgebühr, aus einer Risikoprämie oder als Inflationsausgleich erklärt werden; es muss eine andere Ursache für das Zinsphänomen geben.

„Die älteste Form des Darlehen war auch in Griechenland das Fruchtdarlehen. Der Bauer, der kein Brotkorn mehr hatte, ging zu dem wohlhabenderen Nachbar und lieh was er brauchte, mit dem Versprechen, das Geliehene nach der Ernte zurückzugeben. Damit war beiden Teilen gedient; der Darleiher bekam statt des alten frisches Getreide, und der Entleiher konnte sich bis zur Ernte durchschlagen. . . .

Indes wurde es schon früh üblich, bei Rückerstattung des Darlehens mehr zu geben, als man empfangen hatte, um den Gläubiger zu künftigen Darlehen geneigt zu machen. Was zuerst freiwillig geschehen war, wurde dann gefordert, sobald die Entwicklung des Handels und der Industrie der landwirtschaftlichen Produktion einen aufnahmefähigen Markt gegeben hatte. So entstand der Zins. Und es lag in der Natur der Sache, daß der geforderte Zins hoch war; handelte es sich doch um Notstandsdarlehen, bei denen der Gläubiger in der Lage war, die Bedingungen zu diktieren“ [Beloch 1911, S.1017].

**„Woher und warum empfängt der Kapitalist jenen end- und mühelosen Güterzufluß?**

Diese Worte enthalten das theoretische Problem des Kapitalzinses.“ [Böhm-Bawerk 1921, S. 1]

Dieses Zinsproblem enthält noch ein positives und ein normatives Zinsproblem:

- **Positives Zinsproblem**

Warum gibt es in praktisch allen Wirtschaftssystemen Zins?

- **Normatives Zinsproblem**

Sollte es Zins und Zinsnehmer geben, oder sollte das Zinsnehmen untersagt werden und mit religiösen, moralischen oder juristischen Sanktionen belegt werden? Das normative Zinsproblem hat in der abendländischen Geschichte eine große Rolle gespielt. In ursprünglichen Gesellschaften ist der Gläubiger in aller Regel reich, der Schuldner arm, das Darlehen somit häufig zur Überbrückung einer Notsituation erforderlich. Das Zinsnehmen wurde darum als Ausnutzen einer Notsituation gewertet und festgestellt, dass der Reiche von der Not der Armen profitiert.



## Transformation von Gütern über die Zeit

Der Besitzer eines Gutes möge vor der Aufgabe stehen, innerhalb seiner Möglichkeiten über die Versorgung mit Korn in diesem Jahr und im folgenden Jahr zu entscheiden. Wir gehen davon aus, dass in diesem Jahr (dem Jahre 0) eine größere Menge  $x_0 = 10$  t an Korn zur Verfügung steht. Zur Vereinfachung betrachten wir nur zwei Perioden und gebrauchen jeweils die Ausdrücke ‚Periode 0‘, ‚in diesem Jahr‘ bzw. ‚heute‘ und die Ausdrücke ‚Periode 1‘, ‚im nächsten Jahr‘ bzw. ‚morgen‘ synonym.

## Lagerhaltung und Horten

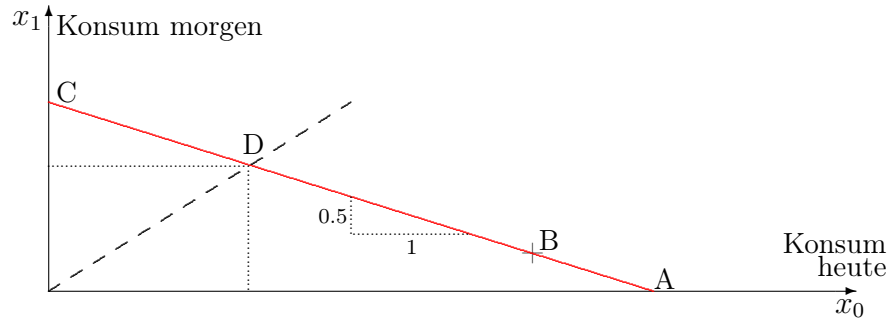


Abb. 11.1: Lagerung und intertemporale Transformation

Der Punkt A entspricht einer Güterversorgung von 10 t heute und 0 t morgen; es wird also alles Vorhandene heute verbraucht und nichts gelagert.

Werden heute nur 8 t Korn verbraucht, so stehen 2 t zum Lagern zur Verfügung. Kosten und Lagerverluste reduzieren diese Menge auf 1 t Korn im nächsten Jahr; es ergibt sich der Punkt B.

Wird in diesem Jahr nichts verbraucht, sondern 10 t eingelagert, so stehen im nächsten Jahr 5 t zur Verfügung; das entspricht dem Punkt C.

Der Punkt D, bei dem in beiden betrachteten Perioden die konsumierte Menge gleich ist, heißt **stationäres Gleichgewicht**.

Aus Lagerhaltung kann das Phänomen des positiven Zinses nicht erklärt werden, da bei Lagerhaltung generell mindestens soviel investiert wird wie letztlich wieder herauskommt.

## Investieren

$$10 \text{ kg Korn heute} \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} \rightarrow 1 \text{ kg Saatgut} \\ \rightarrow 9 \text{ kg Lohn} \end{array} \right\rangle \rightarrow 12 \text{ kg Korn morgen}$$

Bei dem vorgestellten Beispiel führt heutiger Konsumverzicht mittels Investition in Arbeitslohn, Saatgut (und eventuell andere Kapitalgüter) dazu, dass in der nächsten Periode mehr an Konsumgut zur Verfügung steht als heute investiert wurde. Darum spricht man von **(intertemporal) mehrergiebiger Produktion**. Mehrergiebige Produktion ist durch eine Transformationskurve gekennzeichnet, die eine Steigung kleiner als -1 besitzt.

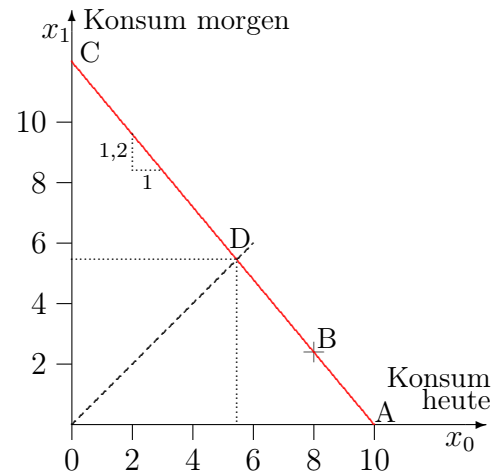


Abb. 11.2: Investition und intertemporale Transformation

## Intertemporale Transformationskurve

Man kann heute nicht vollständig auf Konsum verzichten, wenn man das nächste Jahr erleben will, andererseits wäre es sehr problematisch, heute alles zu verbrauchen und im nächsten Jahr vor dem Hungertod zu stehen. Wir gehen davon aus, dass in jeder Periode mindestens 2 t Korn als Subsistenzniveau zur Verfügung stehen müssen. Es ist dann nicht zulässig, sofort die vorhandenen 10 t Korn zu verbrauchen. Um im nächsten Jahr mindestens 2 t Korn zu haben, müssen in diesem Jahr mindestens  $\frac{2}{1,2} = 1,667$  t Korn investiert werden.

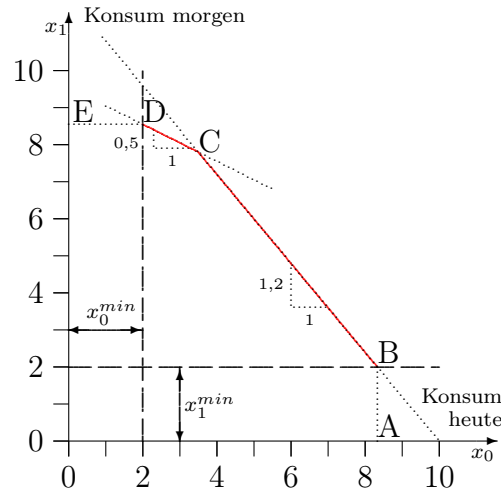


Abb. 11.3: Intertemporale Allokation

Die Punkte auf den Geradenstücken  $\overline{BC}$  und  $\overline{CD}$  heißen **intertemporal effiziente Allokationen**, da der Konsum in einer Periode nur auf Kosten des Konsums der anderen Periode gesteigert werden kann.

## Intertemporale Präferenzen

Wir gehen jetzt davon aus, dass die Individuen auch zwischen Güterbündeln (gleich oder verschieden) an **verschiedenen Zeitpunkten** entscheiden können. Individuen sind also, so nehmen wir an, in der Lage, z. B. zwischen der Alternative (5 t Korn heute, 2 t Korn morgen) und einer anderen Alternative (2 t Korn heute, 4 t Korn morgen) zu wählen. Eine solche **intertemporale Präferenzordnung** soll die Annahmen der Haushaltstheorie erfüllen.

In Punkt A ist das Individuum bereit, auf 1,2 Einheiten zukünftigen Konsums zu verzichten, wenn es 1 Einheit heutigen Konsums zusätzlich bekommt. Es schätzt heutigen Konsum höher als zukünftigen Konsum. Eine solche Einstellung nennt man darum ‚**Minderschätzung künftigen Konsums**‘ oder auch ‚impatience to consume‘. Im Punkt B wird zukünftiger und gegenwärtiger Konsum gleich geschätzt, in Punkt C wird zukünftiger höher eingeschätzt als gegenwärtiger Konsum. Es hängt natürlich von der gegenwärtigen und der erwarteten zukünftigen Konsumausstattung ab, ob man zukünftigen Konsum minder schätzt als gegenwärtigen.

Individuen sind normalerweise nur dann bereit zu sparen, wenn sie für den Verzicht einer Einheit Konsum heute mehr als eine Einheit Konsum in Zukunft bekommen, man unterstellt also Minderschätzung künftigen Konsums.

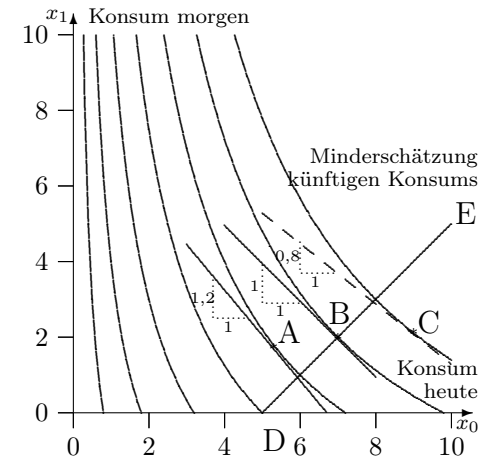


Abb. 11.4: Intertemporale Präferenzen

## Intertemporal optimale Allokation

Die **intertemporal optimale Allokation** ist die Allokation, die das Individuum unter allen erreichbaren Allokationen am höchsten schätzt. Somit ist die intertemporal optimale Allokation durch den Tangentialpunkt von intertemporaler Transformationskurve und intertemporaler Indifferenzkurve gegeben.

In Abbildung 11.5 ist der optimale Punkt bei vorgegebener Transformationskurve und vorgegebenen Indifferenzkurven bestimmt. In diesem Punkt ist sowohl die Steigung der Transformationskurve wie die Steigung der Indifferenzkurve gleich  $-1,2$ . Dies bedeutet, dass ich für eine zusätzlich investierte Einheit Korn nach einem Jahr  $1,2$  Einheiten zurückbekomme. Damit ist ein Zins von

$$r = 0,2 \equiv 20\%$$

bestimmt. Das Optimum bestimmt einen positiven Zins. Die Steigung von Transformationskurve und Indifferenzkurve im Optimum bestimmt somit den Zins. Bei einer Transformationsrate von  $dx_1/dx_0$  gilt:

$$1 + r = \left| \frac{dx_1}{dx_0} \right| \text{ bzw. } r = \left| \frac{dx_1}{dx_0} \right| - 1$$

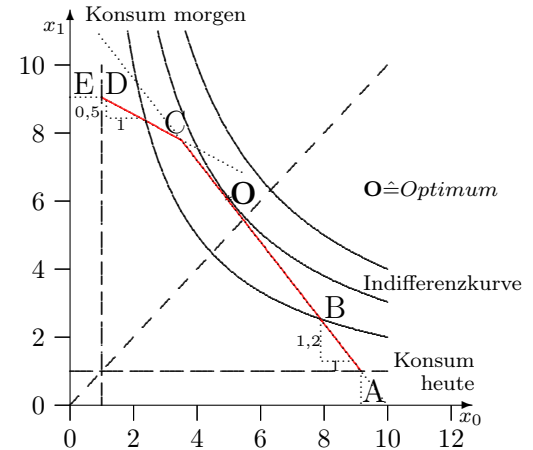


Abb. 11.5: Intertemporale Allokation

Es ist jedoch durchaus denkbar, dass der Zins null oder sogar negativ ist. Die Möglichkeit eines negativen Zinses wird in Abb. 11.6 aufgezeigt. Bei den dort unterstellten Indifferenzkurven ergibt sich ein Tangentialpunkt auf dem Geradenstück  $\overline{CD}$  mit der Steigung  $-0,5$ : Eine zusätzlich investierte Einheit Korn führt zu einem zukünftigen Ertrag von einer halben Einheit Korn. Es ergibt sich ein Zinssatz von:  $r = -0,5 \hat{=} -50\%$

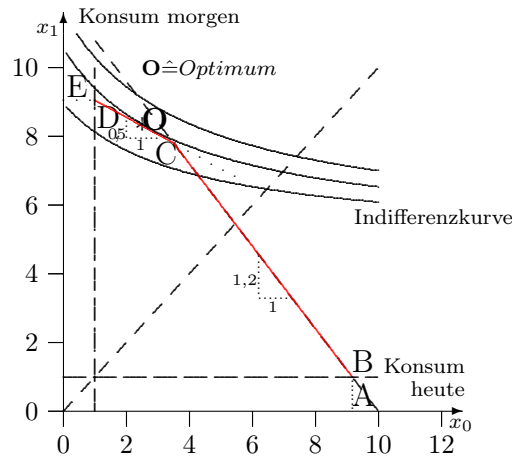


Abb. 11.6: Negativer Zins

Man sieht sofort zwei Eigenschaften eines solchen intertemporalen Optimums:

1. Es wird eine über die Zeit hin minderergiebige Produktionsmethode - im konkreten Beispiel das Lagern - gewählt.
2. Das Individuum hat eine starke Präferenz für die Zukunft, ‚Minderschätzung künftigen Konsums‘ ist nicht gegeben.

In der Regel geht man von der Existenz mehrergiebiger Produktionsmethoden in nicht unbeträchtlichem Umfang und der Minderschätzung künftigen Konsums aus. Daraus folgt dann die Existenz eines positiven Zinssatzes. Für ein extrem vereinfachtes Problem haben wir somit eine Antwort auf das **positive Zinsproblem** gefunden:

*Ein Zins entsteht aus dem Zusammenwirken von intertemporalen Produktionsmethoden und intertemporalen Präferenzen.*

*Aus mehrergiebigen Produktionsmethoden und der Minderschätzung künftigen Konsums lässt sich ein positiver Zins erklären.*

Spielt sich auf dem Markt durch das Zusammenwirken der intertemporalen Transformationsmöglichkeiten und intertemporalen Präferenzen ein Zins ein, so steuert dieser wie eine unsichtbare Hand die Entscheidung der einzelnen Individuen über Sparen und Investieren und über Konsum und Konsumverzicht.



Wir vernachlässigen im Folgenden den durch Transaktionskosten bedingten Unterschied zwischen Soll- und Habenzinsen und nehmen an, dass jedes Individuum beliebige Beträge zum gleichen Zinssatz leihen und verleihen kann, sofern es später den Kredit zurückzahlen kann. Da wir nur zwei Perioden betrachten, bedeutet ‚später‘ in der letzten Periode, der Periode 1.

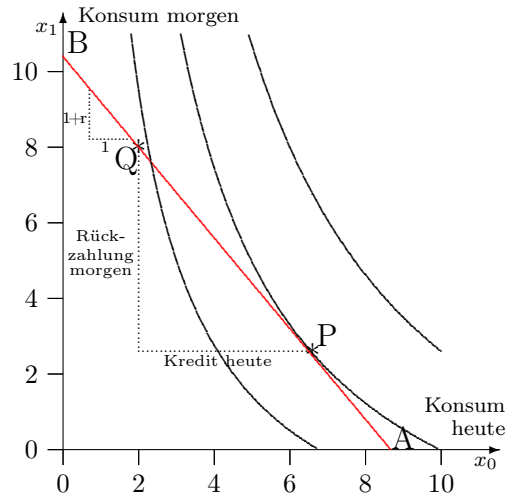


Abb. 11.7: Leihen und Verleihen

Je nachdem, wie die Verleih-Leih-Entscheidung ausfällt, kann das Individuum jeden Punkt auf der Strecke realisieren. Die Strecke  $\overline{BQ}$  entspricht einem Kreditgeben, Strecke  $\overline{QA}$  einem Kreditnehmen in der ersten Periode. Bei den eingezeichneten Präferenzen ist  $P$  das intertemporale Optimum, d. h. das Individuum wird 4,5 t Korn leihen und 5,4 t Korn in Periode 1 zurückzahlen.

## Das normative Zinsproblem

„Sollte es einen positiven Zins geben?“

Um diese Frage beantworten zu können, müsste man auf ein konsistentes Wertesystem zurückgreifen; da wir von einem solchen Wertesystem nicht ausgegangen sind, kann hier nur ein Teilaspekt betrachtet werden: Was würde passieren, wenn eine Instanz eine bestimmte Höhe des Zinses vorschriebe (also z. B. mit der Zinshöhe  $r = 0$  das Zinsnehmen ganz untersagt) und diese Vorschrift auch tatsächlich durchsetzen kann?

Wir erkennen, dass eine Senkung des Zinses (im Beispiel eine Senkung auf null) Auswirkungen auf die intertemporalen Entscheidungen der Individuen hat: Es wird mehr Kredit nachgefragt, um

1. mehrgiebigere Produktionsmöglichkeiten auszunutzen und um
2. beim Vorliegen von Minderschätzung künftigen Konsums, Konsum heute auf Kosten von zukünftigen Konsum zu ermöglichen.

Bei einem Zinsverbot wird kaum ein Individuum bereit sein, Kredit zu gewähren; es wird mindestens zu Rationierung von Krediten kommen; Kreditsuchende haben Probleme, Kredite zu bekommen, sie werden auf einen grauen oder schwarzen Markt für Kredite abgedrängt, müssen also eventuell verbotene Kreditgeschäfte, verbunden mit Wucherzinsen, eingehen.

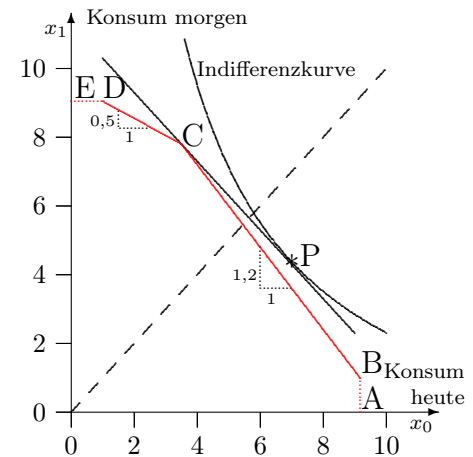


Abb. 11.8: Zins und Allokation

## Die Hauptzinseszins-Formel

$$K_1 = (1 + r) \cdot K_o \quad (11.1)$$

Der Zinsfaktor  $(1 + r)$  entsteht, indem der Zins  $r$  zu eins addiert wird. Der Zinsfaktor ist der Faktor, mit dem das eingesetzte Kapital pro Zeiteinheit wächst.

Wird das Kapital der ersten Periode  $K_1$  für eine weitere Periode verzinst, so ergibt sich:

$$K_2 = (1 + r) \cdot K_1$$

und damit

$$\begin{aligned} K_2 &= (1 + r) \cdot (1 + r) \cdot K_o \\ &= (1 + r)^2 \cdot K_o \end{aligned} \quad (11.2)$$

Für drei Perioden ergibt sich mit Gleichung 11.2

$$K_3 = (1 + r) \cdot K_2 = (1 + r) \cdot (1 + r)^2 K_o = (1 + r)^3 \cdot K_o$$

Nach  $T$  Perioden erhält man entsprechend

$$K_T = (1 + r)^T \cdot K_o \quad (11.3)$$

*Beträge zu verschiedenen Zeitpunkten werden durch Aufzinsen bzw. Abdiskontieren mit einem Zinssatz vergleichbar gemacht.*

## Der Gegenwartswert

In genau entsprechender Weise können wir auch eine **Reihe** von Geldbeträgen vergleichbar machen.

$$\begin{array}{cccccc}
 K_0, & K_1, & K_2 & , \dots , & K_9, & K_{10} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\
 K = (1+r)^{10} \cdot K_0 + (1+r)^9 \cdot K_1 + (1+r)^8 \cdot K_2 + \dots + (1+r)^1 \cdot K_9 + (1+r)^0 \cdot K_{10} \\
 & & & & & = \sum_{t=0}^T (1+r)^{T-t} \cdot K_t
 \end{array}$$

Durch Aufzinsen wird also zur Einzahlungsreihe  $K_0, \dots, K_T$  ein äquivalenter Betrag  $K$  in 10 Jahren berechnet.

Wir können auch den Gegenwartswert, d. h. den Betrag berechnen, den die Zahlungsreihe  $K_0, K_1, K_2, \dots, K_{10}$  heute wert ist. Dieser Gegenwartswert ist der Betrag, den ich heute zum Zins  $r$  anlegen müsste, um in 10 Jahren den Betrag von  $k$  ausbezahlt zu bekommen. Als Gegenwartswert  $k$  bekommen wir

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{K_0}{(1+r)^0} + \frac{K_1}{(1+r)} + \frac{K_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{K_{10}}{(1+r)^{10}} \\
 &= \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^T \gamma^t \cdot K_t \quad \text{mit} \quad \gamma = \frac{1}{1+r}
 \end{aligned}$$

Der Gegenwartswert ergibt sich also aus der Summe der abdiskontierten Einzahlungen. Der **Diskontierungsfaktor**  $\gamma$  ist bei positivem Zins kleiner als eins.

## Verzinsung und Wachstum

Der Zusammenhang zwischen der Zeit und dem Kapital ist durch eine Exponentialfunktion gegeben:

$$f(nT) = 2^n \quad (11.4)$$

Für die Verdoppelungszeit  $T$  gilt nach Definition :

$$K \cdot (1 + r)^T = 2 \cdot K$$

Kürzen von  $K$  und Logarithmieren führt zu:

$$T \cdot \ln(1 + r) = \ln 2$$

Da die Steigung des natürlichen Logarithmus bei eins gleich eins ist, gilt für kleine  $r$  die Beziehung  $\ln(1 + r) = r$ . Daraus folgt:

$$T = \ln(2)/r$$

Die sich daraus ergebende Beziehung setzen wir in die Funktion 11.4 ein.

$$f(n \cdot \ln 2/r) = 2^n$$

Diese Beziehung gilt für jedes  $n$ . Wählen wir  $n$  beispielsweise so, dass in der vorstehenden Beziehung die Funktion  $f$  von  $t$  abhängt, also:

$$n = \frac{t \cdot r}{\ln 2}$$

Durch Einsetzen dieses Terms in die Funktion 11.4 erhalten wir:

$$f(t) = 2^{\frac{t \cdot r}{\ln 2}}$$

Dies ist im Prinzip die gesuchte Funktion. Aus vielerlei Gründen arbeitet man in der Mathematik aber lieber mit Exponentialfunktionen zur Basis  $e$ . Wir können die hergeleitete Funktion einfach in eine solche Form bringen, wenn wir beachten, dass der natürliche Logarithmus nach Definition die Umkehrung der  $e$ -Funktion ist, somit gilt:

$$2 = e^{\ln 2}$$

Es ergibt sich dann:

$$f(t) = e^{\ln 2 \cdot \frac{t \cdot r}{\ln 2}}$$

$$f(t) = e^{r \cdot t}$$

Diese Formel beschreibt die Entwicklung einer Einheit Kapital beim Zinssatz  $r$  in Abhängigkeit von  $t$ .

## Intergenerative Nutzenfunktion

„Jeder Cadillac, der vom Band läuft, wird in Zukunft Menschenleben kosten. Wirtschaftliche Entwicklung durch industriellen Überfluß mag für uns und für diejenigen unserer Nachfahren, welche sie in nächster Zukunft noch genießen können, eine Wohltat sein. Sie verstößt aber eindeutig gegen die Interessen der Menschheit als ganzes, wenn sie solange zu überleben wünscht, als der Vorrat an niedriger Entropie es zuläßt.“ [Georgescu-Roegen 1979, S. 110]

Im aufgeführten Zitat vergleicht Georgescu-Roegen unser heutiges Wohlempfinden mit dem Wohlbefinden bzw. viel krasser mit den Lebensmöglichkeiten zukünftiger Generationen.

Es ist bis heute nicht einmal gelungen, eine allseits akzeptierte Methode der Nutzenmessung zu gewinnen. Berücksichtigt man jedoch außerdem zeitliche Entwicklungen, so treten zusätzliche gravierende Probleme auf:

1. Die technische Entwicklung kennt man nicht. Um technischen Fortschritt aufnehmen zu können, unterstellt man häufig, dass sich Input und Output nicht in ihrer Struktur, sondern allenfalls in ihrem Mengenverhältnis zueinander ändern.
2. Zu einem Zeitpunkt ist die Anzahl der Individuen exogen vorgegeben. Im Zeitablauf hängt die zukünftige Bevölkerungsgröße jedoch von den heutigen Entscheidungen und/oder ethischen Wertvorstellungen ab. Zudem ist sie heute unbekannt. Annahmen wie exponentielles Bevölkerungswachstum wie auch der Grenzfall des Nullwachstums sind allenfalls problematische Annäherungen an die Realität. Unterstellt man z.B. Nullwachstum, so kann man die Bevölkerungszahl auf eins normieren und in jeder Periode von einer repräsentativen Person ausgehen.

3. Die Annahme, dass für alle existierenden Individuen kardinale Präferenzfunktionen bestimmt werden können, ist, wie wir erläutert haben, problematisch genug. Um aber eine intertemporale Wohlfahrtsfunktion festlegen zu können, müsste man für alle zukünftigen Generationen kardinale Präferenzfunktionen bestimmen können. Um diesem Dilemma zu entgehen, unterstellt man häufig, dass die Präferenzfunktionen sich nicht über die Zeit ändern, d. h. dass alle Generationen die gleichen Nutzenvorstellungen haben und somit das gleiche Güterbündel gleich bewerten:

$$u_t(x) = u(x) \text{ für alle } t,$$

wobei  $u_t$  die Nutzenfunktion der repräsentativen Person ist.

4. Viele physikalische, aber auch viele metaphysische Lehren gehen von der zeitlichen Begrenztheit dieser Welt aus. Es wäre darum naheliegend, für die Analyse einen Endzeitpunkt anzunehmen. Dieses Vorgehen hat jedoch eine Schwierigkeit. Es fehlen konkrete und ernstzunehmende Angaben über dieses Ende bzw. - was für uns wichtiger ist - bezüglich des Endes ökonomischer Aktivität. Solange wir das aber nicht kennen, muss die Gesellschaft planen, als ob es kein Ende gäbe. Nimmt sie nämlich ein vorzeitiges Ende an, so wird sie möglicherweise am Tage danach mit leeren Händen dastehen. Ein möglicher erster Ansatz, eine intertemporale Nutzenfunktion zu definieren, könnte darin bestehen, die utilitaristische Nutzenfunktion zu übernehmen, also einfach den Nutzen aller Generationen zu addieren und somit als Nutzen der Menschheit insgesamt zu definieren:

$$W = \sum_{t=1}^{\infty} u(x^t)$$



Eine solche Summe ist jedoch offensichtlich nicht als Nutzenfunktion geeignet. Gehen wir nämlich davon aus, dass jede Generation einen positiven Mindestnutzen in Höhe eines Existenzminimums benötigt, also

$$u(x^t) \geq u_{min}^t$$

dann ergibt sich

$$\sum_{t=1}^{\infty} u(x^t) \geq \sum_{t=1}^{\infty} u_{min} = \infty \cdot u_{min} = \infty$$

Bei unendlich vielen Generationen ist die Nutzensumme als Wohlfahrtsfunktion ungeeignet, da diese Funktion auch schon dann den Wert ‚unendlich‘ annimmt, wenn die meisten Generationen gerade mit dem Nötigsten versorgt werden. Dieser Schwierigkeit kann man entgehen, indem man einen Diskontierungsfaktor  $\gamma$  einführt.

Sei  $u_0$  der Nutzen von heute,  $u_1$  der Nutzen von morgen und  $u_2$  der Nutzen von übermorgen, so ist dieser Nutzenstrom abdiskontiert heute

$$\gamma^0 u_0 + \gamma^1 u_1 + \gamma^2 u_2 = \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t u_t$$

wert.

Wir gewichten den Nutzen künftiger Generationen mit der Wahrscheinlichkeit ihrer Existenz. Gehen wir also beispielsweise davon aus, dass zu jedem Zeitpunkt  $t$  die Wahrscheinlichkeit, dass die Welt zur Zeit  $t+1$  nicht mehr existiert, gleich ist, so können wir die Wahrscheinlichkeit als einen konstanten Diskontierungsfaktor  $\gamma$  interpretieren und haben eine intertemporale Nutzenfunktion:

$$W = \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t u(x^t)$$

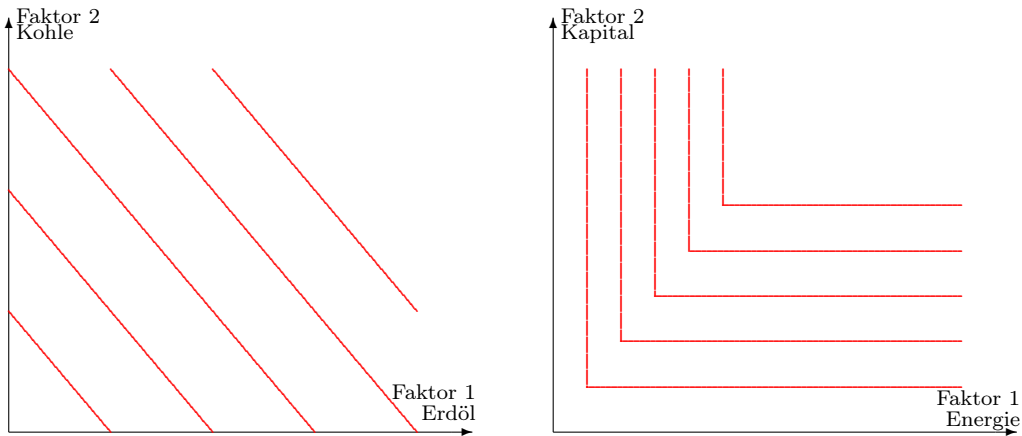
Wir haben damit den Diskontierungsfaktor auf die Ungewissheit der Zukunft und hier insbesondere auf die Ungewissheit des Weiterbestehens der Welt gegründet.

## Produktionsmöglichkeiten in der Zeit

### Komplementäre und substitutionale Faktoren

#### *Vollständige Substitute*

Kann ein knapper Faktor durch einen anderen nicht-knappen Faktor vollständig substituiert werden, so begrenzt der knappe Faktor nicht die Produktion.



**Abb. 11.9:** vollständige Substitute und Komplemente

#### *Komplemente*

Dient die knappe, nicht vermehrbare Ressource als komplementärer Faktor in einer Produktion, so ist nur eine begrenzte Produktion möglich.

*Cobb-Douglas-Funktion*

Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit ihren Isoquanten.

$$y = x_1^\alpha \cdot x_2^\beta \quad \text{mit } \alpha, \beta > 0$$

Ist ein Faktor also z. B.  $x_1$  gleich null, so kann nicht produziert werden, da gilt:

$$y = x_1^\alpha \cdot x_2^\beta = 0^\alpha \cdot x_2^\beta = 0$$

**Beispiel:**

Es sei

$$y = x_1^{1/2} \cdot x_2^{1/2}$$

Es soll ein Output von  $y = 1.000$  Einheiten produziert werden, vom Faktor 1 steht jedoch nur eine Menge von  $x_1 = 0,0001$  zu Verfügung. Die Faktormenge  $x_2$ , die diesen Output ermöglicht, ergibt sich als

$$x_2 = \frac{y^2}{x_1} = \frac{1.000.000}{0,0001} = 10.000.000.000$$

Ist diese Menge vom Faktor 2 vorhanden, so kann die gewünschte Menge an Output produziert werden.

**Bei der Cobb-Douglas-Produktionsfunktion kann auf einen Faktor fast verzichtet werden, dann muss jedoch vom anderen Faktor entsprechend viel vorhanden sein.**

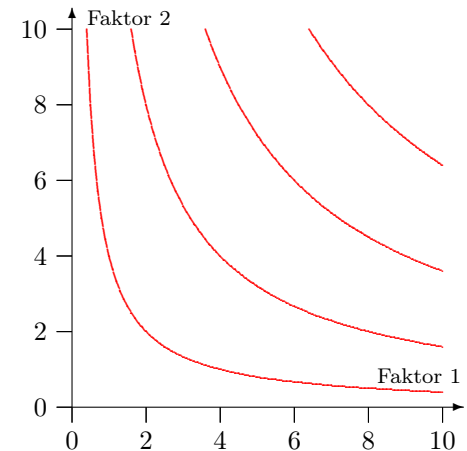


Abb. 11.10: Cobb-Douglas-Produktion

## Substitution

Das Problem knapper Ressourcen kann dann gelöst werden, wenn für knappe Ressourcen jeweils Substitute bereitgestellt werden. In diesem Sinn wird darum auch immer wieder argumentiert. In einem viel beachteten Beitrag „The Age of Substitutability“ Goeller u. Weinberg [1976], der zuerst in der bekannten Zeitschrift ‚Science‘ und später im ‚American Economic Review‘ erschien, untersuchen Goeller und Weinberg die Möglichkeit, erschöpfbare Ressourcen durch nichterschöpfbare Substitute zu ersetzen. Sie betrachten ganze Gruppen von Ressourcen, aber auch einzelne wichtige Faktoren, und kommen zu dem Schluss, dass eigentlich alle Stoffe und Materialien durch nicht-erschöpfbare Materialien substituiert werden können.

## Die Allokation von erschöpfbaren Ressourcen

Der Bericht des ‚Club of Rome‘ zur Lage der Menschheit: „Die Grenzen des Wachstums“ (Meadows [1972]) hat vielen Menschen die Begrenztheit der Ressourcen bewusst gemacht. Seitdem sind viele weitere Studien erschienen, die die Rohstoffvorräte dieser Welt abschätzen und damit die Grenzen des Wachstums aufzeigen wollen. Solchen Studien, die naturgemäß häufig von Geologen, Mineralogen und Technikern erstellt werden, setzen die Ökonomen häufig entgegen, dass wesentliche ökonomische Strukturen, wie technischer Fortschritt und vor allem das Preissystem vernachlässigt würden: es gäbe nämlich nicht nur den bekannten Wirkungszusammenhang

**zunehmende Knappheit**  $\longrightarrow$  **steigende Preise,**

sondern

**steigende Preise**  $\longrightarrow$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{abnehmende Nachfrage} \\ \text{effizienter Verbrauch} \\ \text{steigende Vorräte} \end{array} \right.$

Bei den theoretischen Überlegungen zu knappen Ressourcen unterscheidet man **regenerierbare** und **nicht-regenerierbare** Ressourcen.

## Zins und Preisänderung bei erschöpfbaren Ressourcen

Um die prinzipiellen Zusammenhänge zwischen Ressourcenpreis und Zinsentwicklung zu erkennen, betrachten wir ein sehr stark vereinfachtes Beispiel. Dazu nehmen wir an, dass der Unternehmer künftige Preise hinreichend genau vorausschätzen kann und dass er auf dem Kapitalmarkt zum gegebenen Zins beliebige Summen leihen und verleihen kann. Außerdem gebe es viele Ressourcenbesitzer, die insgesamt durch ihre Angebotsentscheidungen den Marktpreis beeinflussen, keiner allein aber Preise festsetzen kann. Außerdem sollen die Förderkosten einer Ressourceneinheit über die Zeit konstant bleiben.

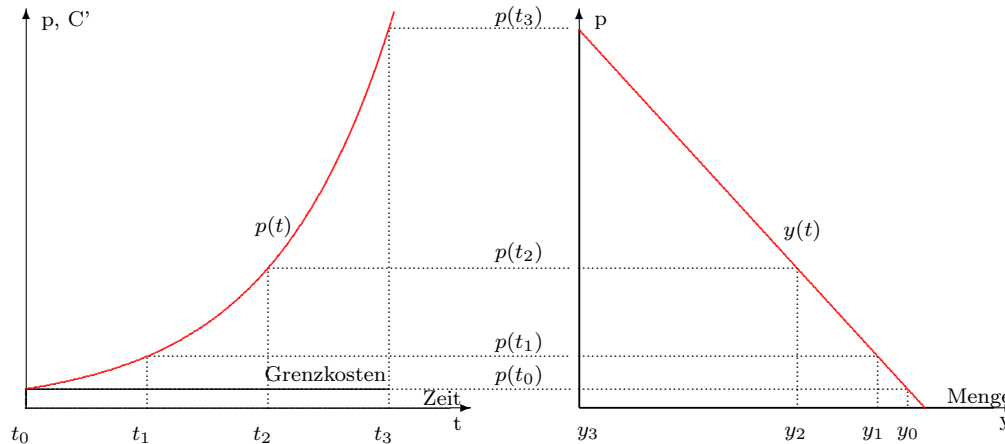


Abb. 11.11: Preise und Ressourcen

Bei funktionierenden Märkten regelt der Preismechanismus die intertemporale Nachfrage nach Gütern: Mit steigendem Preis wird die Nachfrage immer geringer und kann eventuell auf null fallen.

## Energie

In der Mechanik versteht man unter Energie die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten und unterscheidet potentielle Energie (Energie der Lage) und kinetische Energie (Energie der Bewegung). Ein Uhrgewicht in einer bestimmten Höhe besitzt potentielle Energie. Diese kann in Bewegung umgesetzt werden (z. B. des Uhrwerks). Umgekehrt kann Bewegungsenergie z. B. des Uhrwerks benutzt werden, um einen Körper in eine bestimmte Höhe zu bringen: **Sieht man von Reibung ab**, so entspricht die potentielle Energie genau der kinetischen Energie, es gilt also ein Energieerhaltungsgesetz.

Da jedoch bei jeder Bewegung Reibung existiert, bei der ein Teil der kinetischen Energie in Reibungswärme umgewandelt wird, muss das Energieerhaltungsgesetz revidiert werden. Ergänzt man kinetische und potentielle Energie noch um andere Energieformen, nämlich Wärmeenergie, elektrische und chemische Energie, so erhält man ein allgemeines Energieerhaltungsgesetz.

### Erhaltungssatz der Energie

**In einem geschlossenen System ist die Summe der Energien konstant.**



## Nicholas Georgescu-Roegen

Nicholas Georgescu-Roegen wurde 1906 in Constanza in Rumänien geboren. Nach dem Studium der Mathematik und Statistik in Bukarest und Paris wurde er 1932 Professor für Statistik in Bukarest. 1948 emigrierte er in die USA. Seine frühen Arbeiten sind sehr mathematisch ausgerichtet und beschäftigen sich mit der Nutzentheorie und der Input-Output-Analyse. Später wandte sich Georgescu-Roegen Wachstumsproblemen zu. Er starb 1994 in Nashville, Tennessee. Werke wie „The Entropy Law and the Economic Process“ [1971] und „Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays“ [1976] trugen ihm den Ruf ein, ein ‚Wachstumspessimist‘ zu sein. Hier sind seine Grundgedanken (nach [Blaug 1985, S. 72], unsere Übersetzung): „Entropie und nicht verfügbare Materie beziehungsweise Energie tendieren zu konstantem Anstieg, während verfügbare Materie und Energie zur konstanten Abnahme tendieren.“

Nur oberflächlich betrachtet steigert ökonomisches Wachstum den Output je Inputeinheit; in Wirklichkeit geschieht dieses auf Kosten des begrenzten Vorrats der Welt an Materie und Energie. Auf diese Weise werden die Industriestaaten, die von fossiler Energie und anderen Mineralstoffen abhängen, unweigerlich auf der einen Seite durch die Ausbeutung der Ressourcen dem Verfall durch die Entropie und auf der anderen Seite durch die Umweltverschmutzung unterworfen. In diesem Sinne führt sogar bei technischem Fortschritt die Produktion im Zeitablauf zu abnehmenden Erträgen.“

Seine letzten Bücher, die Ökonomie mit der Physik und Biologie verbinden, haben nicht nur Kontroversen bei den Wirtschaftswissenschaftlern hervorgerufen, sondern vor allem starken Einfluss auf die ökologische Forschung ausgeübt.

In seinem Aufsatz *Was geschieht mit der Materie im Wirtschaftsprozeß* (1979) macht Nicholas Georgescu-Roegen darauf aufmerksam, dass der Erhaltungssatz der Energie keine Antwort auf das Energieproblem der Menschheit liefert.

# Literaturverzeichnis

- [Beloch 1911] BELOCH, Karl J.: Zinsfuß, Geschichte des Zinsfußes im Altertum. In: CONRAD, J. (Hrsg.) ; LEXIS, W. (Hrsg.) ; ELSTER, L. (Hrsg.) ; LOENING, Edg. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Staatswissenschaften* Bd. 8. Jena : Gustav Fischer, 1911, S. 1017–1023
- [Böhm-Bawerk 1921] BÖHM-BAWERK, Eugen v.: *Geschichte und Kritik der Kapitalzins-Theorien*. Jena : Fischer, 1921 (Kapital u. Kapitalzins: Abt. 1)
- [Blaug 1985] BLAUG, Mark: *Great Economists since Keynes: An Introduction to the Lives & Works of One Hundred Modern Economists*. Brighton, Sussex : Wheatsheaf Books, 1985
- [Gabor u. a. 1976] GABOR, Dennis ; COLOMBO, Umberto ; KING, Alexander ; GALLI, Riccardo ; PESTEL, Eduard ; HECK, Hans D.: *Das Ende der Verschwendung: Zur materiellen Lage der Menschheit - Ein Tatsachenbericht an den Club of Rome*. Stuttgart : Deutsche Verlagsanstalt, 1976. – 251 S.
- [Georgescu-Roegen 1979] GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas: Was geschieht mit der Materie im Wirtschaftsprozess? Dt. Erstaug. Frankfurt am Main : Fischer Taschenbuch Verl., 1979, S. 99–113
- [Goeller u. Weinberg 1976] GOELLER, H. E. ; WEINBERG, Alvin M.: The Age of Substitutability. In: *Science* 191 (1976), S. 683–689. – Auch in: *The American Economic Review*, 1978, Vol. 68, No. 6, S. 1-11

[Kreeb 1979] KREEB, Josef Karlheiz; M. Karlheiz; Müller: *Ökologie und menschliche Umwelt: Geschichte, Bedeutung, Zukunftsaspekte*. Stuttgart : G. Fischer, 1979

[Meadows 1972] MEADOWS, Dennis L.: *Die Grenzen des Wachstums : Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Stuttgart : Dt. Verlags-Anst., 1972 (DVA informativ)