

Aktivitätsanalytische Grundlagen einer umweltorientierten einzelwirtschaftlichen Produktions- und Erfolgstheorie¹

Von Harald Dyckhoff

In der betrieblichen Produktions- und Kostentheorie sind Umweltschutzaspekte bislang nur vereinzelt, in jüngster Zeit aber verstärkt aufgegriffen worden. In diesem Beitrag wird der Versuch einer systematischen Integration solcher Aspekte in die Unternehmenstheorie unternommen, indem schon bei den Grundbegriffen und Grundannahmen angesetzt und diese geeignet erweitert bzw. verallgemeinert werden. Auf diese Weise kann insbesondere der in Zukunft an Bedeutung gewinnende Bereich der „Reduktionswirtschaft“ (Aufbereitung, Recycling und Entsorgung) nahtlos in die Theorie eingepaßt werden.

1. Integration des Umweltschutzes in die Unternehmenstheorie

Der Schutz der natürlichen Umwelt spielt in der heutigen Gesellschaft eine prominente Rolle, die eher noch an Bedeutung gewinnen wird. Eine Unternehmung als Teil der Gesellschaft ist davon nicht nur grundsätzlich betroffen. Vielmehr kann sogar ihre Existenz in Frage gestellt werden, wenn sie direkter oder indirekter Verursacher gravierender Umweltschäden ist.

Von der Betriebswirtschaftslehre als Realwissenschaft verlangt diese Entwicklung eine geeignete Integration betrieblich relevanter Umweltaspekte, und zwar nicht nur in die Unternehmenspolitik – wie in der weit überwiegenden Mehrzahl der bislang vorliegenden Beiträge –, sondern ebenso in die Unternehmenstheorie. Strelbel 1989, 87f. – anerkannter Pionier der betrieblichen Umweltökonomie – fordert: „Die Betriebswirtschaftslehre muß das Umweltproblem in ihr Theoriegebäude integrieren, indem sie das bisher unvollständige Bild von Produktion und Konsum künftig auf den gesamten notwendigen Input und den gesamten entstehenden Output erweitert und nicht nur die mit Marktpreisen versehenen Inputs und die traditionellen Sachziele der Produktion beachtet.“ Eine *organische Integration* beginnt bei der Überprüfung und ggf. Veränderung der grundlegenden Begriffe und Aussagen (Dyckhoff 1992 b).

¹ Überarbeitete Langfassung eines Vortrags am 26. April 1991 in Bendorf vor dem Ausschuß für Unternehmenstheorie und -politik des Vereins für Socialpolitik. Eine zwischenzeitlich erfolgte Detaillierung des hier vorgestellten Ansatzes findet sich in: Dyckhoff, H. (1992), Betriebliche Produktion. Berlin et al.

Bislang vorliegende produktionstheoretische Erweiterungen (z.B. *Shephard* 1970, *Bol* 1973) thematisieren die hier interessierenden Fragen nur am Rande, indem sie vornehmlich volkswirtschaftlich orientiert sind und insbesondere die Reduktionsproblematik vernachlässigen. *Reduktion* kann durch Aufbereitung, Recycling oder Entsorgung (i.e.S.) erfolgen. Betriebe, die sich hierauf spezialisieren, werden in Zukunft an Zahl und Bedeutung zunehmen. Ihr primäres Sachziel, besonders bei der Entsorgung (z.B. Müllverbrennung), ist nicht die Hervorbringung von (Sach-)Gütern, d.h. die „Produktion“ im engeren Sinn, sondern die Vernichtung bzw. Umwandlung von Übeln (*Dyckhoff* 1991, 1992 b). Wie in der Abb. 1 (in Anlehnung an *Liesegang* 1991) schematisch dargestellt, vollzieht sich im Zeitablauf ein Stoffkreislauf von der Produktion (inklusive Verteilung der Produkte) über die Konsumtion zur Reduktion (inklusive Einsammlung der Reststoffe), die wiederum die Baustoffe für die erneute Produktion zur Verfügung stellt. Dieser Stoffkreislauf ist – im Unterschied zum wirtschaftlichen Geldkreislauf – nicht vollständig, da er selbst bei weitgehender Annäherung an einen ökologischen Kreislauf (*Haber* 1992) kaum ohne die Belastung der natürlichen Umwelt durch ständige Rohstoffentnahmen und Emissionen auskommt.

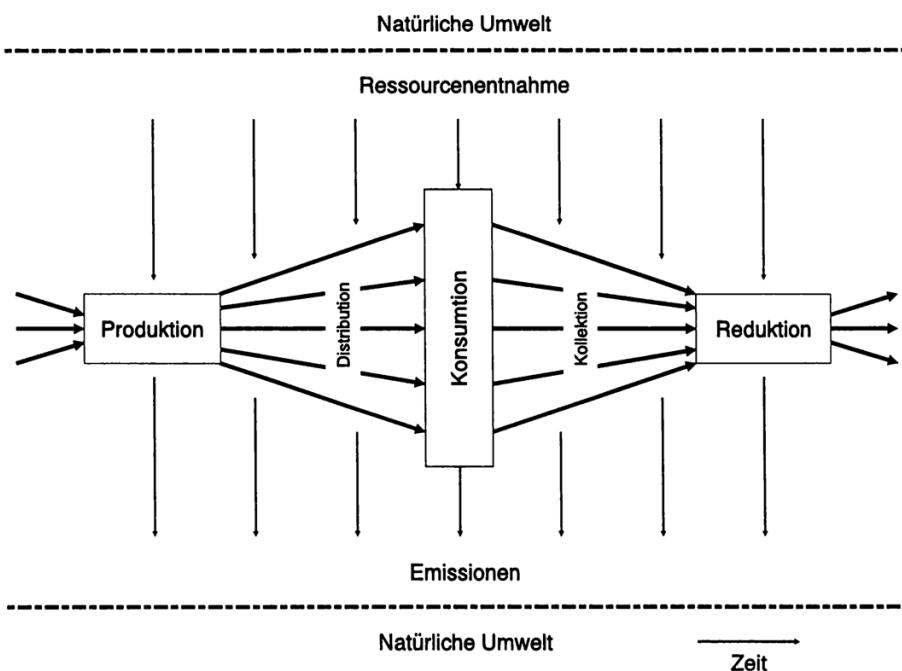


Abb. 1: Industrielle Stoffwirtschaft

Ein Reduktionsbetrieb unterscheidet sich im Kern also durch seine Zielsetzung vom üblichen industriellen Produktionsbetrieb. Es geht weniger um die Versorgung mit Gütern als um die Entsorgung von Übeln. Andererseits kann man die Reduktion auch als eine mittelbare Befriedigung von Bedürfnissen durch Erstellung einer Dienstleistung, d. h. im weiteren Sinn auch als Produktion ansehen. Reduktionsbetriebe wären somit Dienstleistungsbetriebe. Diese Sichtweise ist zwar möglich, führt hier aber in der Sache nicht viel weiter. Denn einerseits ist die betriebswirtschaftliche Theorie der Dienstleistungsproduktion noch unterentwickelt (vgl. Corsten 1988, Maleri 1991). Andererseits wird im folgenden gezeigt, daß bei geeigneter Erweiterung der traditionellen Theorie auch Reduktionsprozesse begrifflich und sachlich erfaßt sowie prinzipiell ohne neue Instrumente analysiert werden können. Ursache hierfür ist eine gewisse spiegelbildliche Analogie zwischen Produktion i.e.S. und Reduktion (vgl. auch Abb. 1). Wenn dennoch im folgenden der weite Produktionsbegriff unterstellt wird, unter den auch die Reduktion subsumiert werden kann, dann geschieht dies allein aus Gründen der sprachlichen Vereinfachung.

Im vorliegenden Beitrag sollen Grundlagen für eine Unternehmenstheorie entwickelt werden, die den o.g. Forderungen genügt. Den Ansatzpunkt bildet die traditionelle Theorie der Unternehmung, welche Unternehmungen durch Produktionsfunktionen beschreibt. Anstelle von Produktionsfunktionen wird hier als Modellrahmen die von Koopmans 1951 begründete, allgemeinere und axiomatisch aufgebaute Aktivitätsanalyse gewählt (vgl. Wittmann 1968, Dyckhoff 1992a). Im wesentlichen geht es darum, die grundlegenden Begriffe, Annahmen und Aussagen der Aktivitätsanalyse geeignet zu erweitern. So erhält man eine gesicherte Basis für die systematische produktionstheoretische Untersuchung konkreter umweltorientierter Fragestellungen (wie sie z.B. Kistner 1983; Jahnke 1986; Dinkelbach / Piro 1989, 1990; Plein 1989; Dinkelbach 1990, 1991 vorgeführt haben). Sie wiederum liefert das Fundament für eine darauf aufbauende Kosten- und Leistungstheorie bzw. allgemein für eine an den Zielen der Unternehmung orientierte Erfolgstheorie.

Es ist nicht beabsichtigt, eine „alternative“ Unternehmenstheorie zu entwickeln. Vielmehr besteht der Leitgedanke für die organische Integration des Umweltschutzes darin, die herrschende einzelwirtschaftliche Produktions- und Kostentheorie so zu verallgemeinern, daß sie als Spezial- oder Grenzfall nach wie vor gültig bleibt. Entscheidend hierfür ist der Übergang von der üblichen Annahme der den Gewinn auf Basis von Marktpreisen maximierenden Unternehmung (z.B. Debreu 1976 oder Fandel 1991) auf die allgemeinere und zur Theorie des Haushalts symmetrische Prämisse der *Nutzenmaximierung*.

Diese Vorgehensweise entspricht insoweit der Neuen Institutionenökonomik (vgl. Richter 1990), unterscheidet sich andererseits von ihr, indem die unterstellten Präferenzen nicht auf die einzelnen Individuen, sondern entweder auf die gesamte Unternehmung als Wirtschaftseinheit oder ggf. auf eine im Hinblick auf Produktionsentscheidungen selbständige Teileinheit bezogen sind; diese Einheit wird als Produzent bezeichnet. Es muß – ähnlich wie in der Neuen Institutionenökonomik – in Kauf genommen werden, daß die verallgemeinerte Theorie zunächst einmal eher einen Denkrahmen bildet und spezifischere Aussagen nur durch weitergehende Konkretisierung der Prämisse, d.h. insbesondere der Präferenzen erzielt werden können. Vollkommen neu ist die Unterstellung der Nutzenmaximierung aber auch für die bisherige Produktionstheorie nicht (vgl. Schepers 1981).

Der hier vorgestellte Ansatz unterscheidet sich von der bisherigen Theorie im wesentlichen dadurch, daß er, aufbauend auf den durch eine Technologie beschriebenen Produktionsmöglichkeiten (Abschnitt 2), explizite und differenzierte Annahmen über die Präferenzstruktur des Produzenten trifft (Abschnitt 3). Aus der Synthese dieser Präferenzannahmen und naturgesetzlicher Gegebenheiten resultieren ökonomisch relevante Eigenschaften der Technologie (Abschnitte 4 und 5). Am Beispiel der Produktionsfunktion und des Preistheorems wird abschließend angedeutet, daß bei geeigneter Neuinterpretation einiger Begriffe die bisherige Theorie in einer erweiterten, aber prinzipiell analogen Struktur gültig bleibt (Abschnitt 6).

Für die formale Notation gelte im übrigen: \emptyset sei die leere Menge, $\mathbb{R}_+^n = \{y: y_k \geq 0, k = 1, \dots, n\}$ der nichtnegative Orthant des \mathbb{R}^n , $\mathbb{R}^n = -\mathbb{R}_+^n$ der nichtpositive Orthant sowie $M \setminus N = \{y: y \in M, y \notin N\}$ die Differenz der Mengen M und N . Außerdem gelte: $y > z$, wenn $y - z \in \mathbb{R}_+^n \setminus \{O\}$.

2. Produktionssystem, Aktivität und Technologie

Eine Unternehmung kann wie jede Wirtschaftseinheit als ein zielgerichtet gesteuertes Input/Output-System aufgefaßt werden, und zwar speziell als ein Produktionssystem (Abb. 2). Die Aktivität eines solchen Systems besteht in der Produktion (in dem genannten weiten Sinn, der auch die Dienstleistungserstellung umfaßt). Die Menge T aller (prinzipiell) möglichen, d.h. technisch und organisatorisch zulässigen Aktivitäten eines Produktionsystems heißt Technologiemenge oder kurz *Technologie*.

Bei detaillierterer Betrachtungsweise können Produktionssysteme selber wieder aus einer Vielzahl von miteinander verbundenen Produktions(sub)-systemen zusammengesetzt sein. Die in diesem Fall bestehenden Beziehungen zwischen den Produktionssubsystemen sind nicht Thema der vorliegenden Abhandlung. Im Interesse einer Konzentration auf die für die Einbezie-

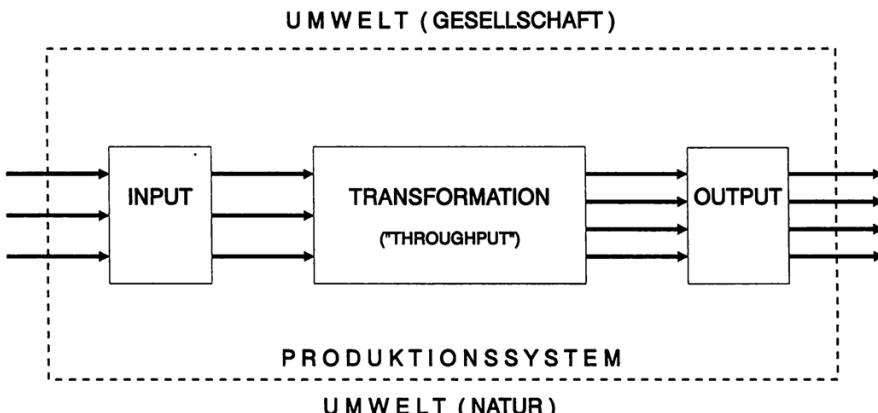


Abb. 2: Die Unternehmung als Produktionssystem

hung der natürlichen Umwelt wichtigen Aspekte werden hier nur einstufige, statische, deterministische Produktionssysteme betrachtet.

Input einer Aktivität $y \in T$ sind materielle und immaterielle Objekte, die der Natur entnommen oder von anderen Wirtschaftseinheiten beschafft werden. Sie werden miteinander kombiniert und innerhalb eines bestimmten Zeitraums in neue Objekte umgewandelt, wobei das System quasi als Transformator wirkt. Das Ergebnis des Transformationsprozesses (des „Throughput“) bilden neue Objekte, die wiederum an andere Wirtschaftseinheiten abgesetzt oder an die Natur abgegeben werden. Letztlich stammt jedoch alle Materie und Energie aus der Natur und kehrt auch dorthin zurück (vgl. Georgescu-Roegen 1973, Faber et al. 1983). Ein Wirtschafts-„Kreislauf“ kann also in materiell-energetischer Hinsicht nicht existieren, allenfalls bei rein monetärer Betrachtung.

Bei Input und Output sind in der Regel einige Objekte mehr oder weniger ähnlich. Abhängig von der gegebenen Entscheidungssituation werden solchermaßen ähnliche Objekte vom Produzenten – als dem Wirtschaftssubjekt, das das Produktionssystem lenkt, – nicht weiter unterschieden und zu jeweils homogenen Klassen, den Objektarten, zusammengefaßt. Im folgenden werden nur solche Objektarten $k = 1, 2, \dots, n$ berücksichtigt, die sich quantitativ messen lassen. Das bedeutet in der Regel eine erhebliche Einschränkung hinsichtlich mancher bei der Produktion relevanter Objektarten, insbesondere dispositiver und Zusatzfaktoren auf der Inputseite oder Dienstleistungen auf der Outputseite. Andererseits ist diese Prämisse in bezug auf die für Umweltschutzaspekte wesentlichen material-energetischen Objektarten nicht so gravierend. Stoff- und Energiebilanzen basieren auf der Annahme der quantitativen Meßbarkeit der Objektarten (Ayres 1978).

Die für die Produktion zur Verfügung stehende Quantität einer Objektart k wird mit r_k , die aus der Produktion resultierende Quantität mit x_k bezeichnet. In der üblichen „flow version“ der Aktivitätsanalyse wird für jede Objektart nur die Differenz $y_k = x_k - r_k$ als Saldo der Bruttoquantitäten von Output und Input betrachtet. In den Fällen $y_k < 0$ bzw. $y_k > 0$ liefert die Objektart k für die Aktivität einen (Netto-)Input bzw. einen (Netto-)Output; im Fall $y_k = 0$ ist sie im Saldo an der Produktion unbeteiligt, kann aber z. B. als Katalysator dennoch unverzichtbar sein. Somit beschreibt der Vektor $y = (y_1, \dots, y_n)$ die quantitativ meßbaren Auswirkungen der zugrunde liegenden Aktivität auf die explizit beachteten Objektarten $k = 1, \dots, n$. Er wird mit der Aktivität identifiziert und auch Input/Output-Vektor, Produktionspunkt oder kurz *Produktion* genannt.

Unter der o. g. Prämisse besteht also eine Technologie T aus möglichen Produktionen y , die durch Punkte im n -dimensionalen Raum \mathbb{R}^n der (beachteten) Objektarten dargestellt werden. Es wird sich im folgenden herausstellen, daß die Frage, welche grundlegenden Eigenschaften derartige Technologien aufweisen, aus ökonomischer Sicht nur im Zusammenhang mit der Bewertung der Aktivitäten von Interesse ist.

3. Präferenzen des Produzenten

Die möglichen Aktivitäten sind in den Augen des Produzenten nicht gleichwertig. Für einige wird eine höhere Präferenz bestehen als für andere. Es sei unterstellt, daß der Produzent im Prinzip zwar eine vollständige, transitive Präferenzordnung für die Aktivitäten der Technologie T besitzt, diese aber im Planungszeitpunkt nicht unbedingt explizit kennt (z. B. wegen mangelnder Preisinformation über einzelne Objektarten). Allerdings wird angenommen, daß er zumindest folgende partielle Präferenzaussage machen kann:

$$(P0) \quad y, z \in T, \mathcal{D}(y) > \mathcal{D}(z) \Rightarrow y > z.$$

$\mathcal{D}: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ ist eine durch die Präferenzen des Produzenten bestimmte *Ergebnisfunktion*, die die n -dimensionale Technologie T in festgelegter Weise mittels $\mathcal{D}(T)$ in einen m -dimensionalen Unterraum ($m \leq n$) projiziert. $\mathcal{D}(T)$ wird projizierte Technologie oder *Ergebnismenge* genannt. Die Eigenschaft $\mathcal{D}(y) > \mathcal{D}(z)$ bedeutet, daß die Produktion y die Produktion z *dominiert*. P0 besagt demnach: Eine dominierende Produktion wird vorgezogen. (Formal liegt dem das Konzept des Dominanzkegels zugrunde; vgl. Wolf 1989.)

Hier sei der Einfachheit halber ein spezieller Fall einer Ergebnisfunktion betrachtet und als *Normalfall* bezeichnet. Danach sind die n Objektarten

vom Produzenten in drei disjunkte Kategorien GUT, ÜBEL und NEUTRAL eingeteilt, wobei über $|GUT| + |\text{ÜBEL}| = m$ die Anzahl der Güter- und Übelarten definiert ist. Objektarten der Kategorie NEUTRAL werden unterdrückt, während bei geeigneter Numerierung für die beiden anderen Kategorien gelten soll:

$$(1) \quad \mathcal{D}_k(y) = y_k \quad \text{für } k \in \text{GUT},$$

$$(2) \quad \mathcal{D}_k(y) = -y_k \quad \text{für } k \in \text{ÜBEL}.$$

Als Beispiel sei eine Technologie T mit vier Objektarten betrachtet, wobei $\text{GUT} = \{1, 2\}$, $\text{ÜBEL} = \{3\}$ und $\text{NEUTRAL} = \{4\}$. Dann gilt für die beiden Aktivitäten $y, z \in T$ mit $y = (1; -2; 3; -4)$ und $z = (1; -3; 4; 2)$: y dominiert z wegen $\mathcal{D}(y) = (1; -2; -3) > (1; -3; -4) = \mathcal{D}(z)$.

Die Produktion y dominiert die Produktion z also genau dann, wenn

$$(3) \quad y_k \geq z_k \quad \text{für alle } k \in \text{GUT} \quad \text{und}$$

$$(4) \quad y_k \leq z_k \quad \text{für alle } k \in \text{ÜBEL}$$

sowie in wenigstens einem Fall eine echte Ungleichung vorliegt. Da Input ein negatives Vorzeichen besitzt, hat dies zur Konsequenz, daß es um so besser ist, wenn ceteris paribus bei der Kategorie GUT der Output zu- oder der Input abnimmt bzw. umgekehrt bei der Kategorie ÜBEL der Output ab- oder der Input zunimmt, während die Objektquantitäten der Kategorie NEUTRAL keine Rolle spielen. Abhängig von der jeweiligen Kategorie wird ein Objekt dementsprechend als Gut, Übel bzw. Neutrum bezeichnet (siehe ausführlicher zu diesen Begriffen Dyckhoff 1991).

In der Produktionstheorie ist es nicht unüblich, Input synonym als Aufwand und Output synonym als Ertrag zu bezeichnen (vgl. Wittmann 1968, 2; z.B. „Ertragsgesetz“). Es erweist sich hier als zweckmäßig, die Bezeichnungen Aufwand und Ertrag zur Berücksichtigung von Übeln und Neutra begrifflich von Input und Output zu unterscheiden, und zwar so, daß sie im speziellen Fall der traditionellen Theorie, wo nur Güter vorliegen, wieder zusammenfallen. (Zur deutlichen Unterscheidung von den wertmäßigen Begriffen des externen betrieblichen Rechnungswesens sollte jedoch von *realem* oder *mengenmäßiger* Aufwand und Ertrag gesprochen werden, wenn Verwechslungen möglich sind. Das ist im folgenden nicht der Fall.) *Aufwand* ist dann jeder Input von Gütern, aber auch jeder Output an Übeln. *Ertrag* ist nicht nur jeder Output an Gütern, sondern auch jeder Input von Übeln (Dyckhoff 1991).

Die Ergebnisfunktion \mathcal{D} bildet somit den Input/Output-Vektor y in einen Ergebnisvektor $e = \mathcal{D}(y)$ ab, der aus Aufwendungen ($e_k < 0$) und Erträgen

$(e_k > 0)$ besteht und deshalb auch Aufwand/Ertrag-Vektor genannt wird. Während bei einer Produktion y negative Zahlen einen Input und positive einen Output kennzeichnen, gilt dies also bei ihrem Ergebnis e entsprechend für Aufwand und Ertrag. Die Dominanz einer Produktion über eine andere beruht dann darauf, daß mengenmäßig keine geringeren Erträge und keine höheren Aufwendungen für die verschiedenen Objektarten resultieren und für wenigstens eine Objektart tatsächlich ein höherer Ertrag oder ein geringerer Aufwand gegeben ist.

Bei der traditionellen Theorie, die nur Güter betrachtet, d.h. Übel vernachlässigt und Neutra von vornherein nicht beachtet, sind Input/Output-Vektor und Aufwand/Ertrag-Vektor identisch: $e = \mathcal{P}(y) = y$. Es ist evident, daß es sich beim „Normalfall“ in Verbindung mit P0 um eine Verallgemeinerung der sonst üblichen Annahme der Unternehmenstheorie handelt, nach der alle Objekte Güter, d.h. erwünschte Objekte, sind.

Trotzdem ist der Normalfall insofern noch restriktiv, als Objektarten durchgängig als gut, übel oder neutral eingestuft werden. In vielen Fällen ist es nämlich so, daß die Nützlichkeit bzw. Schädlichkeit von Objektarten stark von den vorkommenden, insbesondere „abfallenden“, Quantitäten abhängt (Dyckhoff 1991). Dem kann jedoch möglicherweise dadurch begegnen, daß die Analyse – und damit auch P0 – auf einen für praktische Zwecke relevanten Teil der Technologie T beschränkt wird (z.B. aufgrund gegebener Faktorbeschränkungen).

Sollte dennoch eine quantitätsabhängige Bewertung unumgänglich sein, so ist es in der Regel wohl zweckmäßiger, nicht $\mathcal{P}(y)$ zu verallgemeinern, sondern unmittelbar auf die Präferenzen zurückzugreifen. Dazu wird der Einfachheit halber die Existenz einer (ggf. unbekannten) Nutzenfunktion $w(y): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ mit geeigneten Eigenschaften vorausgesetzt. Sie bewertet die verschiedenen Produktionen $y \in T$ und mißt so den Erfolg der Produktion aus der subjektiven Sicht des Produzenten. Sie kann deshalb als (subjektive) Wertschöpfungsfunktion – kurz: Wertfunktion – oder *Erfolgsfunktion* bezeichnet werden.

Bei einer differenzierbaren Erfolgsfunktion ist der Normalfall in Verbindung mit P0 gleichbedeutend mit einem fast überall positiven Grenzerfolg (Grenzwert, -nutzen) der Güter, einem negativen der Übel sowie einem Grenzerfolg von Null für die Neutra. Bei Präferenzunabhängigkeit der Objektarten (im Sinne der Multiattributiven Nutzentheorie) hat die Erfolgsfunktion eine additiv-separabile Gestalt:

$$(5) \quad w(y) = w_1(y_1) + \dots + w_n(y_n).$$

Der Summand $w_k(y_k)$ beschreibt den Erfolgsbeitrag der Objektart k zum Gesamterfolg $w(y)$. Im Spezialfall einer linearen Erfolgsfunktion

$$(6) \quad w(y) = q_1 y_1 + \dots + q_n y_n.$$

können die Koeffizienten q_k als Preise der Objektarten k im Sinne konstanter subjektiver Substitutionsraten interpretiert werden. Der subjektive Preis eines Gutes ist dann positiv, der eines Übels negativ und der eines Neutrums gleich Null.

Ggf. sind die Preise q_k auch objektiv als monetäre Austauschraten bestimmt, bei Gütern als Absatz- bzw. Beschaffungspreise, bei Übeln als (entrichtete) Abgabe für Output, z.B. für das Abwasser eines Industriebetriebs, bzw. als (empfangene) Gebühr für Input, z.B. für den angelieferten Müll einer Müllverbrennungsanlage. Zumindest dann – in einem allgemeineren Sinn auch sonst – ist es gerechtfertigt, den Gesamterfolg $w(y)$ als Gewinn der Produktion y sowie die einzelnen Summanden $q_k y_k$ je nach Vorzeichen als Kosten (oder wertmäßiger Aufwand) bzw. als Leistung (oder wertmäßiger Ertrag) zu bezeichnen. Kosten entsprechen damit in Geld bewertetem mengenmäßigen Aufwand (also nicht nur Gütereinsatz, sondern auch Übelentstehung); Leistungen entsprechen in Geld bewertetem mengenmäßigen Ertrag (also nicht nur Güterausbringung, sondern auch Übelvernichtung).

4. Grundlegende Eigenschaften der Technologie

Obwohl Naturgesetze einzelne Phänomene mit unerreichbaren Randpunkten konstatieren, so etwa 0° Kelvin oder ein minimales Entropieniveau (3. Hauptsatz der Thermodynamik: „Nernst's Law“; Georgescu-Roegen 1971), ist es zweckmäßig und auch plausibel, folgende Annahme an die Technologie T aufzustellen:

$$(A1) \quad \text{Abgeschlossenheit von } T \text{ im } \mathbb{R}^n.$$

Die Technologie T enthält demnach ihren Rand (Wittmann 1968). Die Eigenschaft A1 überträgt sich mit der zuvor definierten, stetigen Projektionsfunktion \mathcal{P} auch auf die Ergebnismenge $\mathcal{P}(T)$:

$$(P1) \quad \text{Abgeschlossenheit von } \mathcal{P}(T) \text{ im } \mathbb{R}^m.$$

Umfassen die Objektarten $k = 1, \dots, n$ alle an der Produktion beteiligte Energie und Materie, so besagt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik, daß innerhalb des Produktionssystems selbständig ablaufende Produktionsprozesse nicht „umgekehrt“ werden können (Entropiegesetz; Georgescu-Roegen 1971, Faber et al. 1983). Der einzige umkehrbare Produktionsprozeß, so er zur Technologie gehört, ist als trivialer Prozeß der „Stillstand“ $y = O = (0, \dots, 0)$:

$$(A2) \quad \text{Input/Output-Irreversibilität: } T \cap (-T) \subset \{O\}.$$

Wesentlich für die naturgesetzliche Gültigkeit von A2 ist die erwähnte Vollständigkeit der Objektarten. Bleibt auch nur eine Energie- oder Stoffart als Objektart unbeachtet, so braucht A2 aus naturgesetzlicher Sicht nicht mehr zu gelten. Beispielsweise ist es denkbar, einen Gegenstand in einem Produktionssystem zu montieren und wieder zu demontieren. Dies sind reversible Prozesse, sofern der dazu notwendige Aufwand (im zuvor definierten mengenmäßigen Sinn, z.B. Arbeitszeit, Energie, Abwärme oder Betriebsmittelverschleiß) vernachlässigt wird. Da ökonomische Modellbildung zweckorientiert und hier unter dem Blickwinkel des Produzenten erfolgt, sind derartige Abweichungen und Verzerrungen prinzipiell möglich. Insbesondere wäre es zulässig, Reversibilität in bezug auf die Ergebnismenge $\mathcal{P}(T)$ zu erlauben. Wenn dennoch allgemein von Irreversibilität ausgegangen wird, so hat das den ökonomischen Hintergrund, daß reversible Prozesse praktisch ohne Bedeutung sind:

$$(P2) \quad \text{Aufwand/Ertrag-Irreversibilität: } \mathcal{P}(T) \cap -\mathcal{P}(T) \subset \{O\}.$$

Die Annahme A2 ist das erste von drei Postulaten, welche *Koopmans* 1951 in seiner Originalarbeit zur Aktivitätsanalyse aufstellt. Er behandelt nur Güter („desired commodities“, d.h. $\mathcal{P}(T) = T$), und die Annahme A1 der Abgeschlossenheit ist bei seiner rein linearen Analyse implizit. Sein zweites Postulat lautet:

$$(A3) \quad \text{Möglichkeit von (Produktion mit) Output: } T \setminus \mathbb{R}_+^n \neq \emptyset.$$

Damit wird die Existenz von Aktivitäten gefordert, mit denen ein Output erzielt wird. Als Begründung wird angeführt, daß die Technologie T andernfalls „nur Gütervernichtung oder den trivialen Fall des Stillstands ... darstellt“ (*Wittmann* 1968, 5). Bei Erweiterung der Aktivitätsanalyse auf Übel ist jedoch außer dem Output von Gütern ebenfalls der Input von Übeln (z.B. bei der Müllverbrennung) von Interesse:

$$(P3) \quad \text{Möglichkeit von (Produktion mit) Ertrag: } \mathcal{P}(T) \setminus \mathbb{R}_+^m \neq \emptyset.$$

Koopmans' 1951 drittes Postulat heißt: „Kein Schlaraffenland“ („Impossibility of the Land of Cockaigne“). Es besagt, daß es – außer dem Stillstand – keine Produktion ohne Input gibt. Um ein Produkt zu erzeugen, bedarf es eines Faktoreinsatzes:

$$(A4) \quad \text{Kein Output ohne Input: } T \cap \mathbb{R}_+^n \subset \{O\}.$$

Unter der Voraussetzung, daß alle an der Produktion beteiligte Materie und Energie durch die n Objektarten erfaßt sind, ist A4 eine Konsequenz des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik (Energieerhaltungssatz). Danach

können Energie und – unter Einbeziehung der *Einstein*'schen Gleichung $E = mc^2$ auch – Materie (präziser: Masse) in einem geschlossenen System weder zu- noch abnehmen (*Georgescu-Roegen* 1971, *Faber* et al. 1983). Auch A4 braucht nicht mehr zuzutreffen, wenn einzelne Stoff- oder Energiearten unbeachtet bleiben. Dies gilt um so mehr für die Ergebnismenge $\mathcal{D}(T)$, wenn darüber hinaus einige Stoff- oder Energiearten als neutral erklärt werden, z.B. der Sauerstoff in der Luft oder die Abwärme. Andererseits läge auch ein „Schlaraffenland“ vor, wenn Übel als Input vernichtet werden könnten, ohne daß neue Übel als Output abfallen. Die folgende formale Übertragung von A4 auf die Ergebnismenge schließt das aus:

$$(P4) \quad \text{Kein Ertrag ohne Aufwand: } \mathcal{D}(T) \cap \mathbb{R}_+^m \subset \{O\}.$$

5. Weitere Eigenschaften der Technologie

Bei vollständiger Erfassung aller Materie und Energie besagt der 1. Hauptsatz der Thermodynamik neben „Kein Output ohne Input“ gleichzeitig: „Bei Input auch Output.“ Außer dem Stillstand dürfte es also keine zulässige Produktion im negativen Orthanten von \mathbb{R}^n geben, so wie A4 den positiven Orthanten ausschließt. In der Regel wird jedoch in den Arbeiten zur Aktivitätsanalyse sogar der gesamte negative Orthant als Bereich zulässiger Produktionen betrachtet, wobei diese als Prozesse der Gütervernichtung oder -verschwendungen interpretiert werden:

$$(A5) \quad \text{Input ohne Output: } \mathbb{R}^n_- \subset T.$$

Dieser eklatante „Verstoß“ gegen Naturgesetze muß bezüglich der Ergebnismenge $\mathcal{D}(T)$ nicht vorliegen, sofern Übel existieren. Die Forderung lautet dann: „Gütereinsatz und Übelentstehung ohne Güterausbringung und Übelvernichtung“ bzw. kürzer:

$$(P5) \quad \text{Aufwand ohne Ertrag: } \mathbb{R}^m_- \subset \mathcal{D}(T).$$

A2 und A5 zusammen implizieren A4 (*Wittmann* 1968); entsprechend folgt P4 aus P2 und P5.

Die Forderung „Stillstand ist möglich“, d.h. $O \in T$, überträgt sich unmittelbar auf die Ergebnismenge, d.h. $O \in \mathcal{D}(T)$. In diesem Fall folgt A5 aus der weitergehenden Annahme:

$$(A6) \quad \text{Freie Verfügbarkeit: } y \in T, z \leq y \Rightarrow z \in T.$$

Jede Produktion kann danach in zulässiger Weise dadurch verändert werden, daß Faktoreinsätze erhöht oder Produktmengen gesenkt werden. A6 ist

eine zwar verbreitete, aber problematische Annahme, zum einen weil sie wie A5 Faktorbeschränkungen weitgehend verbietet, zum anderen aus den schon bei A5 genannten Gründen. Sie besitzt hauptsächlich mathematisch-methodische Vorteile (T ist dann zusammenhängend und dicht). Die naturgesetzlichen Einwände gegen A6 gelten für P6 wieder nur in deutlich geringerem Maße:

(P6) Beliebige Verschlechterbarkeit: $e \in \mathcal{D}(T)$, $d \leq e \Rightarrow d \in \mathcal{D}(T)$.

6. Erweiterte Theorie im „Normalfall“

Eine Reihe weiterer, häufig geforderter Eigenschaften von T , etwa Konvexität, Additivität und Größenproportionalität (Linear-Homogenität), überträgt sich unmittelbar auch auf die Ergebnismenge $\mathcal{D}(T)$ als (teilweise gespiegelter) Projektion von T . Das Fazit der Überlegungen im Hinblick auf die Annahmen, nämlich einerseits die unmittelbar an die Technologie T gerichteten (insbesondere A1 bis A6) und andererseits die über die Ergebnismenge $\mathcal{D}(T)$ formulierten (hier P1 bis P6), ist somit:

- (a) Falls nur Güter Beachtung finden ($\mathcal{D}(T) = T$), sind die zuvor behandelten Annahmen an die Technologie T bzw. an die Ergebnismenge $\mathcal{D}(T)$ jeweils identisch.
- (b) Falls auch Übel und Neutra Beachtung finden ($\mathcal{D}(T) \neq T$), implizieren entweder die unmittelbaren Annahmen an die Technologie jeweils die analogen Eigenschaften für die Ergebnismenge, oder aber die indirekt über die Ergebnismenge formulierten Annahmen sind plausibler als die entsprechenden unmittelbaren Annahmen an die Technologie.
- (c) Die formale Struktur der jeweils korrespondierenden Annahmen A1 bis A6 und P1 bis P6 ist identisch; ihr Unterschied liegt in dem Bezug einmal auf die Technologie und das andere Mal auf die Ergebnismenge.

Wesentliche Konsequenz des genannten Fazits ist, daß bei Voraussetzung des Normalfalls und P0 die Aktivitätsanalyse formal vollkommen analog wie bisher aufgebaut werden kann. Allerdings bezieht sich die Analyse nicht mehr unmittelbar auf die Input/Output-Ebene, sondern auf die diese überlagernde Aufwand/Ertrag-Ebene, welche zwar noch mengenmäßig formuliert, jedoch schon wertmäßig orientiert ist. Dies ist gegenüber der traditionellen Theorie nicht grundsätzlich neu; nur war dort die wertmäßige Orientierung implizit, indem Input/Output- sowie Aufwand/Ertrag-Ebene übereinstimmten. Vereinfacht gesagt werden (nun) in der Aufwand/Ertrag-Ebene Neutra ignoriert und Übel wie „negative Güter“ behandelt.

Im Sinne von P0 nicht dominierte Produktionen y und ihre zugehörigen Ergebnisvektoren $e = \mathcal{D}(y)$ heißen *effizient*. Sie sind Lösungen des folgenden Vektormaximumproblems:

$$(7) \quad \text{„max“ } \{ e \mid e = \mathcal{D}(y), y \in T \} = \text{„max“ } \mathcal{D}(T).$$

Bei Verbot eines Schlaraffenlandes gemäß P4 ist ein möglicher Stillstand $y = O$ stets effizient. Bei abgeschlossener Ergebnismenge gemäß P1 liegen die effizienten Ergebnisvektoren $e = \mathcal{P}(y)$ auf dem („nordöstlichen“) Rand der Ergebnismenge $\mathcal{P}(T)$. Die Menge der effizienten Vektoren e wird als effizienter Rand $\mathcal{P}(T)^{eff}$ der Ergebnismenge bezeichnet.

In der traditionellen Theorie mit $\mathcal{P}(T) = T$ wird der effiziente Rand formal durch eine (implizite) Produktionsfunktion dargestellt (vgl. Bleimann 1981, 140; Fandel 1991, 51). Die Definition muß nun stärker differenziert werden: Eine stetige Funktion $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ heißt Produktionsfunktion zur Technologie T und Präferenzstruktur \mathcal{P} oder kurz *Input/Output-Funktion*, wenn sie genau die effizienten Aktivitäten y in die Null abbildet:

$$(8) \quad f(y) = 0 \Leftrightarrow \mathcal{P}(y) \in \mathcal{P}(T)^{eff}.$$

Eine stetige Funktion $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ heißt Produktionsfunktion zur Ergebnismenge $\mathcal{P}(T)$ oder auch *Aufwand/Ertrag-Funktion*, wenn sie genau die effizienten Ergebnisvektoren e in die Null abbildet:

$$(9) \quad g(e) = 0 \Leftrightarrow e \in \mathcal{P}(T)^{eff}.$$

Für $\mathcal{P}(T) = T$ stimmen beide Produktionsfunktionen überein; für $\mathcal{P}(T) \neq T$ kann aus der Aufwand/Ertrag-Funktion in einfacher Weise eine korrespondierende Input/Output-Funktion gewonnen werden, indem $f(y) = g(\mathcal{P}(y))$ für $y \in T$ gesetzt wird. Damit ist klar, daß – in Verallgemeinerung der traditionellen Theorie – beide Produktionsfunktionen stets existieren, wenn der effiziente Rand $\mathcal{P}(T)^{eff}$ abgeschlossen ist (vgl. Bleimann 1981, 141). Allerdings ist zu beachten, daß zu einem effizienten Ergebnisvektor e mehrere effiziente Aktivitäten y mit $e = \mathcal{P}(y)$ gehören können, weil für effiziente Produktion die Quantitäten der neutralen Objekte keine Rolle spielen.

Produktionsfunktionen unterscheiden „gute“, nämlich effiziente, von „schlechten“, nämlich ineffizienten, Aktivitäten. Eine vollständige (Präferenz-)Ordnung der Aktivitäten wird – wie in Abschnitt 3 beschrieben – durch eine Erfolgsfunktion festgelegt. Das *Preistheorem* stellt nun einen Zusammenhang zwischen Produktionsfunktionen und linearen Erfolgsfunktionen

$$(10) \quad w(y) = q_1 y_1 + \dots + q_n y_n$$

her. Dabei beschreibt $q = (q_1, \dots, q_n)$ ein System konstanter, d.h. von den Aktivitäten y unabhängiger Preise, die positiv für Güter, negativ für Übel und gleich Null für Neutra sind und in diesem Zusammenhang als Lenkpreise interpretiert werden können (vgl. Wittmann 1968, 127). Das im Hin-

blick auf Übel und Neutra verallgemeinerte Preistheorem lässt sich nun über die Ergebnismenge aus dem bekannten Preistheorem nur für Güter ableiten (Dyckhoff 1991):

- (a) Jede für ein gegebenes Preissystem erfolgsmaximale Produktion ist effizient.
- (b) Zu jeder effizienten Produktion gibt es bei konvexer Technologie ein geeignetes Preissystem, für das sie auch erfolgsmaximal ist.

Bei Teilaussage (b) ist zu beachten, daß einzelne Güter- oder Übelpreise bei nichtlinearen Technologien in pathologischen – sogenannten „uneigentlich effizienten“ – Fällen auch gleich Null sein können. Der Unterschied zum traditionellen (Effizienz-)Preistheorem besteht in den negativen Preisen der Übel und dem Preis Null für die Neutra. Negative Effizienzpreise für schädliche Abfallprodukte beruhen hierbei auf entsprechende Präferenzen des Produzenten und sind keine Folge mengenmäßiger Beschränkungen, welche bekanntlich negative Schattenpreise hervorrufen können. Im Hinblick auf den Umweltschutz besagt Teil (a) des Preistheorems, daß erfolgsmaximale Produktion stets auch ökologisch effizient ist, falls der Erfolg des Produzenten die ökologisch relevanten Objektarten über (künstlich gesetzte) Preise berücksichtigt. Teil (b) besagt darüber hinaus, daß bei geeigneter Technologie das Verhalten eines den Erfolg maximierenden Produzenten über die Wahl entsprechender Preise beliebig gesteuert werden kann.

Zusammenfassung

Um Umweltschutzaspekte organisch in die Unternehmenstheorie zu integrieren, werden die Grundbegriffe und Grundannahmen der Koopmans'schen Aktivitätsanalyse systematisch erweitert. Es wird zwischen einer (weitgehend) wertfreien Input/Output-Ebene und einer Aufwand/Ertrag-Ebene mit rudimentären Bewertungen unterschieden. Beide Ebenen stimmen in der traditionellen Produktionstheorie überein. Es zeigt sich, daß die üblichen Grundannahmen der Aktivitätsanalyse auf die Aufwand/Ertrag-Ebene zu beziehen sind, wogegen sie auf der Input/Output-Ebene gegen elementare Naturgesetze verstößen können. Am Begriff der Produktionsfunktion und anhand des Effizienzpreistheorems wird beispielhaft nachgewiesen, daß die Struktur der traditionellen Theorie prinzipiell erhalten bleibt, allerdings die Aussagen differenzierter interpretiert werden müssen.

Summary

In order to better integrate aspects of environmental protection into economic theory the basic ideas of Koopmans' activity analysis are generalized. Based on the preferences of the producer two levels are distinguished. The usual postulates of activity analysis are valid for the effort/yield-level, but in general not for the input/output-level because of elementary laws of nature. Thus, the structure of traditional theory will be preserved for the effort/yield-level, however, with new interpretations of the results as far as the input/output-level is concerned. This is illustrated for the notion of the production function as well as for the efficiency price theorem.

Literatur

- Ayres, R. U. (1978), Resources, Environment, and Economics – Applications of the Materials/Energy Balance Principle.* New York et al.
- Bleimann, U. G. (1981), Darstellungsformen von Technologien in der Produktionstheorie – Entwicklungen und Strukturen.* Frankfurt.
- Bol, G. (1973), Stetigkeit und Effizienz bei mengenwertigen Produktionsfunktionen.* Meisenheim am Glan.
- Corsten, H. (1988), Betriebswirtschaftslehre der Dienstleistungsunternehmungen.* München.
- Debreu, G. (1976), Werttheorie.* Berlin. Heidelberg. New York.
- Dinkelbach, W. (1990), Elemente einer umweltorientierten betriebswirtschaftlichen Produktions- und Kostentheorie auf der Grundlage von LEONTIEF-Technologien,* in: Kistner, K.-P. et al. (Hrsg.), *Operations Research Proceedings 1989*, Berlin et al., 60 - 70.
- (1991), Effiziente Produktionen in umweltorientierten LEONTIEF-Technologien, in: Fandel, G./Gehring, H. (Hrsg.), *Operations Research – Beiträge zur quantitativen Wirtschaftsforschung*. Berlin et al., 361 - 375.
 - / Piro, A. (1989), Entsorgung und Recycling in der betriebswirtschaftlichen Produktions- und Kostentheorie: LEONTIEF-Technologien. *WISU* 18, 399 - 405, 474 - 480.
 - – (1990), Entsorgung und Recycling in der betriebswirtschaftlichen Produktions- und Kostentheorie: Gutenberg-Technologien. *WISU* 19, 640 - 645, 700 - 705.
- Dyckhoff, H. (1991), Berücksichtigung des Umweltschutzes in der betriebswirtschaftlichen Produktionstheorie,* in: Ordelheide, D./Rudolph, B./Büsselmann, E. (Hrsg.), *Betriebswirtschaftslehre und ökonomische Theorie*. Stuttgart, 275 - 309.
- (1992 a), Aktivitätsanalyse, in: Wittmann, W. et al. (Hrsg.), *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. Stuttgart.
 - (1992 b), Organische Integration des Umweltschutzes in die Betriebswirtschaftstheorie, in: Seidel, E. (Hrsg.), *Betrieblicher Umweltschutz*. Wiesbaden, 57 - 80.
- Faber, M./Niemes, H./Stephan, G. (1983), Entropie, Umweltschutz und Rohstoffverbrauch. Eine naturwissenschaftlich ökonomische Untersuchung.* Berlin et al.
- Fandel, G. (1991), Produktion I – Produktions- und Kostentheorie.* Berlin et al.
- Georgescu-Roegen, N. (1971), The Entropy Law and the Economic Process.* Cambridge.
- (1973), The entropy law and the economic problem, in: Daly, H. E. (Hrsg.), *Toward a Steady-State Economy*. San Francisco, 37 - 49.
- Haber, W. E. (1992), Landschaftsökologische Erkenntnisse als Grundlage wirtschaftlichen Handelns,* in: Seidel, E. (Hrsg.), *Betrieblicher Umweltschutz*. Wiesbaden, 15 - 30.
- Jahnke, B. (1986), Betriebliches Recycling – Produktionswirtschaftliche Probleme und betriebliche Konsequenzen.* Wiesbaden.
- Kistner, K.-P. (1983), Zur Erfassung von Umwelteinflüssen der Produktion in der linearen Aktivitätsanalyse.* WiSt 12, 389 - 395.

- Koopmans*, T. C. (1951), Analysis of production as an efficient combination of activities, in: *Koopmans, T. C. (Hrsg.)*, Activity Analysis of Production and Allocation. New York, 33 - 97.
- Liesegang*, D. G. (1991), Zur Methodik einer arbeitsteiligen Umweltwirkungsanalyse. Vortrag auf der Sitzung der Kommission Umweltwirtschaft im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaftslehre in Heidelberg am 5. Oktober 1991.
- Maleri*, R. (1991), Grundlagen der Dienstleistungsproduktion. Berlin et al.
- Plein*, P.-A. (1989), Umweltschutzorientierte Fertigungsstrategien. Wiesbaden.
- Schepers*, W. (1981), Produktion I: Produktionstheorie, in: *Albers, W. et al. (Hrsg.)*, Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft. Stuttgart et al., 256 - 276.
- Strebel*, H. (1989), Antwort im Rahmen des Meinungsspiegels zum Umweltschutz. BFuP 41, 87f.
- Richter*, R. (1990), Sichtweisen und Fragestellungen der Neuen Institutionenökonomik. ZWS 110, 571 - 591.
- Shephard*, R. W. (1970), Theory of Cost and Production Functions. New Jersey.
- Wittmann*, W. (1968), Produktionstheorie. Heidelberg.
- Wolf*, K. (1989), Sensitivitätsanalyse bezüglich der Änderung der Dominanzstruktur bei linearen Vektormaximumproblemen. Münster.