
INSTITUT FÜR VOLKSWIRTSCHAFTSLEHRE

der

UNIVERSITÄT AUGSBURG



**F&E-Verhalten und Gewinnentwicklung im
dynamischen Wettbewerb
Ein Beitrag zur Chaos-Theorie**

von

Manfred Stadler

Beitrag Nr. 46

Oktober 1990

01

**QC
072
V922
-46**

Wirtschaftliche Diskussionsreihe

~~40/QP 210~~ ~~5777+2~~
01/QC 072 V922-46
Institut für Volkswirtschaftslehre

Universität Augsburg

Memminger Straße 14
8900 Augsburg
Tel.-Nr. (08 21) 5 98-(1)
Telex 5 3 830 uniaug
Telefax (08 21) 5 98-55 05

**F&E-Verhalten und Gewinnentwicklung im
dynamischen Wettbewerb
Ein Beitrag zur Chaos-Theorie**

von

Manfred Stadler

Beitrag Nr. 46

Oktober 1990

UB Augsburg

<080260846 10033

<080260846 10033

Zusammenfassung

Dem Auftreten zyklischer und chaotischer Phänomene wird im Rahmen eines nichtlinearen diskreten Modells des Schumpeterschen Wettbewerbs nachgegangen. Die F&E-Ausgaben die Gewinnentwicklung der Unternehmen werden dabei endogen in Abhängigkeit einiger exogener Parameter wie der Innovationsbereitschaft, der Konkurrenzintensität, der Marktdurchdringungsrate und den technologischen Möglichkeiten erfaßt. Für bestimmte Parameterkonstellationen resultieren regelmäßige Innovationszyklen als Abfolge von Phasen innovatorischer Vorstöße und konkurrenzbedingter Rückschläge. Nur bei sehr hoher Innovationsbereitschaft und Konkurrenzintensität sind unregelmäßige oder chaotische Zeitpfade möglich.

Abstract

We discuss the occurrence of cyclic and chaotic phenomena in a non-linear discrete-time model of Schumpeterian competition. Firms' R&D expenditures and the development of their profits are endogenous, determined by some exogenous parameters like the propensity to innovate, the intensity of rivalry, the market penetration rate and the technological opportunities. For some parameter values periodic innovation cycles emerge in a sequence of moving ahead and falling back. Only in markets with extraordinarily high values of the propensity to innovate and the intensity of rivalry the solution trajectories may appear to be irregular or chaotic.

F&E–Verhalten und Gewinnentwicklung im dynamischen Wettbewerb

Ein Beitrag zur Chaos–Theorie

von

Manfred Stadler *

"Indem die Wirtschaftstheorie ... Rückkopplungen zur Kenntnis nimmt, beschreibt sie die Volkswirtschaft nicht als einfach, sondern als komplex, nicht als deterministisch, vorhersagbar und mechanisch, sondern als prozeßabhängiges, organisches System, das sich unaufhörlich entwickelt" (*W.B. Arthur 1990*).

1. Einleitung

Zur Erklärung bzw. Beschreibung des unternehmerischen F&E–Verhaltens bedient sich die Wirtschaftstheorie in der Regel dynamischer Modellierungsansätze, um dem zeitlichen Charakter des Innovationswettbewerbs Rechnung zu tragen. Aus Gründen der mathematischen Handhabung werden zur Lösung der Modelle meist lineare Differenzen- und Differentialgleichungen erster und zweiter Ordnung herangezogen. Falls als Lösung nichtlineare Gleichungssysteme resultieren, bestimmt man üblicherweise den Steady State–Zustand und versucht durch eine approximative Linearisierung in der Nähe des Steady State–Wertes nachzuweisen, daß dieser asymptotisch stabil ist (vgl. etwa *Stadler 1990*). Den drastischen Beschränkungen, die Linearitäten dem dynamischen Modellverhalten unweigerlich auferlegen, wird vor allem in den entscheidungstheoretisch fundierten "neoklassischen" Innovationsansätzen kaum Beachtung geschenkt.

Wie restriktiv sich die Verwendung linearer Modelle tatsächlich auswirken kann, wurde in den formalen Wissenschaftszweigen eigentlich erst wahrgenommen, als man im Rahmen der (zunächst naturwissenschaftlich orientierten) Chaos-Theorie daranging, spezielle nichtlineare Prozesse näher zu untersuchen. Bereits bei den einfachsten nichtlinearen Modellen fand man eine bis dahin ungeahnte Komplexität dynamischer oder evolutiver Prozesse. Diese Komplexität eröffnete nun ein im Vergleich zu linearen

* Für wertvolle Anregungen und Kritik danke ich Gebhard Flaig und Ulrich Witt, für die finanzielle Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Modellen sehr viel breiteres Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten in nahezu allen Sparten dynamischer Modellkonstruktionen.¹

Aus der hier interessierenden industrieökonomischen Perspektive ist ein Artikel von *Baumol, Quandt (1985)* hervorzuheben, der den nichtpreislichen Wettbewerbsparameter Werbungsausgaben mit einem nichtlinearen Modell zu beschreiben versucht. Einerseits führt in diesem Modell eine Steigerung der Werbungsausgaben über einen zunehmenden Bekanntheitsgrad der angebotenen Produkte zunächst zu Gewinnsteigerungen, bis bei weiterer Steigerung der Kostenfaktor dominierend wird, und die Gewinne sinken. Andererseits wird ein bestimmter Prozentsatz der Gewinne in der Folgeperiode wieder in die Werbung reinvestiert, so daß eine Rückkopplung entsteht. Aus diesem nichtlinearen Werbungs-Modell resultiert, je nach Konstellation der exogenen Parameter, ein stationäres, zyklisches oder chaotisches Werbungsverhalten der Unternehmen.

Mit ähnlicher Motivation, aber einer ganz anderen Begründung, wird im vorliegenden Beitrag der Vorschlag unterbreitet, die F&E-Ausgaben der Unternehmen ebenfalls mit einem derartigen nichtlinearen Modell zu beschreiben. Ohne Zweifel ziehen auch F&E-Ausgaben nichtlineare Rückkopplungseffekte nach sich, wie dies etwa *Baumol, Wolff (1983)* anhand des Zusammenspiels von F&E und Produktivitätswachstum demonstriert haben. Im Hinblick auf das Schumpetersche Szenario des dynamischen Wettbewerbs liegt die Betrachtung eines weiteren Rückkopplungsmechanismus nahe. Durch die Einführung neuer oder verbesserter Produkte und Produktionsverfahren kann sich ein Pionierunternehmen einen Wettbewerbsvorsprung verschaffen, der ihm die Realisierung außerordentlicher Gewinne ermöglicht. Diese Gewinne sind jedoch nicht dauerhaft, sondern werden durch substitutive Innovationen und Imitationen der Konkurrenten immer wieder erodiert. Je mehr die Gewinne aber sinken, desto größer wird der Druck für die Unternehmen, mittels F&E-Aktivitäten nach neuen Innovationsmöglichkeiten zu suchen. Dieser wechselseitige Zusammenhang von F&E-Einsatz und Gewinnentwicklung wird in diesem Beitrag anhand eines einfachen nichtlinearen Modells analysiert. Dabei lassen sich sowohl die Unvorhersagbarkeit der Entwicklung in neuen und noch hart umkämpften Märkten als auch die vergleichsweise stabile und prognostizierbare Entwicklung in dynamischen und reifen Industrien auch ohne die Annahme stochastischer Einflüsse in Abhängigkeit einiger Strukturparameter erklären.

¹ Ökonomisch angewandt wurden nichtlineare Modelle u.a. im Bereich der Konjunkturtheorie (*Pohjola 1981, Grandmont 1985*), der Wachstumstheorie (*Stutzer 1980, Benhabib, Day 1980, Day 1982, 1983*), der spieltheoretischen Duopoltheorie (*Dana, Montrucchio 1986*) und seit neuestem auch im Bereich der Industrieökonomik. Einen hervorragenden Überblick über weitere vielfältige Anwendungsmöglichkeiten geben im übrigen die Beiträge von *Frank, Stengos (1988)*, *Baumol, Benhabib (1989)* sowie das Buch von *Lorenz (1989)*.

Im zweiten Abschnitt wird zunächst das Zweigleichungsmodell vorgestellt, mit dem die wechselseitigen Beziehungen zwischen F&E-Aktivitäten und der Gewinnentwicklung erfaßt werden sollen. Die beiden Gleichungen lassen sich in eine einfache, aber nicht-lineare Differenzgleichung transformieren, deren Eigenschaften im dritten Abschnitt analysiert werden. Die daraus folgenden Ergebnisse für unterschiedliche Parameterkonstellationen der Determinanten des F&E-Prozesses sowie der Gewinnentwicklung werden im vierten Abschnitt diskutiert. Ein kurzer Ausblick auf die Möglichkeiten und Grenzen des gewählten Ansatzes rundet im fünften Abschnitt den Beitrag ab.

2. Das Modell

Unser dynamisches F&E-Modell besteht aus einem System von zwei Bestimmungsgleichungen für den F&E-Einsatz und die Gewinnentwicklung. Da die F&E-Entscheidung nicht explizit aus einer Gewinnmaximierungsregel abgeleitet wird, fällt das Innovationsmodell dem Grunde nach in den Bereich des evolutionstheoretischen Paradigmas (zu einer Diskussion der konkurrierenden Paradigmen vgl. *Witt 1987* und *Stadler 1989, Kap. 8*). Als Verhaltensannahme wird unterstellt, daß ein Unternehmen seine F&E-Anstrengungen immer dann forciert, wenn sein Bruttogewinn (vor Abzug der F&E-Ausgaben) sinkt, sie aber reduziert, falls der Gewinn wächst. Dahinter steht die Vorstellung, daß das Management besonders aktiv nach Neuerungen und Verbesserungen sucht, wenn einzelne Indikatoren des Geschäftsergebnisses einen zunehmenden Handlungsbedarf signalisieren. Diese vornehmlich in Oligopolen wie der Automobilindustrie häufig zu beobachtende Verhaltensweise läßt sich mit dem Managementziel eines nach innen und außen sichtbaren "zufriedenstellenden" Geschäftsergebnisses plausibel rechtfertigen (vgl. *Tirole 1988, 44*).

Die Ursachen für Gewinnänderungen sind natürlich vielschichtig. Neben den gesamtwirtschaftlichen Konjunktur- und Wachstumsschwankungen sowie den strukturellen Verschiebungen zwischen den Branchen sind hier vor allem die unternehmensspezifischen Faktoren der Wettbewerbsfähigkeit von Interesse. Gewinnsteigerungen sind aus der Schumpeterschen Perspektive insbesondere bei der Einführung neuer oder verbesserter Produkte und Verfahren zu erwarten, Gewinneinbußen dagegen im Falle technologischer Neuerungen auf Seiten der Konkurrenz oder einfach durch eine steigende Zahl von Anbietern imitierter oder substitutiver Produkte infolge des Markteintritts neuer Unternehmen (vgl. *Gort, Klepper 1982*). Geht man aufgrund unterschiedlicher Unternehmensgrößen davon aus, daß sich die F&E-Reaktion der Produzenten immer nach der relativen Gewinnänderung richtet, lassen sich die Wachstumsraten der

F&E-Ausgaben x und der Bruttogewinne y durch die Gleichung

$$(1) \quad (x_{t+1} - x_t)/x_t = -a (y_{t+1} - y_t)/y_t$$

in Beziehung setzen. Der Parameter $a > 0$, der die Gewinnelastizität der F&E-Ausgaben angibt, kann als ein Maß für die *Innovationsbereitschaft* eines Unternehmens interpretiert werden. In ihm spiegeln sich sowohl branchenspezifische Einflußfaktoren wie Appropriabilitätsgesichtspunkte als auch unternehmensspezifische Eigenheiten wie Innovationsdynamik, Flexibilität und Kreativität wider.

Die Gewinnentwicklung auf der anderen Seite hängt im Falle von Produktinnovationen davon ab, wie neu, originell oder qualitativ besser das Angebot im Vergleich zu den Konkurrenzprodukten ist. Plausiblerweise wird unterstellt, daß die Haushalte auf Produktinnovationen mit einer zunehmenden Nachfrage reagieren und damit die Gewinne des Unternehmens erhöhen. Prozeßinnovationen führen zu einer Senkung der Produktionsstückkosten und damit ebenfalls zu einer Gewinnsteigerung. Unter Ausblendung der Unsicherheitsproblematik läßt sich daraus folgern, daß das Gewinnwachstum eines Anbieters direkt von seinen F&E-Anstrengungen im Hinblick auf nachfragestimulierende und kostensenkende Innovationen abhängt.

$$(2) \quad (y_{t+1} - y_t)/y_t = -b + c x_t.$$

Falls ein Unternehmen keinerlei Neuerungsaktivitäten entfaltet, muß es mit einem ständigen Gewinnrückgang rechnen. Die Geschwindigkeit des Gewinnrückgangs wird durch den Wettbewerbsdruck in der Branche bestimmt, der durch die *Konkurrenzintensität* $0 < b < 1$ parametrisiert wird.² Je höher die Konkurrenzintensität, desto schneller sind die Produktionsverfahren eines Unternehmens technologisch überholt und desto schneller verlieren seine Produkte an Attraktivität. Bei einem beliebigen Ausgangswert y_0 würde der Gewinn eines derartig passiven Unternehmens im weiteren Zeitablauf gemäß der Formel $y_t = y_0(1-b)^t$ exponentiell abklingen. Um einen solchen Niedergang zu vermeiden, muß ein Unternehmen immer wieder mittels F&E-Ausgaben nach Neuerungen Ausschau halten. Je mehr es in F&E investiert, desto weitreichender sind seine Innovationen und desto größer die nachfragestimulierenden und kosten-

² Eine alternative Modellierung der technologischen Obsolenz besteht in der Annahme einer exogenen Fortschrittsrate (*Kamien, Schwartz 1982, 112*), wie sie auch von *Iwai (1984)* für den Fall von Prozeßinnovationen verwendet wird. Die Interpretation eines solchen Parameters bereitet jedoch Schwierigkeiten, da dieser auch endogen durch die F&E-Ausgaben des Unternehmens beeinflußt werden kann.

senkenden Effekte. Der Parameter $c > 0$ gibt bei Produktinnovationen die Aufgeschlossenheit bzw. das Interesse der Haushalte gegenüber neuen oder verbesserten Produkten wieder und kann deshalb – um einen Begriff von *Scherer (1984, 91)* modifiziert zu verwenden – als *Marktdurchdringungsparameter* einer Produktinnovation interpretiert werden. Im Falle von Prozeßinnovationen läßt sich b als Maß für die *technologischen Möglichkeiten* in einem Markt heranziehen (vgl. *Dasgupta 1986, 530*).

Die Nichtlinearität des Modells kommt durch folgenden negativen Rückkopplungsmechanismus zustande. Infolge eines hypothetischen Gewinnrückgangs werden die F&E-Aktivitäten im Unternehmen forciert, um den technologischen Anschluß an die Konkurrenz nicht zu verlieren. Die dadurch generierten Produkt- und Prozeßinnovationen erhöhen daraufhin den Gewinn, während die F&E-Anstrengungen gleichzeitig wieder zurückgefahren werden (vgl. das Szenario von *Futia 1980*). Die Modelldynamik impliziert nun aber keineswegs automatisch ein gleichmäßiges Auf und Ab der F&E-Aktivitäten, wie sich aus dem beschriebenen Zusammenspiel zwischen F&E- und Gewinnentwicklung vielleicht vermuten ließe. Tatsächlich stellt ein regelmäßiger Innovationszyklus nur eine Variante von vielen Prozeßabläufen dar, die in unserem Modell auftreten können. Wie im folgenden gezeigt wird, liegt es vor allem an der unternehmerischen Innovationsbereitschaft a und an der Konkurrenzintensität b , welches F&E-Verhaltensmuster sich letztlich einstellt.

Setzt man die Gleichung (2) in Gleichung (1) ein, erhält man nach Umformung eine nichtlineare Differenzgleichung für die F&E-Ausgaben, die die gewinnbedingten Rückkopplungseffekte implizit enthält.

$$(3) \quad x_{t+1}/x_t = 1 + ab - ac x_t .$$

Der Steady State-Gleichgewichtswert $x_{t+i} = x_t$ für alle $i=1,2,3\dots$ ergibt sich dann als

$$(4) \quad x^* = b/c .$$

Setzt man diesen Wert in Gleichung (2) ein, so zeigt sich, daß im Steady State-Gleichgewicht der Unternehmensgewinn unverändert bleibt. Dies darf nun aber nicht in einem statischen Sinne verstanden werden. Durch den F&E-Einsatz werden ständig Produkt- und Prozeßinnovationen hervorgebracht, allerdings im Gleichschritt mit der Konkurrenz. Bei einer hohen Konkurrenzintensität b muß das einzelne Unternehmen entsprechend hohe F&E-Ausgaben tätigen, um seinen technologischen Stand gegenüber der Konkurrenz zu behaupten. Bei einem hohen Marktdurchdringungsparameter im Falle

von Produktinnovationen bzw. guten technologischen Möglichkeiten im Falle von Prozeßinnovationen c genügt dagegen ein geringerer F&E-Einsatz, um das Gewinnniveau zu halten. Schwankungen der F&E-Ausgaben um den Steady State-Wert x^* führen zu synchronen Schwankungen der Gewinnwachstumsraten um den Nullpunkt. Die Gewinnentwicklung eines Unternehmens hängt deshalb entscheidend von der Stabilität des F&E-Prozesses (3) ab:

Im stetigen Korrespondenzmodell, in dem lediglich die diskreten Differenzen $(x_{t+1} - x_t)$ und $(y_{t+1} - y_t)$ durch die stetigen Zeitableitungen \dot{x}_t und \dot{y}_t ersetzt werden, ergibt sich der gleiche Steady State-Wert x^* . Wie im Anhang A gezeigt wird, nähert sich der F&E-Prozeß bei jedem Ausgangsniveau x_0 und nach jeder (stochastischen) Störung diesem stationären Steady State-Zustand in logistischer Weise wieder an. Es gehört zu den Eigentümlichkeiten nichtlinearer Prozesse, daß sich diese Stabilitätseigenschaft des stetigen Korrespondenzmodells keineswegs auf das hier untersuchte diskrete Pendant übertragen läßt. Über die lineare Variablentransformation

$$(5) \quad z_t = (ac/(1+ab)) x_t$$

läßt sich der F&E-Prozeß (3) in seine logistische Standardform

$$(6) \quad z_{t+1} = (1 + ab) z_t (1 - z_t)$$

bringen, die mit einer im Anhang B vorgestellten Ausnahme keiner analytischen Lösung zugänglich ist. Dessen ungeachtet ist der durch die logistische Differenzgleichung charakterisierte Prozeß nicht nur das einfachste, sondern das wohl auch am detailliertesten studierte nichtlineare System in der Chaos-Theorie (vgl. etwa die Einführung von *Devaney 1989*). Unter dem bezeichnenden Titel "Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics" hat *May (1976)* vor allem die chaotischen Eigenschaften dieser auf den ersten Blick so simplen Differenzgleichung herausgestellt. Eine Vielzahl von Folgeartikeln beschäftigt sich seitdem aus allen möglichen Blickwinkeln mit dieser Funktion. Die für das Verständnis unseres Modells wesentlichen Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt kurz zusammengefaßt.

3. Zeitpfade der logistischen Differenzgleichung

Wie aus Gleichung (6) ersichtlich ist, wird der Zeitpfad des deterministischen Prozesses z_t (neben dem Anfangswert z_0) ausschließlich vom Produkt der beiden positiven

Parameter a und b bestimmt. Der Einfachheit halber sei deshalb zunächst ein Parameter $r := 1 + ab$ definiert, so daß sich die Differenzgleichung (6) einfacher als

$$(7) \quad z_{t+1} = r z_t (1 - z_t) = f(z_t)$$

schreiben läßt. Dabei ergibt sich der Wert z_{t+1} einer beliebigen Periode jeweils rekursiv als Funktion $f(z_t)$ seines Wertes in der Vorperiode. Unter den üblichen Standardannahmen für den Startwert $z_0 \in [0,1]$ und für den Kontrollparameter $r \in [0,4]$ bildet diese Funktion den Variablenbereich $[0,1]$ stetig in sich selbst ab. Anschaulich wird diese Abbildungsvorschrift im Phasendiagramm, wie es im Schaubild 1 für den Fall $r=3$ graphisch dargestellt ist. Die konkave Funktion $f(z_t)$ geht durch den Ursprung, steigt bis zu ihrem Maximum $(0.25r)$ bei $z=0.5$ an, und fällt anschließend wieder, wobei sie bei $z=1$ die Abszisse nochmals schneidet.

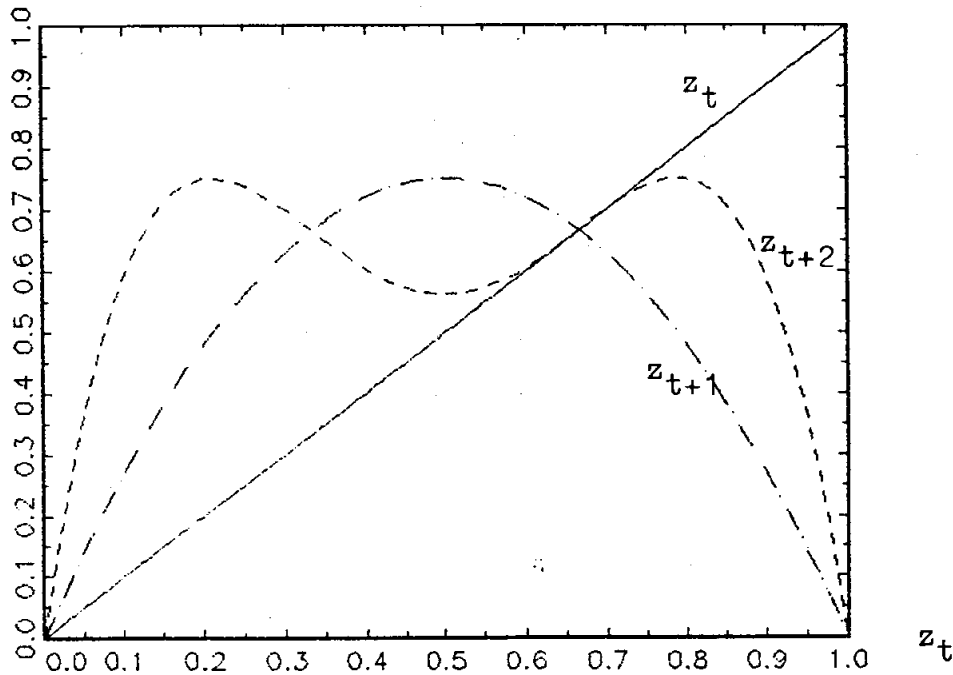


Schaubild 1

Die Schnittpunkte dieser eingipfeligen Funktion mit der 45° -Linie repräsentieren die Steady State-Zustände $z_t = z_{t+1} = z_{t+2} = \dots = z^*$ des Prozesses. Für $r > 1$ ergeben sich aus Gleichung (7) die beiden Fixpunkte $z=0$ und

$$(8) \quad z^* = (r-1)/r.^3$$

³ Für $0 < r < 1$ liegt die Funktion $f(z_t)$ im positiven Quadranten des Phasendiagramms abgesehen vom Ursprung immer unter der Winkelhalbierenden. Der Prozeß konvergiert dabei gegen seinen einzigen stabilen Fixpunkt $z=0$. In unserem Modell hat dieser Fall keine Relevanz, da die Parameter a und b immer positiv sind und somit $r > 1$ gilt.

Die Frage ist nun, unter welchen Bedingungen diese Fixpunkte stabil sind. Entscheidend hierfür ist jeweils die Steigung der Funktion $f(z_t)$ im Schnittpunkt mit der 45° -Linie. Sofern diese dem Betrage nach größer eins ist, handelt es sich um einen instabilen oder abstoßenden Fixpunkt, falls sie dagegen kleiner eins ist, um einen stabilen oder anziehenden Fixpunkt oder kurz um einen "Punktattraktor". Ist die Steigung im Schnittpunkt dem Betrage nach genau eins, kommt es zu einer Aufspaltung des Fixpunktes in zwei neue Fixpunkte, einer sog. "Bifurkation" (vgl. *Devaney 1989, Kap. 1.4*). Durch Differenzieren der Funktion $f(z_t)$ nach z_t erhält man aus Gleichung (7) für die Steigungen in den Schnittpunkten

$$(9) \quad \left. \frac{dz_{t+1}}{dz_t} \right|_{z=0} = r \quad \text{und} \quad \left. \frac{dz_{t+1}}{dz_t} \right|_{z=z^*} = (1 - 2z^*)r = 2 - r.$$

Die Stabilität der Fixpunkte hängt demnach ausschließlich vom Kontrollparameter r ab. Während der triviale Fixpunkt $z=0$ für $r>0$ immer instabil ist, ist der Fixpunkt z^* für alle $1 < r < 3$ stabil und beschreibt ein stationäres Steady State-Gleichgewicht. Wie sich auch im Phasendiagramm leicht veranschaulichen läßt, nähert sich der Prozeß diesem stationären Zustand für $1 < r < 2$ streng monoton und für $2 < r < 3$ oszillierend mit ständig abnehmender Amplitude (vgl. die Schaubilder in *Devaney 1989, 34*).

Bei einem Parameterwert $r_1=3$ kommt es zu einer ersten Bifurkation, d.h. der Gleichgewichtspunkt z^* wird instabil und spaltet sich in zwei neue Gleichgewichtspunkte z_1 und z_2 auf, zwischen denen der Prozeß z_t dann ständig hin und her springt. Dies läßt sich leicht nachweisen. Die zweifache Abbildung $f^2(z_t) = f(f(z_t)) = z_{t+2}$ ergibt im Phasendiagramm eine M-förmige Kurve

$$(10) \quad z_{t+2} = r z_{t+1} (1 - z_{t+1}) = r^2 \left\{ (z_t - z_t^2) - r (z_t - z_t^2)^2 \right\},$$

die für $r=3$ ebenfalls im Schaubild 1 abgebildet ist. Die Funktion $f^2(z_t)$ kann die 45° -Linie bis zu viermal schneiden. Neben die bisherigen Fixpunkte $z=0$ und $z^*=(r-1)/r$ treten die zusätzlichen Schnittpunkte

$$(11) \quad z_{1,2} = \left\{ (r+1) \pm \sqrt{r^2 - 2r - 3} \right\} / 2r,$$

die sich jeweils unter der Bedingung $z_{t+2}=z_t$ für einen Zweiperioden-Fixpunkt aus Gleichung (10) ergeben. Als Stabilitätskriterien dienen analog zum obigen Vorgehen die Steigungen der Funktion $f^2(z_t)$ in den Schnittpunkten mit der 45° -Linie. Für die beiden

Einperioden-Fixpunkte $z=0$ und $z=z^*$ erhält man durch Anwendung der Kettenregel $df^2(z_t)/dz_t^2 = [df(z_{t+1})/dz_{t+1}] [df(z_t)/dz_t] = [df(z_t)/dz_t]^2$ anstelle der Ableitungen (9) nun einfach die quadrierten Ableitungen r^2 und $(2-r)^2$, die für $r>3$ beide instabil sind. Für die neu hinzugekommenen Fixpunkte z_1 und z_2 ergibt sich aus den Gleichungen (10) und (11) nach einigen Umformungen

$$(12) \quad \left. \frac{dz_{t+2}}{dz_t} \right|_{z=z_{1,2}} = \left\{ (1 - 2z_{1,2}) - 2r (1 - 2z_{1,2})(z_{1,2} - z_{1,2}^2) \right\} r^2 = -r^2 + 2r + 4.$$

Offensichtlich sind die Steigungen in diesen beiden Schnittstellen jeweils gleich und wieder nur vom Kontrollparameter r abhängig. Sie sind dem Betrage nach immer dann kleiner eins, falls $3 < r < 1 + \sqrt{6} \approx 3.449$. Folglich wird der bis $r < 3$ stabile Gleichgewichtswert und Punktattraktor z^* bei $r=3$ instabil und durch ein stabiles Gleichgewichtspaar (z_1, z_2) ersetzt. Dieses Gleichgewichtspaar stellt einen Attraktor in Form eines Zweiperioden-Grenzyklus dar, dem sich der Prozeß allmählich annähert. Bei $r_2 \approx 3.449$ findet aus den gleichen Gründen die zweite Bifurkation statt. Die beiden Fixpunkte z_1 und z_2 werden gemeinsam instabil und jeweils wieder durch zwei neue Fixpunkte ersetzt. Diese vier stabilen Fixpunkte, die sich aus den Schnittpunkten der Funktion $f^4(z_t)$ mit der 45° -Linie ergeben, bilden dann einen vierperiodigen Grenzyklus als Attraktor. Der Steady State-Wert und der Zweiperiodenzklus bestehen zwar weiterhin, aber nicht mehr als Attraktoren. Bei einer weiteren Erhöhung des Kontrollparameters wird auch der Vierperiodenzklus wieder instabil und durch die dritte Bifurkation bei $r_3 \approx 3.544$ von einem stabilen Achtperiodenzklus abgelöst. Die Abstände von einer Bifurkation zur nächsten werden immer kleiner. Die genauen Werte lassen sich zwar nur noch numerisch bestimmen, *Feigenbaum (1978, 30)* fand jedoch heraus, daß das Verhältnis zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bifurkationsintervallen in seltsamer Weise auf eine universelle Konstante, die Feigenbaumzahl $\delta \approx 4.669$ hin konvergiert.

$$(13) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} (r_{n+1} - r_n) / (r_{n+2} - r_{n+1}) = \delta$$

Bereits nach wenigen Bifurkationspunkten kann die Formel (13) herangezogen werden, um aus zwei aufeinanderfolgenden Bifurkationspunkten den jeweils nächsten in guter Approximation zu errechnen. So läßt sich beispielsweise aus der Näherungsgleichung

$$(14) \quad r_{n+2} \approx [(1+\delta)r_{n+1} - r_n] / \delta$$

mit den Bifurkationspunkten $r_2 \approx 3.449$ und $r_3 \approx 3.544$ der vierte Bifurkationspunkt ziemlich genau als $r_4 \approx 3.564$ bestimmen.

Dieser Bifurkationsprozeß setzt sich mit zunehmendem Wert des Kontrollparameters zunächst auf die gleiche Weise weiter fort, wobei jeweils zwischen der n -ten und der $(n+1)$ -ten Bifurkation ein geradzahliges 2^n -Perioden-Grenzyklus existiert. Die stabilen Fixpunkte wachsen dabei zu einem immer differenzierteren "Verzweigungsbaum" heran. Bei einem kritischen Wert $r_c \approx 3.570$, dem sog. Akkumulationspunkt, endet diese Bifurkationskaskade der Periodenverdopplung im Chaos. Die Verzweigungen verbinden sich an dieser Stelle erstmals zu kontinuierlichen Bändern (vgl. das berühmte Feigenbaum-Szenario in *Devaney 1989, 136*).

Von nun an weist der Prozeß ein recht sonderbares Verhalten auf. Zunächst springt er zwischen den einzelnen Bändern in noch vorhersagbarer Reihenfolge hin und her. Innerhalb der Bänder ist jedoch keine Vorhersage über den Prozeßzustand mehr möglich, ohne den Anfangszustand unendlich genau zu kennen – eine utopische Vorstellung. Mit weiter steigendem r werden die Bänder ständig breiter, bis sie schließlich bei $r=4$ den gesamten Variablenbereich kontinuierlich ausfüllen. Der Prozeß verläuft dann scheinbar völlig regellos und absolut unvorhersagbar. Tatsächlich läßt er sich ungeachtet seines deterministischen Ablaufs von einem reinen Zufallsprozeß nicht mehr unterscheiden. Im Anhang B wird für diesen Spezialfall gezeigt, daß eine explizite Lösungsfunktion der Form $z_t = [1 - \cos(2^{t+1} \omega_0 \pi)] / 2$ mit dem Startwert ω_0 existiert. Diese trigonometrische Funktion generiert alles andere als eine harmonische Schwingung. Aus der ständigen Winkelverdopplung resultiert ein in jeder Hinsicht chaotischer Prozeß, wie sich mit jedem Taschenrechner leicht nachvollziehen läßt. Bereits minimale Abweichungen im Ausgangszustand führen schon nach wenigen Perioden zu einem völlig anderen Zeitpfad. Für diese hohe Sensitivität vom Ausgangszustand hat sich der aus der Meteorologie stammende Begriff des "Schmetterlingseffekts" durchgesetzt, wonach der Flügelschlag eines Schmetterlings in einem chaotischen Wettersystem ausreichen kann, um Perioden später einen Tornado auszulösen.

Damit ist die Vielfalt der aus der logistischen Differenzgleichung ableitbaren Zeitpfade noch nicht erschöpft. Mitten im chaotischen Bereich $3.57 < r < 4$ treten plötzlich wieder "Inseln" der Stabilität auf, in denen stabile Fixpunkte existieren und in denen sich neue Bifurkationskaskaden entwickeln. So treten neben die Zyklen der Periodizität 2^n auch alle anderen geradzahliges und ungeradzahliges Zyklen. Etwa im Bereich $3.828 < r < 3.841$ stellt sich ein stabiler Dreiperiodenzyklus ein, nach einem Theorem von *Li, Yorke (1975, 987)* sicherer Beleg dafür, daß die logistische Differenzgleichung Zyklen jeder beliebigen Periode und auch völlig aperiodische Zyklen mit unendlicher Periode beinhaltet. Bei Werten $r > 4$ schließlich wird der chaotische Bereich wieder verlassen. Der Prozeß divergiert in diesen Fällen schnell aus dem Intervall $[0,1]$ heraus und strebt gegen $-\infty$.

4. Die Determinanten des F&E-Verhaltens und der Gewinnentwicklung

Die Ergebnisse aus der Standardform der logistischen Differenzgleichung lassen sich nun leicht auf unser F&E-Modell übertragen. Aufgrund der Definition $r := 1 + ab$ ist das Produkt der beiden Modellparameter Innovationsbereitschaft und Konkurrenzintensität für den charakteristischen Verlauf des F&E-Prozesses entscheidend. In der folgenden Tabelle sind die unterschiedlichen Bereiche der Modelldynamik, wie sie im vorigen Abschnitt für r abgeleitet wurden, in Abhängigkeit des Produktes $a \cdot b$ zusammengefaßt.

Bereich	Wert $a \cdot b$	Prozeßverlauf
A	[0, 1]	Monotone Konvergenz zum stationären Zustand
B	[1, 2]	Oszillierende Konvergenz zum stationären Zustand
C	[2, 2.57]	Stabile Innovationszyklen mit Periodenlänge 2^n bei zunehmender Periodenverdopplung
D	[2.57, 3]	Chaotisches Verhalten, Innovationszyklen mit jeder beliebigen, auch unendlichen Periodendauer
E	[3, ∞]	Explosives Verhalten

Die zu diesen fünf Bereichen korrespondierenden Parameterkonstellationen von a und b sind im Schaubild 2 graphisch dargestellt. Während für die Konkurrenzintensität die Restriktion $0 < b < 1$ erfüllt sein muß, unterliegt die Gewinnelastizität der F&E-Ausgaben a (außer der angenommenen Positivität) keinen prinzipiellen Beschränkungen.

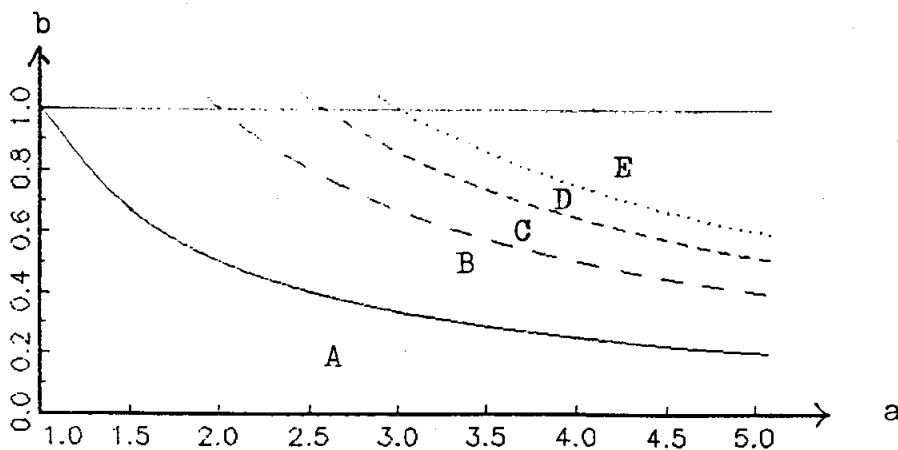


Schaubild 2

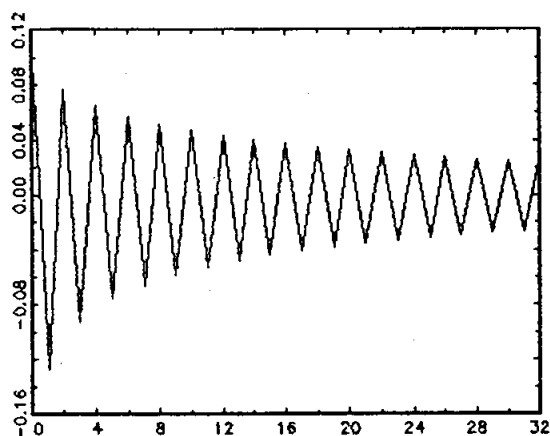
Aus dem Schaubild 2 geht hervor, daß mit zunehmenden Parameterwerten von a und b die Komplexität der Zeitpfade immer weiter zunimmt. Eine geringe Innovationsbereitschaft löst nur gemäßigte F&E-Reaktionen auf Gewinnschwankungen aus, so daß keine bahnbrechenden Produkt- und Prozeßinnovationen zu erwarten sind. Gleichzeitig läßt eine geringe Konkurrenzintensität im Markt den Gewinn eines Unternehmens mit technologisch veralteten Produkten und Verfahren nur langsam sinken, so daß ebenfalls nur eine geringe Motivation für Innovationen und damit für F&E-Aktivitäten vorhanden ist. Eine hohe Innovationsbereitschaft und ein starker Konkurrenzdruck führen dagegen zu einem hohen F&E-Einsatz, verbunden mit entsprechend weitreichenden Innovationen und Pioniergewinnen.

Den expliziten Verlauf des F&E-Prozesses x_t erhält man wegen der Variablentransformation (5) aus der Multiplikation der Werte des Prozesses z_t mit dem Faktor $(1+ab)/ac$. Die Konkurrenzintensität b erhöht demnach den Multiplikator, während die Innovationsbereitschaft a und die Marktdurchdringungsrate bzw. die technologischen Möglichkeiten c ihn dämpfen. Für die synchrone Entwicklung des Gewinnwachstums ergibt sich ein Multiplikator von $(1+ab)/a$ sowie gegenüber dem F&E-Prozeß eine zusätzliche Parallelverschiebung um b nach unten.

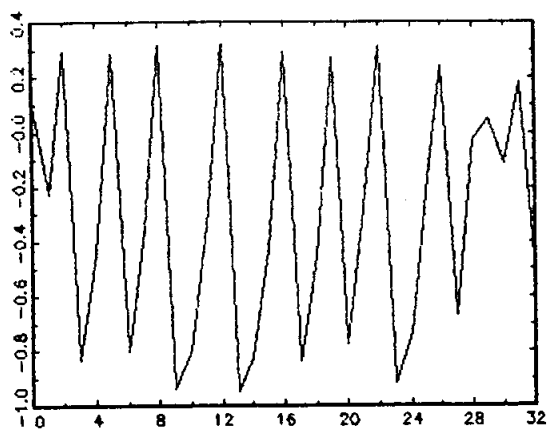
Im folgenden wird die Hypothese vertreten, daß die Konkurrenzintensität, wie sie hier gemessen wird, vom Alter der jeweiligen Branche abhängig ist. In reifen Industrien, in denen nur noch marginale Verbesserungsinnovationen von Seiten der Konkurrenz befürchtet werden müssen, wird sie relativ niedrige Werte annehmen (Bereiche A und B). Demnach wäre nach unserem Modell in diesen Industrien mit einer sehr stetigen und gut prognostizierbaren Unternehmensentwicklung bei einer geringen F&E-Variabilität und kaum ausgeprägten Innovationszyklen oder Gewinnschwankungen im Vergleich zur Branchenentwicklung zu rechnen. Die F&E-Ausgaben streben gegen einen stabilen Steady State-Zustand und die Gewinnwachstumsraten konvergieren gegen Null. Im Schaubild 3a ist ein solcher Entwicklungspfad (aus dem Bereich B) illustriert.⁴

In den sog. "zukunftsträchtigen" Industrien, in denen noch ein großes Innovationspotential und somit eine hohe Konkurrenzintensität besteht, muß dagegen mit größeren F&E- und Gewinnschwankungen in den Unternehmen gerechnet werden, die jeweils mit ausgeprägten Innovationszyklen verbunden sind (Bereich C). Ein einzelnes Unternehmen

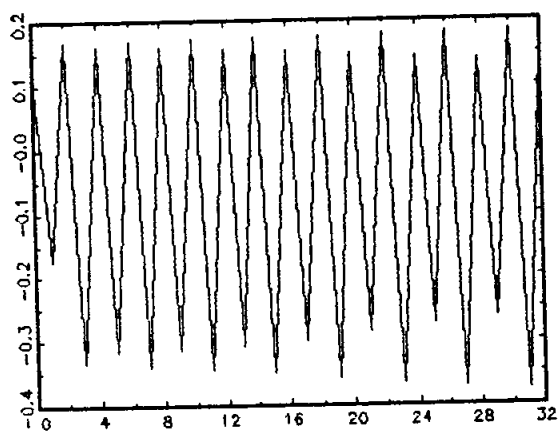
⁴ In den Simulationen der Schaubilder 3a bis 3d über 32 Perioden hinweg wurden wegen der "Normierung" um den Nullpunkt die Gewinnwachstumsraten herangezogen. Aus der Gleichung (2) ist aber leicht zu erkennen, daß der F&E-Prozeß das gleiche typische Verlaufsmuster aufweist. Folgende Parameterwerte wurden angesetzt: $a=3$, $c=1$, $b=0.66$ (3a), $b=0.83$ (3b) und $b=0.99$ (3c und 3d). Als Startwerte wurden gewählt 0.1 (3a bis 3c) und 0.11 (3d).



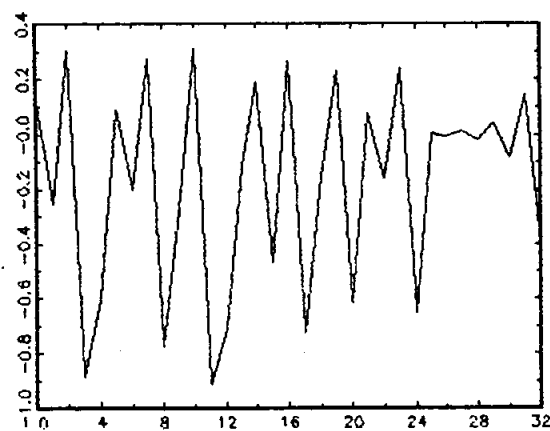
3a



3c



3b



3d

Schaubild 3

kann sich in diesem Innovationsprozeß immer wieder einen vorübergehenden Wettbewerbsvorsprung und damit Pioniergewinne sichern, fällt aber durch die aktive Konkurrenz bald wieder zurück. Da jede Innovation die bisherigen technologischen Spitzenprodukte und Verfahrensweisen ersetzt, könnte man in Anlehnung an *Schumpeter* auch von einem andauernden "Prozeß der schöpferischen Zerstörung" sprechen. Das Steady State-Gleichgewicht ist hier lokal instabil, d.h. die Unternehmen werden in der Nähe dieses "Gleichgewichts" aus eigenem Gewinnantrieb heraus immer wieder Innovationen tätigen und sich damit vom "Gleichgewicht" entfernen (zur Relevanz dieser Sichtweise vgl. *Day 1984*). Die Innovationszyklen sind demgegenüber stabile Grenzzyklen und verleihen dem Schumpeterschen Wettbewerb ohne die Hilfsannahme ständiger exogener Schocks seine Dauerhaftigkeit. Damit unterscheiden sich unsere modellendogen erklärten Innovationszyklen deutlich von den im Bezug auf die

Parameter instabilen Schwingungen, die mit linearen Modellen erzeugt werden können. Darüber hinaus kann unser Modell nicht nur gleichförmige Auf- und Ab-Bewegungen generieren, sondern je nach Parameterkonstellation auch weitaus komplexere Mehrperiodenzyklen. Im Schaubild 3b ist beispielsweise die Konvergenz zu einem stabilen Vierperioden-Zyklus veranschaulicht.

Nur bei außerordentlich hohen Werten der beiden Parameter a und b sind neben den regelmäßigen Zyklen auch chaotische Entwicklungen mit erratischen und nicht mehr vorhersagbaren regellosen Schwankungen möglich. Derart hohe Werte (Bereich D) sind bestenfalls in neu entstehenden, hart umkämpften Märkten zu erwarten. Gerade diese Marktphasen sind es aber, in denen etwa *Arthur (1989, 1990)* in seinen Fallstudien auf Phänomene stieß, die sich nur mit nichtlinearen Modellen mit sensitiver Abhängigkeit vom Anfangszustand sinnvoll erklären lassen. Wie ein Vergleich der beiden Schaubilder 3c und 3d zeigt, genügt bereits eine geringe Abweichung im Anfangszustand, um zu einem gänzlich anderen Zeitpfad zu führen. Die Unvorhersagbarkeit der technologischen Entwicklung bedarf in diesem chaotischen Bereich also noch nicht einmal der Annahme stochastischer Zusammenhänge zwischen F&E-Ausgaben und Innovationen. Eine Ähnlichkeit der mit unserem Modell erklärbaren Zeitpfade mit den im evolutions-theoretischen Ansatz relevanten Entwicklungspfaden innerhalb bestimmter "technologischer Paradigmen" (vgl. *Dosi 1988*) ist unverkennbar.

5. Kritische Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Papier wurde anhand eines einfachen Innovationsmodells demonstriert, wie eine durch negative Rückkopplung hervorgerufene Nichtlinearität im F&E-Prozeß je nach Parameterkonstellation zu chaotischem, zyklischem oder stationärem F&E-Verhalten führen kann. Aufgrund seiner einfachen Struktur kann das Modell die Realität natürlich nur sehr stilisiert abbilden. Auf der anderen Seite scheint es aber gerade bezeichnend, daß bereits so simple nichtlineare Modelle eine derartige Komplexität zu Tage bringen können. Selbstverständlich läßt sich der Innovationsprozeß mit der hier vorgestellten eindimensionalen F&E-Dynamik nur unzureichend beschreiben. Eine große Bedeutung kommt freilich auch den anderen Wettbewerbsparametern der Unternehmen sowie einer differenzierten Betrachtung von Produkt- und Prozeßinnovationen zu (vgl. *Utterback 1979* oder *Klepper, Graddy 1990*). Die auf diese Weise erzeugten höherdimensionierten nichtlinearen Gleichungssysteme neigen dann aber noch mehr zu irregulärem Verhalten – und dies sogar in stetigen Modellen (vgl. *Guckenheimer, Holmes 1983*). Auch die Integration stochastischer Elemente, wie insbesondere der Unsicherheit über

den technologischen Erfolg, würde die Komplexität des Ansatzes nochmals deutlich erhöhen. An den Grundaussagen dieses Papiers würde sich aber nichts ändern: Die Berücksichtigung nichtlinearer Strukturen ist ein vielversprechender Weg, um die komplexen Abläufe der wirtschaftlichen Entwicklung zu entschlüsseln.

Erweiterungen des beschriebenen Modells im Hinblick auf die makroökonomische Ebene scheinen möglich. Ähnlich wie früher die Konjunkturzyklen werden auch die langen Wellen der wirtschaftlichen Entwicklung, die Kondratieff-Zyklen, bisweilen durch Differenzen- und Differentialgleichungen bzw. durch gemischte Formen daraus modelliert (vgl. neuerdings *Neumann 1990*). Die Kondratieff-Zyklen schwanken aber genauso wenig gleichförmig wie die Konjunkturzyklen. Durch geringfügige Modifikationen der relevanten dynamischen Gleichungen lassen sich auch in diesen Modellen komplexere Zyklusmuster, wenn nicht gar irreguläre Zeitpfade ableiten. Betrachtet man in unserem Modell nicht ein Unternehmen in einer Branche, sondern eine Volkswirtschaft im internationalen Kontext, so erhält man die abgeleiteten Zeitpfade nun für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung, wobei es jeweils die Innovationen sind, die aus Depressionen wieder heraus zu einem neuen Aufschwung führen (vgl. *Mensch 1975*).

Die Chaos-Theorie, die nach der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik die dritte naturwissenschaftliche Revolution in diesem Jahrhundert ausgelöst hat, findet nun zunehmend Einzug in die Wirtschaftswissenschaften. Eine ernsthafte Auseinandersetzung mit den Konsequenzen nichtlinearer Prozesse im Rahmen der Schumpeterschen Innovationsdynamik steht aber bislang noch aus. Eine letztlich auf die Newtonschen Bewegungsgleichungen zurückzuführende Methodik besteht vor allem in den neoklassisch orientierten Innovationsansätzen darin, den F&E-Modellen vereinfachende Annahmen (Linearität!) explizit oder auch nur implizit voranzustellen, um sich dann ganz auf den analytischen Lösungsalgorithmus zu konzentrieren. Mit ihrem evolutionstheoretischen Simulationsansätzen zeigen *Nelson, Winter (1982)* oder *Eliasson (1988)* eine Alternative auf, die aber hauptsächlich wegen ihrer mangelnden entscheidungstheoretischen Fundierung z.T. heftig kritisiert werden. Diese Kritik trifft zweifelsohne auch Innovationsmodelle vom hier diskutierten Typ. Gelingt es aber, die F&E-Entscheidungen einschließlich ihrer Rückkopplungseffekte explizit aus einem mikroökonomischen Entscheidungskalkül heraus abzuleiten, könnten sie eine wesentliche Brückenfunktion übernehmen. Da sie eine wesentlich komplexere Welt abbilden können, würde der Erklärungsspielraum deutlich wachsen (vgl. *Lorenz 1988* in bezug auf die Konjunkturtheorie). Auf der anderen Seite verschließt aber das fehlende mathematische Werkzeug (noch) den Zugang zu einer formalen Modellanalyse. So konnte im vorge-

stellten Modell nur für ganz spezielle Parameterkonstellationen ($ab=3$) eine explizite Lösungsfunktion angegeben werden. Ob sich die Chaostheorie im Bereich der dynamischen Industrieökonomik letztlich durchsetzen wird, bleibt deshalb vorläufig noch offen.

Anhang A: Das stetige Korrespondenzmodell

In stetiger Formulierung erhält man aus den Gleichungen (1) und (2) die nichtlineare Differentialgleichung

$$(A1) \quad \dot{x} = abx - acx^2,$$

die sich durch die Variablentransformation $v = (c/b)x$ in die Standardform einer logistischen Wachstumsgleichung

$$(A2) \quad \dot{v} = abv(1-v)$$

überführen läßt. Diese logistische Funktion wiederum läßt sich durch eine weitere Variablentransformation $u = 1/v$ in die lineare Differentialgleichung

$$(A3) \quad \dot{u} + abu = ab$$

überführen, deren explizite Lösungsfunktion

$$(A4) \quad u = 1 + (u_0 - 1) e^{-abt}$$

mit dem Startwert u_0 bei $t=0$ lautet. Nach den entsprechenden Rücktransformationen erhält man die Lösungsgleichung

$$(A5) \quad x = \left\{ c/b + (1/x_0 - c/b) e^{-abt} \right\}^{-1}$$

mit dem Startwert $x(t=0) = x_0$. Diese Funktion nähert sich in logistischem Sinne dem Gleichgewichtswert $x^* = b/c$. Das stetige Modell ist daher unabhängig von den Ausprägungen der Koeffizienten a und b stabil.

Anhang B: Die explizite Lösungsfunktion der Differenzgleichung $z_{t+1} = 4 z_t (1-z_t)$.

Unterstellt sei zunächst eine Lösungsfunktion vom Typ

$$(B1) \quad z_t = \sin^2(\omega_t \pi).$$

Damit ergibt sich zum Zeitpunkt $(t+1)$ der Funktionswert

$$(B2) \quad z_{t+1} = 4 z_t (1-z_t) = 4 \sin^2(\omega_t \pi) [1 - \sin^2(\omega_t \pi)].$$

Unter Verwendung der bekannten trigonometrischen Formeln

$$\sin^2(\omega_t \pi) + \cos^2(\omega_t \pi) = 1 \quad \text{und}$$

$$\sin(2\omega_t \pi) = 2 \sin(\omega_t \pi) \cos(\omega_t \pi)$$

erhält man für die Gleichung (B2)

$$(B3) \quad z_{t+1} = 4 z_t (1-z_t) = \sin^2(2\omega_t \pi).$$

Ein Vergleich mit dem Funktionsausdruck (B1), bezogen auf die Periode $t+1$,

$$(B4) \quad z_{t+1} = \sin^2(\omega_{t+1} \pi)$$

zeigt, daß der unterstellte Funktionstyp eine Lösungsgleichung repräsentiert, sofern

$$(B5) \quad \omega_t = 2^t \omega_0$$

gesetzt wird. Unter Verwendung der trigonometrischen Formel

$$\cos(2\omega_t \pi) = 1 - 2 \sin^2(\omega_t \pi)$$

ergibt sich demnach aus Gleichung (B1) die Lösungsfunktion

$$(B6) \quad z_t = \sin^2(2^t \omega_0 \pi) = [1 - \cos(2^{t+1} \omega_0 \pi)] / 2.$$

Literaturverzeichnis

- Arthur, W.B. (1989), Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events, *Economic Journal* 99, 116 – 131.
- Arthur, W.B. (1990), Positive Rückkopplung in der Wirtschaft, *Spektrum der Wissenschaft* 4, 122 – 129.
- Baumol, W.J., Benhabib, J. (1989), Chaos: Significance, Mechanism, and Economic Applications, *Journal of Economic Perspectives* 3, 77 – 107.
- Baumol, W.J., Wolff, E.N. (1983), Feedback from Productivity Growth to R&D, *Scandinavian Journal of Economics* 85, 147 – 157.
- Baumol, W.J., Quandt, R.E. (1985), Chaos Models and Their Implications for Forecasting, *Eastern Economic Journal* 11, 3 – 15.
- Benhabib, J., Day, R.H. (1980), Erratic Accumulation, *Economics Letters* 6, 113 – 117.
- Dana, R.-A., Montrucchio, L. (1986), Dynamic Complexity in Duopoly Games, *Journal of Economic Theory* 40, 40 – 56.
- Dasgupta, P.S. (1986), The Theory of Technological Competition, *J.E. Stiglitz, G.F. Mathewson* (Hrsg.), *New Developments in the Analysis of Market Structure*, Cambridge, 519 – 547.
- Day, R.H. (1982), Irregular Growth Cycles, *American Economic Review* 72, 406 – 414.
- Day, R.H. (1983), The Emergence of Chaos from Classical Economic Growth, *Quarterly Journal of Economics* 98, 201 – 213.
- Day, R.H. (1984), Disequilibrium Economic Dynamics: A Post-Schumpeterian Contribution, *Journal of Economic Behavior & Organization* 5, 57 – 76.
- Devaney, R.L. (1989), *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*, 2. Aufl., Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City, California.
- Dosi, G. (1988), Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation, *Journal of Economic Literature* 26, 1120 – 1171.
- Eliasson, G. (1988), Schumpeterian Innovation, Market Structure, and the Stability of Industrial Development, *H. Hanusch* (Hrsg.), *Evolutionary Economics. Applications of Schumpeter's Ideas*, Cambridge, 151 – 199.
- Feigenbaum, M.J. (1978), Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations, *Journal of Statistical Physics* 19, 25 – 52.
- Frank, M., Stengos, Th. (1988), Chaotic Dynamics in Economic Time-Series, *Journal of Economic Surveys* 2, 103 – 134.
- Futia, C.A. (1980), Schumpeterian Competition, *Quarterly Journal of Economics* 94, 675 – 695.
- Gort, M., Klepper, S. (1982), Time Paths in the Diffusion of Product Innovations, *Economic Journal* 92, 630 – 653.

- Grandmont, J.M. (1985)*, On Endogenous Competitive Business Cycles, *Econometrica* 53, 995 – 1045.
- Guckenheimer, J., Holmes, P. (1983)*, Nonlinear Oscillations, Dynamic Systems, and Bifurcations of Vector Fields, Springer-Verlag, Berlin.
- Iwai, K. (1984)*, Schumpeterian Dynamics. An Evolutionary Model of Innovation and Imitation, *Journal of Economic Behavior and Organization* 5, 159 – 190.
- Kamien, M.I., Schwartz, N.L. (1982)*, Market Structure and Innovation, Cambridge.
- Klepper, S., Graddy, E. (1990)*, The Evolution of New Industries and the Determinants of Market Structure, *Rand Journal of Economics* 21, 27 – 44.
- Li, T.Y., Yorke, J.A. (1975)*, Period Three Implies Chaos, *American Mathematical Monthly* 82, 985 – 992.
- Lorenz, H.W. (1988)*, Neuere Entwicklungen in der Theorie dynamischer Systeme, *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* 204, 295 – 315.
- Lorenz, H.W. (1989)*, Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion, Springer Verlag, Berlin.
- May, R.M. (1976)*, Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics, *Nature* 261, 459 – 467.
- Mensch, G. (1975)*, Das technologische Patt. Innovationen überwinden die Depression, Frankfurt.
- Nelson, R.R., Winter, S.G. (1982)*, An Evolutionary Theory of Economic Change, Cambridge, London.
- Neumann, M. (1990)*, Zukunftsperspektiven im Wandel. Lange Wellen in Wirtschaft und Politik, Tübingen.
- Pohjola, M.J. (1981)*, Stable, Cyclic and Chaotic Growth: The Dynamics of a Discrete-Time Version of Goodwin's Growth Cycle Model, *Journal of Economics* 41, 27 – 38.
- Scherer, F.M. (1984)*, Innovation and Growth. Schumpeterian Perspectives, Cambridge.
- Stadler, M. (1989)*, Marktstruktur und technologischer Wandel. Eine modelltheoretische Analyse im Rahmen der Industrieökonomik, Springer-Verlag, Berlin.
- Stadler, M. (1990)*, Uncertainty, Market Structure and Technological Know-How, Arbeitspapiere des DFG-Schwerpunktprogramms Marktstruktur und technologischer Wandel, Beitrag Nr. 2.
- Stutzer, M. (1980)*, Chaotic Dynamics and Bifurcation in a Macro-Model, *Journal of Economic Dynamics and Control* 2, 253 – 276.
- Tirole, J. (1988)*, The Theory of Industrial Organization, MIT Press, Cambridge.
- Utterback, J. (1979)*, The Dynamics of Product and Process Innovation in Industry, C. Hill, J. Utterback (Hrsg.), Technological Innovation for a Dynamic Economy, New York, 40 – 65.
- Witt, U. (1987)*, Individualistische Grundlagen der evolutorischen Ökonomik, Tübingen.

Bisher erschienen unter der Fachgruppe Makroökonomie

Beitrag Nr.	1:	Bernhard Gahlen	Neuere Entwicklungstendenzen und Schätzmethode in der Produktionstheorie
Beitrag Nr.	2:	Ulrich Schittko	Euler- und Pontrjagin-Wachstums-pfade
Beitrag Nr.	3:	Rainer Feuerstack	Umfang und Struktur geburtenregelnder Maßnahmen
Beitrag Nr.	4:	Reinhard Blum	Der Preiswettbewerb im § 16 GWB und seine Konsequenzen für ein "Neues Wettbewerbskonzept"
Beitrag Nr.	5:	Martin Pfaff	Measurement Of Subjective Welfare And Satisfaction
Beitrag Nr.	6:	Arthur Strassl	Die Bedingungen gleichgewichtigen Wachstums

Bisher erschienen unter dem Institut für Volkswirtschaftslehre

Beitrag Nr.	7:	Reinhard Blum	Thesen zum neuen wettbewerbspolitischen Leitbild der Bundesrepublik Deutschland
Beitrag Nr.	8:	Horst Hanusch	Tendencies In Fiscal Federalism
Beitrag Nr.	9:	Reinhard Blum	Die Gefahren der Privatisierung öffentlicher Dienstleistungen
Beitrag Nr.	10:	Reinhard Blum	Ansätze zu einer rationalen Strukturpolitik im Rahmen der marktwirtschaftlichen Ordnung
Beitrag Nr.	11:	Heinz Lampert	Wachstum und Konjunktur in der Wirtschaftsregion Augsburg
Beitrag Nr.	12:	Fritz Rahmeyer	Reallohn und Beschäftigungsgrad in der Gleichgewichts- und Ungleichgewichtstheorie
Beitrag Nr.	13:	Alfred E. Ott	Möglichkeiten und Grenzen einer Regionalisierung der Konjunkturpolitik
Beitrag Nr.	14:	Reinhard Blum	Wettbewerb als Freiheitsnorm und Organisationsprinzip



Beitrag Nr.	15:	Hans K. Schneider	Die Interdependenz zwischen Energieversorgung und Gesamtwirtschaft als wirtschaftspolitisches Problem
Beitrag Nr.	16:	Eberhard Marwede Roland Götz	Durchschnittliche Dauer und zeitliche Verteilung von Großinvestitionen in deutschen Unternehmen
Beitrag Nr.	17:	Reinhard Blum	Soziale Marktwirtschaft als weltwirtschaftliche Strategie
Beitrag Nr.	18:	Klaus Hüttinger Ekkehard von Knorring Peter Welzel	Unternehmensgröße und Beschäftigungsverhalten - Ein Beitrag zur empirischen Überprüfung der sog. Mittelstands- bzw. Konzentrationshypothese -
Beitrag Nr.	19:	Reinhard Blum	Was denken wir, wenn wir wirtschaftlich denken?
Beitrag Nr.	20:	Eberhard Marwede	Die Abgrenzungsproblematik mittelständischer Unternehmen - Eine Literaturanalyse -
Beitrag Nr.	21:	Fritz Rahmeyer Rolf Grönberg	Preis- und Mengenanpassung in den Konjunkturzyklen der Bundesrepublik Deutschland 1963 - 1981
Beitrag Nr.	22:	Peter Hurler Anita B. Pfaff Theo Riss Anna Maria Theis	Die Ausweitung des Systems der sozialen Sicherung und ihre Auswirkungen auf die Ersparnisbildung
Beitrag Nr.	23:	Bernhard Gahlen	Strukturpolitik für die 80er Jahre
Beitrag Nr.	24:	Fritz Rahmeyer	Marktstruktur und industrielle Preisentwicklung
Beitrag Nr.	25:	Bernhard Gahlen Andrew J. Buck Stefan Arz	Ökonomische Indikatoren in Verbindung mit der Konzentration. Eine empirische Untersuchung für die Bundesrepublik Deutschland
Beitrag Nr.	26A:	Christian Herrmann	Die Auslandsproduktion der deutschen Industrie. Versuch einer Quantifizierung
Beitrag Nr.	26B:	Gebhard Flaig	Ein Modell der Elektrizitätsnachfrage privater Haushalte mit indirekt beobachteten Variablen

Beitrag Nr.	27A:	Reinhard Blum	Akzeptanz des technischen Fortschritts - Wissenschafts- und Politikversagen -
Beitrag Nr.	27B:	Anita B. Pfaff Martin Pfaff	Distributive Effects of Alternative Health-Care Financing Mechanisms: Cost-Sharing and Risk-Equivalent Contributions
Beitrag Nr.	28A:	László Kassai	Wirtschaftliche Stellung deutscher Unternehmen in Chile. Ergebnisse einer empirischen Analyse (erschieden zusammen mit Mesa Redonda Nr. 9)
Beitrag Nr.	28B:	Gebhard Flaig Manfred Stadler	Beschäftigungseffekte privater F&E-Aufwendungen - Eine Paneldaten-Analyse
Beitrag Nr.	29:	Gebhard Flaig Viktor Steiner	Stability and Dynamic Properties of Labour Demand in West-German Manufacturing
Beitrag Nr.	30:	Viktor Steiner	Determinanten der Betroffenheit von erneuter Arbeitslosigkeit - Eine empirische Analyse mittels Individualdaten
Beitrag Nr.	31:	Viktor Steiner	Berufswechsel und Erwerbsstatus von Lehrabsolventen - Ein bivariates Probit-Modell
Beitrag Nr.	32:	Georg Licht Viktor Steiner	Workers and Hours in a Dynamic Model of Labour Demand - West German Manufacturing Industries 1962 - 1985
Beitrag Nr.	33:	Heinz Lampert	Notwendigkeit, Aufgaben und Grundzüge einer Theorie der Sozialpolitik
Beitrag Nr.	34:	Fritz Rahmeyer	Strukturkrise in der eisenschaffenden Industrie - Markttheoretische Analyse und wirtschaftspolitische Strategien
Beitrag Nr.	35	Manfred Stadler	Die Bedeutung der Marktstruktur im Innovationsprozeß - Eine spieltheoretische Analyse des Schumpeterischen Wettbewerbs

Beitrag Nr.	36	Peter Welzel	Die Harmonisierung nationaler Produktionssubventionen in einem Zwei-Länder-Modell
Beitrag Nr.	37	Richard Spies	Kostenvorteile als Determinanten des Marktanteils kleiner und mittlerer Unternehmen
Beitrag Nr.	38A	Viktor Steiner	Langzeitarbeitslosigkeit, Heterogenität und "State Dependence": Eine mikroökonomische Analyse
Beitrag Nr.	38B	Peter Welzel	A Note on the Time Consistency of Strategic Trade Policy
Beitrag Nr.	39	Günter Lang	Ein dynamisches Marktmodell am Beispiel der Papiererzeugenden Industrie
Beitrag Nr.	40	Gebhard Flaig Viktor Steiner	Markup Differentials, Cost Flexibility, and Capacity Utilization in West-German Manufacturing
Beitrag Nr.	41	Georg Licht Viktor Steiner	Abgang aus der Arbeitslosigkeit, Individualeffekte und Hysteresis. Eine Panelanalyse für die Bundesrepublik
Beitrag Nr.	42	Thomas Kuhn	Zur Theorie der Zuweisungen im kommunalen Finanzausgleich
Beitrag Nr.	43	Uwe Cantner	Produkt- und Prozeßinnovation in einem Ricardo-Außenhandelsmodell
Beitrag Nr.	44	Thomas Kuhn	Zuweisungen und Allokation im kommunalen Finanzausgleich
Beitrag Nr.	45	Gebhard Flaig Viktor Steiner	Searching for the Productivity Slowdown: Some Surprising Findings from West German Manufacturing

