Stochastische Innovations- und Wachstumszyklen

Manfred Stadler

1. Einleitung

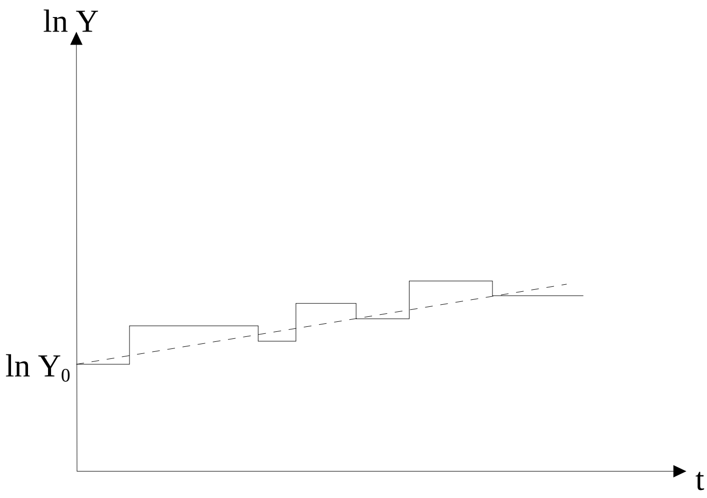
Die mit den Modellen von Solow (1956) und Swan (1956) begründete und von Cass (1965) und Koopmans (1965) nachfrageseitig endogenisierte neoklassische Wachstumstheorie hat sich als außerordentlich fruchtbar erwiesen, die mit der Kapitalakkumulation einhergehende Erhöhung der Pro-Kopf-Einkommen im Übergangsprozeß an einen approximativ erreichbaren *steady-state*-Wachstumspfad zu beschreiben. Die sich langfristig auf diesem *steady-state*-Pfad einstellende Wachstumsrate der Pro-Kopf-Größen ist dabei allerdings im Gegensatz zu den Vorläufermodellen keynesianischer Tradition ausschließlich über einen stetig "wie Manna vom Himmel fallenden", exogenen Harrod-neutralen technischen Fortschritt bestimmt. Eine Erklärung langfristiger Wachstumspfade etwa in Abhängigkeit unternehmerischer Investitionsentscheidungen war im neoklassischen Analyserahmen damit von vornherein ausgeschlossen. Erst die im Zuge der Entwicklung einer Neuen Wachstumstheorie geleistete Endogenisierung der Wachstumsraten eröffnete die Möglichkeit, sowohl Wachstumstrend als auch -zyklen simultan in Abhängigkeit einiger gesamtwirtschaftlicher und marktspezifischer Einflußgrößen erklären zu können. Selbst wenn prinzipiell sämtliche Varianten der Neuen Wachstumstheorie für ein derartiges Unterfangen in Frage kommen – man denke an die Humankapital- und die *learning-by-doing*–Ansätze –, so muß doch den innovations-theoretisch fundierten Wachstumsmodellen darunter eine besondere Bedeutung beigemessen werden, zumal die F&E-Anstrengungen privater Unternehmen den zentralen marktwirtschaftlichen Antriebsmechanismus für andauerndes Wachstum darstellen.

Einen bemerkenswerten formal-theoretischen Vorstoß, endogene Innovations- und Wachstumszyklen auf zeitliche Schwankungen der Zeitpräferenzrate als gesamt-wirtschaftlicher Nachfragedeterminante zurückzuführen, hat Neumann (1990) mit seinem Generationenmodell unternommen. Unter Bezugnahme auf das Buddenbrook-Syndrom unterstellt er eine im Generationenwechsel zeitlich verzögerte Änderung der Zeitpräferenzrate in positiver Abhängigkeit des in der prägenden Jugendphase erlebten Wohlstands. Die zugrundegelegte gemischte Differenzen-Differentialgleichung für die Zeitpräferenzrate besitzt unter bestimmten Bedingungen eine Lösungsfunktion, die harmonische Schwingungen generiert. Die Schwankungen in der Zeitpräferenz übertragen sich auf die Innovations-aktivitäten der Unternehmen und damit auf den gesamtwirtschaftlichen Wachstumsprozeß.

Im Gegensatz zu diesen nachfrageseitig induzierten Wellen der wirtschaftlichen Entwicklung werden in diesem Beitrag angebotsseitig begründete Innovations- und Wachstumszyklen betrachtet. Die präsentierten Modelle zeichnen sich vor allem durch eine genuine Stochastik des Innovationsprozesses auch auf der makroökonomischen Ebene und in Erweiterung der *real-business-cycle*-Ansätze der ersten Generation durch eine mikro- bzw. industrieökonomisch fundierte Erfassung des Innovationswettbewerbs auf unvollkommenen Gütermärkten aus. Von den "Standardmodellen" der Neuen Wachstumstheorie, wie sie beispielsweise in Barro/Sala-i-Martin (1995) systematisch zusammengefaßt wurden, unterscheiden sie sich durch ihre Eigenschaft, Wachstumstrend und -zyklen als voneinander nicht zu trennende Aspekte der Innovationsdynamik zu begreifen. Da Innovationsprozesse typischerweise nicht stetig verlaufen, sondern in unregelmäßigen Abständen größere und kleinere technologische Neuerungen hervorbringen, muß davon ausgegangen werden, daß die gleichen fundamentalen Erklärungsfaktoren, die die trendmäßigen Innovations- und Wachstumsraten bestimmen, gleichzeitig auch deren zyklische Entwicklungen beeinflussen.

Gemeinsam liegt allen hier präsentierten Modellen Schumpeters Vorstellung eines "unaufhörlichen Prozesses schöpferischer Zerstörung" zugrunde, wie sie im Rahmen der "Schumpeterianischen Wachstumstheorie" (Dinopoulos 1996) in Form einer dauerhaften Abfolge aufeinanderfolgender Innovationswettläufe zwischen konkurrierenden Unternehmen recht fruchtbar formalisiert wurde (vgl. etwa Stadler 1999). Dieser Zweig der Neuen Wachstumstheorie beinhaltet als zentrales Konstruktionsmerkmal jeweils vorgegebene "Technologie-" oder "Qualitätsleitern", die es im Innovationsprozeß Sprosse für Sprosse zu erklimmen gilt. Die Stochastik, die diesen Prozeß steuert, ist gleichzeitig die Ursache für das Entstehen von Zyklen, verstanden als sprunghafte, aber einem charakteristischen Muster folgende Änderungen in der gesamtwirtschaftlichen Produktion um einen langfristigen Wachstumstrend. In Schaubild 1 ist exemplarisch ein derartiger stochastisch-zyklischer Pfad der (logarithmierten) Produktion Y um einen deterministischen *steady-state*-Wachstumspfad, wie er aus den Standardmodellen der Neuen Wachstumstheorie folgt, in Abhängigkeit der Zeit t eingezeichnet.

Schaubild 1



Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Im Abschnitt 2 wird gezeigt, wie variierende technologische Bedingungen zwangsläufig Innovations- und Wachstumszyklen generieren. Daß sich auch ohne Änderungen in den fundamentalen Rahmendaten im F&E-Sektor Wachstumszyklen als gleichgewichtige Entwicklungspfade einstellen können, wird in Abschnitt 3 demonstriert. Stellvertretend für mehrere denkbare Anpassungsprozesse an technologische Neuerungen werden in Abschnitt 4 Implementationszeiten unterstellt, die Fluktuationen als unweigerliche Begleiterscheinung des Wachstumsprozesses begründen. Abschnitt 5 trägt nicht nur der Tatsache Rechnung, daß Zyklen mit dem Wachstumsprozeß einhergehen, sondern daß sie ihn ihrerseits nachhaltig beeinflussen können. Ein kurzes Resümee in Abschnitt 6 schließt den Beitrag ab.

2. Änderungen der technologischen Möglichkeiten als Ursache der Zyklenbildung

Für die Analyse zyklischer Auswirkungen stochastischer Innovationsfortschritte wird zunächst eine einfach strukturierte Variante eines Qualitätsleiter-Modells à la Aghion/Howitt (1992) zugrundegelegt. Betrachtet wird eine geschlossene Volkswirtschaft ohne Staat mit konstanter Bevölkerungszahl. Neben vollkommenen Arbeits- und Finanzmärkten wird ein einsektoraler, nicht-kompetitiver Gütermarkt unterstellt, in dem ein Konsumgut mit diskret verbesserbarer Qualität angeboten wird. Die zeit- und kostenaufwendige Suche nach derartigen Verbesserungen wird als Abfolge unternehmerischer Innovationswettläufe modelliert, wobei das schnellste Unternehmen für seine Innovation kostenlos ein zeitlich unbefristetes Patent erhält. Das hinter den Innovationen stehende technologische Know-how steht über unbegrenzte *spillover*-Effekte jeweils unverzüglich allgemein frei zur Verfügung, so daß beliebig viele Unternehmen mit den gleichen Startvoraussetzungen am nächsten

Patentrennen teilnehmen können. Der Qualitätsindex für die jeweilige Spitzenqualität des Produktes ist dann gegeben durch $A_m = \lambda_1 \lambda_2 ... \lambda_m$, wobei das Ausgangsniveau auf A(0):=1 normiert und die Höhe der Technologiesprünge λ_m>1, m=1,2,... als bereits im voraus bekannt unterstellt werden. Der Konsumindex der Haushalte entspricht der qualitätsgewichteten aggregierten Gütermenge

$$(1) \qquad C = \sum_{j=1}^{m} A_j Q_j ,$$

wobei die Mengen Q_j mittels qualifizierter Arbeit X_j gemäß der linearen Produktionsfunktion

$$(2) \qquad Q_j = B_j X_j , \quad j = 1,...,m,$$

hergestellt werden. Die Produktivitätsparameter B_j werden zunächst als technologie-unabhängig betrachtet und der Einfachheit halber auf 1 normiert. Da die Konsumgüter unterschiedlicher Qualität in (1) perfekte Substitute darstellen, besitzt der Technologieführer im Gütermarkt einen Preissetzungsspielraum derart, daß er alle Konkurrenten mit geringeren Qualitätsleistungen von einem Marktzutritt abhalten kann. Der Konsumindex (1) vereinfacht sich damit zu

$$(3) \qquad C_m = A_m X_m .$$

Aufgrund der bei einem Preis $\tilde{p}_m$ für jede konsumierte Mengeneinheit X_m gültigen statischen Budgetrestriktion $I_m = \tilde{p}_m X_m$ der Haushalte, die eine Preiselastizität der Nachfrage in Höhe von -ε=1 impliziert, ist der Technologieführer zwar nicht in der Lage, einen (in diesem Fall unendlich hohen) Monopolpreis zu setzen, wohl aber einen Limitpreis – ein Marktergebnis, das die Innovationen als „nicht-drastisch“ definiert.

Tatsächlich wird der Marktführer seinen Preis derart setzen, daß das resultierende Preis-Qualitäts-Verhältnis gerade eine marginale Einheit unter dem minimalen Preis-Qualitäts-Verhältnis der technologisch nächstbesten Konkurrenten liegt, und so die gesamte Marktnachfrage auf sich ziehen. Der minimale Angebotspreis der nächsten Verfolger, charakterisiert durch exakt eine Qualitätsstufe Rückstand,[1] entspricht (bei einem Nullgewinn)

---

[1] Der Gewinnzuwachs des Technologieführers durch einen weiteren Innovationserfolg, mit dem er seinen technologischen Vorsprung auf zwei Stufen ausbauen könnte, ist grundsätzlich niedriger als der Gewinn eines den Markt erobernden, herausfordernden Unternehmens. Bei unbeschränkter Teilnahme an den Innovationsrennen wird daher gerade der Technologieführer keine Ressourcen in die Entdeckung der Folgeinnovation investieren.

gerade deren Grenzkosten, nämlich dem vorherrschenden Lohnsatz w_m. Die Ungleichung $\tilde{p}_m / A_m < w_m / A_{m-1}$ muß also eben noch erfüllt sein, damit das erfolgreiche Unternehmen nicht Gefahr läuft, den Markt mit Konkurrenten teilen zu müssen. In Abhängigkeit des zuletzt überwundenen Sprossenabstands auf der Qualitätsleiter, $\lambda_m = A_m/A_{m-1}$, resultiert daraus der Limit-Preis

(4) $$\tilde{p}_m = \lambda_m w_m .$$

Da aufgrund der unterstellten Produktionstechnologie der Lohnsatz w_m die Produktionsstück- und gleichzeitig -grenzkosten repräsentiert, gibt die Höhe der Technologiesprünge λ_m jeweils den *markup*-Faktor als Maß für die vorliegende Marktmacht des Technologieführers an. Sein laufender Gewinn berechnet sich dann unter Beachtung der Budgetrestriktion der Haushalte in jedem Zeitpunkt als

(5) $$\pi_m = (1 - 1/\lambda_m)\, I_m .$$

Die Suche nach technologischen Verbesserungen findet in einem separaten Forschungssektor statt. Die Innovationen folgen einem Poisson-Prozeß, dessen Ankunftsrate h_m jeweils linear von den im F&E-Bereich eingesetzten Arbeitsressourcen H_m abhängt. Mit den während eines jeden Innovationswettlaufs konstanten "Innovationsgrenzkosten" μ_m lautet dann die Arbeitsnachfrage im F&E-Bereich

(6) $$H_m = \mu_m h_m .$$

Bezeichnet man mit Z_{m+1} den auf den Innovationszeitpunkt diskontierten Wert des (m+1)-ten Patentes und unterstellt freien Zugang zum Innovationswettlauf, folgt der optimale Arbeitseinsatz im F&E-Sektor aus

$$\max_{h_m \geq 0} \left\{ - w_m \mu_m h_m + h_m Z_{m+1} \right\} .$$

Die Kuhn-Tucker-Bedingungen

$$Z_{m+1} - w_m \mu_m \leq 0, \quad h_m \geq 0, \quad h_m \left[Z_{m+1} - w_m \mu_m \right] = 0$$

zeigen, daß endlich-positive Innovationsaktivitäten – und nur dieser Fall interessiert im folgenden – die erwartete Nullgewinnbedingung

(7) $$w_m \mu_m = Z_{m+1}$$

implizieren. Den Patentwert Z_{m+1} erhält man – bei noch zu begründender Konstanz des Zinssatzes während des Verweilens auf einer Technologiestufe m – aus der Bellman-Gleichung

$$Z_{m+1} = \pi_{m+1}dt - (1 - r_{m+1}dt)(1 - h_{m+1}dt)Z_{m+1}$$

nach Division durch dt, Vollzug des Grenzübergangs dt→0 und Beachtung von (5) als

$$(8) \qquad Z_{m+1} = \frac{\pi_{m+1}}{r_{m+1} + h_{m+1}} = \frac{(1 - 1/\lambda_{m+1})I_{m+1}}{r_{m+1} + h_{m+1}}.$$

Aufgrund des perfekten Patentschutzes kann der Marktführer die laufenden Gewinne π_{m+1} solange realisieren, bis er im Prozeß schöpferischer Zerstörung von einem erfolgreichen Herausforderer mit einer Wahrscheinlichkeit von $h_{m+1}dt$ pro marginalem Zeitintervall [t,t+dt] wieder abgelöst wird.

Der sich auf dem vollkommenen Finanzmarkt einstellende Zinssatz läßt sich über das dynamische Konsumverhalten der Haushalte ableiten. Jeder (repräsentative) Haushalt ist mit einer Arbeitseinheit ausgestattet und besitzt eine nur vom Konsumindex C abhängige Nutzenfunktion. Er verhält sich in altruistischer Weise als Glied einer nicht aussterbenden Dynastie, wobei das Wohl aller Nachfahren entsprechend dem eigenen Wohl in seine Nutzenfunktion eingeht. Wie üblich wird die zeitlich additiv separable Form

$$(9) \qquad U(C) = \int_t^\infty e^{-\rho(\tau - t)} u(C) d\tau$$

mit der konstanten Zeitpräferenzrate ρ und der laufenden Nutzenfunktion

$$(10) \qquad u(C) = \begin{cases} \left(C^{1-\sigma} - 1\right)/(1-\sigma), & \sigma \in (0,\infty), \sigma \neq 1 \\ \ln C, & \sigma = 1 \end{cases}$$

bei konstanter relativer Risikoaversion mit einer intertemporalen Substitutionselastizität von $1/\sigma$ zugrundegelegt. Im Gegensatz zu den Standardmodellen der Neuen Wachstumstheorie ist bei stochastischen innovationsgetriebenen Wachstumsmodellen von vornherein nicht davon auszugehen, daß sich ein stetiger *steady-state*-Konsumpfad einstellt, es sei denn, die genuine Stochastik auf den Gütermärkten mittelt sich durch das Konstrukt eines Kontinuums unendlich vieler Teilmärkte über die damit einhergehende vollkommene Risikodiversifizierung im makroökonomischen Aggregat wieder heraus (so etwa in Grossman, Helpman 1991). Insofern ist die hier verwendete extreme Annahme eines einzigen

Gütersektors typischer und daher sogar besser zur Analyse makroökonomischer Innovations- und Wachstumszyklen geeignet als die polar entgegengesetzte Annahme (unendlich) vieler Sektoren.[2] Das stochastische Auftreten von Innovationen unterschiedlichen Ausmaßes löst grundsätzlich Reallokationen von Ressourcen, hier also von Arbeitskräften, aus. Da eine Verlagerung der qualifizierten Arbeit vom produktiven Sektor in den F&E-Sektor aber zwangsläufig mit einem (temporären) Konsumverzicht der Haushalte sowie einer Revision der Gewinnaussichten für die Unternehmen einhergeht, schlagen diese Reallokationen auch auf die realen Vermögensbestände der Ökonomie in Form gehaltener Unternehmensanteile durch. In diesem stochastischen Szenario maximieren die (aggregierten) Haushalte die Nutzenfunktion (9) unter der dynamischen Budgetrestriktion

$$(11) \qquad dW(t) = [r(t)W(t) + w(t)L - I(t)]dt + (\kappa(t) - 1)W(t)dq(t)$$

sowie der gegebenen zeitlichen Anfangsbedingung $W(0)=W_0$. Dabei steht W für das Vermögen der Haushalte, L für die konstante Bevölkerungszahl, $r(t) := \dot{R}(t)$ für den Zinssatz, sofern der kumulierte Zinssatz R im betreffenden Zeitpunkt differenzierbar ist und die Variable $\kappa(t) := e^{R(t^+) - R(t)}$ gibt einen diskreten Sprung im kumulierten Aufzinsungsfaktor im Innovationszeitpunkt t^+ an, wobei $\kappa>1$ einen Vermögenszuwachs bzw. $\kappa<1$ einen Vermögensverlust infolge einer technologischen Neuerung bedeutet. q(t) ist der Poisson-Prozeß, in dem das stochastische Auftreten von Innovationen in der Abfolge von Technologiewettläufen zum Ausdruck kommt. Solange keine Innovation erfolgt, gilt dq=0, in jedem Innovationszeitpunkt dagegen dq=1. Bei einer empirisch akzeptablen logarithmischen Nutzenfunktion (10) mit einer intertemporalen Substitutionselastizität von 1 ($\sigma=1$) folgt aus der stochastischen Nutzenmaximierung der Konsumausgabenpfad

$$(12) \qquad \dot{I}_m / I_m = r_m - \rho + h_m[(I_m / I_{m+1}) - 1]$$

(vgl. die Herleitung von (A.6) im Anhang). Aufgrund eines nicht explizit modellierten Geldmarktes können ohne Einschränkung der Allgemeinheit die Konsumausgaben auf $I_m:=1$, m=1,2,..., normiert werden, so daß der Zinssatz unabhängig vom erreichten Technologieniveau der als konstant unterstellten Zeitpräferenzrate entspricht:

$$(13) \qquad r_m = \rho, \; m = 1,2,... \; .$$

[2] Die abzuleitenden Ergebnisse behalten im übrigen auch im Falle vieler Gütermärkte ihre Gültigkeit, wenn etwa positive Nachfrageexternalitäten à la Shleifer (1986) eine Synchronisierung der Einführungszeitpunkte neuer Technologien in den einzelnen Märkten bewirken.

Mit dieser Normierung läßt sich die erwartete Nullgewinnbedingung (7) unter Verwendung des in (8) bestimmten Patentwertes als

$$(14) \qquad \mu_m w_m = \frac{1-1/\lambda_{m+1}}{\rho + h_{m+1}}$$

ausdrücken. Die Arbeitsnachfrage im produktiven Sektor ergibt sich mit I_m=1 unter Beachtung der Preissetzungsregel (4) als

$$(15) \qquad X_m = 1/\lambda_m w_m .$$

Setzt man die beiden Arbeitsnachfragefunktionen (6) und (15) in die Markträumungs-bedingung des Arbeitsmarktes,

$$(16) \qquad L = H_m + X_m ,$$

ein, erhält man als Ressourcenrestriktion

$$(17) \qquad L = \mu_m h_m + 1/\lambda_m w_m .$$

Sofern sich die technologischen Möglichkeiten, repräsentiert durch die Parameter λ_m für die Höhe der Innovationssprünge und μ_m für die Schwierigkeitsgrade der Innovationsrealisierung, im Zeitablauf nicht ändern, folgt aus dem Gleichungssystem (14) und (17) die Existenz eines stationären *steady-state*–Gleichgewichtspfades

$$h^* = L(1-1/\lambda)/\mu - \rho/\lambda ,$$

für die Innovationsrate, die positiv von der Ressourcenausstattung mit qualifizierter Arbeit L und dem Innovationsgrad (und gleichzeitigem Marktmachtindikator) λ, aber negativ von den Innovationsgrenzkosten μ und der Zeitpräferenzrate ρ abhängt. Der Konsumindex C folgt beim Erklimmen der Qualitätsleiter einem nicht-stationären stochastischen Prozeß, indem er mit jeder Innovation in exponentialverteilten Zeitabständen diskret ansteigt und den Konsumnutzen der Haushalte erhöht.[3] Bei gleichem Sprossenabstand (und daraus

---

[3] Eine alternative Interpretation besteht darin, (1) als Produktionsfunktion mit Zwischenprodukten Q und einem Effizienzparameter A aufzufassen, um so quantitatives statt qualitatives Wirtschaftswachstum zu erzeugen. Das Modell generiert dann stochastisches Mengenwachstum bei gleichbleibender Qualität der Konsumgüter (siehe die folgenden Abschnitte).

berechenbarem Technologieniveau $A_m = \lambda^m$) sowie gleichbleibender Ressourcenallokation folgt aus (1) nach Logarithmierung

$$\ln C(t+dt) - \ln C(t) = dm \ln\lambda,$$

wobei dm die Zahl der im marginalen Zeitintervall [t,t+dt] stattfindenden Innovationen angibt. Diese Zahl ist Poisson-verteilt mit der Ankunftsrate h*. Nach Division durch dt sowie dem Vollzug des Grenzübergangs dt $\rightarrow$ 0 erhält man die im Durchschnitt zu erwartende Wachstumsrate als

(18) $$g = h^* \ln\lambda$$

bei einer Varianz von $h^*(\ln\lambda)^2$. Die durchschnittliche Wachstumsrate wie auch deren Varianz werden damit von den exogenen Modellparametern in gleicher Weise beeinflußt wie die Innovationsrate. Zwangsläufig nimmt daher mit einer zunehmenden Dynamik des Innovationsprozesses auch die Variabilität der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung zu. In großzügiger Auslegung könnte man diese Schwankungen bereits als (qualitative) stochastische Wachstumszyklen interpretieren, die phasenweise über bzw. unter einem zu Referenzzwecken konstruierbarem deterministischen Vergleichspfad liegen. Die mit Zyklen im engeren Sinne gemeinten Schwankungen der gesamtwirtschaftlichen Produktion, charakterisiert auch durch zwischenzeitlich zu verzeichnende Produktionseinbrüche, treten allerdings erst dann auf, wenn sich die technologischen Möglichkeiten im Zeitablauf ändern.

Gleichbleibende technologische Rahmenbedingungen des Innovationsprozesses sind in der Realität kaum zu erwarten. Vielmehr muß davon ausgegangen werden, daß sich die marktspezifischen Fundamentaldaten von Innovation zu Innovation ändern. Nach bahnbrechenden technologischen Neuerungen treten häufig erst kleinere Verbesserungsinnovationen auf, ehe die nächste revolutionierende Innovation durchgeführt wird (vgl. Jovanovic/Rob 1990, Cheng/Dinopoulos 1994, 1996). Um die dabei auftretende Zyklenbildung stilisiert nachzuzeichnen, genügt es, von zwei sich regelmäßig abwechselnden Rahmendaten für den Innovationsprozeß auszugehen. Konkret wird unterstellt, daß auf jede grundlegende Basisinnovation genau eine Verbesserungsinnovation folgt, ehe die nächste Basisinnovation in Angriff genommen werden kann.[4] Der jeweils erreichte Technologieindex m={V,B} charakterisiere jeweils den Zustand des ökonomischen Systems nach einer erfolgten Verbesserungsinnovation (Phase V) bzw. nach einer erfolgten Basisinnovation (Phase B). In Phase V wird unter relativ hohen finanziellen Anforderungen $(\mu_V > \mu_B)$ nach der nächsten

[4] Alternativ könnte davon ausgegangen werden, daß es nach erfolgter Basisinnovation für die Unternehmen optimal ist, erst eine Verbesserungsinnovation durchzuführen, ehe wiederum eine Basisinnovation rentabler erscheint (vgl. Cheng/Dinopoulos 1994).

Basisinnovation, verbunden mit einem relativ hohen Technologiesprung $(\lambda_B > \lambda_V)$ gesucht. In Phase B reduzieren sich die technologischen Anforderungen, die angestrebte Verbesserungsinnovation führt allerdings auch nur zu einem kleineren Technologiesprung. Die erwartete Nullgewinnbedingung (14) lautet dann in den beiden Phasen V und B:

$$(19) \qquad \mu_V w_V = \frac{1-1/\lambda_B}{\rho + h_B} \quad \text{und} \quad \mu_B w_B = \frac{1-1/\lambda_V}{\rho + h_V} .$$

Die Gleichgewichtsbedingung (17) für den Arbeitsmarkt konkretisiert sich zu

$$(20) \qquad L = \mu_V h_V + 1/\lambda_V w_V \quad \text{und} \quad L = \mu_B h_B + 1/\lambda_B w_B .$$

Damit resultiert ein System vier linear unabhängiger Gleichungen für die vier endogenen Variablen Lohnsätze und Innovationsraten mit $w_V \neq w_B$ und $h_V \neq h_B$. Unterschiedliche technologische Möglichkeiten führen daher unweigerlich zu zyklischen Schwankungen der realen ökonomischen Variablen. Allgemeingültige Aussagen über das Zyklusmuster lassen sich ohne Kalibrierung kaum treffen. Ein typischer Zyklusverlauf weist aber das folgende Muster auf: Im Wettlauf um eine Basisinnovation (Phase V) sind Produktion und Konsum aufgrund des geringen Preisaufschlags relativ hoch, während gleichzeitig die Innovationsaktivitäten aufgrund der schwierigen Innovationsdurchführung relativ gering sind. Mit der Entdeckung der Basisinnovation geht eine Ressourcenverlagerung von der Produktion in die Forschung einher. Die Innovationsdynamik nimmt zu, so daß die nächste Verbesserungsinnovation in der Regel schneller durchgeführt wird. Cum grano salis lassen sich Phase V als Boom bzw. Phase B als Rezession interpretieren. Damit würde jedenfalls den empirischen Regelmäßigkeiten einer prozyklischen Reallohnentwicklung und einer antizyklischen Preisaufschlagsbildung Rechnung getragen.[5]

Der diskutierte makroökonomische Patentrennen-Ansatz ist von seiner Intention her ein qualitatives Wachstumsmodell. Lediglich der qualitätsgewichtete Konsumindex, nicht jedoch die Produktion, weist einen positiven Trend auf. Ohne großen Aufwand läßt sich der Ansatz allerdings in ein quantitatives Wachstumsmodell uminterpretieren. Erforderlich ist hierfür eine Uminterpretation von (1) in die Produktionsfunktion des Technologieführers in einem nicht-kompetitiven Zwischenproduktmarkt, der als Zulieferer seinen Output an die Unternehmen eines kompetitiven Konsumgütersektors verkauft, ehe diese dann die Konsumenten bedienen. Es resultieren dann stochastische Wachstumszyklen, wie sie in Schaubild 1 exemplarisch dargestellt wurden. Neben den Zwischenprodukten bzw. den zu

---

[5] Demgegenüber entbehren die von Cheng/Dinopoulos (1994) diskutierten „Konjunkturmuster“ zweifelsohne jeder empirischen Grundlage.

ihrer Produktion benötigten qualifizierten Arbeitskräften (Q=X) und dem endogenisierten Technologieparameter A sollte allerdings zur Weiterverarbeitung bzw. Veredelung der Zwischenprodukte zumindest ein weiterer Produktionsfaktor wie z.B. einfache Arbeit Verwendung finden. Im Rahmen eines derart erweiterten Modells wird im folgenden demonstriert, daß sich Innovations- und Wachstumszyklen selbst bei gleichbleibenden technologischen Möglichkeiten als Gleichgewichtspfade einstellen können.

3. Zyklische Gleichgewichtspfade bei konstanten technologischen Möglichkeiten

Dem in mehrfacher Hinsicht grundlegenden makroökonomischen Innovationsmodell von Aghion/Howitt (1992) folgend sei eine linear-homogene Cobb-Douglas-Produktionsfunktion

$$(21) \qquad Y = A_m X_m^{\alpha}, \quad 0<\alpha<1,$$

für ein homogenes Konsumgut unterstellt, wobei X für den Einsatz qualifizierter Arbeitskräfte in der Zwischengüterproduktion steht und das unelastische Angebot an einfacher Arbeit auf 1 normiert wurde. Wählt man das Konsumgut als numéraire, folgt aus der Gewinnmaximierung der Konsumgüterproduzenten die aggregierte inverse Nachfragefunktion

$$(22) \qquad \tilde{p}_m = \alpha A_m X_m^{\alpha-1}$$

für den Technologieführer im Zwischenproduktmarkt. Er maximiert seinen laufenden Gewinn

$$\pi_m = \alpha A_m X_m^{\alpha} - w_m X_m,$$

indem er für sein Zwischenprodukt den Monopolpreis

$$(23) \qquad \tilde{p}_m = w_m / \alpha$$

setzt, sofern die Innovationen drastisch sind ($\alpha^{-\alpha} < \lambda$), bzw. im Fall nicht-drastischer Innovationen durch die Limitpreissetzung $\tilde{p}_m = \lambda^{1/\alpha} w_m$. Da in beiden Fällen ein konstanter *markup*-Faktor resultiert, beschränkt sich die Analyse im folgenden auf den Fall drastischer Innovationen, interpretiert als revolutionäre technologische Neuerungen.[6] Ein Vergleich mit

[6] Bresnahan/Trajtenberg (1995) haben für derartige Basisinnovationen, die die Produktion in vielen Anwendungsbereichen revolutionieren, den Begriff der *general purpose technologies* (GPT) geprägt (vgl. die ausführlichen Diskussionen in Helpman 1998). Da im vorliegenden Beitrag alle Gütermärkte synchronisiert,

der Preissetzung (4) des voranstehenden Modells zeigt, daß nunmehr der *markup*-Faktor ($1/\alpha$) die Rolle von λ als zentralem Marktmachtindikator übernimmt. Unter Verwendung des auf den erreichten technologischen Stand normierten Lohnsatzes $\omega_m := w_m / A_m$, m=1,2,... ergibt sich aus (22) und (23) die inverse Arbeitsnachfragefunktion

(24) $$\omega_m = \alpha^2 X_m^{-(1-\alpha)}$$

sowie ein nach der nächsten Innovation realisierbarer laufender Gewinn

(25) $$\pi_{m+1} = A_{m+1}(1-\alpha)\alpha X_{m+1}^{\alpha}.$$

Die Normierung des Outputpreises auf 1 legt es aus Gründen der Einfachheit nahe, im folgenden von einer (empirisch unbefriedigenden) linearen Nutzenfunktion mit einer unendlichen Substitutionselastizität der Haushalte (σ=0) auszugehen, so daß analog zu (13) wieder eine Übereinstimmung des Zinssatzes mit der konstanten Zeitpräferenzrate ρ resultiert, wie dies aus (A.4) im Anhang hervorgeht. Bei unveränderten technologischen Möglichkeiten ($\mu_m := \mu,\ \lambda_m := \lambda\ \forall\ m$) ergibt sich dann nach Substitution von (8) und (25) in (7) die auf beiden Seiten durch A_m normierte erwartete Nullgewinnbedingung

(26) $$\mu\omega_m = \frac{\lambda(1-\alpha)\alpha X_{m+1}^{\alpha}}{\rho + h_{m+1}}.$$

Die linke Seite der Gleichung repräsentiert den Kostenaspekt der Innovationsaktivitäten und läßt sich unter Verwendung von (24) sowie der Ressourcenrestriktion (16) für qualifizierte Arbeit als eine mit den in F&E Beschäftigten H_m steigende Funktion

(27) $$c(H_m) := \mu\alpha^2 (L - H_m)^{-(1-\alpha)},\ c' > 0,$$

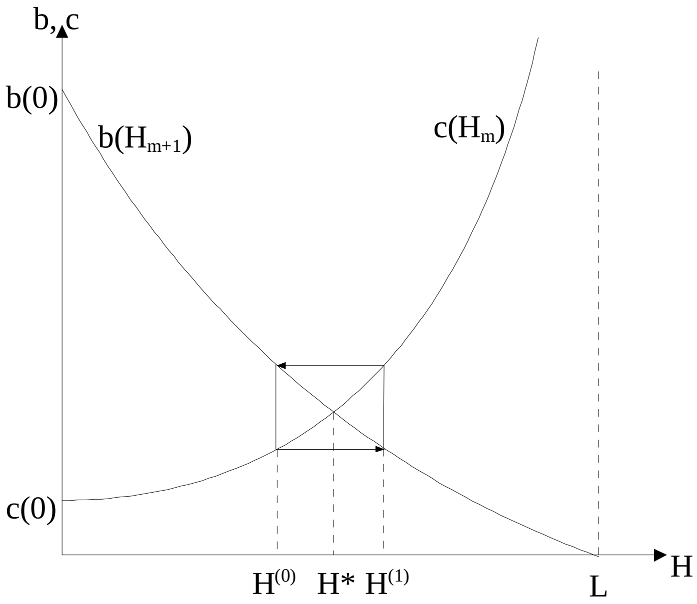
darstellen. Die rechte Seite von (26) spiegelt die Ertragsaussichten der Innovationstätigkeit wider und kann unter Verwendung von (6) und (16) als eine mit den (nach erfolgter Innovation) im F&E-Sektor Beschäftigten H_{m+1} sinkende Funktion

(28) $$b(H_{m+1}) := \frac{\lambda(1-\alpha)\alpha(L - H_{m+1})^{\alpha}}{\rho + H_{m+1}/\mu},\ b' < 0,$$

d.h. zu einem einzigen Gütermarkt kondensiert, abgebildet werden, handelt es sich bei den hier betrachteten Innovationen um gewissermaßen idealtypisch-stilisierte GPTs.

angesehen werden. Beide Funktionen sind im Schaubild 2 graphisch dargestellt.

Schaubild 2



Die erwartete Nullgewinnbedingung (26) bestimmt über (27) und (28) jeweils die Beschäftigung im F&E-Sektor vor einer jeden Innovation als Funktion dieser Beschäftigung nach der jeweiligen Innovation, d.h.

(29) $\quad H_m = f(H_{m+1}),\ f' < 0.$

Die negative Rückbezüglichkeit resultiert aus den mit hohen zukünftigen Innovationsanstrengungen sich verschlechternden Gewinnaussichten gegenwärtig forschender Unternehmen. Zum einen werden durch die Absorption qualifizierter Arbeitsressourcen das Produktions- und Gewinnpotential der nächsten Innovation geschmälert, zum anderen muß der zukünftige Monopolist mit einer besonders schnellen Ablösung im Prozeß der schöpferischen Zerstörung rechnen.

Ein stationäres Gleichgewicht $H_m=f(H_m)=H^*$, m=1,2,... mit positiven Innovationsaktivitäten und folglich mit stochastischem Wachstum existiert immer dann, wenn die Ungleichung

(30) $\quad c(0) = \mu\alpha^2 L^{-(1-\alpha)} \ < \ b(0) = \lambda(1-\alpha)\alpha L^{\alpha}\rho^{-1}$

erfüllt ist. Die stationäre Allokation qualifizierter Arbeit berechnet sich dann aus (27) und (28) als

$$(31)\quad H^* = \frac{\lambda(1/\alpha - 1)L - \mu\rho}{\lambda(1/\alpha - 1) + 1} =: H^*(L,\mu,\lambda,\alpha,\rho),\ H_L^* > 0,\ H_\mu^* < 0,\ H_\lambda^* > 0,\ H_\alpha^* < 0,\ H_\rho^* < 0$$

$$X^* = \frac{L + \mu\rho}{\lambda(1/\alpha - 1) + 1} =: X^*(L,\mu,\lambda,\alpha,\rho),\ \ X_L^* > 0,\ \ X_\mu^* > 0,\ \ X_\lambda^* < 0,\ \ X_\alpha^* > 0,\ \ X_\rho^* > 0.$$

Die im F&E-Bereich eingesetzten Ressourcen H* wie auch die Innovationsrate $h^*=H^*/\mu$ hängen positiv von der Zahl qualifizierter Arbeitskräfte L, vom Marktmachtindikator $(1/\alpha)$ und der Innovationsgröße λ sowie negativ vom Schwierigkeitsgrad μ und der Zeitpräferenzrate ρ ab. Die in der Güterproduktion eingesetzten qualifizierten Arbeitskräfte steigen ebenfalls mit zunehmendem Gesamtangebot L, ansonsten gelten die umgekehrten Wirkungsrichtungen. Die im Durchschnitt zu erwartende Wachstumsrate ergibt sich analog zu (18) als $g = h^* 1n\lambda$ bei einer Varianz von $h^*(\ln\lambda)^2$. Die durchschnittliche Wachstumsrate wie auch deren Varianz werden damit erneut von den exogenen Modellparametern in gleicher Weise beeinflußt wie die Innovationsrate. Wiederum nimmt mit einer zunehmenden Dynamik des Innovationsprozesses auch die Variabilität der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung zu.

Neben diesem stationären Gleichgewicht können allerdings noch weitere, für die hier interessierende Fragestellung einschlägigere Gleichgewichtspfade existieren: Ein zwei-periodiger Zyklus ist durch ein Variablenpaar $(H^{(0)},H^{(1)})$ mit $H^{(0)}=f(H^{(1)})$ und $H^{(1)}=f(H^{(0)})$ mit $H^{(0)}>0$ und $H^{(1)}>0$ gekennzeichnet. Im Fall $H^{(0)}=0$ oder $H^{(1)}=0$ käme der Innovations- und Wachstumsprozeß spätestens nach einer Innovation zum Erliegen, da dann keine F&E-Aktivitäten mehr unternommen werden, wodurch sich die Innovationswahrscheinlichkeit auf Null reduziert. Ein Zwei-Phasen-Grenzzyklus existiert immer dann, wenn der Fixpunkt H* instabil ist, d.h. $c'\big|_{H_m=H^*} + b'\big|_{H_{m+1}=H^*} > 0$ bzw. $b'\big|_{H_{m+1}=H^*} \big/ c'\big|_{H_m=H^*} > -1$. Setzt man die aus (27) und (28) ableitbaren Differentiale ein, erhält man unter Verwendung der Lösung für das stationäre Gleichgewicht (31) die Ungleichung

$$-\left(\frac{\alpha}{\lambda(1-\alpha)}\right)\left(\frac{\lambda(1-\alpha)+1}{1-\alpha}\right) > -1$$

als Voraussetzung für andauernde Wachstumszyklen. Grundsätzlich existiert ein kritisches $\overline{\alpha} \in (0,1)$ derart, daß diese Ungleichung für $\alpha < \overline{\alpha}$ erfüllt ist. Wachstumszyklen sind demnach (komparativ-statisch) bei einer starken Marktmacht der Zwischenproduktmonopolisten sowie bei hohen Technologiesprüngen λ zu erwarten. Analytisch bedeutet dies, daß sich der Gleichgewichtspfad spiralförmig vom Fixpunkt H* entfernt, so daß für ein $H^{(0)}$ etwas kleiner als H* gilt: $H^{(0)}=f^2(H^{(2)})>H^{(2)}$. Auf der anderen Seite existiert unter der Bedingung (30) jedoch immer ein $H^{(2)}>0$ mit $0=H^{(0)}=f^2(H^{(2)})<H^{(2)}$. Wegen der Stetigkeit der Funktion f folgt daraus zwingend die Existenz eines $H^{(2)}\in(0,H^*)$ mit der Fixpunkteigenschaft $H^{(0)}=f^2(H^{(2)})=H^{(2)}$. Der Zwei-Phasen-Zyklus ist dann als Grenzzyklus gegeben durch die Werte $H^{(0)}<H^*$ und $H^{(1)}=f(H^{(0)})>H^*$, zwischen denen die Beschäftigung im F&E-Sektor von Innovation zu Innovation alterniert.[7] Auch bei gleichbleibenden technologischen Rahmendaten können sich demnach zeitlich stochastische Wachstumszyklen mit charakteristischem Muster einstellen.[8]

Bei dem im Schaubild 2 dargestellten Zyklus lassen sich die Perioden mit einer geringen F&E-Beschäftigung $H^{(0)}$ und folglich hoher Beschäftigung in der Produktion als Boom-Phasen und die Perioden mit hohem $H^{(1)}$ demgegenüber als Rezessionsphasen interpretieren. Die Innovationsraten sind in den Rezessionsphasen immer höher, so daß sie im Durchschnitt vergleichsweise schnell durchlaufen werden. Aus marktspezifischer Sicht läßt sich konstatieren, daß mit komparativ steigender Marktmacht des Monopolunternehmens im Zwischenproduktsektor nicht nur die Innovations- und Wachstumsdynamik einschließlich ihrer Variabilität zunimmt,[9] sondern darüber hinaus auch Innovations- und Wachstumszyklen mit alternierenden Innovationsanstrengungen immer wahrscheinlicher werden.

Die bisher vorgestellten Mechanismen der Zyklenbildung kamen ohne die Annahme technologischer Anpassungsprozesse aus. Bahnbrechende technologische Neuerungen, verstanden als *general purpose technologies*, führen allerdings in der Regel nicht sofort zu Wachstumsschüben, sondern leiten zunächst einmal zeit- und kostenaufwendige Anpassungsprozesse in den Produktionsverfahren ein (vgl. etwa David 1990). Entgegen den Voraussagen der RBC-Theorie muß deshalb ein "positiver Produktivitätsschock" keineswegs schon kurzfristig eine Produktionssteigerung nach sich ziehen, sondern kann im Gegenteil einen vorübergehenden Produktionseinbruch auslösen: "... cyclical downturns may be the price that society needs to pay in order to implement the GPTs that deliver long-run growth" (Aghion/Howitt 1998a, S. 244).

---

7 Zyklen höherer Ordnung oder chaotische Zeitpfade können sich in diesem Modellrahmen nicht einstellen. Gleichwohl existiert eine Reihe anderer Modelle, die Wachstumszyklen als deterministisch-chaotische Prozesse darzustellen versuchen (vgl. Boldrin/Montrucchio 1986, Boldrin/Deneckere 1990, Deneckere/Judd 1992, Deissenberg/Nyssen 1998).

8 Die Erwartungsbildung selbst kann natürlich ebenfalls zur Erklärung von Wachstumszyklen herangezogen werden (vgl. etwa Evans/Honkapohja/Romer 1998).

9 Da der Zwischenproduktmarkt konstruktionsgemäß immer monopolisiert ist, kann daraus nicht die verallgemeinerte Schlußfolgerung gezogen werden, daß Wettbewerb dem Wachstum abträglich ist (vgl. die detailliertere Analyse von Aghion/Howitt 1998b).

4. Inventionen als Auslöser von Rezessionen

Für die Umstrukturierungsprozesse infolge technologischer Neuerungen können mehrere Anpassungsmechanismen verantwortlich gemacht und entsprechend modelliert werden. So kann beispielsweise unterstellt werden, daß mit jeder Innovation ein Teil des Sachkapitals veraltet und nicht mehr zur Produktion eingesetzt werden kann (vgl. Howitt 1998, Wälde 1999) oder ein Kundenstamm erst neu aufgebaut werden muß (vgl. Stein 1997). Ein anders begründeter Anpassungsprozeß beruht auf der notwendigen Kompatibilität mehrerer Zwischenprodukte, die nach jeder Basisinnovation erneut wiederhergestellt werden muß. Stellvertretend für diese Klasse von Ansätzen wird im folgenden auf ein von Helpman/Trajtenberg (1998a,b) vorgestelltes Modell in einer modifiziert-erweiterten Variante von Aghion/Howitt (1998c) Bezug genommen, das sich konsistent in den bisher gelegten Rahmen integrieren läßt. Der Anpassungsprozeß bezieht sich dabei auf die zeit- und kostenintensive Implementation einer jeden Basisinnovation. Der einzige Unterschied zum Modell des voranstehenden Abschnitts liegt lediglich in der Integration eines zeitlich dem Innovationsprozeß vorgeschalteten Inventionsprozesses, an dessen Ende eine universell verwertbare Erfindung gemacht wird. Die Implementierung dieser Erfindung in die Produktionsverfahren des Zwischenproduktsektors wird dann mit dem eigentlichen Innovationsprozeß, modelliert als Patentrennen zwischen konkurrierenden Unternehmen, gleichgesetzt. Beide Prozesse können annahmegemäß nur nacheinander ablaufen, d.h. die Implementierung einer neuen Technologie kann erst mit Bekanntwerden der Erfindung beginnen und die nächste Erfindung setzt eine abgeschlossene Implementierung der vorherigen Erfindung voraus. Im Gegensatz zum Innovationsprozeß läuft der Inventionsprozeß ohne F&E-Kosten – etwa als bloßes Nebenprodukt der Erfahrung aus früheren Erfindungen – ab. Konkret folgt er einem Poisson-Prozeß mit der konstanten exogenen Ankunftsrate k,[10] der jeweils unmittelbar nach der erfolgten Implementierung einer Basisinnovation einsetzt. Da Arbeitsressourcen unter diesen Annahmen nur während der Innovationsprozesse vom Zwischenproduktsektor in den F&E-Sektor verlagert werden, können diese Zeitintervalle von vornherein als Boom-Phasen B bzw. die Inventionszeiten als Rezessions-Phasen R charakterisiert werden. Der Patentwert des jeweiligen technologischen Spitzenproduktes ist in jeder Boom-Phase rekursiv bestimmt durch die Bellman-Gleichung

$$Z_B = \pi_B dt + (1-\rho dt)\left[Z_B(1-kdt) + Z_R kdt\right],$$

[10] Eine Endogenisierung auch dieser Inventionsrate durch F&E-Aktivitäten ist problemlos möglich (vgl. Li 1997), liefert aber für den hier interessierenden Zusammenhang zwischen Wachstum und Fluktuationen keine wesentlichen zusätzlichen Einsichten.

da der im Markt etablierte Technologieführer im marginalen Zeitinterval [t,t+dt] laufende Gewinne π_B erzielt und er mit einer Wahrscheinlichkeit kdt damit rechnen muß, daß bis zum Ende dieses Zeitintervalls eine neue Erfindung gemacht wurde, mit der die nächste Rezessions-Phase eingeläutet wird. Der Patentwert reduziert sich deshalb nicht auf Null, da auch nach der nächsten Erfindung die bisher verwendete Technologie noch solange weiter eingesetzt wird, bis die neue Technologie implementiert ist. Der "Restwert" des Patentes in der Rezessions-Phase ermittelt sich als

$$Z_R = \pi_R dt + (1-\rho dt)\left[Z_R(1-hdt)\right],$$

da der Gewinnstrom π_R mit einer Wahrscheinlichkeit hdt wegen der nächsten Innovation eines technologischen Herausforderers, der den Markt übernimmt, abrupt endet. Division durch dt und Vollzug des Grenzübergangs $dt \to 0$ in beiden Gleichungen liefert nach Substitution von Z_R den für jeden Innovationswettlauf relevanten Patentwert

$$(32) \qquad Z_B = \frac{(\rho+h)\pi_B + k\pi_R}{(\rho+h)(\rho+k)} \quad ,$$

der für eine unendlich hohe Inventionsrate k exakt dem Patentwert des Grundmodells mit ständigem Innovationswettlauf entspricht und der sich für k=0 aufgrund einer dann stagnierenden Innovationsdynamik aus einem dauerhaften Gewinnstrom für den etablierten Technologieführer zusammensetzt. In der Boom-Phase steht dem unelastischen Arbeitsangebot L nur die Arbeitsnachfragefunktion (24) aus dem Produktionssektor gegenüber, so daß sowohl die qualifizierte Beschäftigung im Produktionssektor X_B=L als auch der normierte Lohnsatz

$$(33) \qquad \omega_B = \alpha^2 L^{-(1-\alpha)}$$

konstruktionsgemäß unabhängig von der Innovationsdynamik bestimmt sind. In der Rezessionsphase wird ein Teil der qualifiziert Beschäftigten in den F&E-Sektor verlagert, so daß die normierten Lohnsätze gemäß (24) ansteigen. Sie ergeben sich unter Verwendung von (6) und (16) als

$$(34) \qquad \omega_R = \alpha^2 (L-\mu h)^{-1/(1-\alpha)} > \omega_B .$$

Die nach einer Innovation erzielbaren laufenden Gewinne (25) lassen sich – wiederum unter Verwendung der Arbeitsnachfragefunktion (24) – in Abhängigkeit der normierten Lohnsätze als

$$\pi_{m+1} = A_{m+1}(1-\alpha)\alpha^{(1+\alpha)/(1-\alpha)}\omega_{m+1}^{-\alpha/(1-\alpha)}$$

darstellen. Eingesetzt in den Ausdruck (32) für den Patentwert ergibt sich die erwartete Nullgewinnbedingung (7) für den Innovationswettlauf in Phase R als:

$$\text{(35)} \qquad \mu\omega_R = \frac{\lambda(1-\alpha)\alpha^{(1+\alpha)/(1-\alpha)}\left[(\rho+h)\omega_B^{-\alpha/(1-\alpha)} + k\omega_R^{-\alpha/(1-\alpha)}\right]}{(\rho+h)(\rho+k)} \ .$$

Mit den Lohngleichungen (33) und (34) läßt sich aus (35) die Innovationsrate h* ermitteln. Die komparativ-statische Analyse zeigt, daß die Innovationsaktivitäten wie in den bisherigen Modellvarianten positiv vom Ressourcenbestand an qualifizierten Arbeitskräften L, vom Marktmachtindikator ($1/\alpha$) und der Innovationsgröße λ sowie negativ vom Schwierigkeitsgrad μ und der Zeitpräferenzrate ρ abhängen. Neu hinzu kommt ein negativer Effekt der Inventionsrate k. Je schneller die Abfolge von Erfindungen, desto kürzer sind die für den Technologieführer lukrativen Boom-Phasen und desto geringer sind daher die Innovationsanreize. Mit den Erwartungswerten 1/h und 1/k für die Dauer der Rezessions- und der Boom-Phasen stellt sich eine durchschnittliche Wachstumsrate in Höhe von

$$g = \left[h^* k/(h^* + k)\right]\ln\lambda$$

ein. Abgesehen von der Inventionsrate bewirken alle oben genannten Variablen, die die Innovations- und Wachstumsraten erhöhen (reduzieren), eine Verkürzung (Verlängerung) und gleichzeitig eine in (34) abzulesende Verschärfung (Milderung) der Rezessionen. Wachstumstrend, Zyklenfrequenz und Zyklenamplitude sind folglich positiv miteinander korreliert. Bezüglich der Inventionsrate stehen sich ein direkter wachstumsfördernder Effekt und ein indirekt über eine geringere Innovationsrate wirkender wachstumshemmender Effekt gegenüber, so daß ihr Gesamteffekt nicht allgemeingültig angegeben werden kann. Für das Verständnis der Zyklenbildung ist allerdings auch weniger die Höhe der Inventionsrate als vielmehr ihre bloße Existenz entscheidend. Jeder Anpassungsmechanismus, der nach dem Bekanntwerden oder nach der Durchführung einer technologischen Neuerung zu einem Ressourcenabzug aus dem Produktionssektor führt – sei es nun zur Erneuerung des Kapitalbestands, zur Aktualisierung des Humankapitals oder eben zur Implementation neuer Produktionsverfahren –, löst unweigerlich Wachstumszyklen aus. Vor diesem Hintergrund müssen weniger die Wachstumszyklen, als vielmehr die in den Standardmodellen der Neuen Wachstumstheorie abgeleiteten *steady-state*–Pfade bezüglich ihrer Relevanz ernsthaft hinterfragt werden. Dies gilt erst recht, wenn im folgenden Abschnitt die Bedeutung der umgekehrten Wirkungsrichtung von Fluktuationen auf den Wachstumsprozeß hervorgehoben wird.

5. Rezessionen als Wachstumsimpulse?

Die Intention der bisherigen Analysen bestand vor allem darin, zyklische Auswirkungen des Wachstums zu analysieren, selbst wenn Trend und Fluktuationen grundsätzlich simultan erklärt wurden. Die Wirkungsrichtungen gehen aber ohne Zweifel in beide Richtungen. Fluktuationen beeinflussen den Wachstumsprozeß in mehrfacher Weise. Während konjunkturelle Boom-Phasen über eine verstärkte Humankapitalakkumulation, *learning by doing* (Stadler 1990) oder erleichterte Finanzierungsbedingungen für F&E-Investitionen (Stiglitz 1994) eine nachhaltige Forcierung des Wachstum bewirken können, liefern unter Umständen Rezessionen über einen "Reinigungseffekt" durch das Ausscheiden ineffizienter Unternehmen (Caballero/Hammour 1994) oder einen "Reorganisationseffekt" innerhalb der Unternehmen (Aghion/Saint-Paul 1993) günstige Ausgangsbedingungen für ein verstärktes Wachstum.

Im folgenden wird – wiederum auf der Basis des Grundmodells in Abschnitt 3 – der Frage nachgegangen, ob Boom-Phasen oder Rezessionen positive Wachstumsimpulse auslösen können. Dazu wird ein leicht uminterpretiertes Modell von Canton/Uhlig (1997) herangezogen. Die Grundidee dieses Modells besteht in gewisser Analogie zu den RBC-Modellen darin, in der Produktionsfunktion (2) des Zwischenproduktsektors positive und negative Produktivitätsschocks zu berücksichtigen, wobei sich die Stochastik nicht auf deren Höhe, sondern auf deren zeitliches Auftreten bezieht. Die Ökonomie befindet sich dabei – unabhängig vom Technologiestand m – immer in einem der beiden "konjunkturellen" Zustände i={R,B}, wobei die Arbeitsproduktivität B_i in der Boom-Phase B größer ist als in der Rezessionsphase R, d.h. $B_B > B_R$. Der Wechsel der konjunkturellen Phase wird durch einen Poisson-Prozeß mit der exogen vorgegebenen Rate s simuliert, so daß Übergänge von einer Phase in die andere jeweils mit gleichen Wahrscheinlichkeiten sdt im marginalen Zeitintervall [t,t+dt] stattfinden. In etwas restriktiver Weise wird festgelegt, daß sich die Ökonomie nach jeder Innovation grundsätzlich zunächst in Phase R befindet.[11] Der Wert eines technologisch führenden Unternehmens ist dann je nach aktueller "Konjunkturphase" gegeben durch die Bellman-Gleichungen

[11] Canton/Uhlig (1997) interpretieren den „Aufschwung" als einen nach stochastisch bestimmter Zeit zusätzlich gewonnenen Kundenstamm, der allerdings im nächsten Abschwung wieder verloren geht.

$$Z_B = \pi_B dt + (1-\rho dt)\left[Z_R s dt + Z_B(1 - s dt - h_B dt)\right]$$

$$Z_R = \pi_R dt + (1-\rho dt)\left[Z_B s dt + Z_R(1 - s dt - h_R dt)\right],$$

aus denen sich gemäß obiger Vorgehensweise der Patentwert

$$(36)\qquad Z_R = \frac{(\rho + h_B + s)\pi_R + s\pi_B}{(\rho + h_B + s)(\rho + h_R + s) - s^2}$$

ermitteln läßt. Analog zum Abschnitt 3 ergibt sich aus der Gewinnmaximierung des Zwischenproduktmonopolisten eine Arbeitsnachfragefunktion

$$(37)\qquad X_i = \left(\frac{\omega_i}{\alpha^2 B_i^{\alpha}}\right)^{-1/(1-\alpha)}, \; i=\{R,B\}$$

sowie ein laufender Gewinn in Höhe von

$$(38)\qquad \pi_{m+1,i} = A_{m+1}(1-\alpha)\alpha^{(1+\alpha)/(1-\alpha)} B_i^{\alpha/(1-\alpha)} \omega_i^{-\alpha/(1-\alpha)}.$$

Da der Patentwert (36) für die im Innovationswettlauf befindlichen Unternehmen unabhängig von der jeweils aktuellen konjunkturellen Phase immer gleich ist,[12] muß sich aufgrund der Nullgewinnbedingung ein konjunkturunabhängiger, normierter Lohnsatz $\omega = \omega_R = \omega_B$ einstellen. Unter Verwendung von (36) und (38) folgt daher die Nullgewinnbedingung

$$(39)\qquad \mu = \lambda(1-\alpha)\alpha^{(1+\alpha)/(1-\alpha)} \frac{\left[(\rho + h_B + s)B_R^{\alpha/(1-\alpha)} + sB_B^{\alpha/(1-\alpha)}\right]\omega^{-1/(1-\alpha)}}{(\rho + h_B + s)(\rho + h_R + s) - s^2}.$$

Mit den aus der Ressourcenrestriktion für qualifizierte Arbeit und der Arbeitsnachfragefunktion (37) resultierenden Innovationsraten

$$(40)\qquad h_i = \left(L - \left(\frac{\omega}{\alpha^2 B_i^{\alpha}}\right)^{-1/(1-\alpha)}\right)/\mu, \; i=\{R,B\}$$

12 Negative Wachstumseffekte starker Fluktuationen, wie sie beispielsweise aus dem Optionswert eines zeitlichen Hinauszögerns von F&E-Investitionen resultieren können (vgl. Dixit/Pindyck 1994), bleiben unter diesen Bedingungen gänzlich ausgeklammert.

läßt sich in (39) der normierte Lohnsatz eindeutig bestimmen.[13] Dieser phasenunabhängige Lohnsatz impliziert wegen $B_B > B_R$ in (40) $h_B < h_R$, d.h. die Innovationsaktivitäten sind im Boom grundsätzlich geringer als in der Rezession. Im Boom können sie sogar völlig zum Erliegen kommen, so daß es erst einer weiteren Rezession bedarf, ehe wieder Ressourcen in den F&E-Bereich gelenkt werden. In diesem Sinne sind Rezessionen in diesem Modell wesentliche Voraussetzungen für die Innovations- und Wachstumsdynamik. Damit ist natürlich nicht ausgesagt, daß Rezessionen grundsätzlich wünschenswert wären. Könnten sie vermieden werden (s=0), würde sich wieder ein stationäres Gleichgewicht mit gleichbleibenden Innovationsaktivitäten einstellen.

6. Resümee

Eine theoretisch befriedigende und empirisch relevante Modellierung simultaner Innovations- und Wachstumszyklen zählt zu den großen Herausforderungen der modernen Makroökonomik (neo-)keynesianischer und (neo-)klassischer Provenienz (vgl. Ramser/Stadler 1997). Die bislang vorliegenden Ansätze sind zweifelsohne noch hochgradig stilisiert und besitzen bestenfalls prototypischen Charakter für umfassendere deskriptive Modelle der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Ihre eigentliche Funktion liegt wohl vielmehr in der Analyse einzelner als wichtig erachteter Mechanismen, die jeweils spezielle Wirkungszusammenhänge zwischen Innovationen einerseits und Wachstumsschwankungen andererseits begründen. In dieser Hinsicht wurden durchaus beachtliche Fortschritte beim Erklimmen der "Modell-Qualitätsleiter" erzielt: Im ersten Schritt gelang es insbesondere Grossman/Helpman (1991), den langfristigen Wachstumstrend durch strategisch motivierte Innovationsaktivitäten konkurrierender Unternehmen zu endogenisieren. Die mit dem Innovationsprozeß unweigerlich einhergehende Stochastik kam dabei allerdings nur auf den einzelnen Gütermärkten zum Tragen, da sie im makroökonomischen Aggregat zugunsten einer deterministischen Entwicklung "herausgemittelt" wurde. In einem zweiten Schritt wurde primär von Aghion/Howitt (1992) auch die gesamtwirtschaftliche Variabilität der Wachstumsrate in die Analyse miteinbezogen und durch die gleichen mikro- und makroökonomischen Erklärungsfaktoren endogenisiert, die auch den Trend bestimmen. In einem dritten Schritt wurden schließlich nicht nur Produktionssteigerungen, sondern auch zwischenzeitliche Produktionseinbrüche begründet und modelliert. Im Mittelpunkt dieser Ansätze, die auch den Kern der vorliegenden Arbeit bildeten, stehen die Zusammenhänge zwischen der Wachstumsdynamik einerseits und den Längen und Amplituden der damit einhergehenden Zyklen andererseits. Im letzten Schritt konzentrieren sich derzeit die Forschungsanstrengungen vor allem darauf, auch die Rückwirkungen von Fluktuationen auf

---

[13] Es resultiert für $\omega^{-1/(1-\alpha)}$ eine quadratische Lösungsgleichung mit nur einer positiven Wurzel.

den Wachstumstrend näher zu beleuchten. Damit geht die Neue Wachstumstheorie eine unter Umständen sehr fruchtbare Symbiose mit der jüngsten Generation von *real-business-cycle*-Modellen ein, deren Relevanz durch die Abkehr von der Annahme vollkommener Märkte und durch die Endogenisierung der Wachstumsraten ohnehin deutlich zugenommen hat.

Mit dem Qualitätsleiter-Modell sind theoretische Grundlagen einer "Schumpeterianischen Wachstumstheorie" gelegt, die sich bereits in weiteren Anwendungsbereichen wie der Arbeitsmarkttheorie, der Finanzmarkttheorie oder der Regional- und Außenhandelstheorie als recht brauchbar erwiesen haben. Als eine der zukunftsträchtigsten Anwendungsbereiche könnte sich die hier angedeutete Verbindung mit einer entsprechend weit gefaßten Konjunkturtheorie herausstellen. Voraussetzung dafür wäre eine Erweiterung der hier vorgestellten Ansätze um Sachkapital, einen explizit modellierten Geldmarkt, Unvollkommenheiten auch auf den Arbeits- und Finanzmärkten sowie mehrere Gütermarktsektoren, mit denen auch Verschiebungen in der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage ins Blickfeld der Analyse rücken könnten. Aus derart verallgemeinerten Ansätzen ließen sich dann ganz im Sinne von Aghion/Howitt (1996) eine Reihe modellspezifischer Implikationen deduzieren, die grundsätzlich dem empirischen Test unterzogen werden könnten. Erst dieser erlaubt letztlich ein Urteil über die praktische Relevanz derart stilisierter Ansätze.

Anhang: Stochastische Nutzenmaximierung bei Poisson-Prozessen

Gegeben ist das dynamische Optimierungsproblem

$$J(W,m,t)=\max_C E_0\int_0^\infty e^{-\rho\tau}u(C)dt$$

unter der stochastischen Nebenbedingung

$$dW(t)=[r(t)W(t)+w(t)L-I(t)]dt+(\kappa(t)-1)W(t)dq(t)$$

und unter der zeitlichen Anfangsbedingung $W(0)=W_0$. In quantitativen Wachstumsmodellen sind die Konsumausgaben definiert als $I:=pC$ mit dem Konsumgüterpreis p. Definiert man $J(W_0,m(t_0),t_0)$ als optimale Wertfunktion zum Zeitpunkt t_0 in den Zuständen W_0 und m_0, so gilt nach dem stochastischen Maximumprinzip der dynamischen Programmierung

$$J(W(t),m(t),t)=\max_C E_t\left\{\int_t^{t+dt}e^{-\rho\tau}u(C)d\tau+J(W(t+dt),m(t+dt),t+dt)\right\}$$

mit dem Erwartungsoperator E und der Kontrollvariablen C (vgl. etwa Malliaris/Brock 1982). Unter Verwendung einer Taylor-Reihen-Approximation erster Ordnung für J(W(t+dt),m(t+dt),t+dt) und der Erwartungsbildung

$$E_t dJ=J_t dt+J_W[rW+wL-pC]dt\ +\ hdt[J(\kappa W,m+1,t)-J(W,m,t)]$$

erhält man die Hamilton-Jacobi-Bellman-Gleichung

$$-J_t(W,m,t)=\max_C\left\{e^{-\rho t}u(C)+J_W(W,m,t)[rW+wL-pC]+h[J(\kappa W,m+1,t,)-J(W,m,t)]\right\},$$

die, nachdem es sich um ein autonomes Optimierungsproblem handelt, unter Verwendung der nicht diskontierten Wertfunktion $V(W,m):=e^{\rho t}J(W,m,t)$ auch als

$$\begin{aligned}&\rho V(W,m)=\\ \text{(A.1)}\quad &\max_C\{u(C_m)+V_W(W,m)[r_mW+w_mL-p_mC_m]+h_m[V(\kappa_mW,m+1)-V(W,m)]\}\end{aligned}$$

geschrieben werden kann. In (A.1) wurden alle vom Zustand m abhängigen Größen zur Verdeutlichung mit m indiziert. Partielle Differentiation nach der Zustandsvariablen W ergibt unter Anwendung des Umhüllenden-Satzes

$$\rho V_W(W,m) =$$

$$r_m V_W(W,m) + V_{WW}(W,m)[r_m W + w_m L - p_m C_m] + h_m[V_W(\kappa W, m+1) - V_W(W,m)].$$

Definiert man die nicht diskontierte Kozustandsvariable $\psi_m(t) := V_W(W,m)$ bzw. $\psi_{m+1}(t) := V_W(\kappa_m W, m+1)$, ergibt sich die Differentialgleichung

$$\text{(A.2)} \quad \dot{\psi}_m(t) = (\rho - r_m)\psi_m - h_m[\psi_{m+1} - \psi_m].$$

Die Maximierung bezüglich der Kontrollvariablen C in (A.1) liefert die notwendige Optimalitätsbedingung

$$u'(C_m) = p_m \psi_m .$$

Unter Verwendung einer Nutzenfunktion mit einer konstanten intertemporalen Substitutionselastizität von $1/\sigma$ folgt daraus

$$\text{(A.3)} \quad \psi_m = C_m^{-\sigma} / p_m .$$

Die notwendigen Optimalitätsbedingungen (A.2) und (A.3) liefern

$$\text{(A.4)} \quad \sigma \dot{C}_m / C_m + \dot{p}_m / p_m = r_m - \rho + h_m\left[(C_m / C_{m+1})^{\sigma}(p_m / p_{m+1}) - 1\right].$$

Für den Spezialfall p_m:=1 und $\sigma = 0$ folgt offensichtlich $r_m = \rho \ \forall m$.

Der in Abschnitt 2 diskutierte Fall qualitativer Wachstumsmodelle läßt sich leicht in obiges Optimierungsproblem transformieren. Definiert man den Preis, den die Haushalte pro Mengeneinheit X_m des Konsumgutes bezahlen müssen, als $\tilde{p}_m := A_m p_m$, folgt aus (A.4) unter Verwendung der Definition $X_m := C_m / A_m$:

$$\text{(A.5)} \quad \begin{aligned} &\sigma \dot{X}_m / X_m + (\sigma - 1)\dot{A}_m / A_m + \dot{\tilde{p}}_m / \tilde{p}_m = \\ &r_m - \rho + h_m\left[(X_m / X_{m+1})^{\sigma} \lambda_{m+1}^{1-\sigma}(\tilde{p}_m / \tilde{p}_{m+1}) - 1\right]. \end{aligned}$$

Für den Spezialfall $\sigma = 1$ lassen sich mit $I_m := p_m C_m = \tilde{p}_m X_m$ sowohl (A.4) als auch (A.5) in der Form

$$\text{(A.6)} \quad \dot{I}_m / I_m = r_m - \rho + h_m[I_m / I_{m+1} - 1]$$

schreiben.

Literaturverzeichnis

Aghion, P., Howitt, P. (1992), A Model of Growth Through Creative Destruction. Econometrica 60, S. 323-351.

Aghion, P., Howitt, P. (1996), The Observational Implications of Schumpeterian Growth Theory. Empirical Economics 21, S. 13-25.

Aghion, P., Howitt, P. (1998a), Endogenous Growth Theory. Cambridge.

Aghion, P., Howitt, P. (1998b), Market Structure and the Growth Process. Review of Economic Dynamics 1, S. 276-305.

Aghion, P., Howitt, P. (1998c), On the Macroeconomic Effects of Major Technological Change. In: E. Helpman (Hrsg.), General Purpose Technologies and Economic Growth. Cambridge, S. 121-144.

Aghion, P., Saint-Paul, G. (1993), Uncovering Some Causal Relationships between Productivity Growth and the Structure of Economic Fluctuations. NBER Working Paper Nr. 4603.

Barro, R., Sala-i-Martin, X. (1995), Economic Growth. New York.

Boldrin, M., Deneckere, R.J. (1990), Sources of Complex Dynamics in Two-Sector Growth Models. Journal of Economic Dynamics and Control 14, S. 627-653.

Boldrin, M., Montrucchio, L. (1986), On the Indeterminacy of Capital Accumulation Paths. Journal of Economic Theory 40, S. 26-39.

Bresnahan, T., Trajtenberg, M. (1995), General Purpose Technologies. Engines of Growth? Journal of Econometrics 65, S. 83-108.

Caballero, R.J., Hammour, M.L. (1994), The Cleansing Effects of Recessions. American Economic Review 84, S. 1350-1368.

Canton, E., Uhlig, H. (1997), Growth and the Cycle: Creative Destruction versus Entrenchment. Tilburg. Mimeo.

Cass, D. (1965), Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation. Review of Economic Studies 32, S. 233-240.

Cheng, L.K., Dinopoulos, E. (1994), Schumpeterian Growth and Stochastic Economic Fluctuations. Vortrag gehalten auf der 5. Konferenz der Internationalen Joseph A. Schumpeter Gesellschaft in Münster vom 17. bis 20. August 1994.

Cheng, L.K., Dinopoulos, E. (1996), A Multisectoral Equilibrium Model of Schumpeterian Growth and Fluctuations. Journal of Economic Dynamics and Control 20, S. 905-923.

David, P. (1990), The Computer and the Dynamo: An Historical Perspective on the Productivity Paradox. American Economic Review 80, S. 355-361.

Deissenberg, Ch., Nyssen, J. (1998), A Simple Model of Schumpeterian Growth with Complex Dynamics 22, S. 247-266.

Deneckere, R.J., Judd, K.L. (1992), Cyclical and Chaotic Behaviour in a Dynamic Equilibrium Model with Implications for Fiscal Policy. In: J. Benhabib (Hrsg.), Cycles and Chaos in Economic Equilibrium. Pinceton, S. 308-329.

Dinopoulos, E. (1996), Schumpeterian Growth Theory: An Overview. In: E. Helmstädter, M. Perlman (Hrsg.), Behavioral Norms, Technological Progress, and Economic Dynamics. Michigan, S. 371-391.

Dixit, A., Pindyck, R.S. (1994), Investment under Uncertainty. Princeton.

Evans, G.W., Honkapohja, S., Romer, P. (1998), Growth Cycles. American Economic Review 88, S. 495-515.

Grossman G.M., Helpman, E. (1991), Innovation and Growth in the Global Economy. Cambridge.

Helpman, E. (1998), Hrsg., General Purpose Technologies and Economic Growth. Cambridge.

Helpman, E., Trajtenberg, M. (1998a), A Time to Sow and a Time to Reap: Growth Based on General Purpose Technologies. In: E. Helpman (Hrsg.), General Purpose Technologies and Economic Growth. Cambridge, S. 55-84.

Helpman, E., Trajtenberg, P. (1998b), Diffusion of General Purpose Technologies. In: E. Helpman (Hrsg.), General Purpose Technologies and Economic Growth. Cambridge, S. 85-120.

Howitt, P. (1998), Measurement, Obsolescence, and General Purpose Technologies. In: E. Helpman (Hrsg.), General Purpose Technologies and Economic Growth. Cambridge, S. 219-251.

Jovanovic, B., Rob, R. (1990), Long Waves and Short Waves: Growth through Intensive and Extensive Search. Econometrica 58, S. 1391-1409.

Koopmans, T. (1965), On the Concept of Optimal Economic Growth. In: The Econometric Approach to Development Planning. Amsterdam, S. 225-300.

Li, C.-W. (1997), Patents, Multiple Equilibria and Growth. Glasgow. Mimeo.

Malliaris, A.G., Brock, W.A. (1982), Stochastic Methods in Economics and Finance. Amsterdam.

Neumann, M. (1990), Zukunftsperspektiven im Wandel. Lange Wellen in Wirtschaft und Politik. Tübingen.

Ramser, H.J., Stadler, M. (1997), Keynesianische Aspekte der modernen Wachstumstheorie. In: G. Bombach u.a. (Hrsg.), Der Keynesianismus VI: Der Einfluß keynesianischen Denkens auf die Wachstumstheorie. Berlin u.a., S. 35-180.

Shleifer, A. (1986), Implementation Cycles. Journal of Political Economy 94, S. 1163-1190.

Solow, R.M. (1956), A Contribution to the Theory of Economic Growth. Quarterly Journal of Economics 70, S. 65-94.

Stadler, G.W. (1990), Business Cycle Models with Endogenous Technology. American Economic Review 80, S. 763-778.

Stadler, M. (1999), Der Innovationsprozeß. Mikroökonomische Fundierung und makroökonomische Relevanz. Buchmanuskript, Tübingen. Erscheint demnächst.

Stein, J.C. (1997), Waves of Creative Destruction: Firm-Specific Learning-by-Doing and the Dynamics of Innovation. Review of Economic Studies 64, S. 265-288.

Stiglitz, J.E. (1994), Endogenous Growth and Cycles. In: Y. Shinoya, M. Perlman (Hrsg.), Innovation in Technology, Industries and Institutions. Studies in Schumpeterian Perspective. Ann Arbor, S. 121-156.

Swan, T. (1956), Economic Growth and Capital Accumulation. Economic Record 32, S. 334-361.

Wälde, K. (1999), Poisson-Ramsey Economies. On the Endogeneity of Cycles in Economic Growth. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Dortmund.