Dr. Jörg Flemmig, Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, Prof. Dr. W. Harbrecht, Universität Nürnberg, Lange Gasse 20, Postfach 3931, D-8500 Nürnberg.
Diplom-Volkswirt Georg Götz, Lehrstuhl Prof. Dr. G. Clemenz, Institut für Volkswirtschaftslehre, Universität Regensburg, Postfach 10 10 42, D-8400 Regensburg.
Erschienen in: *Jahrbuch für Sozialwissenschaft*, Band 44, S. 203-215, 1993.

Externalitäten, Nichtkonvexitäten und endogener technischer Fortschritt:
Ein Einblick in die Funktionsweise der "neuen" Wachstumstheorie.

Ausgangspunkt der "neuen" Wachstumstheorie war ein Theoriedefizit bezüglich der Erklärung der weltweit unterschiedlichen Pro-Kopf-Einkommen und Entwicklung der einzelnen Volkswirtschaften (vgl. Lucas, R.E. 1988). Wenn zwei Länder ein Gut mit identischen Produktionsfunktionen und konstanten Skalenerträgen produzieren, kann der Output pro Arbeiter sich nur dann in beiden Ländern unterscheiden, wenn der Kapitaleinsatz pro Arbeiter unterschiedlich ist. In dem Land mit der geringeren Kapitalintensität müßte dann, wegen des abnehmenden Grenzproduktes, die Kapitalverzinsung höher sein. Dadurch wäre ein Anreiz geschaffen mehr Kapital in diesem Land einzusetzen. Dies würde zu einem Ausgleich der Erträge und einem identischen Output pro Kopf führen. Genau diese Konvergenz war empirisch nicht zu beobachten, was mit dazu führte, daß der Prozeß der wirtschaftlichen Entwicklung neu durchdacht wurde. In der Literatur wurden Wachstumsmodelle entwickelt, die den Zusammenhang zwischen steigender Produktvielfalt bezüglich der Endprodukte oder aber der Variantenvielfalt der Inputs und dem Wachstumsprozeß diskutieren. Andere Modelle betonen die Qualitätsverbesserung der Produkte und die Rolle des Humankapitals (vgl. Aghion, P. and Howitt, P. 1992 und Grossman, G. and Helpman, E. 1991a, Kap. 4 und 5).

Folgende Ideen werden mit Hilfe eines ökonomischen Modells präzisiert: Technischer Fortschritt in Form von Produktivitätssteigerungen ist in erster Linie das Resultat intentionalen Handelns profitmaximierender Unternehmen und nicht das Ergebnis vorwiegend außerökonomischer Entwicklungen. Wenn nun anhaltendes Wachstum, also eine dauerhafte Erweiterung der Produktions- und Konsummöglichkeiten, über endogenen technischen Fortschritt erklärt werden soll, muß es einen Mechanismus geben, der ein Abnehmen der Erträge aus dieser Aktivität verhindert, da nur dann für die Unternehmen ein hinreichender Anreiz existiert dauerhaft in technischen Fortschritt zu investieren. Aus diesen Ideen ergeben sich folgende Implikationen: Die Firmen agieren auf Märkten mit unvollkommener Konkurrenz und es existieren nichtkonvexe Produktionsmöglichkeitsmengen, also zunehmende Skalenerträge.

Der erste Punkt ist leicht zu verstehen, wenn man sich vor Augen hält, daß ein Unternehmer nur dann Forschungsausgaben für die Entwicklung neuer Produkte tätigt, wenn er für dieses Produkt einen Preis durchsetzen kann, der die Grenzkosten übersteigt, da er nur dann die fixen Forschungskosten erwirtschaftet. Die Postulierung nicht konvexer Produktionsmöglichkeitsmengen im Forschungssektor stellt sicher, daß die Erträge aus Forschungstätigkeiten im Zeitablauf nicht abnehmen. Auf diesen Punkt wird im Modell noch genauer eingegangen.

Bei der konkreten Modellierung des technischen Fortschritts in diesen Wachstumsmodellen spielt technisches Wissen eine wichtige Rolle. Zentrales Merkmal des technischen Wissens ist, daß es als nichtrivalisierender Input in den Produktionsprozeß eingeht. Inputs werden dann als nicht rivalisierend bezeichnet, wenn ihr Einsatz in einem Produktionsprozeß ihren Einsatz in einem anderen Produktionsablauf nicht ausschließt. Beispiele dafür wären technologische Verfahren oder Computersoftware. Im Gegensatz zu einer Maschine, die nicht gleichzeitig in zwei verschiedenen Produktionen verwendet werden kann, lassen sich Computerprogramme kopieren und in unterschiedlichen Produktionsprozessen einsetzen. Zunehmende Skalenerträge bzw. nicht konvexe Technologien ergeben sich, weil für eine Verdopplung des Outputs der nichtrivalisierende Input nicht verdoppelt werden muß.

Im Rahmen des hier vorgestellten Ansatzes werden zwei Arten technischen Wissens unterschieden: produktspezifisches und allgemeines Wissen. Wesentliches Merkmal des produktspezifischen Wissens ist die Ausschließbarkeit der Nutzung dieses Wissens durch Konkurrenzfirmen über Patente oder über Geheimhaltung. Auf diese Weise erhält die betreffende Firma Marktmacht, sie kann einen Preis über den Grenzkosten setzen. Im Gegensatz zum produktspezifischen Wissen ist das allgemeine Wissen ein unbeabsichtigtes bzw. nicht aneigenbares Nebenprodukt der Forschungsanstrengungen. Ein derartiger externer Effekt, in diesem Zusammenhang spill-over genannt, ist nach Ansicht von Vertretern dieser Theorierichtung immer mit der Entwicklung neuer Technologien verbunden und führt zum Aufbau eines allgemeinen Wissensbestandes, "Wissenskapital" wird akkumuliert (vgl. z.B. Romer, P.M. 1990). Dieses Kapital hat zwei Merkmale:

1. Es kann, anders als z.B. an Individuen gebundene Kenntnisse und Fertigkeiten, unbeschränkt akkumuliert werden.
2. Es steigert die Produktivität bei allen Forschungsanstrengungen, wirkt also wie ein öffentlicher Input.

Insbesondere die zweite Eigenschaft ermöglicht das Ergebnis anhaltenden Wachstums in diesen Modellen.

1. Die Modellstruktur

Das im folgenden dargestellte Modell ist eine vereinfachte Version von Romer, P.M. (1990) bzw. Grossman, G. and Helpman, E. (1991b). Es wird von einer Ökonomie ausgegangen, in der Firmen und Haushalte mit rationalen Erwartungen ihren Gewinn bzw. Nutzen maximieren. Es gibt drei Industriesektoren. Der erste Sektor stellt ein homogenes Konsumgut her und verwendet dabei den einzigen Primärfaktor Arbeit und die im zweiten Sektor hergestellten Zwischenprodukte. Die im zweiten Sektor hergestellten Zwischenprodukte sind differenzierte Güter, sie werden unter alleiniger Verwendung des Faktors Arbeit hergestellt. Um eine bestimmte Variante des Zwischenprodukts herstellen zu können benötigt man eine "Blaupause". Diese Blaupausen werden im dritten Sektor, einem Forschungssektor entwickelt. Auch dies geschieht unter ausschließlichem Einsatz von Arbeit. Die Haushalte treten zum einen als Käufer des Konsumguts, zum andern als Anbieter von Faktorleistungen auf. Ihr Angebot umfaßt den Faktor Arbeit, aber auch "Kapital" in Form ihrer Ersparnisse.

1.1 Der Unternehmenssektor

Die Produktionsfunktion für das Konsumgut Y lautet:

$$Y = AN^{(1-\beta)}D^{\beta}\ , \qquad 0 < \alpha, \beta < 1\ ,$$

(1)

$$\text{mit} \quad \text{D}=\left\{\int_0^{n(t)} x(j)^{\alpha}\, dj\right\}^{1/\alpha}.$$

Dabei wird mit A ein Normierungsfaktor und mit N der Arbeitseinsatz bezeichnet, D repräsentiert einen Index für die Zwischenprodukte, x(j) die Menge des Zwischenproduktes j und n(t) steht für die "Anzahl" (Maß) der im Zeitpunkt t verfügbaren Zwischenproduktvarianten.

Die hier vorliegende Cobb-Douglas Produktionsfunktion hat insbesondere im Hinblick auf die Zwischenprodukte einige genauer zu erläuternde Eigenschaften. So gehen die verschiedenen Varianten der Zwischenprodukte nicht als perfekte Substitute ein, sondern über eine additiv separable Funktion bei der die (Substitutions-)Elastizität zwischen den einzelnen Varianten kleiner unendlich, α also kleiner eins ist. Die Erhöhung der Einsatzmenge einer Variante beeinflußt bei dieser funktionalen Form die Grenzproduktivität der anderen Zwischenprodukte nicht. Zusätzlich geht man davon aus, daß die Produktionsfunktion für eine unendlich große Variantenbreite an Produkten definiert ist, relevant sind jedoch nur die in einem bestimmten Zeitpunkt verfügbaren Varianten n(t).

Alle für das Modell wesentliche Zusammenhänge bzgl. der Konsumgutherstellung können aus der Kostenfunktion abgeleitet werden. Die Kostenfunktion selbst kann aufgrund der schwachen Separabilität der Produktionsfunktion zwischen Arbeit und den Zwischenprodukten in einem zweistufigen Optimierungsprozeß ermittelt werden. Auf der ersten Stufe gehen die Zwischenprodukte nur über die Höhe des Indexes D ein, der zugehörige "Preis" ist p_D. Mit dem üblichen Verfahren bei Cobb-Douglas-Produktionsfunktionen (vgl. Varian, H.R. 1984, S. 28 ff) erhält man die Kostenfunktion:

(2) $$C = w^{1-\beta} p_D{}^{\beta} Y.$$

Auf der zweiten Stufe ermittelt man die Kostenfunktion für eine gegebene Höhe des Indexes D (vgl. Varian, H.R. 1984, S. 31 ff) und damit implizit:

(3) $$p_D = \left[\int_0^{n(t)} p(j)^{\alpha/(\alpha-1)}\, dj \right]^{(\alpha-1)/\alpha}.$$

Dieser Preisindex repräsentiert die minimalen Kosten, die ein Produzent aufwenden muß, wenn er eine Einheit von dem Zwischenproduktindex D zusätzlich einsetzen will[1]. Der Preisindex hängt auch vom Stand der Technik, also der Vielfalt an Zwischenprodukten ab, die dem Produktionsprozeß zur Verfügung stehen.

Unter Berücksichtigung von (2) und (3) kann man mit Hilfe von Shepards Lemma die bedingten Nachfragefunktionen nach Arbeit, dem Index D und den einzelnen Inputvarianten x(j) berechnen:

(4) $$N = (1-\beta)\frac{p_Y}{w} Y,$$

(5) $$D = \frac{p_Y}{p_D} \beta Y,$$

(6) $$x(j) = \beta\, p_Y Y \frac{p(j)^{1/(\alpha-1)}}{\int_0^{n(t)} p(j)^{\alpha/(\alpha-1)}\, dj}.$$

Da das Endprodukt Y, bei einer gegebenen Variantenvielfalt n, mit konstanten Skalenerträgen produziert wird, herrscht auf diesem Markt vollkommene Konkurrenz und der Preis von Gut Y, p_Y, entspricht den Grenzkosten:

(7) $$p_Y = p_D{}^{\beta} w^{1-\beta}.$$

Bei der Herstellung der Zwischenprodukte wird eine lineare Technologie unterstellt. Für jede Einheit einer Variante j benötigt man eine Einheit Arbeit, die mit dem zu diesem Zeitpunkt geltenden Lohnsatz w entlohnt wird. Da angenommen wird, daß die Blaupausen der verschiedenen Varianten durch Patente geschützt werden, kann jede Variante nur von dem Unternehmen hergestellt werden, das die jeweilige Blaupause entwickelt hat. Da die verschiedenen Varianten unvollkommene Substitute in der Endproduktherstellung sind, liegt im Zwischenproduktsektor die Marktstruktur der monopolistischen Konkurrenz vor. Die Produzenten der Zwischenprodukte maximieren ihren Gewinn unter Berücksichtigung der Nachfrage seitens der Konsumguthersteller. Diese Nachfragefunktion (6) ist isoelastisch mit der Elastizität $\varepsilon=1/(1-\alpha)$.

---

[1] Man erhält diese Ergebnisse, indem man das Integral bei der Differentiation so behandelt, als wäre es eine Summe (vgl. Dixit, A.K. 1990, S. 153). Formal korrekt wäre die Verwendung der Variationsrechnung, in diesem Fall die Anwendung des Fundamentallemmas der Variationsrechnung (vgl. Intriligator, M.D. 1971, S. 308 ff).

Bei der Berechnung dieser Elastizität geht ein, daß die einzelne Firma wegen der "vielen" Konkurrenten keinen Einfluß auf den aggregierten Preisindex p_D hat. Da annahmegemäß die Produzenten der Zwischenprodukte für die Produktion einer Einheit des Gutes j genau eine Einheit Arbeit benötigen, belaufen sich deren Grenzkosten auf w. Den gewinnmaximierenden Preis des Monopolisten erhält man sehr einfach über den Lerner-Index (vgl. Tirole, J. 1989, S. 66):

(8) $$p(j) = \frac{w}{\alpha} \ .$$

Der dabei realisierte Profit beläuft sich auf

(9) $$\pi(j) = \frac{1-\alpha}{\alpha} wx(j) \ .$$

Da alle Inputs den gleichen Preis haben und symmetrisch in die Produktionsfunktion eingehen, werden alle Inputs x(j) in jedem Zeitpunkt zu gleichen Mengen nachgefragt. Definiert man die aggregierte eingesetzte Menge an Zwischenprodukten und damit den Arbeitseinsatz in der Produktion für Zwischenprodukte mit $X \equiv nx$ kann die aggregierte Produktionsfunktion (1) durch

(10) $$Y = AN^{1-\beta} X^{\beta} n^{\beta(1-\alpha)/\alpha}$$

ersetzt werden. Aus dieser abgewandelten Produktionsfunktion erkennt man, daß der Output steigt, wenn zusätzliche Varianten entwickelt werden und die vorher in der Zwischenproduktherstellung eingesetzten Ressourcen nun auf eine höhere Zahl von Varianten verteilt werden. Diese Eigenschaft ist eine Folge der Spezifikation der Produktionsfunktion mittels der Dixit-Stiglitz-Funktion (vgl. Dixit, A.K. and Stiglitz, J.E. 1977). Sie hat zwei Konsequenzen: Zum einen weist die Technologie aus Sicht der Unternehmen in einem bestimmten Zeitpunkt konstante Skalenerträge auf, man kann also von vollkommener Konkurrenz ausgehen. Zum andern gibt es aber eine Art dynamischer Skalenerträge. Durch das Anwachsen der Variantenvielfalt im Zeitablauf führt eine Verdoppelung der von den Firmen beeinflußbaren Inputs zu einem mehr als zweimal so hohen Output. In diesem Zusammenhang wird auch von Erträgen wachsender Spezialisierung gesprochen (vgl. Ethier, W.E. 1982). Gerechtfertigt wird die Verwendung dieser speziellen Produktionsfunktionen mit dem Hinweis auf die in der Realität zu beobachtende Produktivitätssteigerungen durch steigende Spezialisierung. Diese Eigenschaft stellt den Transmissionsmechanismus dar, über den die Erhöhung des Konsumgutoutputs in Folge der Forschungsanstrengungen vermittelt wird.

Der entscheidende Punkt bei der Beschreibung des Forschungssektors ist nun, daß mit der Forschung externe Effekte verbunden sind. Eine Innovation führt nicht nur zur Entwicklung eines neuen Produktes und zu Monopolgewinnen seitens der Firma die dieses Produkt auf den Markt bringt, sie trägt auch dazu bei, daß sich der allgemeine Wissensstand $K_n(t)$ in dieser Ökonomie erhöht. Dieser Wissensbestand kann als Kapitalstock interpretiert werden, der auch zukünftigen Generationen als öffentliches Gut zur Verfügung steht. Die innovative Firma kann sich die Erträge aus ihrem Beitrag zur Entwicklung dieses Bestandes wegen fehlender Eigentumsrechte nicht aneignen. Vereinfachend wird nun folgende Produktionsfunktion für den Bestand K_n angenommen:

(11) $K_n = n$.

Durch eine geeignete Normierung besteht ein Proportionalitätsfaktor von Eins zwischen der Anzahl der bisher entwickelten Produkte und dem Bestand K_n.
Bezüglich der Entwicklung neuer Produkte ("Blaupausen") wird folgender funktionaler Zusammenhang unterstellt: Durch den Einsatz von l Einheiten Arbeit über ein Zeitintervall dt werden (n/a)ldt neue Produkte entwickelt. Dabei steht n/a für die Forschungsproduktivität der Arbeit, a ist ein Inputkoeffizient. Die aggregierte Produktionsfunktion des Technologiesektors lautet dann:

(12) $\dot{n} = \frac{L_F \cdot n}{a}$.

Diese Produktionsfunktion gibt die Rate bzw. den Strom der Produktentwicklung an, wenn im Forschungssektor, bei gegebenem Wissensbestand (n), L_F Beschäftige eingesetzt werden. Dieser funktionale Zusammenhang wird nicht weiter begründet, sondern als Annahme eingeführt. Erhöht sich die Anzahl der Beschäftigten im Forschungssektor, können mehr neue Produkte entwickelt werden. Die Produktivität eines Beschäftigten steigt aber auch mit dem Stand des technischen Wissens, der durch die Anzahl der bisher entwickelten Produkte n repräsentiert wird. Eine heute in der Forschung eingesetzte Einheit Arbeit ist gegenüber der Situation vor zwanzig Jahren produktiver, weil in der Zwischenzeit neue Produkte entwickelt worden sind, was zu einer Akkumulation zusätzlichen Wissens beigetragen hat. Die Entwicklung einer neuen Produktvariante ermöglicht die Produktion eines neuen Gutes, welches direkt für die Produktion des Endproduktes verwendet werden kann. Zugleich trägt eine neue Produktvariante zur Erhöhung des allgemein zugänglichen Bestandes an Wissen bei und erhöht dadurch die Produktivität im Forschungssektor. Nur durch diesen zweiten Effekt läßt sich ein anhaltender Wachstumsprozeß erklären. Das Grenzprodukt der im Forschungsektor Beschäftigten steigt mit n. Es wird im folgenden gezeigt, daß ohne diese Nichtkonvexität der Forschungstechnologie, bei einer Zunahme der Variantenvielfalt der Arbeitseinsatz im Forschungssektor sinken würde, damit immer weniger neue Produkte entwickelt werden würden und der Wachstumsprozeß zum Stillstand käme.
Jede Firma kann ihre Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen (F+E) durch die Ausgaben von Aktien finanzieren. Marktzutrittsschranken existieren nicht, die Forschungstechnologie ist frei verfügbar. Die Kosten dieser Entwicklung belaufen sich auf wldt. Bei einem Marktwert der Entwicklung des neuen Produktes in Höhe von v, beträgt der Wert der Entwicklung der neuen Pro-

dukte v(n/a)ldt. Bei freiem Marktzutritt wird der Wert der Entwicklung einer neuen Variante den Entwicklungskosten entsprechen:

(13) $v = \frac{wa}{n}$.

Entwicklung findet nur dann statt, wenn die Entwicklungskosten erwirtschaftet werden können. Gilt die Nullprofitbedingung (13), dann ist, wie bei Marktstrukturen mit konstanten Skalenerträgen üblich, der Arbeitseinsatz auf Firmen- und auf Industrieebene unbestimmt. Die Festlegung erfolgt residual nach der Bestimmung der Arbeitsnachfragen in den übrigen Sektoren der Ökonomie.

Die innovative Firma erhält für das neue Produkt ein Patent mit unendlicher Laufzeit. Der Wert der neuen Blaupause ist gleich dem Gegenwartswert des diskontierten Profitstroms, den der Inhaber der Blaupause im Rahmen der Zwischenproduktherstellung verdient:

(14) $v(t) = \int_t^\infty e^{-\int_t^\tau r(s)ds} \pi(\tau) d\tau$.

Stimmt der Aktienkurs mit diesem Wert überein, erhält man durch Differentiation von (14) nach t die Bedingung, durch die Arbitragemöglichkeiten ausgeschlossen werden:

(15) $\pi + \dot{v} = rv$.

Die Rendite, die der Inhaber einer Aktie erzielt und die sich aus der Dividende in Form der laufenden Profite und etwaigen Kursgewinnen oder -verlusten zusammensetzt, entspricht dem Zinsertrag, den man für die Vergabe eines Kredits in gleicher Höhe erhalten würde.

Unter Verwendung der bisher abgeleiteten Zusammenhänge wird (15) zu:

(16) $\frac{1-\alpha}{\alpha a} X + \hat{w} - \hat{n} = r$.

Am Schluß der Beschreibung des Produktionssektors soll noch eine allgemeine Bemerkung zur Marktstruktur im Forschungs- und Zwischenproduktsektor stehen. In diesem Modell gibt es zwar laufende Profite aufgrund des monopolistischen Wettbewerbs im Zwischenproduktsektor, dies sind aber analog zum statischen Modell monopolistischer Konkurrenz mit freiem Marktzutritt keine Extraprofite. Der Profitstrom ist vielmehr nötig um die Markteintrittskosten zu dec??ken, die hier in Form von Aufwendungen für die Entwicklung einer neuen Variante auftreten.

1.2 Der repräsentative Haushalt

Die identischen Haushalte maximieren über die Wahl des Zeitpfades ihres Konsums (c(τ)), bei gegebener Zeitpräferenzrate ρ, eine intertemporale Nutzenfunktion, wobei sie als Nebenbedingung ihre intertemporale Budgetbeschränkung beachten müssen. Jeder Haushalt bietet in jedem Zeitpunkt unelastisch eine Einheit Arbeit an und bezieht dafür einen Lohn in Höhe von w. Das aggregierte Arbeitsangebot sei L. Da im Produktionssektor der Endprodukte keine Extragewinne anfallen, spielt dieser Bereich für die Budgetrestriktion der Haushalte keine Rolle. Zu einem bestimmten Zeitpunkt t gibt es n Produktvarianten und damit n Firmen, die durch die Ausgabe von Aktien finanziert wurden. Der aggregierte Bestand an Aktien zum Zeitpunkt t beträgt dann nv. Da diese Aktien im Besitz der Haushalte sind, müssen sie in der Budgetrestriktion berücksichtigt werden. Ein repräsentativer Haushalt sei im Besitz eines realen Aktienkapitals in Höhe von a_0. Das Optimierungskalkül lautet dann:

$$(17) \quad \begin{aligned} &\max_{c(\tau)} \; U_t = \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} \log c(\tau)\, d\tau \\ &\text{u.d.B.} \; \int_t^\infty e^{-\int_t^\tau r(s)ds} c(\tau)\, d\tau \le \int_t^\infty e^{-\int_t^\tau r(s)ds} w(\tau)\, d\tau + a_0(t) , \end{aligned}$$

mit der optimalen Lösung (vgl. Blanchard, O.J. and Fischer, S. 1989, S. 48ff.):

(18) $\hat{c} = r - \rho$.

Die Präferenzen der Haushalte gehen über diesen Zusammenhang zwischen Wachstumsrate des Konsums und dem Zinssatz in das Modell ein. Diese Wachstumsrate des Konsums gilt auch im Aggregat.

1.3 Das steady state Gleichgewicht

Eine der zu beachtenden gesamtwirtschaftlichen Konsistenzbedingungen ist die Räumung des Arbeitsmarktes, wobei dies im Modell über flexible Löhne sichergestellt wird. Der Arbeitsmarkt ist dann im Gleichgewicht, wenn die Nachfrage nach Beschäftigten im Forschungssektor, in der Produktion der Zwischenprodukte und in der Konsumgüterherstellung dem aggregierten Arbeitsangebot entspricht:

(19) $ag + X + N = L$.

Dabei steht g für die Wachstumsrate der Produktvielfalt und ist definiert als: $g \equiv \hat{n}$. Sowohl N als auch X, letzteres über $D = Xn^{(1-\alpha)/\alpha}$, sind Inputs in der Konsumgutproduktion. Aus den Bedingungen der Kostenminimierung (vgl.(4) und (5)) folgt, daß das Verhältnis N/X eine Funktion von p(j)/w ist. Unter Beachtung des Preissetzungsverhaltens einer gewinnmaximierenden Firma (8) ist dieses Verhältnis konstant. Der Arbeitseinsatz im Endproduktsektor ist deshalb proportional zur Beschäftigung in der Zwischenproduktherstellung und das Arbeitsmarktgleichgewicht kann wie folgt modifiziert werden:

(20) $ag + bX = L, \qquad b > 1$.

Neben der Arbeitsmarktgleichgewichtsbedingung muß die oben abgeleitete Arbitragebedingung (16) erfüllt sein. Nur dann sind die Haushalte bereit die Forschung zu finanzieren, also die Aktien dieser Unternehmen zu akzeptieren. Verwendet man in dieser Bedingung den Einfluß der nutzenmaximierenden Haushalte (18) ergibt sich:

(21) $$\frac{1-\alpha}{\alpha a}X+\hat{w}-g=\hat{Y}+\rho \ .$$

Dabei wurde berücksichtigt, daß der Output des Konsumguts und die Nachfrage nach diesem im Gütermarktgleichgewicht mit der selben Rate wachsen müssen. Für die weiteren Überlegungen wird der Preis des Endproduktes (p_Y) als numéraire gewählt. Aus (7) läßt sich dann unter Berücksichtigung der monopolistischen Preisbildung (8) bei der Bestimmung des Preisindex p_D die Wachstumsrate des Reallohns berechnen. Man erhält:

(22) $$\hat{w}=\frac{1-\alpha}{\alpha}\beta g \ .$$

Ersetzt man aufgrund des oben abgeleiteten Zusammenhangs zwischen X und N in der Produktionsfunktion N durch X, dann läßt sich aus (10) ableiten, daß auch $\hat{Y}$ eine Funktion von g und X bzw. dessen Ableitung nach der Zeit ist. Mit (21) und der Arbeitsmarktgleichgewichtsbedingung hat man damit eine Differentialgleichung und eine Randbedingung, die die Evolution des Systems für alle möglichen Werte von X und g beschreiben. Mit Hilfe einer dynamischen Analyse könnte nun gezeigt werden, daß in Abhängigkeit von den Parametern des Modells nur eine bestimmte Kombination von g und X mit einem Gleichgewicht bei rationalen Erwartungen vereinbar ist. Diese Analyse soll hier nicht vorgeführt werden, es erfolgt eine Beschränkung auf die Untersuchung des steady state Gleichgewichts. Dabei ist aus den Ausführungen über die Dynamik des Systems klar, daß in einem derartigen steady state Gleichgewicht sowohl X als auch g konstant sein müssen. Verwendet man diesen Zusammenhang, so folgt aus (10), daß die Wachstumsrate des Endproduktoutputs mit der des Lohnes übereinstimmt. (21) wird damit zu:

(23) $$\frac{1-\alpha}{\alpha a}X=g+\rho \ .$$

Die steady state Wachstumsrate wird simultan durch (23) und durch die Bedingung für ein Arbeitsmarktgleichgewicht (20) determiniert. Für diese Rate gilt:

(24) $$g=\frac{(1-\alpha)L-\rho b\alpha a}{m} \ , \qquad m\equiv ba\alpha+a-\alpha a \ .$$

Die Wachstumsrate der Zwischenprodukte ist umso größer, je größer der Ressourcenbestand an Arbeit ist, da dann mehr Arbeitskräfte im Forschungssektor eingesetzt werden können. Sie steigt auch mit der Zunahme der Monopolmacht der Anbieter, der Produktivität des Arbeitseinsatzes im Forschungssektor und der Abnahme der Zeitpräferenzrate des Konsums.

Das Resultat des Modells ist also anhaltendes Wachstum der Zwischenproduktvielfalt und damit auch des Outputs an Konsumgütern. Nimmt man an, daß die in (24) gegebenen Determinanten der Wachstumsrate in unterschiedlichen Ländern differieren, läßt sich in diesem Modell eine unterschiedliche Entwicklung der Pro-Kopf-Einkommen abbilden.

Die zentrale Annahme, die anhaltendes Wachstum ermöglicht, ist der im Technologiesektor unterstellte externe Effekt. Rein formal, d.h. ausgehend von den Ergebnissen der steady state Analyse läßt sich dies so veranschaulichen: Der konstante Arbeitseinsatz im Zwischenproduktsektor hat einen konstanten Arbeitseinsatz im Endproduktsektor zur Folge. Damit bleibt als Residualgröße auch die im Forschungssektor eingesetzte Arbeit im Zeitablauf unverändert. Aus der Forschungsproduktionsfunktion (12) folgt dann, daß die Wachstumsrate der Varianten konstant ist. Aus der Produktionsfunktion (10) erhält man sofort das Ergebnis anhaltenden Wachstums des für die Konsumenten relevanten Outputs; der Arbeitseinsatz bleibt konstant, die Einsatzmenge der Zwischenprodukte, gemessen durch den Index D, steigt permanent an. Mit Hilfe dieser Überlegung wird aber klar, daß der externe Effekt mindestens die oben angenommene lineare Form (11) haben muß, um anhaltendes Wachstum zu erzeugen. Wäre die Wissensakkumulationsfunktion im gesamten Funktionsbereich streng konkav, dann würde die Wachstumsrate der Varianten bei konstantem Arbeitseinsatz in der Forschung mit zunehmender Vielfalt sinken. Da aufgrund der Arbeitsmarktbeschränkung dieser Arbeitseinsatz nicht beliebig gesteigert werden kann, würde die Wachstumsrate langfristig gegen Null gehen.

Intuitiv lassen sich die in der Modellökonomie ablaufenden Vorgänge so darstellen: In Folge des Arbeitseinsatzes im Forschungssektor kommt es zur Neuentwicklung von Zwischenproduktvarianten, die Inhaber der neuen Blaupausen fragen Arbeit nach. Im Endproduktsektor führt die steigende Produktvielfalt zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität. Ebenso steigt die Arbeitsproduktivität im Forschungssektor an, das gestiegene Wissenskapital in Form gestiegener Variantenvielfalt erhöht den Output je eingesetzter Arbeitseinheit. Auch diese beiden Effekte erhöhen c.p. die Arbeitsnachfrage, es entsteht ein Druck auf die Löhne. Die Existenz eines steady states in der oben beschriebenen Form mit anhaltendem Wachstum besagt nun gerade, daß es einen ausgewogenen Wachstumspfad gibt, bei dem die Arbeitsproduktivität in jedem Sektor in gleicher Weise ansteigt. Es kommt zu keiner Veränderung der sektoralen Arbeitseinsätze, die Entwicklung wird allein über eine Änderung der Löhne aufgefangen. Für den Zwischenproduktsektor gilt dabei die Konstanz des Arbeitseinsatzes nur im Aggregat, die "sektorale" Produktivitätssteigerung wird über den Wert des Indexes D gemessen. Der Arbeitseinsatz in der Herstellung jeder einzelnen Variante sinkt im Zeitablauf, da der sektorale Arbeitseinsatz auf immer mehr Varianten verteilt wird.

Durch eine Betrachtung der Profitentwicklung in (9) und der Entwicklungskosten (13) im Gefolge der Änderung von n und w erkennt man die Anreize, die die einzelnen Wirtschaftssubjekte zur Umsetzung der gerade geschilderten realen Entwicklung im Forschungs- und Zwischenproduktsektor veranlassen. Dabei gibt es eine Vielzahl gegenläufiger Effekte, deren spezielle Form durch die Wahl des numéraires bestimmt ist. So wirkt eine Erhöhung von n einerseits kostensenkend durch die gesteigerte Forschungsproduktivität, gleichzeitig sinken aber c.p. die

Profite und damit der Ertrag aus der Forschung, da die Nachfrage nach jeder einzelnen Variante sinkt. Ähnlich wirkt die Lohnsteigerung: Einerseits steigen dadurch die Kosten in der Forschung, andererseits steigen die Profite im Zwischenproduktsektor, da die infolge des gestiegenen Einkommens steigende Konsumgüternnachfrage auch die Nachfrage nach Zwischenprodukten steigen läßt. Im steady state gleichen sich diese Effekte in dem Sinn gerade aus, daß die Anreize zur Forschung und damit auch die Arbeitsnachfrage des Forschungssektors im Zeitablauf konstant bleiben.

Diese Konstanz der Anreize ist auch der Grund dafür, daß die Konsumenten bereit sind die Forschung dauerhaft zu finanzieren. Wie man aus der "Arbitragebedingung" insbesondere in der Form von (21) und (23) sieht, ist die Verzinsung der Firmenanteile im steady state immer höher als die Zeitpräferenzrate, die Konsumenten sind bereit auf gegenwärtigen Konsum zugunsten höherer zukünftiger Konsummöglichkeiten zu verzichten. Dabei wird deutlich, daß den Forschungsausgaben in diesem Modell die Aufgabe zukommt, die in den üblichen Wachstumsmodellen das physische Kapital innehat, nämlich Einkommen in die Zukunft zu transferieren. In diesem Zusammenhang wird noch einmal die Bedeutung des externen Effekts klar: Die durch ihn bewirkte Kostensenkung in der Forschung verhindert ein Absinken der Forschungsaktivität, da die Unternehmen für die durch die steigende Produktvielfalt absinkenden Erträge kompensiert werden. Dadurch bleibt die "Profitrate" konstant und sinkt nicht auf das Niveau der Zeitpräferenzrate ab, ein anhaltender Wachstumsprozeß ist möglich.

2. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses Beitrags war eine Darstellung der Funktionsweise einer bestimmten Modellgattung der "neuen" Wachstumstheorie. Besonderes Augenmerk galt dabei zwei zentralen Elementen dieser Richtung: Einerseits der Bedeutung, die der unterstellten Existenz von externen Effekten zukommt, andererseits der speziellen Marktstruktur der unvollkommenen Konkurrenz. Das Auftreten mindestens eines dieser beiden Elemente ist konstituierendes Merkmal einer Vielzahl von Ansätzen im Rahmen dieser Theorie.

Abschließend läßt sich hinsichtlich der Ansätze, die Wachstum über endogenen technischen Fortschritt erklären, folgendes feststellen: Die Modelle sind methodisch gut aufgebaut und besitzen formale Eleganz. Zudem bieten die Modelle interessante neue Erklärungsansätze hinsichtlich der wichtigen Frage nach den Determinanten des Wachstums. Dabei geht die Erklärungskraft über eine gewisse Plausibilität jedoch nicht hinaus, der empirische Nachweis der tatsächlichen Wichtigkeit der unterstellten Effekte steht noch aus. Ob die aus diesen abstrakten Modellen abgeleiteten Empfehlungen in praktische Politik umgesetzt werden können bzw. für diese nützlich sind, wird bisher eher skeptisch beurteilt (vgl. z.B. Solow, R.M. 1992).

Summary

We describe a dynamic general equilibrium model of innovation in which endogeneous technological progress results from the profit-maximizing behavior of entrepreneurs. In this model, firms must incur resource costs to introduce new horizontally differentiated, intermediate products, and forward-looking producers enter this market whenever profit opportunities exist. This paper is emphasizing the role of nonconvexities, rivalry and excludability in the determination of the rate of growth.