Zu einer allgemeinen Theorie des technischen Fortschritts — Kritik der Definitionen von J. R. Hicks und R. F. Harrod

Von Herwig Birg, Berlin

I. Überblick über die wichtigsten Ansätze zur ökonomischen Theorie des technischen Fortschritts

Die rasche Entwicklung der Technologie in unserem Jahrhundert hat dazu geführt, daß in vielen ökonomischen Kalkülen, insbesondere aber in wachstums- und verteilungstheoretischen, technologische Variablen in zunehmendem Maße Berücksichtigung finden. Dem steht die Tatsache gegenüber, daß bis heute keine allgemeine ökonomische Theorie der technischen Entwicklung existiert, auf deren Basis die Neufassung dieser Kalküle begründet werden könnte. Die verschiedenen heterogenen Ansätze, die als Vorstufen einer derartigen Theorie betrachtet werden können, lassen sich in folgende Konzeptionen klassifizieren, wobei als Klassifikationskriterium diejenigen Variablen (Symptom-Variablen des technischen Fortschritts) dienen, von denen Richtung und Ausmaß des technischen Fortschritts als einer Spezialform der technischen Entwicklung abhängen:

Figur 1

Symptom-Variablen des technischen Fortschritts

Zeitvariable	Zeitvariable + Input-Output-variablen	Zeitvariable + Input-Output-variablen + Entscheidungs-variablen
exogener Fortschritt	endogener Fortschritt autonomer	 induzierter
Konzept I	Konzept II	Konzept III

Die einzelnen Konzeptionen unterscheiden sich in modelltheoretischer Hinsicht nur in wenigen Punkten. Als Träger des technischen Fortschritts erscheint in den Modellen des Konzepts I lediglich die Variable Zeit, deren Veränderung als notwendige und hinreichende Bedingung der technischen Entwicklung angesehen wird[1]).

Verzeichnis der Abkürzungen auf Seite 346.

[1]) Konzept I: R. M. Solow, „Technical Change and the Aggregate Production Function", in: REstat, Vol. 39 (Aug. 1957), S. 312—320; J. Tinber-

Konzept II umfaßt drei verschiedene Ansätze und Modellgruppen, denen allen gemeinsam ist, daß die Veränderung der Zeitvariablen nur mehr als notwendige Bedingung der technischen Veränderung betrachtet wird. Als hinreichende Bedingung tritt in der Modellgruppe des vintage-Ansatzes[2]) die Voraussetzung hinzu, daß die Effizienz der Inputvariablen eine steigende Funktion der Zeit ist. In der Modellgruppe des learning-Ansatzes[3]) wird als hinreichende Bedingung vorausgesetzt, daß sich die Effizienz des Faktors Arbeit als eine steigende Funktion der Erfahrung darstellen läßt, die in der Produktion von Gütern gewonnen wird. In der dritten Modellgruppe schließlich, die auf einem von Kaldor verwendeten Ansatz[4]) basiert, wird als hinreichende Bedingung ein bestimmter, durch die sogenannte Fortschrittsfunktion ausgedrückter Zusammenhang zwischen den Wachstumsraten der Input-Outputvariablen gefordert.

In Konzept III bestimmen die Zeitvariablen, die Input-Outputvariablen, und eine dritte Variablengruppe, die Entscheidungsvariablen, die dazu dienen, die Allokation der Ressourcen zu beschreiben, simultan Richtung und Ausmaß der technischen Entwicklung[5]).

So heterogen diese einzelnen Konzepte in bezug auf die verwendeten Hypothesen auch sind, so läßt sich doch feststellen, daß sie die positive tech-

---

gen, „Zur Theorie der langfristigen Wirtschaftsentwicklung", in: WWA, Bd. 55 (1942 I), S. 511—549; V. W. Ruttan, „The Contribution of Technilogical Progress to Farm Output: 1950—75", in: REstat, Vol. 38 (Febr. 1956), S. 61—69.

[2]) Konzept IIa): vintage-Ansatz (capital embodied technical progress): R. M. Solow, „Investment and Technical Progress", in: „Mathematical Methods in the Social Sciences, 1959", Stanford: University Press, 1960, S. 89—104; E. S. Phelps, „Substitution, Fixed Proportions, Growth, and Distribution", in: IER, Vol. 4 (Sept. 1963), S. 265—288; L. Johansen, „Substitution versus Fixed Production Coefficients in the Theory of Economic Growth: A Synthesis", in: ECM, Vol. 27 (April 1959), S. 157—176; C. Chr. v. Weizsäcker, „Zur ökonomischen Theorie des technischen Fortschritts", Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1956; McCarthy, „Embodied and Disembodied Technical Progress in the Constant Elasticity of Substitution Production Function", in: REstat, Vol. 47 (Febr. 1965), S. 71—75; D. W. Jorgenson, „The Embodiment Hypothesis", in: JPE, Vol. 74 (Febr. 1966), S. 1—17.

[3]) Konzept IIb): learning-Ansatz: T. P. Wright, „Factors Affecting the Cost of Airplanes", in: Journal of Aeronautical Sciences, Vol. 3 (No. 4, Febr. 1936), S. 122—128; W. Z. Hirsch, „Firm Progress Ratios", in: ECM, Vol. 24 (April 1956), S. 136—143; A. D. Searle u. C. S. Gody, „Productivity Changes in Selected Wartime Shipbuilding Programs", in: MLR, Vol. 61 (Dez. 1945), S. 1132—1147; H. Asher, „Cost-Quantity Relationship in the Airframe Industry", Project RAND Paper R-291, RAND Corp., Santa Monica/Calif., Juli 1956; W. Z. Hirsch, „Manufacturing Progress Functions", in: REstat, Vol. 34 (Mai 1952), S. 143—155; L. Rapping, „Learning and World War II Production Functions", in: REStud, Vol. 47 (Febr. 1956), S. 81—86; K. J. Arrow, „The Economic Implications of Learning by Doing", in: REstud, Vol. 29 (1961/62), S. 155—173.

[4]) Konzept II c): Kaldor-Ansatz: N. Kaldor, »A Model of Economic Growth", in: EJ, Vol. 67 (Dez. 1957), S. 591—623.

[5]) Konzept III: K. Shell, „Toward a Theory of Inventive Activity and Capital Accumulation", in: AER, Vol. 56 (Mai 1966), Pap. a. Proc., S. 62—68.

nologische Entwicklung, den sog. technischen Fortschritt, einheitlich wie folgt definieren: Eine technologische Entwicklung, repräsentiert durch eine zeitliche Veränderung der Produktionsfunktion, stellt dann und nur dann technischen Fortschritt dar, wenn entweder mit den bisherigen Ressourcen ein höherer Ertrag erzielt werden kann oder zur Erzeugung des bisherigen Ertrages geringere Mengen an Ressourcen ausreichen. Um Spezialfälle dieses technischen Fortschritts identifizieren zu können, haben Hicks und Harrod versucht, die obige Definition mit Hilfe der produktionstheoretischen Begriffe „Grenzproduktivität" sowie „Kapitalkoeffizient" äquivalent zu umschreiben[6]). Da in den meisten Neuveröffentlichungen zur Theorie des technischen Fortschritts immer wieder auf diese äquivalenten Definitionen zurückgegriffen wird, bzw. bei neuen Definitionen stets der Versuch unternommen wird, eine Übereinstimmung mit denen von Hicks oder Harrod aufzuweisen, ist die Frage von einigem Interesse, inwieweit die Definitionen von Hicks bzw. von Harrod der allgemeinen Definition wirklich äquivalent sind. Diese Frage sowie einige ihrer möglichen Konsequenzen werden im folgenden untersucht.

II. Die Definition von Hicks

Hicks definiert neutralen bzw. nicht neutralen technischen Fortschritt wie folgt: "If we concentrate on two groups of factors, 'labour' and 'capital', and suppose them to exhaust the list, then we can classify inventions according as their initial effects are to increase, leave unchanged, or diminish the ratio of the marginal product of capital to that of labour. We may call these inventions 'labour-saving', 'neutral', and 'capital-saving' respectively. 'Labour-saving' inventions increase the marginal product of capital more than they increase the marginal product of labour; 'capital-saving' inventions increase the marginal product of labour more than that of capital; 'neutral' inventions increase both in the same proportion."[7]) Um die Implikationen dieser Definition prüfen zu können, werden einige Formalisierungen vorgenommen.

Die Produktionsfunktionen in einem Zeitpunkt $t = t_1$ vor Realisierung des Fortschritts und in einem Zeitpunkt $t_2 > t_1$ nach der Realisierung seien

$$X = F(v_1, v_2, \ldots, v_n), (t = t_1) \tag{1}$$

$$X = G(v_1, v_2, \ldots, v_n), (t = t_2) \tag{2}$$

wobei X für ein homogenes Outputgut und $v_1, v_2, \ldots, v_n$ für eine beliebige Anzahl von nicht spezifizierten Produktionsfaktoren stehen. (Die Hickssche Definition des neutralen technischen Fortschritts, nicht dagegen die Harrodsche, läßt sich auf den n-Faktoren-Fall übertragen — ein Vorteil, der wahrgenommen wird, weil sich die Implikationen dieser Definition so am besten darstellen lassen. In der Kritik der Hicksschen Definition wird dann

[6]) Andere gebräuchliche äquivalente Definitionen, wie z. B. die von J. Robinson und A. E. Ott, lassen sich auf die Definitionen von Hicks bzw. von Harrod zurückführen. Vgl. z. B. H. Uzawa, "Neutral Inventions and the Stability of Growth Equilibrium", in: REstud, Vol. 28 (1960/61), S. 117—124.

[7]) J. R. Hicks, "The Theory of Wages", 2. Aufl., London: Macmillan 1963. S. 121/122.

wieder auf den von Hicks behandelten 2-Faktoren-Fall mit den beiden Faktoren Arbeit und Kapital zurückgegangen.)

In den beiden Zeitpunkten sollen folgende Faktoreinsatzmengenvektoren existieren:

$$v^{(1)} = (v_1^{(1)}, v_2^{(1)}, \ldots, v_n^{(1)}), \quad (t = 1) \tag{3}$$

$$v^{(2)} = (v_1^{(2)}, v_2^{(2)}, \ldots, v_n^{(2)}), \quad (t = 2)\ . \tag{4}$$

Unter Verwendung der Grenzproduktivitäten der Faktoren $(\partial F/\partial v_i)$, $i = 1, 2, \ldots, n$, lautet die Definition des neutralen Fortschritts

$$\frac{\partial F}{\partial v_i}\, a = \frac{\partial G}{\partial v_i} \qquad \begin{matrix} i = 1,2,\ldots,n \\ a > 1 \end{matrix} \tag{5}$$

Das Neutralitätskriterium (Gleichung (5)) kann in mehreren Fällen erfüllt sein:

$$\text{1. Fall } \left(\frac{\partial F}{\partial v_i}\right)_{v(1)} a = \left(\frac{\partial G}{\partial v_i}\right)_{v(1)}, \ i = 1,2,\ldots,n \tag{6}$$

$$\text{2. Fall } \left(\frac{\partial F}{\partial v_i}\right)_{v(1)} a = \left(\frac{\partial G}{\partial v_i}\right)_{v(2)}, \ i = 1,2,\ldots,n \tag{7}$$

$$\text{3. Fall } \left(\frac{\partial F}{\partial v_i}\right)_{v(2)} a = \left(\frac{\partial G}{\partial v_i}\right)_{v(1)}, \ i = 1,2,\ldots,n \tag{8}$$

$$\text{4. Fall } \left(\frac{\partial F}{\partial v_i}\right)_{v(2)} a = \left(\frac{\partial G}{\partial v_i}\right)_{v(2)}, \ i = 1,2,\ldots,n, \tag{9}$$

wobei die Grenzproduktivitäten vom jeweiligen Vektor $v^{(1)}$ bzw. $v^{(2)}$ mitbestimmt werden. Außerdem sind folgende Fälle denkbar:

$$\text{5. Fall } \left(\frac{\partial F}{\partial v_i}\right)_{v(1)} a = \left(\frac{\partial G}{\partial v_i}\right)_{v(x)}, \ i = 1,2,\ldots,n \tag{10}$$

$$\text{6. Fall } \left(\frac{\partial F}{\partial v_i}\right)_{v(y)} a = \left(\frac{\partial G}{\partial v_i}\right)_{v(x)}, \ i = 1,2,\ldots,n, \tag{11}$$

wobei $v^{(x)}$ und $v^{(y)}$ nichtrealisierte, von $v^{(1)}$ und $v^{(2)}$ verschiedene Vektoren beschreiben.

Hierbei stellen sich zwei Fragen: 1. Welches der sechs Kriterien legte Hicks seiner Definition zugrunde? 2. Nach welchem Gesichtspunkt sollte eine Auswahl aus den Kriterien getroffen werden? Weder bei Hicks noch bei anderen Autoren findet sich auf diese Fragen eine präzise Antwort. Da aber das Kriterium (5) von Hicks auch in anderer Form verwendet wird, liegt der Gedanke nahe, an Hand dieser zweiten Form einen Anhaltspunkt für die Auswahl zu suchen. In seiner zweiten Form lautet Kriterium (5): Der Fortschritt war dann neutral, wenn er die Einkommensverteilung unverändert ließ. Zunächst wäre somit zu prüfen, inwieweit die Struktur der Einkommensverteilung durch die Grenzproduktivitäten beschrieben werden kann, d. h. inwieweit diese beiden Formen des Kriteriums (5) identisch sind.

Handelt es sich bei beiden Produktionsfunktionen um Funktionen mit einer Homogenität vom Grade 1, so gilt unter Verwendung der Grenzproduktivitätstheorie der Verteilung für das Gesamteinkommen Y folgender Ausdruck

(12) $$Y = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial X}{\partial v_i} v_i P = X P, \; i = 1,2,\ldots,n,$$

wobei P für das Preisniveau steht. Es zeigt sich, daß die jeweils realisierte oder potentielle Verteilungsstruktur ausschließlich von den Faktorelastizitäten abhängt. Wenn die beiden Formen des Kriteriums (5) identisch sein sollen, dann muß demnach folgende Bedingung gelten: Eine gleich starke Erhöhung der Grenzproduktivitäten verändert nicht das gegenseitige Verhältnis der Faktorelastizitäten. Offenbar ist dies aber nur die notwendige Bedingung der verlangten Identität; sie ist, wie (12) zeigt, stets erfüllt. Die hinreichende Bedingung lautet, daß die Gleichheit der Steigerungen der Grenzproduktivitäten bei einem Vergleich von zwei Vektoren vorliegen muß, von denen der eine durch Multiplikation mit einem Skalar in den anderen umgewandelt werden kann. Nach dieser hinreichenden Bedingung muß die Auswahl aus der Vielzahl der Fälle des Kriteriums (5) getroffen werden. In den meisten praktischen Beispielen der technischen Entwicklung kann nun der realisierte Vektor $v^{(2)}$ nicht durch Multiplikation mit einem Skalar in den Vektor $v^{(1)}$ zurückgeführt werden (der Fortschritt war mit Faktorsubstitution verbunden). Um den Vergleich vornehmen zu können, muß deshalb $v^{(2)}$ in eine substitutionsbereinigte Form $v^{(x)}$ transformiert werden, die durch Multiplikation mit einem Skalar mit $v^{(1)}$ identisch wird. Diesem Vergleich liegt dann das Kriterium nach Fall 5, Gleichung (10), zugrunde.

An einem Beispiel sei demonstriert, wie es ohne Berücksichtigung des richtigen Vergleichskriteriums zu einer Fehlbeurteilung der technischen Entwicklung kommen kann. K_1 und L_1 seien die im Zeitpunkt t_1 eingesetzten Faktoren, die Produktionsfunktion (Cobb-Douglas-Funktion) laute:

(13) $$X_1 = A_1 L_1^{\alpha_1} K_1^{\beta_1} \; ; \left.\begin{matrix}\alpha_1\\ \beta_1\\ A_1\end{matrix}\right\} \begin{matrix}> 0\\ \text{const.}\end{matrix} \qquad ; \alpha_1 + \beta_1 = 1.$$

Entsprechend gelte im Zeitpunkt t_2

(14) $$X_2 = A_2 L_2^{\alpha_2} K_2^{\beta_2} \; ; \left.\begin{matrix}\alpha_2\\ \beta_2\\ A_2\end{matrix}\right\} \begin{matrix}> 0\\ \text{const.}\end{matrix} \qquad ; \alpha_2 + \beta_2 = 1.$$

Dabei mögen folgende Relationen bestehen:

(15) $$\alpha_2 = p\,\alpha_1, \; p > 0, p \neq 1$$

(16) $$\beta_2 = q\,\beta_1, \; q > 0, q \neq 1$$

(17) $$A_2 = r\,A_1, \; r > 1$$

(18) $$K_1 = k_1 L_1, \; k_1 > 0$$

(19) $$K_2 = k_2 L_2, \; k_2 > 0.$$

Die Grenzproduktivitäten der Faktoren in den beiden Zeitpunkten lauten dann

$$P_{L_1} = A_1\alpha_1 L_1^{\alpha_1 - 1} k_1^{\beta_1} L_1^{\beta_1} = A_1\alpha_1 k_1^{\beta_1} \tag{20}$$

$$P_{L_2} = A_2\alpha_2 L_2^{\alpha_2 - 1} k_2^{\beta_2} L_2^{\beta_2} = A_2\alpha_2 k_2^{\beta_2} \tag{21}$$

$$P_{K_1} = A_1 L_1^{\alpha_1} \beta_1 k_1^{\beta_1 - 1} L_1^{\beta_1 - 1} = A_1\beta_1 k_1^{\beta_1 - 1} \tag{22}$$

$$P_{K_2} = A_2 L_2^{\alpha_2} \beta_2 k_2^{\beta_2 - 1} L_2^{\beta_2 - 1} = A_2\beta_2 k_2^{\beta_2 - 1}. \tag{23}$$

Für die Steigerungsquoten der Produktivitäten erhält man:

$$P_{K_2}/P_{K_1} = q\,r\,\frac{k_2^{q\beta_1 - 1}}{k_1^{\beta_1 - 1}} = a \tag{24}$$

$$P_{L_2}/P_{L_1} = p\,r\,\frac{k_2^{q\beta_1}}{k_1^{\beta_1}} = b. \tag{25}$$

Das Neutralitätskriterium in seiner verbalen Form ist erfüllt, wenn $a = b$. Dies ist der Fall für

$$k_1/k_2 = p/q. \tag{26}$$

Gemäß (26) liegt also neutraler Fortschritt vor auch für $(p/q) \neq 1$. Bei $p \neq 1$ und $q \neq 1$ haben sich jedoch die Faktorelastizitäten verändert, d. h. die Einkommensverteilung hat sich umstrukturiert — offenbar ein Widerspruch. Dieser Widerspruch läßt sich noch dadurch vermeiden, indem man als Kriterium für neutralen technischen Fortschritt fordert, daß $a = b$ gelten soll für die zusätzliche Bedingung $(p/q) = 1$, d. h. indem man den Produktivitätsvergleich substitutionsbereinigt für konstante Kapitalintensität durchführt.

Nun sind aber Arten der technischen Entwicklung denkbar, die durch keines der in der Hicksschen Definition enthaltenen Kriterien eindeutig beurteilt werden können. Angenommen die Entwicklung sei durch folgende Veränderungen charakterisiert:

$$L_2 = m\,L_1 \tag{27}$$

$$K_2 = e\,K_1 \tag{28}$$

$$\alpha_2 = p\alpha_1 \tag{29}$$

$$\beta_2 = q\,\beta_1 \tag{30}$$

$$A_2 = r\,A_1 \tag{31}$$

$$1 = \alpha_1 + \beta_1 \tag{32}$$

$$1 = \alpha_2 + \beta_2 = p\alpha_1 + q\beta_1. \tag{33}$$

Dann ist

$$X_1 = A_1 L_1^{\alpha_1} K_1^{\beta_1} \tag{34}$$

$$X_2 = A_2 L_2^{\alpha_2} K_2^{\beta_2} = r\,A_1 (m\,L_1)^{p\alpha_1} (e\,K_1)^{q\beta_1}. \tag{35}$$

Für die Veränderungsquote des Outputs erhält man

$$Q_X = \frac{X_2}{X_1} = r\,m^{p\alpha_1}\,e^{q\beta_1}\,\frac{K_1^{\beta_1(q-1)}}{L_1^{\alpha_1(1-p)}}. \tag{36}$$

Mit (33) gilt für die Exponenten des Bruches in (36)

(37) $$\beta_1(q-1) = \alpha_1(1-p),$$

so daß

(38) $$Q_X = r\, e^{\beta_2} m^{\alpha_2} k_1^{\beta_1(q-1)}.$$

Für die Veränderungsquoten der Produktivitäten ergibt sich mit (24) und (25)

(39) $$Q_K = P_{K_2}/P_{K_1} = q\, r\, e^{-\alpha_2} m^{\alpha_2} k_1^{\beta_1(q-1)}$$

(40) $$Q_L = P_{L_2}/P_{L_1} = p\, r\, e^{\beta_2} m^{-\beta_2} k_1^{\beta_1(q-1)},$$

wobei $k_2 = (e/m)\, k_1$ substituiert wurde.

Es sei nun angenommen, daß die Produktionselastizität des Kapitals gesunken und die der Arbeit gestiegen ist. Beide Elastizitäten mögen sich aber nach wie vor zu 1 ergänzen. Dann ist $0 < q < 1$ und $p > 1$. Bei vorgegebenem β_1 bzw. α_1 erhält man aus der Bedingung

$$1 = p\,\alpha_1 + q\,\beta_1$$

folgende Beziehung zwischen den Veränderungsquoten der Produktionselastizitäten

(41) $$q = -p(1-\beta_1)/\beta_1 + 1/\beta_1.$$

Wenn nun $0 < q < 1$ und $0 < \beta_1 < 1$, dann sind Q_X, Q_K und Q_L monoton sinkende Funktionen in k_1. Angenommen die Q_X-Funktion verlaufe oberhalb der Q_K-Funktion und die Q_L-Funktion liege stets über der Q_X-Funktion, dann lassen sich aus der Bedingung

(42) $$Q_K < Q_X < Q_L \qquad \text{für } k_1 > 0$$

bestimmte Beziehungen ableiten, die die Parameter erfüllen müssen.

Aus $Q_K < Q_X$ erhält man mit (38) und (39) zunächst die Relation

(43) $$q\, r\, e^{-\alpha_2} m^{\alpha_2} k_1^{\beta_1(q-1)} < r\, e^{\beta_2} m^{\alpha_2} k_1^{\beta_1(q-1)}$$

bzw.

(44) $$q < e.$$

Aus $Q_X < Q_L$ ergibt sich mit (38) und (40)

(45) $$m < p.$$

(42) ist erfüllt, wenn m, e, p und q den Ungleichungen (44) und (45) genügen, und zwar unabhängig davon, wie groß r ist. In Fig. 2 ist die relative Lage der drei Funktionen in Abhängigkeit von k_1 skizziert.

Dabei wurden die beiden Fälle $r < 1$ und $r > 1$ herausgegriffen. Die Abszissenwerte dieser Funktionen für $Q_K = Q_X = Q_L = 1$ sind

(46) $$k_{1,X} = (r\, e^{\beta_2} m^{\alpha_2})^{-1/\beta_1(q-1)}$$

(47) $$k_{1,K} = (q\, r\, e^{-\alpha_2} m^{\alpha_2})^{-1/\beta_1(q-1)}$$

(48) $$k_{1,L} = (p\, r\, e^{\beta_2} m^{-\beta_2})^{-1/\beta_1(q-1)}.$$

Betrachtet man den Fall einer technischen Entwicklung, bei dem ein gestiegener Produktionsertrag mit gesunkenen Faktoreinsätzen verbunden ist, dann muß gelten $0 < e < 1$ und $0 < m < 1$. Ist zusätzlich $q < e$, dann sind (44) und (45) und mithin (42) erfüllt. Soll in dem betrachteten Fall außerdem die Grenzproduktivität des Kapitals gesunken und die der Arbeit gestiegen sein,

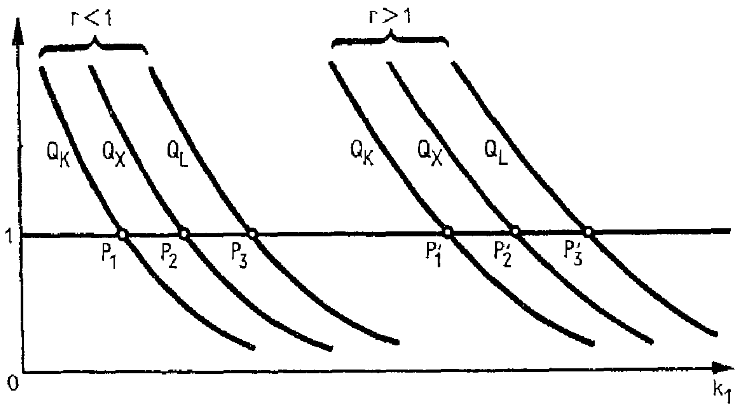

Fig. 2

so muß k_1 zwischen P_1 und P_2 bzw. zwischen P'_1 und P'_2 liegen (Fig. 2), d. h. k_1 muß der Ungleichung

$$(49) \qquad (r\, e^{\beta_2} m^{\alpha_2})^{-1/\beta_1(q-1)} < k_1 < (q\, r\, e^{-\alpha_2} m^{\alpha_2})^{-1/\beta_1(q-1)}$$

genügen.

Gemäß der Hicksschen Definition wäre dieser Entwicklungsfall nicht mit technischem Fortschritt zu identifizieren, denn das würde voraussetzen, daß beide Produktivitäten gestiegen sind. Nach der allgemeinen Definition, wonach der Produktionsertrag bei gleichen oder gesunkenen Faktoreinsätzen gestiegen ist, liegt jedoch technischer Fortschritt vor. Die Hickssche und die allgemeine Definition stehen hier also im Widerspruch. Dieser Widerspruch läßt sich nicht mehr dadurch beseitigen, daß man anstatt des Vergleichskriteriums Nr. 2 (Gleichung 7) das Kriterium nach Gleichung 10 anwendet, denn auch für $k_1 = k_2$, d. h. für $e = m$, $q < e < 1$, bleibt die Argumentation unverändert.

Man könnte daran denken, den Widerspruch durch eine Abänderung der Hicksschen Definition zu umgehen, indem man den Tatbestand des technischen Fortschritts mit der Steigerung nur einer der beiden Produktivitäten identifiziert. Ein Blick auf Fig. 2 zeigt jedoch sofort, daß dadurch ein neuer Widerspruch entstünde: Läge k_1 zwischen P_2 und P_3 bzw. zwischen P'_2 und P'_3, dann wäre dieser Fortschritt mit einem gesunkenen Output verbunden, während die Faktoreinsätze beide gestiegen sein könnten (Ungleichung (42) ist auch erfüllt für e und m größer 1).

Sieht man von anderen Abänderungen der Hicksschen Definition ab, so muß die Anwendung der Definition auf bestimmte Entwicklungen der Größen A, α, β, L und K beschränkt bleiben, wenn sich mit der allgemeinen Definition kein Widerspruch ergeben soll. Die Definition ist dann nicht anwendbar auf folgende 4 Klassen von Entwicklungsfällen:

(a) $k_{1,K} < k_1 < k_{1,X}$
$0 < q < e < 1, \quad 0 < m < 1 < p, \quad r < 1$

(b) Bedingungen wie (a) und zusätzlich $e = m$

(c) $k_{1,K} < k_1 < k_{1,X}$

$0 < q < e < 1, \quad 0 < m < 1 < p, \quad r > 1$

(d) Bedingungen wie (c) und zusätzlich $e = m$

An dieser Stelle sei noch auf zwei weitere Ansatzpunkte der Kritik hingewiesen, deren Bedeutung in Abschnitt IV zu umreißen ist.

1. Aus Fig. 2 ist zu ersehen, daß nach Hicks der Tatbestand des technischen Fortschritts unabhängig davon vorliegen kann, ob der Skalenparameter der Produktionsfunktion gestiegen oder gefallen ist. (Für k_1 links von P_1 bzw. P'_1.)

2. Für den Fall, daß $\alpha_1 + \beta_1 = 1$ und $\alpha_2 + \beta_2 > 1$ ($p > 1$, $q > 1$), erhält man $Q_X < 1$ für $Q_L > 1$ und $Q_K > 1$ bei bestimmten $k_1 > O$.[8])

Beschränkt man die Anwendung der Hicksschen Definition nicht auf linearhomogene Produktionsfunktionen, so kann demnach der technische Fortschritt (Steigerung beider Produktivitäten) mit einem Sinken des Produktionsertrages bei gleichen oder gestiegenen Faktoreinsätzen verbunden sein. Dieser Widerspruch ist in Fig. 3 illustriert, wo gemäß der Hicksschen Definition die Realisation Q_2 technischen Fortschritt und die Realisation Q'_2 technischen Rückschritt repräsentieren.

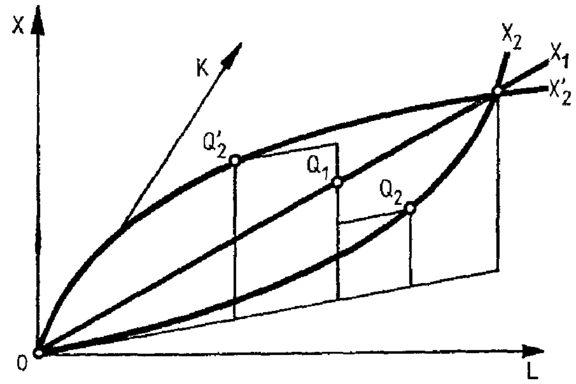

Fig. 3

III. Die Definition von Harrod/Robinson

Harrods Definition des technischen Fortschritts lautet: „Ich definiere neutralen Fortschritt als solchen, der bei konstantem Zinsfuß den Wert des (durchschnittlichen, d. V.) Kapitalkoeffizienten nicht stört ...“[9]) Arbeitsparend ist dieser Fortschritt, wenn er bei demselben Zinsfuß den Wert des Kapitalkoeffizienten erhöht, kapitalsparend, wenn er diesen Wert senkt. Auf dieser Definition, in der der Kapitalkoeffizient explizit erscheint, ist ursprünglich die Klassifikation von Joan Robinson aufgebaut. In der Rezension der „Essays in the Theory of Employment“ von Joan Robinson übte Harrod an dieser Klassifikation Kritik und schlug als Klassifikationskrite-

---

[8]) Dasselbe erhält man für $\alpha_2 + \beta_2 < 1$ und $p < 1$, $q < 1$.

[9]) R. F. Harrod, „Dynamische Wirtschaft“, Übersetzg.: L. Bosse, Wien-Stuttgart: Humboldt Verlag, 1949, S. 34/35.

rium die Konstanz der Einkommensverteilung anstatt der Robinsonschen Konstanz des Kapitalkoeffizienten (beide für gleichbleibenden Zins) vor.[10]) Daraufhin wies zunächst Joan Robinson[11]) und dann H. Uzawa[12]) nach, daß beide Kriterien identisch sind. Es genügt deshalb, die Implikationen der Harrodschen Definition zu prüfen. Dies soll anhand von zwei gebräuchlichen Produktionsfunktionen geschehen, der CES-Funktion und der Cobb-Douglas-Funktion.

Die CES-Funktion lautet

$$X = A_1[\delta K^{-\varrho} + (1 - \delta)\, L^{-\varrho}]^{-1/\varrho}, \tag{50}$$

wobei die Substitutionselastizität σ über die Gleichung

$$\varrho = (1/\sigma) - 1 \tag{51}$$

in (50) eingeht.

Die Harrodsche Definition des neutralen Fortschritts kann mathematisch wie folgt wiedergegeben werden: beim Vergleich für die beiden Vektoren $v^{(1)}$ und $v^{(2)}$ muß unter Verwendung von (50) gelten

$$\left(\frac{\partial X}{\partial K}\,\frac{K_1}{X_1}\right)_{v(1)} = \left(\frac{\partial X}{\partial K}\,\frac{K_2}{X_2}\right)_{v(2)}, \tag{52}$$

wobei gleichzeitig die Gleichung

$$\left(\frac{\partial X}{\partial K}\right)_{v(1)} = \left(\frac{\partial X}{\partial K}\right)_{v(2)} \tag{53}$$

erfüllt sein muß. Um überprüfen zu können, ob die Harrodsche Definition in jedem Falle der allgemeinen Definition äquivalent ist, soll die zeitliche Entwicklung der Inputs sowie der Parameter wie folgt formalisiert werden:

$$A_2 = r\, A_1, \qquad r > 1 \tag{54}$$

$$k_1 = K_1/L_1, \quad k_1 > 0 \tag{55}$$

$$k_2 = K_2/L_2, \quad k_2 > 0 \tag{56}$$

$$k_2 = \tau\, k_1, \qquad \tau > 0 \tag{57}$$

$$\delta_2 = s\, \delta_1, \qquad s > 0 \tag{58}$$

$$\varrho_2 = u\, \varrho_1, \qquad u > 0. \tag{59}$$

Unter Verwendung von (50) und (54)—(59) lautet die Bedingung (52):

$$\delta_1 + (1 - \delta_1)k_1^{\varrho_1} = s^{-1}[s\,\delta_1 + (1 - s\,\delta_1)\,\tau^{u\varrho_1}k_1^{u\varrho_1}]. \tag{60}$$

Bedingung (53), die gleichzeitig erfüllt sein muß, lautet:

$$\delta_1 + (1 - \delta_1)k_1^{\varrho_1} = (rs)^{\frac{\varrho_1}{-1-\varrho_1}}\left[s\,\delta_1 + (1 - s\,\delta_1)\,\tau^{u\varrho_1}k_1^{u\varrho_1}\right]^{\frac{-1-u\varrho_1}{u(-1-\varrho_1)}}. \tag{61}$$

---

[10]) Vgl. R. F. H a r r o d, Rezension der "Essays in the Theory of Emplyoment" v. J o a n R o b i n s o n. In: EJ, Vol. 47 (Juni 1937), S. 329.

[11]) Vgl. J. R o b i n s o n, "The Classification of Inventions", in: REstud. Vol. 5 (1937/38), S. 139—142.

[12]) Vgl. H. U z a w a, "Neutral Inventions . . .", op. cit., S. 119.

Substituiert man (60) in (61), so erhält man folgende Relation, die angibt, wie die Veränderungen des Ausgangsvektors und der Parameter beschaffen sein müssen, damit von neutralem Fortschritt gesprochen werden kann:

(62) $$r = s^{1/\varrho_1} \left\{ s\,\delta_1 \left[1 - (\tau\, k_1)^{u\varrho_1}\right] + \left[\tau\, k_1\right]^{u\varrho_1} \right\}^{(1-u)/u\varrho_1} .$$

Es soll nun gezeigt werden, daß die Harrodsche Definition zumindest im Falle arbeitssparenden Fortschritts der allgemeinen Definition widersprechen kann.

Bei arbeitsparendem Fortschritt lautet Bedingung (52):

(63) $$\delta_1\, K_1^{-\varrho_1} B^{-1} < s\,\delta_1\, K_2^{-u\varrho_1} C^{-1} ,$$

wobei

$$B = \delta_1\, K_1^{-\varrho_1} + (1 - \delta_1)\, L_1^{-\varrho_1}$$

$$C = s\,\delta_1\, K_2^{-u\varrho_1} + (1 - s\,\delta_1)\, L_2^{-u\varrho_1} .$$

Für $\varrho_1 = 1$, $u = 1$, $K_1 = K_2$ und $L_1 = L_2$ wird (63) nach Umformungen zu

(64) $$s > 1 .$$

Die Bedingung konstanten Zinses lautet

(65) $$(-1/\varrho_1)\, A_1\, B^{(-1/\varrho_1)-1} (-\varrho_1)\, \delta_1\, K_1^{-\varrho_1 - 1}$$
$$= (-1/u\,\varrho_1) r\, A_1\, C^{(-1/u\varrho_1)-1} (-u\,\varrho_1)\, s\,\delta_1\, K_2^{-u\varrho_1 - 1} .$$

Unter den gleichen Substitutionen wie bei (63) läßt sich diese Bedingung umformen in

(66) $$r = \left[\frac{s^{1/2}\,\delta_1 + \left(\frac{1}{s^{1/2}} - s^{1/2}\,\delta_1 \right) k_1}{\delta_1 + (1 - \delta_1)\, k_1} \right]^2 .$$

Ist nun z. B. $\delta_1 = 0{,}2$ für $L_1 = 100$ und $K_1 = 10$, dann erhält man bei $s = 4 > 1$ eine Erhöhung des Skalenfaktors um das Vielfache

(67) $$r = (41^2/28^2) > 1 .$$

Der Zins ist für $A_1 = 1/100$ in beiden Zeitpunkten konstant mit $20/28^2 = 2{,}5\ \%$. Dabei ist der Output bei gleichen Faktoreinsätzen von $X_1 = 10/28$ auf $X_2 = (10/28)\,(41/56)$ gesunken. In entsprechendem Ausmaß sank damit auch der Kapitalkoeffizient.

Darüber hinaus kann nicht ausgeschlossen werden, daß sich für

(68) $$L_2 \neq L_1$$

(69) $$K_2 \neq K_1$$

(70) $$u \neq 1$$

(71) $$\varrho_1 \neq 1$$

(72) $$r > 1$$

derartige Widersprüche mit der allgemeinen Definition des technischen Fortschritts ergeben können.

Nun kann zwar nicht behauptet werden, daß die Harrodsche Definition stets zu derartigen Fehlbeurteilungen der Entwicklung führen muß. Die Zahl der Fälle, in denen diese Definition sinnvolle Beurteilungen der technischen Entwicklung erlaubt, d. h. bei denen sie dem allgemeinen Kriterium nicht widerspricht, scheint im Gegenteil die Mehrzahl der praktischen Fälle der technischen Entwicklung zu umfassen. Aber gegen die Zweckmäßigkeit der Harrodschen Definition läßt sich ein weiteres Argument anführen, das m. E. noch schwerer wiegt als das obige[13]). Dieses Argument ergibt sich aus folgender These. Zu den wichtigsten Theoremen, die in Beiträgen[14]) zur Theorie des technischen Fortschritts enthalten sind, gehört die Aussage, daß es bei jeder wirtschaftlichen Entwicklung möglich und sinnvoll sei, die Gesamtwirkung der Entwicklung analytisch in einen Substitutionseffekt einerseits und in einen Fortschrittseffekt andererseits zu trennen. Unter Substitutionseffekt wird dabei die Wirkung verstanden, die eine mengenmäßige Veränderung der Inputgrößen auf die gesamtwirtschaftliche Outputgröße ausübt, wenn die Parameter der Produktionsfunktion als konstant betrachtet werden. Unter dem Fortschrittseffekt versteht man dagegen diejenige Wirkung auf den Output, die von einer Veränderung der Parameter der Produktionsfunktion ausgeht, wobei die Inputgrößen als Konstante betrachtet werden. Beide Effekte treten in der Realität gleichzeitig auf, doch ist ihre analytische Trennung möglich, wenn unterstellt wird, daß die Veränderung der Parameter der Produktionsfunktion nicht von der Richtung oder der Schnelligkeit der Veränderungen in der Inputstruktur beeinflußt wird[15]). Identifiziert man aber einen ökonomischen Sachverhalt (den neutralen technischen Fortschritt) mit einer bestimmten funktionalen Verknüpfung von Input- und Parameterveränderungen, d. h. von Fortschritts- und Substitutionswirkungen, dann kann man diese beiden Effekte als voneinander abhängig betrachten. Die analytische Trennung der beiden Effekte ist daher nur dann aufrechtzuerhalten, wenn man sich zu einer Definition des technischen Fortschritts entschließt, die ausschließlich Verschiebungen der Produktionsfunktion als neutralen Fortschritt deklariert, ohne daß zur Voraussetzung gemacht wird, daß außer derartigen Verschiebungen der Produktionsfunktion zusätzlich eine bestimmte Veränderung der Inputgrößen erfolgt sein muß. Nimmt man diese Voraussetzung mit hinzu und arbeitet mit einer Definition, die den Fortschrittseffekt mit dem Substitutionseffekt verknüpft, so können diese beiden Effekte nicht mehr analytisch getrennt werden — ein Resultat, das durch eine zweckmäßige Definition des technischen Fortschritts vermieden werden könnte.

Anhand der Gleichung (62) ist zu erkennen, daß die Harrodsche Definition des neutralen Fortschritts eine Verknüpfung zwischen Fortschrittseffekt (bei $r > 1$) und Substitutionseffekt (bei $\tau \neq 1$) in die Definition mit aufnimmt. Dies hat zur Folge, daß diese Gleichung nur dann erfüllt ist und somit nur dann eine Veränderung der Parameter der Produktionsfunktion als tech-

---

[13]) Es kann von vornherein nicht ausgeschlossen werden, daß dieses Argument nicht auch gegen die Hickssche Definition sprechen kann.

[14]) Vgl. z. B. A. E. Ott, „Produktionsfunktion, technischer Fortschritt und Wirtschaftswachstum", in: Niehans, Bombach, Ott, „Einkommensverteilung und technischer Fortschritt", SVSP, N. F. 17 (1959), S. 168 f.

[15]) Auf diese unrealistische Annahme wird in Abschnitt IV einzugehen sein.

nischer Fortschritt ausgewiesen wird, wenn gleichzeitig bestimmte Veränderungen der Inputgrößen vorliegen.

Die Harrodsche Definition wäre weniger unzweckmäßig als sie es aus dem eben angeführten Grunde ist, wenn sie wenigstens unabhängig von der verwendeten Produktionsfunktion immer dieselbe Entwicklung der Inputstruktur zur Voraussetzung dafür machen würde, daß neutraler Fortschritt vorliegt. Daß dies nicht der Fall ist, soll am Beispiel der Cobb-Douglas-Funktion gezeigt werden.

Es sei von folgender einfacher Funktion ausgegangen

$$X = A_1 L_1^{\beta_1} K_1^{1-\beta_1}, 0 < \beta_1 < 1 . \tag{73}$$

Die Konstanz des Zinses wird durch die Bedingung (53) ausgedrückt, die unter Anwendung von (73) wie folgt lautet:

$$(1-\beta_1) A_1 k_1^{-\beta_1} = (1-\beta_2) r A_1 k_2^{-\beta_2} . \tag{74}$$

Die Entwicklung der Parameter und der Inputstruktur möge wieder nach folgenden Relationen verlaufen

$$\beta_2 = p \beta_1 \quad , p > 0 \tag{75}$$

$$A_2 = r A_1 \quad , r > 1 \tag{76}$$

$$k_2 = \tau k_1 \quad , \tau > 0 , \tag{77}$$

wobei $k_1 = K_1/L_1$, $k_2 = K_2/L_2$. Mit (75)—(77) lautet (74)

$$(1-\beta_1) A_1 k_1^{-\beta_1} = (1-p\beta_1) r A_1 \tau^{-p\beta_1} k_1^{-p\beta_1} . \tag{78}$$

Zusätzlich muß Bedingung (52) erfüllt sein. Angewandt auf (73) ergibt sich hierfür

$$(1-\beta_1) = (1-\beta_2) , \tag{79}$$

bzw. mit (75)

$$(1-\beta_1) = (1-p\beta_1) . \tag{80}$$

(80) ist nur erfüllt für

$$p = 1 . \tag{81}$$

Mit (81) wird somit (78) nach Umformungen zu

$$r = \tau^{\beta_1} . \tag{82}$$

Ist im Zeitpunkt t_1 eine bestimmte Produktionsfunktion gegeben, durch die β_1 festgelegt wird, so sind nur solche Verschiebungen dieser Funktion als neutraler Fortschritt zu bezeichnen, die einen neuen Skalenparameter A_2 aufweisen, der über r die Gleichung (82) erfüllt. Dabei wird r in (82) von τ abhängig gemacht, d. h. von einer bestimmten Entwicklung der Inputstruktur. Wird r festgelegt, so sind in bezug auf $v^{(1)}$ nur solche Realisationen $v^{(2)}$ neutral, die auf dem durch (82) determinierten Faktorstrahl F liegen (vgl. Fig. 4).

Ein Vergleich der Gleichungen (62) und (82) zeigt, daß die als neutral ausgewiesene Entwicklung der Inputstruktur eine Funktion der zugrunde gelegten Produktionsfunktion ist. Obwohl die betrachteten Produktionsfunktionen zur selben Klasse gehören — beide sind linearhomogenen Typs — wird durch das Harrodsche Kriterium in beiden Fällen eine andere Entwicklung im K-L-Raum als neutral erklärt, selbst wenn beide Funktionen dieselbe Veränderung des Skalenparameters (r) realisieren. Deshalb ist eine Aussage, die irgendeine wirtschaftliche Entwicklung als Harrod-neutral klassifiziert, so lange unvollständig, als nicht gesagt wird, von welcher Art die betrachtete Produktionsfunktion ist.

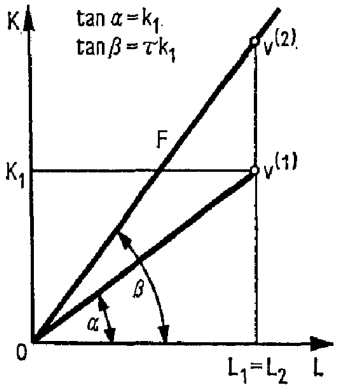

Fig. 4

Die Gleichungen (62) und (82) zeigen ferner, daß auch das Ausmaß der Veränderung des Skalenparameters (r), das vorliegen muß, von der Entwicklung der Inputstruktur abhängig gemacht wird. Technische Veränderungen, für die eine derartige Abhängigkeit in Betracht gezogen wird, werden in der Literatur als endogener Fortschritt bezeichnet und dem exogenen gegenübergestellt, bei dem die Entwicklung der Parameter der Produktionsfunktion, insbesondere die Entwicklung des Skalenparameters, allein eine Funktion der Zeit ist. (Zur Verdeutlichung derartiger Unterscheidungen vgl. Tabelle in Abschnitt I). Die Erkenntnis, daß die Harrodsche Definition von dieser Unterscheidung nicht unabhängig ist, sondern in der Mehrzahl der Fälle ein endogenes Fortschrittsmodell impliziert, ist modelltheoretisch von einigem Interesse. Die Zweckmäßigkeit der Definition kann nun nämlich aus dem modelltheoretischen Blickwinkel heraus erneut in Frage gestellt werden: Wenn eine Definition des technischen Fortschritts um so zweckmäßiger ist, je verschiedenartiger die endogenen oder exogenen Fortschrittsmodelle sind, auf die die Definition anwendbar sein soll, dann kann die Harrodsche Definition nicht als besonders zweckmäßig bezeichnet werden. Die Richtigkeit dieser Behauptung ist leicht einzusehen, wenn man sich klarmacht, daß es allein von der Wahl der Produktionsfunktion abhängt, welcher Art der Zusammenhang zwischen r, τ und k ist (62), d. h. welcher Art die Endogenitätsbeziehung ist, durch die bereits ein bestimmtes von unendlich vielen möglichen endogenen Fortschrittsmodellen konstituiert wird.

IV. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

An eine zweckmäßige Definition des Phänomens „technischer Fortschritt" sollten folgende Forderungen gestellt werden:

1. Die Definition sollte unabhängig von der Primärinformation, die man über die Art der Produktionsfunktion gewonnen hat, anwendbar sein.

2. Die Definition sollte unabhängig von der Anzahl der Produktionsfaktoren und der Art ihrer Aggregation anwendbar sein.
3. Die Definition sollte unabhängig von bestimmten Modellvorstellungen anwendbar sein, d. h. sie sollte keinerlei Hypothesen über die Abhängigkeit der Parameter der Produktionsfunktion von anderen Variablen (Inputentwicklung) unterliegen.

Soweit die Neutralitätskriterien von Hicks und Harrod verteilungstheoretisch interpretiert werden, müssen beide Kriterien auf linearhomogene Produktionsfunktionen angewandt werden, sie erfüllen also die erste Forderung nicht. Die Harrodsche Definition widerspricht zusätzlich der zweiten Forderung, sofern sie in einer Form verwendet wird, die den Kapitalkoeffizienten als Kriterium enthält. Der dritten Forderung widersprechen beide Definitionen, sofern nicht besonders einfach geartete Erscheinungsformen der technischen Entwicklung bei einfachen Produktionsfunktionen betrachtet werden (anderenfalls wird eine Beziehung nach Art der Gleichung (82) impliziert).

Wie hätte eine Definition auszusehen, die allen drei Forderungen genügt? Eine solche Definition könnte aus einer Verallgemeinerung des folgenden wachstumstheoretischen Ausdrucks hergeleitet werden.

Ausgehend von der Produktionsfunktion

$$X = F(K, L)\,, \tag{83}$$

bei der X, K und L Funktionen der Zeit sind, erhält man durch Differentiation von (83) nach der Zeit und nach Division dieser Ableitung durch X die Gleichung

$$w_X = \varepsilon_{X,L}\, w_L + \varepsilon_{X,K}\, w_K\,, \tag{84}$$

worin die Wachstumsrate des Outputs (w_X) als Summe der Produkte erscheint, die aus den Faktoren Faktorelastizität und Faktorwachstumsrate entstehen.

Es sei nun folgende Verallgemeinerung vorgenommen. Die Produktionsfunktion laute

$$X = F(v_1, v_2, \ldots, v_n; A_1, a_2, \ldots, a_m)\,, \tag{85}$$

worin $v_1, v_2, \ldots, v_n$ Faktoren und $A_1, a_2, \ldots, a_m$ die Parameter der Produktionsfunktion sind. A_1 sei der Skalenparameter. Faktoren wie Parameter seien Funktionen der Zeit,

$$\begin{aligned} v_1 &= v_1(t)\\ v_2 &= v_2(t)\\ &\;\vdots\\ v_n &= v_n(t) \end{aligned} \tag{86}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= A_1(t)\\ a_2 &= a_2(t)\\ &\;\vdots\\ a_m &= a_m(t) \end{aligned} \tag{87}$$

die nach t differenzierbar sind. Dann kann ein der Gleichung (84) entsprechender Ausdruck

$$w_X = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{X,v_i} w_{v_i} + \sum_{j=1}^{m} \varepsilon_{X,a_j} w_{a_j} \tag{88}$$

gebildet werden. Anhand dieses Ausdrucks kann eine der allgemeinen Definition des technischen Fortschritts äquivalente Definition gebildet werden, die alle drei aufgestellten Forderungen erfüllt: technischer Fortschritt liegt vor, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$w_F = \sum_{j=1}^{m} \varepsilon_{X,a_j} w_{a_j} > 0. \tag{89}$$

Daß es sinnvoll ist, eine derartige Forderung aufzustellen, zeigt sich bei folgender Überlegung. Bei Betrachtung einer dynamischen Produktionsfunktion

$$X = A_1 F(K,L), \tag{90}$$

worin der Skalenfaktor nach der Funktion

$$A_1 = e^{\lambda t}, \ \lambda > 0, \text{const.} \tag{91}$$

von der Zeit abhängt, erhält man selbst bei konstanten Inputs eine Wachstumsrate

$$w_X = \lambda, \tag{92}$$

die größer Null ist — ein Tatbestand, der in der Literatur stets mit technischem Fortschritt bezeichnet wird. Nun kann aber der Fall eintreten, daß bei einer Fortschrittsrate λ, die größer Null ist, der gesamte Ausdruck (89) negativ oder Null wird, selbst wenn die Wachstumsraten sämtlicher Parameter der Produktionsfunktion größer Null sind. (89) läßt sich nämlich auch schreiben als

$$w_F = \frac{\frac{\partial X}{\partial A_1}}{X} \frac{dA_1}{dt} + \frac{\frac{\partial X}{\partial a_2}}{X} \frac{da_2}{dt} + \ldots + \frac{\frac{\partial X}{\partial a_m}}{X} \frac{da_m}{dt}, \tag{93}$$

woraus ersichtlich ist, daß ein einzelner Summand negativ wird, wenn die partielle Ableitung der Produktionsfunktion nach einem Parameter negativ und die Wachstumsrate des Parameters positiv ist. Dadurch kann w_F insgesamt negativ werden, selbst wenn $\lambda > 0$ gilt. Als Beispiel einer gebräuchlichen Produktionsfunktion mit negativen Parameterableitungen kann die Cobb-Douglas-Funktion genannt werden.

Durch partielles Ableiten der Produktionsfunktion

$$X = A_1 L^{\alpha} K^{\beta}, \ \alpha > 0, \beta > 0$$

nach den Produktionselastizitäten erhält man

$$\frac{\partial X}{\partial \alpha} = X \ln L < 0 \text{ für } 0 < L < 1 \tag{94}$$

$$\frac{\partial X}{\partial \beta} = X \ln K < 0 \text{ für } 0 < K < 1. \tag{95}$$

Die Trennung zwischen Fortschritts- und Substitutionseffekt ist anhand dieser Definition leicht vorzunehmen: liegt ein positiver (negativer) Substitutionseffekt vor, so ist der erste Summand in (88) größer (kleiner) Null.

Zur Beantwortung der Frage, in welche Spezialfälle der technische Fortschritt unterschieden werden könnte, sei zunächst von einer Situation mit den beiden Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital ausgegangen. Die Produktionsfunktion möge nur einen zeitabhängigen Parameter enthalten, nämlich den Skalenfaktor A_1. Aus den Funktionen

$$\begin{aligned} L &= L(t) \\ K &= K(t) \\ A_1 &= A_1(t) \end{aligned} \tag{96}$$

möge sich eine Funktion

$$A_1 = A_1(K, L) \tag{97}$$

bilden lassen, mit der nach Differentiation nach t und nach Division durch A_1 die Wachstumsrate des Skalenparameters wie folgt bestimmt werden kann:

$$w_{A_1} = \eta_{A_1,K} \cdot w_K + \eta_{A_1,L} \cdot w_L . \tag{98}$$

In (98) steht η für die Elastizität des Faktors Kapital bzw. die der Arbeit in bezug auf A_1. Durch Substitution von (97) in (93) erhält man dann

$$w_X = \varepsilon_{X,L} \cdot w_L + \varepsilon_{X,K} \cdot w_K + \varepsilon_{X,A_1}(\eta_{A_1,K} \cdot w_K + \eta_{A_1,L} \cdot w_L) , \tag{99}$$

worin ε_{X,A_1} stets gleich 1 ist, da A_1 den Skalenparameter darstellt. Aus (99) läßt sich nun leicht ein sinnvolles Kriterium zur Unterscheidung von Spezialfällen des technischen Fortschritts herauslösen. Ist der Klammerausdruck in (99) größer Null, so liegt kapitalinduzierter Fortschritt vor, wenn gilt

$$\eta_{A_1,K} > \eta_{A_1,L} , \tag{100}$$

und es liegt arbeitsinduzierter Fortschritt vor, wenn

$$\eta_{A_1,L} > \eta_{A_1,K} . \tag{101}$$

Der Fortschritt ist neutral, wenn beide Elastizitäten, die als konstant angesehen werden sollen, gleich groß sind. (98) kann als Transformationsfunktion 2. Ordnung oder als Fortschrittsfunktion bezeichnet werden[16]). N. Kaldor arbeitet mit einer ähnlichen Fortschrittsfunktion, in der er die Hypothese verwendet, daß die Differenz zwischen den Wachstumsraten des Outputs und der Arbeit eine degressiv steigende Funktion der Differenz zwischen den Wachstumsraten des Kapitals und der Arbeit sei[17]):

$$w_X - w_L = f\,(w_K - w_L) . \tag{102}$$

---

[16]) Aus Produktionsfunktionen, die einen von der K-L-Entwicklung abhängigen Skalenparameter enthalten, läßt sich die Fortschrittsfunktion leicht herauslösen. Derartige Modelle verwenden: a) C. E. Ferguson u. R. W. Pfouts, „Aggregate Production Functions and Relative Factor Shares", in: IER, Vol. 3. (Sept. 1962), S. 335; b) P. K. Newman u. R. C. Read, „Production Functions with Restricted Input Shares", in: IER, Vol. 2 (Jan. 1961), S. 128.

[17]) Vgl. N. Kaldor, „A Model of Economic Growth", in: EJ, Vol. 67 (Dez. 1957), S. 591—624. Gleichung (102) ist eine Umformung der von Kaldor verwendeten Fortschrittsfunktion.

Mit dieser Annahme wollte Kaldor allerdings die These untermauern, daß immer dann, wenn eine solche Funktion existiert, Substitutions- und Fortschrittseffekt nicht mehr voneinander getrennt werden könnten — eine These, die nicht aufrecht erhalten werden kann, wie oben gezeigt wurde.

Welche konkrete Form die Beziehung (98) besitzt, kann ohne gezielte empirische Untersuchungen nicht entschieden werden. Zunächst wäre dabei die wachstumspolitisch wichtige Frage zu entscheiden, welcher der in Fig. 5 dargestellten Verläufe wahrscheinlicher ist. Bei Betrachtung entwickelter Volkswirtschaften lassen sich sowohl für Verlauf (I) als auch für Verlauf (II) Argumente anführen.

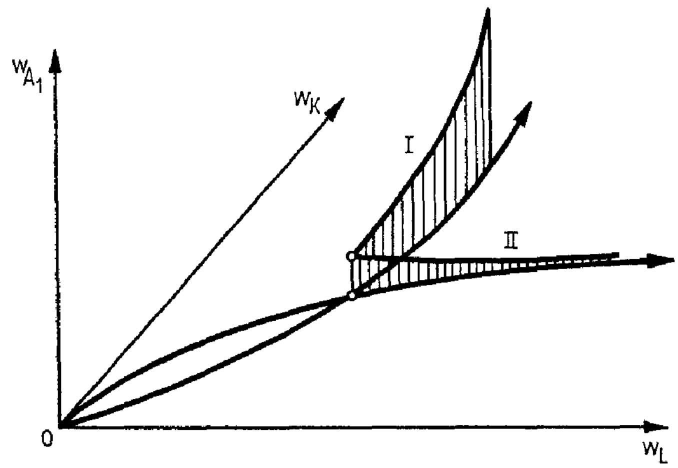

Fig. 5

Bei einer Verallgemeinerung des Modells für n Faktoren und m Parameter erhält man entsprechend Gleichung (98) die Fortschrittsfunktion

$$w_{A_1} = \eta_{A_1,v_1} w_{v_1} + \eta_{A_1,v_2} w_{v_2} + \ldots + \eta_{A_1,v_n} w_{v_n}, \tag{103}$$

und man könnte hier sinnvoll dann von neutralem Fortschritt sprechen, wenn die Elastizitäten der induzierenden Faktoren η_i alle gleich groß sind. Ist diese Gleichheit nicht gegeben, liegt also nicht neutraler Fortschritt vor (immer vorausgesetzt, daß w_{A_1} insgesamt größer Null ist), so liefert die Struktur der Elastizitäten gute Einblicke in die Effizienz des Systems.

Eine weitere Verallgemeinerung des Systems bestünde darin, daß nicht nur der Skalenparameter A_1, sondern noch weitere Parameter von der Inputstruktur abhängig gemacht würden, wodurch ein simultanes System von Fortschrittsfunktionen entstünde. In Anbetracht dessen, daß ein derartiges System heute kaum statistisch zu falsifizieren wäre, soll jedoch auf seine vollständige Darstellung verzichtet werden.

Zusammenfassung

In der ökonomischen Theorie versteht man unter „technischem Fortschritt" im allgemeinen eine Veränderung der Produktionsverhältnisse, die sich darin äußert, daß mit bestimmten Ressourcen ein erhöhter Ertrag oder ein bestimmter Ertrag mit geringeren Mengen an Ressourcen erzeugt werden kann. J. R. Hicks und R. F. Harrod haben diese allgemeine Definition unter Verwendung der Begriffe „Grenzproduk-

tivität" und „Kapitalkoeffizient" präzisiert. Ihre Definitionen werden seither in der Theorie zugrunde gelegt, wenn es gilt, eine ökonomische Entwicklung danach zu beurteilen, ob sie technischen Fortschritt repräsentiert oder nicht. Bei der Anwendung dieser Definition auf bestimmte, keineswegs absonderliche Fälle der ökonomischen Entwicklung zeigt es sich, daß sie mit der allgemeinen Definition in Widerspruch geraten können. Es stellt sich deshalb die Frage, ob es eine Definition des technischen Fortschritts gibt, die auf alle Arten der ökonomischen Entwicklung widerspruchsfrei angewandt werden kann. Dabei wird davon ausgegangen, daß die ökonomische Entwicklung durch die Veränderung einer makroökonomischen Produktionsfunktion repräsentiert werde. An eine solche Definition sind zusätzliche Forderungen zu stellen, die von den Definitionen nach Hicks bzw. nach Harrod nicht erfüllt werden:

I. Die Definition sollte unabhängig von der Primärinformation, die man über die Art der Produktionsfunktion gewonnen hat, anwendbar sein.

II. Die Definition sollte unabhängig von der Anzahl der Produktionsfaktoren und der Art ihrer Aggregation anwendbar sein.

III. Die Definition sollte unabhängig von bestimmten Modellvorstellungen anwendbar sein, d. h. sie sollte keinerlei Hypothesen über die Abhängigkeit der Parameter der Produktionsfunktion von anderen Variablen (Inputstruktur) unterliegen.

Eine derartige Definition kann aus einer Verallgemeinerung des wachstumstheoretischen Ausdrucks gebildet werden, wonach sich die Wachstumsrate des Outputs als die Summe der mit den Wachstumsraten der Inputs gewichteten Faktorelastizitäten darstellt.

Summary

In the theory of economics "technical progress" generally means such changes of the productive facilities by which either an increased output will be attained with the existing resources or by which the former output will be produced with a reduced amount of resources. This general definition was specified by J. R. Hicks and R. F. Harrod by applying the terms "marginal productivity" and "capital coefficient". Since then, their definitions have been taken as basis of the theory if an economic development had to be assessed whether it represents a technical progress or not. When applying this definition to certain, by no means unusual, cases of economic development, however, it appeared that they can be inconsistent with the general definition. Therefore, the question arises whether there can be found a definition of the technical progress that will be applicable to all kinds of the economic development without any inconsistencies. In this connection the starting point will be that the economic development is represented by the change of a macro economic production function. Such a definition will have to meet additional requirements which are not met by the definitions of Hicks resp. Harrod:

I. The definition should be applicable irrespectively of the primary information won referring to the type of the production function.

II. The definition should be applicable irrespectively of the number of the production factors and of the manner of their aggregation.

III. The definition should be applicable irrespectively of exact model conceptions i. e. it should be free from any hypotheses referring to the dependence of the parameters of the production function from other variables (input structure).

Such a definition can be obtained from a generalization of the term of theory of growth whereby the rate of growth of the output is represented by the sum of the marginal factor elasticities weighted with the rates of growth of the input.

Verzeichnis der Abkürzungen

AER	American Economic Review
ECM	Econometrica
EJ	Economic Journal
IER	International Economic Review
JPE	Journal of Political Economy
MLR	Monthly Labor Review
REstat	Review of Economics and Statistics
REstud	Review of Economic Studies
SVSP	Schriften des Vereins für Socialpolitik
WWA	Weltwirtschaftliches Archiv