

RIKES Research Institute for Knowledge-based Economic Systems, Discussion Paper 1/2011

Beitrag für die Siebte Jahrestagung der Keynes Gesellschaft am 21./22. 2. 2011 in Izmir (Türkei), anlässlich des 75. Jubiläums des Erscheinens von John Maynard Keynes „Allgemeine Theorie der Beschäftigung, des Zinses und des Geldes“

Januar/ Februar 2011

Keynes im Lichte der modernen Komplexitätstheorie

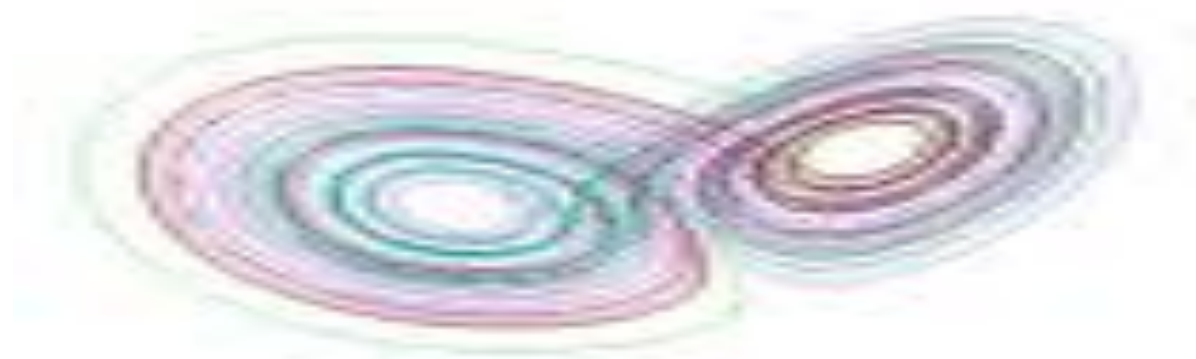
von Diplom-Volkswirt Leander L. Hollweg

Könnte es sein, das John Maynard Keynes uns in seiner „Allgemeinen Theorie“ eine verborgene Botschaft hinterlassen hat? Verborgenen deshalb, weil er auf Erkenntnisse gestoßen war, die er selbst nur erahnte, aber nicht näher erläuterte. Einsichten in die Dynamik des Wirtschaftsprozesses, die selbst sein Genie kaum in Worte fassen konnte? Und dass dieses Teilverständnis der Tatsache geschuldet war, dass der Wissenschaft seiner Zeit bestimmte mathematische Methoden und technische Mittel noch nicht zur Verfügung standen, die erst in den letzten 25 bis 30 Jahren entwickelt worden sind? Es könnte also sein, dass Keynes nicht nur an den Problemen seiner Epoche gemessen ein herausragender Ökonom war, sondern dass er mit seinem Werk bereits weit über den geistigen Horizont seiner Zeit hinaus gewiesen hat. Und dass dies selbst von seinen fortschrittlichsten Epigonen verkannt worden ist. Im Licht der modernen Komplexitätswissenschaften liefert die Lektüre seines Werkes für diese These Anhaltspunkte.

Keynes Analyse, der es gelang, die neoklassische Gleichgewichtsanalyse als einen Spezialfall des eigenen, neuen Modells erscheinen zu lassen, wäre demnach ebenfalls nur als Teilmenge einer umfassenderen Erklärung anzusehen. Keynes Theorie thematisiert nämlich überwiegend jenen Bereich des Wirtschaftslebens, in dem eingebaute Stabilisatoren regelmäßig zu vertretbaren, wenngleich nicht optimalen Systemzuständen zurückführen. Mit Ausnahme der von ihm als „Liquiditätsfalle“ bezeichneten Situation verzichtete Keynes jedoch darauf, das Systemverhalten an den Grenzen der Stabilitätszone und darüber hinaus näher untersuchen. Erkenntnisse aus neuerer Zeit hingegen erlauben dies und erkennen dabei in Keynes Thesen das Grundmuster einer noch umfassenderen Grundeigenschaft komplexer Systeme.

Der praktische Nutzen dieser Einsicht könnte in zweierlei Richtungen bestehen. Einerseits sollte das Bewusstsein dafür wachsen, dass das Wohlstandsniveau einer Volkswirtschaft dramatisch höheren Risiken ausgesetzt ist, als wir bisher vermuten. Andererseits zeichnet sich ab, dass die Wirtschaftspolitik mit intelligenten, minimal-invasiven Maßnahmen mehr Erfolg haben könnte als mit großen Konjunkturprogrammen.

Die Theorie der komplexen Systeme (oft wird auch die Bezeichnung dynamische bzw. nicht lineare Systeme verwandt) ist seit Mitte/Ende der neunzehnhundertsiebziger Jahre unter dem Namen „Chaostheorie“ bekannt und seither unter dieser Bezeichnung häufig gründlich missverstanden worden. In den Wirtschaftswissenschaften hat diese Theorie bisher nur gelegentlich Verwendung gefunden. Einige Jahre versuchten Banken und Börsenspekulanten, die Theorie für die Vorhersage von Aktien- und Devisenkursen zu benutzen¹. Nachdem sich zeigte, dass dies nur unzureichend gelingen konnte, wurden diese Versuche Ende der neunzehnhundertneunziger Jahre wieder weitgehend aufgegeben². Die für dynamische Systeme erkannten Gesetzmäßigkeiten haben inzwischen allerdings in vielfältiger Weise praktische Anwendung gefunden, vor allem in der Physik, der Elektrotechnik, der Herzmedizin, der Wetterforschung, der Biologie und der Soziologie. Sie haben die Mathematik bereichert und zu einem neuen Zweig dieser Disziplin beigetragen. Das am meisten bekannte Symbol des Fachgebiets ist der Lorenz-Attraktor, der auch aufgrund seiner Form mit dem inzwischen fast sprichwörtlichen „Schmetterlingseffekt“ assoziiert wird.



Quelle: <http://www.mathematik.uni-wuerzburg.de/~steuding/LinAlg2.htm>

Eine „Definition“ der Eigenschaften komplexer Systeme in Form einer kurzen, prägnanten Aussage ist bislang kaum gelungen. Wichtig ist aber zu verstehen, dass das in ihnen aufgefundene „Chaos“ nicht als „völlig wilde Unordnung“ zu verstehen ist. Die „Wissenschaftler, die sich mit chaotischer Dynamik befassten, machten die Entdeckung, dass dem unregelmäßigen Verhalten einfacher Systeme ein kreativer Prozess zuzuordnen war. Er brachte die Komplexität hervor; hochorganisierte Muster, die manchmal stabil und manchmal instabil waren, manchmal endlich und manchmal unendlich, die jedoch stets die Faszination besaßen, die lebende Objekte haben³.“

¹ Vergl. Hanke (1995); Hannula (1992); Investors Chronicle (1992)

² Im Frühjahr 2010 wagte allerdings Prof. Didier Sornette von der ETH Zürich den experimentellen, öffentlich nachprüfbaren Versuch der Vorhersage einzelner Kursblasen auf der Basis komplexitätstheoretischer Modelle – und lag damit verblüffend richtig. Verl.: Sornette (2004); Spohr (2010), Sornette (2010)

³ Gleick (1990), S.67

Zu dieser Faszination gehört die Beobachtung, dass „Leben“ die Eigenschaft der „Emergenz“ besitzt: Es hebt durch Reflexivität und Anpassung seine eigene Struktur auf. Physik-Nobelpreisträger Murray Gell-Mann hat dafür den Begriff „komplexe adaptive Systeme“⁴ eingeführt.

Ein dynamisches System ist daher ein Gebilde, das Chaos und Stabilität zugleich aufweist und in dieser Dualität sehr robust sein kann. Als ein wunderbares Beispiel hierfür hat sich der berühmte „große rote Fleck“ erwiesen, der auf dem Planeten Jupiter bzw. in seiner Atmosphäre zu erkennen ist. Es handelt sich um ein gewaltiges meteorologisches Phänomen, eine Art Sturm inmitten eines noch gewaltigeren Sturmes, das trotz des Infernos in seinem Inneren und um ihn herum beharrlich zu sich selbst findet: die eigenartige Struktur dieser „Insel im Chaos“⁵ bleibt unberührt. Gleichzeitig ist „der Fleck ... ein System, das sich selbst organisiert, erzeugt und reguliert durch dieselben nichtlinearen Verdrillungen, die auch die unberechenbare Unruhe um ihn herum bewirken. Er ist ein >>stabiles Chaos<<“⁶.

Chaos und Instabilität sind somit keineswegs dasselbe. So zeigte sich: „Ein chaotisches System konnte stabil sein, wenn sein besonderes Merkmal von Instabilität trotz geringer Störungen fortbestand. ...Man konnte diesem System Störungen zufügen, es schütteln, darin Rühren, seine Bewegungen beeinträchtigen, doch danach, wenn alles sich wieder beruhigt hatte, und die kurzfristigen Störungen abgeklungen waren wie ein Echo im Gebirge, kehrte das System zu genau demselben Muster von Unregelmäßigkeit zurück, das es vorher aufgewiesen hatte. Es verhielt sich lokal unberechenbar und global stabil“⁷.

Es sind Nobelpreise und andere hochrangige wissenschaftliche Auszeichnungen an die Wissenschaftler vergeben worden, die in diesem Bereich forschten. Bestimmte Zusammenhänge wurden von diesen Forschern inzwischen als „universelle“ Wahrheit erkannt. Allein die Wirtschaftswissenschaften scheinen von dieser universellen Wahrheit aber bis heute weitgehend unberührt! Keynes jedoch, so lautet die hier vertretene Auffassung, hat etwas von dieser Wahrheit vorweggenommen. Er führte uns auf eine Fährte, deren Witterung seine Zunft jedoch nicht aufnahm. Wir Ökonomen waren blind und taub gegenüber seinen Fingerzeigen und Warnungen. Ein Ereignis wie die jüngste internationale Finanzkrise hätte sich sonst möglicherweise verhindern lassen, und die Bewältigung der Krise könnte uns wesentlich leichter fallen.

Denn wenn diese Auffassung zutreffend ist, so weisen die allerjüngsten Ergebnisse der Komplexitätsforschung darauf hin, dass es möglicherweise keiner gewaltigen Konjunkturprogramme bedarf, um eine Wirtschaft, selbst wenn sie in eine Abwärtsspirale gestürzt ist, wieder aufzufangen. Kleine, aber sehr gut getimte und zielgerichtete ökonomische Impulse

⁴ Gell-Mann, (1994), S. 52 ff

⁵ Vergl. Waldrop (1993)

⁶ Gleick, a. a.O, S. 86

⁷ Gleick, a.a. O, S. 75/76

wären ausreichend, um Volkswirtschaften neu zu kalibrieren und zu stabilisieren.

Ebenso jedoch besteht offenbar an einem bestimmten Punkt die Gefahr, dass eine winzige Ursache das gesamte ökonomische System extrem destabilisiert. Ein Sprichwort sagt, es habe niemanden zu scheren, wenn in China der berühmte Sack Reis umfällt. Heute könnte etwa die Weigerung eines einzelnen Taxifahrers in Shanghai, eine Dollarnote anstelle von Yuan in Zahlung zu nehmen, einen weltweiten Finanzcrash auslösen. Kleine Ursache – große Wirkung! Die jüngste, von allen politischen Beobachtern völlig unerwartete Revolution in Tunesien wurde durch die Reaktionen auf das Schicksal eines Gemüsehändlers ausgelöst, der von der Polizei schikaniert und geohrfeigt worden war. Solche Umbrüche werden möglich, wenn „das System“ eine eingrenzbare Zone stabilen Verhaltens verlässt. Keynes hat gewusst, dass solche Situationen möglich sein könnten, und er hat dies vorsichtig thematisiert. Zu vorsichtig offenbar, so dass es kaum wahr- und vor allem nicht ernst genug genommen worden ist.

Zwar betont Keynes: *„Insbesondere ist es ein herausragendes Charakteristikum des ökonomischen Systems, in dem wir leben, dass es, wenn auch anfällig für ernsthafte Schwankungen von Output und Beschäftigung, nicht gefährlich instabil ist. Schwankungen können heftig einsetzen, aber sie scheinen sich auszulaufen, bevor sie sich zu großen Extremen gesteigert haben, und unser normales Schicksal ist ein weder hoffnungsloser noch zufriedenstellender Zustand.“*⁸

Er bemerkt aber auch:

*„Die Lage des Gleichgewichts wird somit von diesen*⁹ drei Rückwirkungen beeinflusst; und dazu kommen noch andere Rückwirkungen. Außerdem gibt es nicht einen der genannten Faktoren, der nicht überraschend die Tendenz hätte, sich zu verändern, und dies manchmal sogar grundlegend. Daher resultiert die außerordentliche Komplexität der tatsächlichen Entwicklung“*¹⁰.

um schließlich einzugestehen

*„Es ist nicht ausgeschlossen, dass es einen Bereich geben könnte, in dem vielleicht wirklich Instabilität vorherrscht.“*¹¹

und zu warnen

⁸ Keynes (1936), S. 250

⁹ Die Rückwirkungen sind: 1. Steigerung des Outputs (abhängig von der Zunahme der Beschäftigung), 2. Steigerung des Lohnsatzes, 3. Preissteigerung (abhängig von der Zunahme des Outputs), Vergl. Keynes, a.a.O., S. 249

¹⁰ Keynes, a.a.O.,

¹¹ Keynes, a. a. O., S.252

„Wir dürfen aber nicht folgern, dass die mittlere Position, die somit durch >>natürliche<< Tendenzen bestimmt wird, eben deswegen durch notwendige Gesetze hervorgebracht wird. ... Die unbeschränkte Gültigkeit der obigen Bedingungen ist eine Anschauungstatsache aus der Welt wie sie ist oder bisher war, aber kein notwendiges, unabänderliches Prinzip“.¹²

Keynes vermerkt also die „außerordentliche Komplexität der tatsächlichen Entwicklung“. Ein *komplexes* System ist aber – wie die Forschung inzwischen bewiesen hat - etwas anderes als ein *kompliziertes* System. Bislang haben wir Ökonomen wirtschaftliche Zusammenhänge durchaus als ein kompliziertes Gewebe aus wechselwirkenden Einflussfaktoren betrachtet. Aufgabe der Wirtschaftswissenschaft war es, aus diesem Gewirr heraus die *wesentlichen* Bestimmungsgründe zu isolieren, sie als starke Einflussfaktoren zu betrachten, sie zueinander in Beziehung zu setzen und aus diesem Set von unabhängigen Variablen ein Beziehungsmodell zu konstruieren. Die Anzahl der wirkenden Faktoren in diesem Modell wird reduziert und ihre Zusammenhänge werden damit überschaubar, ihre Wirkungen und Wechselwirkungen sind erklärbar, und am Ende stehen in der Regel das Sozialprodukt oder das Beschäftigungsniveau als abhängige Variable, die sich zu jedem Zeitpunkt t_0 bis t_n aus dem Modell heraus eindeutig quantifizierbar bestimmen lassen. Die ökonomische Modellbildung ist also reduktionistisch und führt zu Vereinfachungen, die dennoch –oder gerade deshalb – Regelmäßigkeit erzeugen, stabile Verlaufsformen aufweisen und mit annehmbarer Unschärfe zuverlässige Vorhersagen erlauben. Der Einwand, dass die Wirklichkeit tatsächlich vielfältiger sei, die Modelle mithin lebensfremd und daher falsch, kann dieser Wissenschaft nichts anhaben. Ihr kommt es ja gerade darauf an, den Grad der Kompliziertheit zu verringern und aus der Kakophonie der Millionen Einzelentscheidungen der Wirtschaftssubjekte eine sonst nicht zu erreichende Klarheit hervorzubringen, weil wir sonst vor der Vielgestaltigkeit des Lebens verzweifeln müssten.

Auch Keynes geht so vor. Jedenfalls zunächst. Bis zur Mitte seines Hauptwerks schält er in messerscharfer Analyse und mit präzisen Definitionen Kapital für Kapitel die bedeutsamen Einflussgrößen des ökonomischen Prozesses heraus. Im 18. Kapitel, nicht am Ende, sondern in der Mitte seines Buches, setzt er das Puzzle zusammen. In dessen Abschnitt I erläutert er zunächst die Struktur seines Modells, um dabei „zu verdeutlichen, welche Elemente im ökonomischen System wir zunächst als gegeben annehmen, welche die unabhängigen und welche die abhängigen Variablen unseres System sind“. Das Ergebnis ist eine Struktur aus 5 Grundelementen, nämlich den drei grundlegenden psychologischen Neigungen der Wirtschaftsbürger (Konsumneigung, Liquiditätspräferenz, Renditeerwartung), dem Lohnsatz und der Geldmenge. Am Ende dieses ersten Abschnitts gibt Keynes sich überzeugt, dass es ihm damit gelungen ist, „jene Faktoren zu ermitteln, die unseren Untersuchungsgegenstand hauptsächlich bestimmen.“ Von der Wirtschaftsanalyse zur Wirtschaftspolitik ist es dann nur noch ein kleiner Schritt: „Unsere endgültige Aufgabe wäre jene Variablen herauszufinden,

¹² Keynes, a. a. O. S.254

die bewusst von zentraler Stelle des Wirtschaftssystems, in dem wir gegenwärtig leben, gesteuert und geregelt werden können.“¹³

Im zweiten Abschnitt des 18. Kapitels macht Keynes nun allerdings einen ungewöhnlichen Schritt. Er fasst die Argumentation „der vorigen Kapitel“ zusammen und er behandelt in diesem Abschnitt „die Einflussgrößen in der umgekehrten Reihenfolge, in der wir sie eingeführt haben.“ Schon in Abschnitt I hatte er mehrfach auf Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Variablen hingewiesen. Diese Rückbezüglichkeit führt im Folgenden sprachlich zu komplizierten Schleifen, die sein Werk und gerade dieses entscheidende 18. Kapitel schwer lesbar machen, und zwar nicht nur in der unzulänglichen deutschen Übersetzung aus dem Jahr 1936, sondern bereits im englischen Original. Wer es schafft emphatisch in die Sprache hinein zu tauchen, erkennt einen gewissen Rhythmus, einen sanften Swing, einen Flow aus sich ineinander verdrehenden Strängen. Jetzt steht „die Höhe der Neuinvestition“ im Mittelpunkt des Geschehens, und „das heißt, dass

- die materiellen Angebotsbedingungen in den Investitionsgüterindustrien,
- der Zustand des Vertrauens hinsichtlich der voraussichtlichen Rendite
- die psychologische Einstellung zur Liquidität
- und die Geldmenge (in Lohneinheiten)

in Wechselwirkung untereinander die Höhe der Neuinvestition bestimmen.“

Die ersten beiden Größen entsprechen zusammen als erwarteter Überschuss des Investitionsergebnisses im Verhältnis zu den Investitionskosten der „Grenzleistungsfähigkeit des Kapitals“ (GLFK).

Die Entwicklung dieser Größe „kämpft“ beständig mit dem Zinssatz, für den typischerweise am Kapitalmarkt Fremdkapital für Investitionszwecke beschafft werden kann oder der zu durchschnittlichen Bedingungen durch alternative Finanzinvestition erzielt werden könnte. Ein Investitionsimpuls führt in dieser Betrachtung über die bekannten Multiplikator- und Akkzeleratorwirkungen über Preissteigerungen zu erhöhter Geldnachfrage (Liquiditätspräferenz für Transaktionen) und damit zu Zinserhöhungen, die einen erneuten Abschwung einleiten. Die Volkswirtschaft würde nur dann auf einen länger anhaltenden dynamischen Gleichgewichtspfad mit kontinuierlichem Einkommenswachstum einschwenken, wenn der Zinssatz fallen würde, und zwar rascher, als die GLFK natürlicherweise sinkt.

„Der“ Zinssatz existiert in Keynes Analyse damit nicht. Nicht allein, dass an den Märkten natürlich eine große Vielfalt zinstragender Wertpapiere der unterschiedlichsten Risikoklassen und Laufzeiten gehandelt wird: hier wird vereinfacht ein Durchschnitt gedacht. Vielmehr

¹³ Keynes, a.a.O,

aber unterscheidet Keynes den mit der Realinvestition verbundenen Zinssatz (fast könnte man sagen: die Profitrate) von dem Zinssatz, der aus Kapitalanlagen an den Finanzmärkten erzielbar ist. In der Realität kennt jeder Bankkunde die reale, aber spiegelbildliche Entsprechung dieses Phänomens: den Habenzins bzw. Anlagezins für Sparanlagen und den Sollzins für aufgenommene Kredite. Beide Zinssätze sind miteinander gekoppelt, bewegen sich aber auch gegeneinander, und sind sowohl in der Praxis der Finanzmärkte als auch theoretisch kaum scharf voneinander abzugrenzen: sie sind interdependent.

Während aber die GLFK und der Kreditzinssatz i von realwirtschaftlichen Entwicklungen abhängt, ist die Bewegung der Zinssätze auf Finanzinvestitionen Keynes zufolge eine Funktion von Geldmenge und Liquiditätspräferenz, wobei in tautologischer Definition die Liquiditätspräferenz wiederum eine reziproke Funktion dieses Zinssatzes ist. Der irritierende Faktor in dieser Beziehung besteht dabei bekanntlich in der Neigung zur Kassenhaltung aus spekulativen Zwecken (L2): „Experience indicates that the aggregate demand for money to satisfy the speculative motive usually shows a continuous response to gradual changes in the rate of interest.“¹⁴ Allgemein gilt der Zusammenhang, so Keynes, „L2 mainly depends on the relation between the current rate of interest and the state of expectation“,¹⁵ woraus folge, dass der (Finanz)zinssatz r „ein hochgradig psychologisches Phänomen“¹⁶ sei bzw. letztlich ein Ergebnis der „Konvention“ im Sinne einer allgemein verbreiteten Erwartungshaltung.

Sofern Erwartungen über künftig veränderte Zinssätze die Kassenhaltung beeinflussen, so weist Keynes darauf hin, dass das mathematische Kalkül der Finanzinvestoren davon regiert wird, ob die Zinsdifferenz größer, kleiner oder gleich dem *Quadrat* des aktuellen Zinssatzes ausfällt: „For example, if the rate of interest on long-term debt is 4 per cent, it is preferable to sacrifice liquidity unless ... it is feared that the long-term rate of interest may rise faster than by 4 per cent of itself per annum, i. e. greater than 0,16 per cent of itself per annum.“¹⁷

Keynes seziert damit das bewegende Herz der Wirtschaft als die Dynamik interdependenter Zinssätze, die teils miteinander im Gleichschlag klingen, teils gegeneinander arbeiten und sich wechselseitig „fressen“. Eingebaute Stabilisatoren des Systems (Verbindungen der Hauptvariablen 1.) Konsumneigung, 2.) GLFK und 3.) Kapitalmarktzinsen) mit in der Regel geringen Elastizitätseffekten sorgen dafür, (um das bereits angeführte Zitat noch einmal in den exakten Zusammenhang zu stellen), „dass es ein herausragendes Charakteristikum des ökonomischen Systems (ist), in dem wir leben, dass es, wenn auch anfällig für ernsthafte Schwankungen von Output und Beschäftigung, nicht gefährlich instabil ist.“¹⁸ Doch Keynes

¹⁴ Keynes (1936), S. 197

¹⁵ Keynes, a. a. O., S.199

¹⁶ Keynes, a. a. O., S.202

¹⁷ Keynes, a. a. O., S. 202

¹⁸ Keynes, a. a. O., S. 249

relativiert diese Aussage jedoch kurz danach gleich wieder: „Da sich alle diese Erfahrungstatsachen nicht mit logischer Strenge ergeben, muss man annehmen, dass die Umgebung und die psychologischen Eigenheiten der modernen Welt derart sind, dass sie solche Ergebnisse hervorbringen.“¹⁹

Mehr als eine Selbstbeschwichtigung kann man darin kaum vermuten. Denn schon in Kapitel 14 hatte Keynes bemerkt, dass es zu seinen Lebzeiten sehr wohl zu einem „vollständigen Zusammenbruch der Stabilität“²⁰ gekommen war, nämlich in Russland und in Zentraleuropa in Form der Hyperinflation und umgekehrt 1932 in den USA zu einer Illiquiditätskrise, in der sich kaum jemand von Geldbeständen trennen wollte, zu welchen Bedingungen auch immer.²¹

Überall stoßen wir daher bei Keynes auf das Gespenst dramatischer Instabilität, das sich nur mühsam verscheuchen lässt, aber auch nie ernsthaft thematisiert wird.

Hätten sich wissenschaftliche Erkenntnisse in den 1920er und -30er Jahren so rasch in der wissenschaftlichen Gemeinschaft verbreitet wie heute, dann hätte Keynes eine verblüffende Analogie erkennen können: **„Sein System der konkurrierenden und interagierenden Zinskalküle entspricht dem Ansatz der Lotka-Volterra Gleichungen.“** Diese mathematischen Arbeiten kannte Keynes aber wahrscheinlich nicht, weil deren „Entdeckung“ erst zehn Jahre vor der Fertigstellung seiner Wirtschaftstheorie in gänzlich anderen Wissenschaftsbereichen gemacht worden war.

Gestattet durch eine Common Creative Attribution-Lizenz sei hier ausführlich mit Hilfe von Wikipedia (=Schrifttype Times New Roman) erklärt, worum es sich bei diesen Gleichungen handelt.²²

„Die **Lotka-Volterra-Gleichungen**, auch als **Räuber-Beute-Gleichungen** bekannt, sind ein System aus zwei nicht-linearen, gekoppelten **Differentialgleichungen** erster Ordnung und beschreiben die **Wechselwirkung** von Räuber- und Beutepopulationen. Unter *Räuber* und *Beute* sind dabei zwei Klassen von Lebewesen gemeint, wobei die eine sich von der anderen ernährt.^[V.1] Aufgestellt wurden die Gleichungen 1926 von **Vito Volterra**^[1] (einem Italiener, LH) und, unabhängig davon, 1925 von **Alfred James Lotka**^[2] (Lotka war ein **österreichisch-US-amerikanischer Chemiker, Versicherungsstatistiker** und Demograph, der 1925 bei einer US-Versicherungsgesellschaft arbeitete, LH). Die Gleichungen lauten

$$\frac{dN_1}{dt} = N_1(\epsilon_1 - \gamma_1 N_2), \quad \frac{dN_2}{dt} = -N_2(\epsilon_2 - \gamma_2 N_1)$$

mit den Bezeichnungen^[V.2]

¹⁹ Keynes, a. a. O., S. 250

²⁰ Keynes, a. a. O., S. 207

²¹ Vergl. Keynes, a. a. O., S. 207/208

²² Wikipedia (2010)

$N_1 =$ $N_1(t)$	Anzahl der Beutelebewesen	zeitabhängig
$\epsilon_1 > 0$	Reproduktionsrate der Beute ohne Störung und bei großem Nahrungsangebot	konstant
$N_2 =$ $N_2(t)$	Anzahl der Räuber	zeitabhängig
$\epsilon_2 > 0$	Sterberate der Räuber, wenn keine Beute vorhanden ist	konstant
$\gamma_1 > 0$	Fressrate der Räuber pro Beutelebewesen = Sterberate der Beute pro Räuber	konstant
$\gamma_2 > 0$	Reproduktionsrate der Räuber pro Beutelebewesen	konstant

Die Lotka-Volterra-Gleichungen sind eine wichtige Grundlage der [Theoretischen Biologie](#), und darin insbesondere der [Populationsdynamik](#). Bei den *Räubern* und der *Beute* muss es sich nicht unbedingt nur um Tiere oder einzelne Arten handeln; prinzipiell ist das Modell auf [Gilden](#) anwendbar..

Unter einer **Gilde** wird eine Gruppe von Arten verstanden, welche auf ähnliche Weise vergleichbare [Ressourcen](#) nutzen, ungeachtet ihres Verwandtschaftsgrades. ... aufgrund dieser gemeinsamen Nutzung gleicher Ressourcen kommt es in Gilden zwangsläufig zu [Konkurrenz](#) zwischen Vertretern verschiedener Arten ([Interspezifische Konkurrenz](#)). Entsprechend ist zwischen diesen Arten eine [Nischendifferenzierung](#) zu erwarten, wenn beide koexistieren sollen.

Die Anwendbarkeit der Lotka-Volterra-Gleichungen hängt dabei davon ab, inwieweit die Begründung des mathematischen Modells im Einzelfall zutrifft.

Begründung des mathematischen Modells

Volterra begründet sein Gleichungssystem folgendermaßen^[V 3]:

- Die Populationszahlen der Beute bzw. der Räuber seien mit N_1 bzw. N_2 bezeichnet.
- Die ungestörten Wachstumsraten pro Zeiteinheit dt seien λ_1 und λ_2 , wobei die Vorzeichen noch nicht fest liegen.
- Die (mittlere) Anzahl der Begegnungen zwischen Beute und Räuber pro Zeiteinheit dt ist $\alpha N_1 N_2$ mit einer positiven reellen Zahl α , die innerhalb eines [Biotops](#) als konstant angenommen wird, aber im Allgemeinen vom Biotop abhängt.
- Eine genügend große Zahl n Begegnungen haben im Mittel einen Effekt β_i auf die Populationszahl N_i . Bei den Beutelebewesen ist das ohne weiteres klar: eine Begegnung mit einem Räuber führt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit dazu, dass die Beute gefressen wird. Dagegen ist die Auswirkung einer Begegnung auf die Zahl der Räuber nur indirekt, aber jedenfalls positiv; für die Modellbildung wird auch bei den Räubern eine sofortige Auswirkung auf die Populationszahl unterstellt.

Zur mathematischen Behandlung von Lotka-Volterra-Systemen benutzt man heute meist die etwas einfachere Notation^[M1]

$$\frac{dN}{dt} = N(a - bP), \quad \frac{dP}{dt} = P(cN - d),$$

wobei a, b, c, d positive Konstanten sind und $N(t)$ die Anzahl der Beutetiere und $P(t)$ die Anzahl der Raubtiere (*predators*) bezeichnen.

Keynes Analyse entspricht diesem Räber-Beute-Schema:

Man verstehe in diesen Gleichungen

- N als den Kreditzins i
- sowie P als den Anlagezins r

und

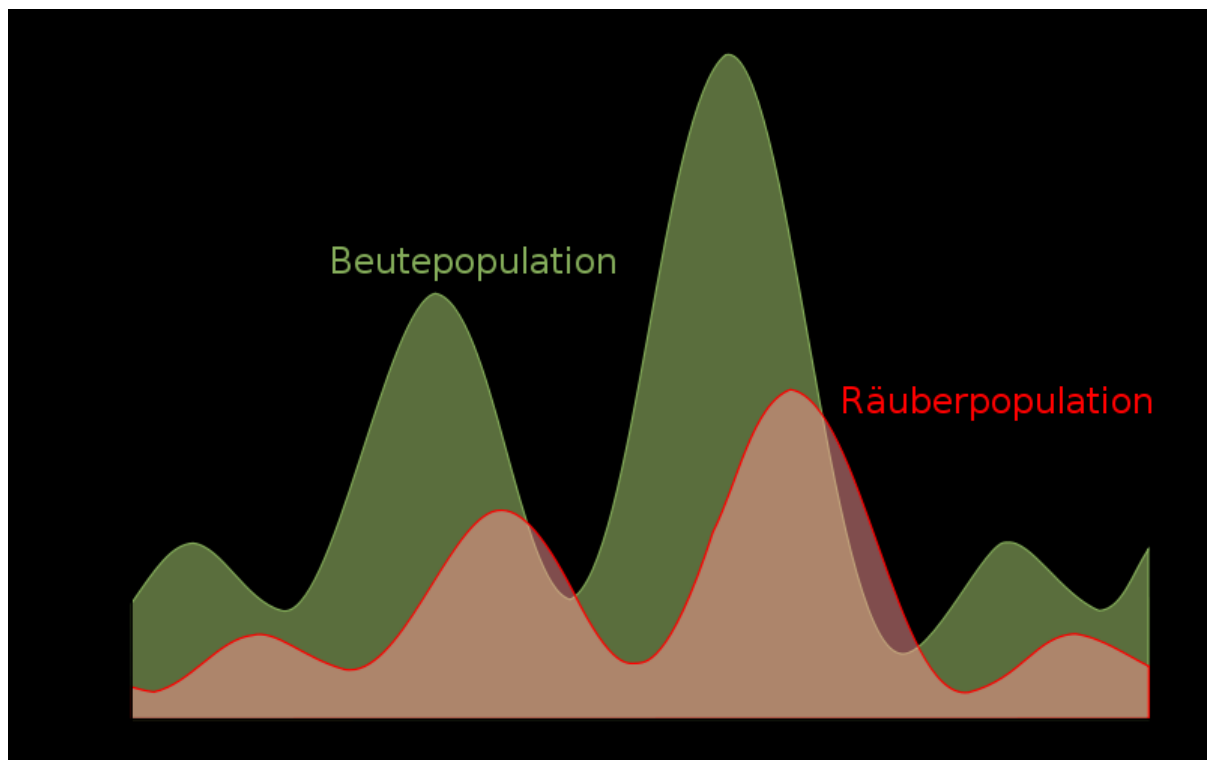
- a als gegebenen Veränderungsfaktor des Kreditzinses i aufgrund der realen Multiplikatoreffekte aus der Investitionstätigkeit (Effekt in der Regel = Tendenz zur Zinssteigerung infolge von Geldverknappung bei konstanter Geldmenge)
- b als gegebenen „psychologischen“ Erwartungsfaktor (absoluter Betrag) für eine Änderung des Anlagezinses r in Abhängigkeit von steigenden Kreditzinsen i (Effekt in der Regel = Spekulationskase sinkt und Nachfrage nach Finanztiteln/Wertpapieren steigt → Wertpapierkurse steigen und Renditen r sinken)
- c als gegebenen „psychologischen“ Erwartungsfaktor für eine Verringerung der realen Investitionsergebnisse (GLFK) im Zuge des fortschreitenden Konjunkturzyklus (Effekt in der Regel: Kreditzins i dadurch tendenziell fallend)
- d als gegebenen Elastizitätsfaktor des Anlagezinses r auf die Veränderung seiner selbst (Effekt in der Regel reziprok, z.B. steigende Anlagezinsen bewirken verminderte Kassenhaltung → dadurch steigende Wertpapierkurse → dadurch sinkende Werte für das Finanzanlageergebnis r im Falle von neuen Finanzanlagen; jedoch steigende Werte für r bei vorzeitiger Liquidation von in früheren Perioden erworbenen Finanzanlagen)

Man erkennt in diesem Modell recht gut, welche logisch ineinander verdrehte Erwartungshaltungen die Kalküle von Finanzinvestoren beherrschen, nachdem ein Investitionszyklus begonnen hat. In Deutschland erleben wir zum Beispiel gerade verworrene Vermutungen über

die resultante Entwicklung des Garantiezinses für Lebensversicherungen, nachdem die Solvency II Richtlinie die Versicherungsgesellschaften künftig dazu anhält, das Kapital der Versicherungskunden überwiegend in zunehmend riskanten Staatsanleihen anzulegen. Bestandseffekte und Neuanlageergebnisse lassen kurz- und mittelfristig keine ernsthafte intuitive Prognose zu.

In der Lotka-Volterra-Keynes-Gleichung stehen einem zinssteigernden Impuls drei Rückkopplungswirkungen gegenüber, die zinssenkend wirken. Sinkende Zinsen wiederum könnten die Investitionsneigung erhöhen und das System auf einen Wachstumspfad bringen. Das ist also möglich, wenngleich die Ausnahme.

Im Ergebnis entwickelt sich aus der Räuber-Beute-Dynamik vielmehr typischerweise der folgende Prozess:



Die Populationen über der Zeit aufgetragen ergibt das Bild einer [Sinus](#)-ähnlichen Schwingung mit einer [Phasenverschiebung](#) zwischen der Jäger- und der der Beutepopulation. Man beachte den Absturz der Populationen auf ein deutlich niedrigeres Niveau nach Durchlaufen des 3. Zyklus.

Inzwischen lässt sich eine Vereinfachung der Lotka-Volterra-Gleichungen aus den empirischen Untersuchungen zur Bevölkerungsentwicklung nach [Pierre-François Verhulst](#) herleiten. Diese Entwicklung wird repräsentiert durch die [logistische Gleichung](#).

Die **logistische Gleichung** wurde ursprünglich [1837](#) von [Pierre François Verhulst](#) als [demografisches](#) Modell eingeführt. Die Gleichung ist ein Beispiel dafür, wie komplexes, [chaotisches](#) Verhalten aus einfachen nichtlinearen Gleichungen entstehen kann. Bereits 1825 stellte

[Benjamin Gompertz](#) in einem verwandten Zusammenhang eine ähnliche Gleichung vor.

Das Grundproblem, das die Gleichung zum Ausdruck bringt, ist eigentlich auch den Ökonomen seit den Prognosen von Robert Malthus bekannt: Die Bevölkerungszahl wächst schneller als ihre Nahrungsressourcen und dezimiert sich dadurch periodisch. Doch erst in den 1950er Jahren versuchten einige Ökologen wie W. E. Ricker und Robert May, Varianten dieser speziellen Gleichung für praktische Fragestellungen, z. B. die Entwicklung von Fischgründen, anwendbar zu machen.

Der Wissenschaftshistoriker James Gleick vermerkt zu den Problemen, die sich bei der Lösung der Gleichungen ergaben: „Seltsamerweise zeitigt die kontinuierliche Abfolge der Zahlen ein irritierendes Verhalten – eine ziemliche Qual für jemanden, der seine Berechnungen (damals) mit der Handkurbel ausführen muss. ...Offensichtlich brachte keiner dieser frühen Ökologen die Energie auf, am laufenden Band Zahlen zu produzieren, die ihm partout nicht den Gefallen tun wollten, an ein Ende zu gelangen. Sprang die Populationsziffer unaufhörlich vor und zurück, so waren die Ökologen überzeugt, sie kreise um einen verborgenen Gleichgewichtszustand. Der Gedanke, es könne vielleicht *kein* Gleichgewicht geben, kam den Ökologen überhaupt nicht in den Sinn.“²³ ...

„Sobald die Modelle den Kenntnissen der Urheber über das Verhalten von realer Populationen zuwiderliefen, lieferte irgendein fehlendes Merkmal die Erklärung für diese Diskrepanz: etwa die Altersstruktur innerhalb der betreffenden Population, Einschränkungen durch das Terrain oder bestimmte geographische Gegebenheiten oder auch die Schwierigkeit, mit zwei Geschlechtern gleichzeitig rechnen zu müssen. ... Die stabilen Lösungen galten als die eigentlich interessanten. Ordnung war eine Art Selbstbelohnung. Schließlich war es ein hartes Geschäft, die richtigen Gleichungen herauszufinden. Niemand hatte daher Lust, Zeit an ein Arbeitsgebiet zu verschwenden, das zu Fehlergebnissen führte und die gewünschte Stabilität vermissen ließ.“

Erst infolge einer richtungsweisenden Arbeit des [theoretischen Biologen Robert May](#)²⁴ aus dem Jahr 1976 fand die logistische Gleichung weite Verbreitung.

Der Mathematiker James Yorke, der mit May zusammenarbeitete, erläuterte später: „Wenn Sie die Lösung einer Differenzialgleichung aufschreiben wollen, ist diese zwangsläufig nicht chaotisch, denn um sie aufzuschreiben, braucht man regelmäßige Invariablen – Faktoren also, die konstant bleiben wie der Drehimpuls“²⁵. ... Lösbare Systeme seien solche, wie sie in Lehrbüchern vorgeführt würden. Sie zeigten das gewünschte Verhalten. Die meisten Differenzialrechnungen seien hingegen nicht lösbar. Nur ganz wenige Wissenschaftler seien imstande, sich Rechenschaft darüber abzulegen, dass die lösbaren, geordneten linearen Systeme die eigentlichen Ausnahmen darstellten. ... Differentialgleichungen wären eine Erfindung für eine computerlose Welt, in der Gelehrte noch darauf angewiesen waren, lediglich mit Paper und Bleistift Berechnungen des Naturgeschehens vorzunehmen. Sie stellten die

²³ Gleick, (1990), S.98

²⁴ May (1976)

²⁵ Zitiert nach Gleick (1990), S. 104

Wirklichkeit als Kontinuum dar und würden von einem Punkt zu einem entfernten anderen Punkt unvermittelt gleiten und von Zeit zu Zeit, statt sich in diskrete Koordinatenschritte oder Zeitschritte zu gliedern. Mit dem Computer wird hingegen eine „erweiterte“ Rechenoperation möglich: In kleinen Schrittfolgen werden aus einer Gleichung die Werte für eine abhängige Variable x_{t0} berechnet und jeweils wieder als Ausgangswert für den nächsten Rechenschritt zu Bestimmung von x_{t1} eingesetzt. Das Ergebnis ist keine *Lösung* der Gleichung im Sinne eines sich simultan ergebenden Zahlen- oder Koordinatenwertes, sondern die *Bewegung* einer Folge aus der Menge der komplexen Zahlen in einem „Phasenraum“ mit der ZEIT als unverzichtbarer Dimension.

„Teufelswerk“ – die *logistische Gleichung*

Mit diesem Hintergrund schauen wir uns jetzt die **logistische Gleichung** näher an. Wieder soll uns Wikipedia dabei helfen²⁶: Es werden mathematische Gesetzmäßigkeiten gesucht, die die Entwicklung einer **Population** modellhaft darstellen. Aus der Größe X_n der Population zu einem gewissen Zeitpunkt soll auf die Größe X_{n+1} nach einer Fortpflanzungsperiode (z. B. nach einem Jahr) geschlossen werden.

Das logistische Modell berücksichtigt zwei Einflüsse:

1. Durch *Fortpflanzung* vermehrt sich die Population **geometrisch**. Die Individuenzahl ist im Folgejahr um einen **Wachstumsfaktor** q_f größer als die aktuelle Population.
2. Durch *Verhungern* verringert sich die Population. Die Individuenzahl vermindert sich in Abhängigkeit von der *Differenz* zwischen ihrer aktuellen Größe und einer theoretischen Maximalgröße G mit der **Proportionalität**skonstante q_v . Der Faktor, um den sich die Population vermindert, hat also die Gestalt $q_h = (G - X_n) \cdot q_v$.

Um bei der Berechnung der Population im Folgejahr beide Prozesse zu berücksichtigen, multipliziert man die aktuelle Population X_n sowohl mit dem Vermehrungsfaktor q_f als auch mit dem Hungerfaktor q_h . Man erhält damit die logistische Gleichung

$$X_{n+1} = q_f \cdot q_v \cdot X_n \cdot (G - X_n)$$

Um die folgenden mathematischen Untersuchungen zu vereinfachen, wird die Populationsgröße X_n oft als Bruchteil x_n der Maximalgröße G angegeben:

$$x_n = \frac{X_n}{G}; \quad x_{n+1} = \frac{X_{n+1}}{G}$$

G , q_f und q_v werden zusammengefasst zu der Zahl

$$r = G \cdot q_f \cdot q_v$$

²⁶ Wikipedia (2010)

Eine gängige Schreibweise für die logistische Gleichung ist die folgende:

$$x_{n+1} = r \cdot x_n \cdot \left(1 - \frac{x_n}{K}\right)$$

Hierbei ist K die Kapazität des Biotops, d.h. die Population, die bei geeigneter Wahl von r dem Fixpunkt der Dynamik entspricht.

Das mathematische Modell

Damit ergibt sich: $x_{n+1} = r \cdot x_n \cdot (1 - x_n) = r(x_n - x_n^2)$

x_n ist dabei eine Zahl zwischen 0 und 1. Sie repräsentiert die relative Größe der Population im Jahr n . Die Zahl x_0 steht also für die Startpopulation (im Jahr 0). r ist immer eine positive Zahl, sie gibt die kombinierte Auswirkung von Vermehrung und Verhungern wieder.

Übertragen wir diese Gleichung erneut in die Sprache der keynesianischen Ökonomie: Der Term r repräsentiert in dieser Gleichung eine kombinierte gegebene Erwartungshaltung des Marktes im Sinne eines Veränderungsfaktors. Wenn wir im Keynes'schen Zusammenhang die Divergenz der beiden antagonistischen Zinsarten i und r durch den theoretischen Einheitszinssatz x ersetzen, der vollständig mit sich selbst interagiert und dabei vom Wechselspiel der Liquiditätsnachfrage mit dem Zins abhängt, so entdecken wir, dass der quadratische Term in der Gleichung dem Hinweis Keynes auf die mit dem Quadrat des Startzinssatzes veränderlichen Investorenkalküle entspricht. Rein lebenspraktisch liegen Zinssätze im Intervall zwischen 0 und 1 (100%)²⁷.

In der scheinbar so schlichten Gleichung $r(x - x^2)$ steckt nun allerdings ein wahrer mathematischer Teufel (Benoit Mandelbrot sprach von einem „Teufelspolymer“):

Bei verschiedenen r können die folgenden Verhaltensweisen für große n beobachtet werden. Dabei hängt dieses Verhalten nicht vom Anfangswert ab, sondern nur von r :

- Mit r von 0 bis 1 stirbt die Population in jedem Fall.
- Mit r zwischen 1 bis 2 stellt sich ein [Grenzwert](#) ein. Die Annäherung an den Grenzwert erfolgt monoton.
- Mit r zwischen 2 und 3 nähert sich die Population ihrem Grenzwert wellenförmig, d. h. die Werte liegen ab einem bestimmten n abwechselnd über und unter dem Grenzwert.
- Mit r zwischen 3 und $1 + \sqrt{6}$ (etwa 3,45) wechselt die Folge bei fast allen Startwerten (ausgenommen 0, 1 und $1 - \frac{1}{r}$) zwischen den beiden Umgebungen zweier [Häufungspunkte](#).
- Mit r zwischen $1 + \sqrt{6}$ und ungefähr 3,54 wechselt die Folge bei fast allen Startwerten zwischen den Umgebungen von vier Häufungspunkten.

²⁷ Allerdings ging das US-Schatzamt kürzlich dazu über, Bonds mit einer eingebauten negativen Verzinsung zu emittieren.

- Wird r größer als 3,54, stellen sich erst 8, dann 16, 32 usw. Häufungspunkte ein. Die Intervalle mit gleicher Anzahl von Häufungspunkten ([Bifurkationsintervalle](#)) werden immer kleiner; das Längenverhältnis zweier aufeinanderfolgender Bifurkationsintervalle nähert sich der [Feigenbaumkonstanten](#). Diese Konstante ist auch in anderen mathematischen Zusammenhängen von Bedeutung. (Zahlenwert: $\delta \approx 4,6692016091029906718532038204662016172581\dots$).
- Bei r annähernd 3,57 beginnt das [Chaos](#): Die Folge springt zunächst periodisch zwischen den Umgebungen der nun instabilen Häufungspunkte umher. Mit weiter wachsendem r verschmelzen diese Intervalle so dass sich deren Anzahl im Rhythmus der Feigenbaumkonstante halbiert bis es nur noch ein Intervall gibt, in dem die Folge chaotisch ist. Perioden sind dann nicht mehr erkennbar. Winzige Änderungen des Anfangswertes resultieren in unterschiedlichsten Folgewerten - eine Eigenschaft des Chaos.
- Die meisten Koeffizienten zwischen 3,57 und 4 führen zu chaotischem Verhalten, obwohl für bestimmte r wieder Häufungspunkte vorhanden sind. Beispielsweise existieren in der Nähe von $r = 3,82$ bei steigendem r erst 3, dann 6, 12 usw. Häufungspunkte. Ebenso gibt es r -Werte mit 5 oder mehr Häufungspunkten - alle Periodendauern tauchen auf.
- Für r größer 4 divergiert die Folge für fast alle Anfangswerte und verlässt das Intervall $[0;1]$.

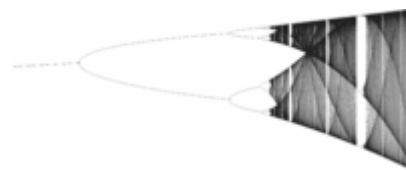
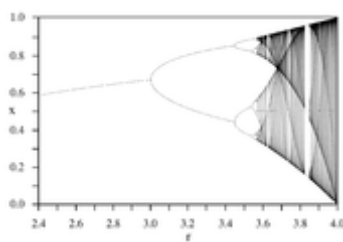
Dieser Übergang von konvergentem Verhalten über Periodenverdopplungen zu chaotischen Verhalten ist generell für [nichtlineare Systeme](#) typisch, die in Abhängigkeit von einem Parameter chaotisches oder nicht chaotisches Verhalten zeigen.

Eine Erweiterung des Wertebereiches auf die [komplexen Zahlen](#) führt nach einer Koordinatentransformation zur [Mandelbrotmenge](#).

Die zugehörige Dynamik kann anhand eines sogenannten *Feigenbaumdiagramms* (siehe unten) veranschaulicht werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei die schon 1975 von [Mitchell Feigenbaum](#) gefundene [Feigenbaum-Konstante](#).

Graphische Darstellung

Das folgende [Bifurkationsdiagramm](#), bekannt als *Feigenbaum-Diagramm*, fasst diese Beobachtungen zusammen. Die horizontale Achse gibt den Wert des Parameters r an und die vertikale Achse die Häufungspunkte für die Folge x_n .



Hochauflösende Version ohne Skala

Bifurkationsdiagramm der logistischen Gleichung



Zusammenhang mit der [Mandelbrotmenge](#) (nach Koordinatentransformation)

28

Keynes besonders Verdienst ist es, nachgewiesen zu haben, dass die Entwicklungen auf den Finanzmärkten die reale Wirtschaft steuern, d.h. dass sie die Ergebnisse der Güter – und Arbeitsmärkte determinieren – und nicht umgekehrt, wie die „neoklassisch“ begründeten Kausalketten behaupten. Dies jedenfalls verstehe ich unter der Sichtweise der von Prof. Hajo Riese begründeten „Berliner Schule“ der Keynes-Interpretation. So bezeichnet die von Keynes erkannte „Liquiditätsfalle“ das Phänomen, wenn Geld bei sinkenden Zinssätzen nicht mehr für Investitionen angeboten wird und somit dem Wirtschaftskreislauf tendenziell entzogen bleibt. Die Gegebenheiten der Vertrauenskrise, die 2008/2009 nach dem Zusammenbruch von Lehman Brothers an den Finanzmärkten herrschten, so dass der Markt für Interbankenkredite austrocknete, waren damit von Keynes als die „Möglichkeit“ einer volkswirtschaftlichen Schockstarre erstaunlich gut vorweggenommen bzw. aus Beobachtungen des Wirtschaftsverlaufs in den USA 1932 abgeleitet worden.

Im Licht der Komplexitätstheorie ist diese Situation jedoch nur ein Beispiel für viele ganz unterschiedliche ungewöhnliche Systemzustände, die aus den Marktentwicklungen resultieren können. Und das Tückische ist, dass diese Zustände einerseits prinzipiell nicht vorhersehbar sind, andererseits dennoch sich wiederholenden Mustern folgen können. Diese Muster kommen in den kürzeren und längeren Wellen wirtschaftlicher Entwicklung zum Ausdruck, ebenso sind „ähnliche“ Wiederholungen von scheinbaren Singularitäten nicht nur denkbar, sondern wahrscheinlich. Der urplötzliche Kursabsturz um rund 60%, der sich am 6. Mai 2010 an den Weltbörsen innerhalb von nur 20 Minuten ereignete (und zwei Stunden später allerdings wieder nahezu aufgeholt war) muss daher als Menetekel verstanden werden.

Wirtschaftshistoriker glauben inzwischen, hinter dem „Aufstieg und Fall der großen Mächte“²⁹ das Wirken von 150-jährigen „Intergralen“ zu erkennen. Auch die Chinesen sind es gewohnt, ihre Geschichte in Zyklen dieser Amplitude zu betrachten – und sehen sich in dieser Gewissheit seit der maoistischen Revolution bewusst wieder auf einem aufsteigenden Ast ihrer historischen Bestimmung. Man muss sich daher mit dem Gedanken vertraut

²⁸ Wikipedia, (2010)

²⁹ Vergl. Kennedy, 1996 sowie Wallerstein (2000)

machen, dass ökonomische Systeme auch einen Totalabsturz erleben können, der sie völlig aus der Bahn wirft und von dem sie sich selbst auf lange Sicht nicht mehr wieder erholen können. So geriet das (spanisch dominierte) Habsburgische Reich im 16. Jahrhundert in eine solche Situation: nach der Entdeckung Amerikas um das Jahr 1500 wurde Europa mit einer massiven Zufuhr von Edelmetall „beglückt“, die jedoch am Ende kein Segen, sondern ein inflationärer Fluch war. Der vermeintliche Reichtum begünstigte die Überdehnung des Reiches, ungesunde Kreditgewährung in Form der sog. „juros“ (Staatsanleihen) und die unsinnige jahrzehntelange Kriegsführung gegen die abtrünnigen Niederlande³⁰. Am Ende kollabierte Europa in den Schrecken des 30jährigen Krieges; Habsburg (Spanien) musste zwischen 1557 bis 1650 dreimal den Staatsbankrott erklären (1557 zeitgleich mit Frankreich, was in der Folge den Untergang des Handels- und Bankhauses der Fugger bewirkte; sowie 1596 und 1607). Mit diesem realen Beispiel vor Augen möge man die inflationäre Flutung der westlichen Ökonomien mit Zentralbankgeld als vermeintlich keynesianische Lösung der Krise noch einmal erneut sehr kritisch überdenken!

Es sollte nicht schwerfallen zu erkennen, dass die Dynamik, die in der logistischen Gleichung steckt und deren Übertragung uns von der Biologie auf die Ökonomie mit Hilfe von Keynes` scharfsinnigem Blick auf die Geldmärkte gelang, dass genau diese Dynamik in jeder Marktbeziehung enthalten ist, in der sich Preise unter freier Konkurrenz zahlreicher Anbieter und Nachfrager bilden können. Das ist der Grund dafür, warum Benoit Mandelbrot seine berühmte, nach ihm benannte Zahlenmenge aus der langjährigen Entwicklung der US-Baumwollpreise ableiten konnte – was wohl die wenigsten Ökonomen wissen. Das klassische Spinnwebtheorem der Lehrbücher des ersten Semesters, in dem sich Angebot und Nachfrage in nur quasidynamischer Analyse stets zu einem zentralen Schnittpunkt bewegen, hat damit ausgedient!

Der weltweit bekannte Börsenspekulant George Soros formulierte diese Einsicht bereits 1994. „Er beschreibt unter dem Titel einer >>Theorie der Reflexivität“<< positive Rückkopplungsprozesse, die dadurch zustande kommen, dass nicht nur Spekulation, sondern jegliche Finanzierung die Fakten beeinflusst, auf die sie zu reagieren vorgibt: „Selbstverständlich wird die Sicherheit, die einem Kredit zugrunde liegt, durch den Umstand, dass der Kredit vergeben wird, gestärkt, also sicherer. Selbstverständlich sind Aktienkurse nicht nur passive Reflexionen des Wohlergehens eines Unternehmens, sondern aktive Einflussnahmen auf dieses Unternehmen. ... Viel wichtiger ist die Erkenntnis, dass die behauptete Re-

³⁰ Man beachte eine interessante historische Parallele zur heutigen PIIGS-Problematik und dem Euro-Rettungsschirm, über die Kennedy (1996) berichtet (S. 99): „Die Niederlande wurden ... zu einer immer größeren Belastung der kaiserlichen Finanzen ... 1565 erreichte die Staatsverschuldung der Niederlande zehn Millionen Gulden, und die Tilgung der Schulden zuzüglich der normalen Verwaltungskosten überschritt die Einnahmen, so dass Spanien das niederländische Defizit ausgleichen musste...“

flexivität bereits für jeden Marktpreis gilt. Jeder Marktpreis ist eine Bewertung, die als solche den Lauf der Dinge beeinflusst – und zwar unberechenbar beeinflusst...“³¹

Die mathematische Struktur des Problems ist allerdings inzwischen klarer geworden. Eine Reihe von Analysen hat sich in jüngerer Zeit grundlegend mit der mathematisch-immanenten Funktionsweise des Cobweb-Theorems beschäftigt. Ergebnis: „Ist die Steigung der Preisfunktion (betragsmäßig) größer als die der Diagonalen (45 Grad-Linie) dann ...kommt es (im Zeitverlauf) zu keinem Ausgleich. Hier handelt es sich also um ein divergierendes System.“³². „Eigentlich sollte man eleganter formulieren: wenn das Angebot elastischer auf den Preis reagiert als die Nachfrage“. ³³ Marktgleichgewichte sind somit zwar möglich, aber nicht garantiert.

Wirtschaftswissenschaftliche Spezialuntersuchungen sind inzwischen an vielen Stellen auf antagonistisch-interagierende Zusammenhänge gestoßen, die daher mit logistischen Gleichungen modelliert werden könnten. So etwa bei der Substitution der Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit. Auch der bekannte Trade-off zwischen Inflation und Arbeitslosigkeit, der teils zutrifft, dann aber empirisch wieder nicht beobachtet werden kann, dürfte, so meine Vermutung, in die Kategorie solcher Problemstellungen passen.

Die Habilitationsschrift des Wirtschaftsdidaktikers Andreas Liening an der Universität Münster aus dem Jahr 1998³⁴ gibt einen guten Überblick über „Neuere Entwicklungen in der Theorie nicht-linearer dynamischer Systeme und die Bedeutung für die Wirtschaftswissenschaft“. Man gewinnt dabei allerdings den Eindruck, dass der ökonomische Mainstream, zumindest in den USA und Europa, von diesen „neueren Entwicklungen“ weitgehend unbeeinflusst ist. Bislang scheinen es eher thematisch eng begrenzte Spezialuntersuchungen zu sein, die sich der mathematischen Werkzeuge der „Chaostheorie“ bzw. der Theorie nichtlinearer, dynamischer Systeme bedienen und damit fruchtbare Ergebnissen hervorbringen.

Einige dieser Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Markt für Schweine. Dies ist deshalb ein interessantes Untersuchungsgebiet, weil Wirtschaftswissenschaftler glauben, diesen Markt besonders gut analysiert zu haben. Mit der Theorie des „Schweinezyklus“, die aus einem quasidynamischen Cobweb-Modell abgeleitet ist, stehe angeblich ein theoretisch fundiertes Werkzeug zur Verfügung, dass die realen Abläufe zutreffend erklären kön-

³¹ zitiert nach Baecker (1994)

³² Liening (1998), S. 36

³³ Lorenz (ohne Datum)

³⁴ Liening, (1998) . Andreas Liening stellt seiner Zusammenfassung einen Gedanken von John Maynard Keynes voran: „The difficulty lies, not in the new ideas, but in escaping from the old ones, which rafimy, for those brought up as most of us have been, into every corner of our minds“

ne und daher auch als Theorie verifiziert sei. Bei näherer Betrachtung gelangt hingegen sowohl die Modelltheorie als auch die empirische Analyse zu gänzlich verwirrenden, der Schweinzyklus-Theorie zuwiderlaufenden Beobachtungen und völlig unterschiedlichen Modellverläufen³⁵. Es hat zunehmend den Anschein, dass wir Ökonomen selbst über die grundlegendsten Grundlagen unserer Wissenschaft wenig zutreffendes Wissen besitzen!

Häufig, so mein Eindruck, tauchen bei Untersuchungen mit Komplexitätstheoretischem Ansatz japanische und zunehmend auch chinesische Autoren auf³⁶. Es könnte sein, dass nicht-lineare Überlegungen dem asiatischen Denken, in dem „alles-mit-allem-vernetzt“ gesehen wird, eher entspricht als der westlichen Denktradition, die häufig als mechanistisch gekennzeichnet und auf das Newton'sche Weltbild zurückgeführt wird. Dieser Interpretation Newtons allerdings, so möchte ich bemerken, liegt ein grundlegendes Missverständnis zugrunde, das im westlichen Allgemeinwissen leider fest verankert ist und bis in die heutigen Tage an unseren Schulen gelehrt wird. Das Missverständnis besagt, Newton habe bewiesen, dass die Erde um die Sonne kreist und dass diese Umkreisung in einer exakt berechenbaren, gleichförmigen Bahn geschieht. Die Wahrheit hingegen ist, dass Newton in der Anziehung und Abstoßung zweier Massen bzw. aller Planeten des Sonnensystems ein interaktives System sah, so dass Sonne und Erde sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt im Raum bewegen³⁷, mit dem Ergebnis, so Newton „Es gibt so viele Umlaufbahnen für einen Planeten, wie viele Male er umläuft.“³⁸ Für die Bahn des Pluto soll inzwischen chaotisches Potenzial bewiesen sein. In gleicher Weise müssen sich Ökonomen von dem Missverständnis befreien, dass wirtschaftliche Interaktionen und wirtschaftspolitische Maßnahmen *ceteris paribus* stets zu ähnlichen Ergebnissen führen. Stattdessen herrscht sensible Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen. Der Erfolg früherer keynesianischer Konjunkturprogramme besagt daher zunächst nichts für deren Wirksamkeit in der nächsten aktuellen Situation. Lange schon wird keynesianischen Stabilisierungsversuchen vorgeworfen, etwa durch time-lags bis zur Wirksamkeit der Effekte die Zyklik des Systems nur zu verstärken. In ähnlicher Weise weckt die massive Ausweitung der monetären Basis zur Bekämpfung der Folgen der Finanzkrise gegenwärtig die Frucht, dass hier „der Teufel mit dem Beelzebub ausgetrieben“ werde.

Vielversprechend wäre es daher, wenn es gelingen könnte, chaotische Schwingungen durch sehr kleine, aber gezielte und zeitlich gut abgestimmte Maßnahmen wieder „einzufangen“. Und – dies ist tatsächlich eine Hoffnung, die durch neuere Forschungen aufgezeigt wird. Maßgeblich beteiligt an diesen theoretischen Überlegungen und praktischen Experimenten war der bereits ausführlich zitierte James Yorke, der zusammen mit Robert May die logisti-

³⁵ RIKES nimmt damit in zunächst recht allgemeiner Form die Ergebnisse einer Forschungsarbeit zur „Schweineökonomie“ vorweg, die 2012 vorgestellt werden sollen.

³⁶ Z. B. Chen, Yeh (1995)

³⁷ Vergl. Cohen (1987)

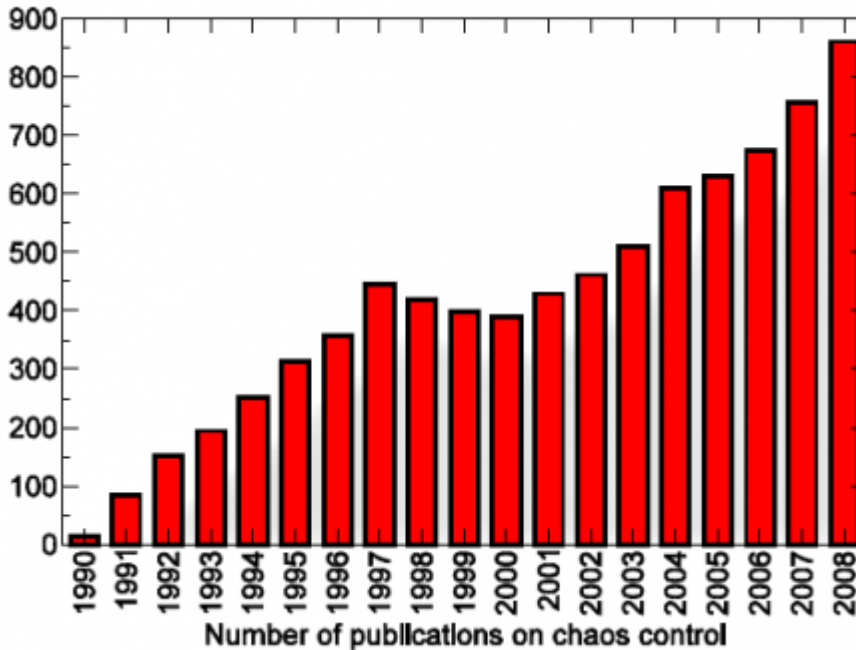
³⁸ Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, zitiert nach Cohen, 1987, S.19

sche Gleichung in den modernen Wissenschaften verbreitete. Im Jahr 1990 gelang ihm zusammen mit Edward Ott und Celso Grebogi an der Universität Maryland der theoretische Nachweis, dass man ein chaotisches System mit Hilfe eines Regelkreises, der nur sehr wenig Energie verbraucht, auf einer periodische Bahn stabilisieren kann. Das Verfahren ist nach den Initialen der Forscher als OGY-Verfahren bekannt geworden. Schon vor der Veröffentlichung der Arbeit fand 1985 die erste praktische Anwendung des Prinzips statt – im Weltall. Mit minimalem Treibstoffaufwand wurde damals die Raumsonde ISEE-3 (International Sun-Earth-Explorer) in das Sternenschiff ICE International Cometary Explorer verwandelt, indem es von einer geostationären Bahn aus durch das halbe Sonnensystem katapultiert wurde, um den Kometen Giacobini-Zinner zu besuchen.³⁹ Ein >>kleiner Schubs zur rechten Zeit <<hatte dafür ausgereicht. Ähnlich erfolgreiche Anwendungen des OGY-Prinzips wurden in der Elektrotechnik und der Herzchirurgie⁴⁰ bewiesen. Auf der Straße des Erfolgs zeigte sich allerdings bald schon eine Weggabelung: einige Forscher versuchen, durch intensive Messung (im Falle des Herzschlag-Phasenraums über 100.000 Herzschläge in 24 Stunden) ein mathematisches Modell der Anwendung zu erstellen, bevor sie Eingriffe wagen. Andere glauben hingegen, dass dies nicht erforderlich sei. So war es einer Forschergruppe an der University of California 1992/93 „teilweise gelungen, das arrhythmische Schlagen eines Kaninchenherzens ohne Kenntnis der zugrunde liegenden Mathematik wieder zu beleben.“⁴¹ Dahinter steht eine Weiterentwicklung des OGY-Ansatzes zur Chaos-Kontrolle. Was als Grundlagenforschung begann, wird also langsam fruchtbar und anwendungspraktisch: Mit Erfindung der OGY-Methode 1990 steigt die Zahl der Publikationen zur Chaos-Kontrolle. 2009 waren es schon über 1000.

³⁹ Vergl. Letellier, 2010

⁴⁰ Vergl. Letellier, 2010 und Jentschura, 1993

⁴¹ Jentschura, 1993



Den seither erzielten Fortschritt beschreibt der Mediziner Markus Dahlem wie folgt:

„Die erste Methode von Ott, Grebogi, und Yorke wurde 1990 vorgestellt [1] (auch OGY-Methode genannt). Die OGY-Methode ist noch recht aufwendig und vereinfacht will ich diese als Gratwanderung mit weit offenen Augen titulieren.

1992 wurde dann von Pyragas eine neue Methode gefunden [2]. Diese grenzt an Zauberei. Nicht nur, dass hier ein Zielzustand (ein UPO) blind gefunden wird, die Kontrollkraft verschwindet auch noch, sobald der Zielzustand erreicht ist. Damit ist diese Methode minimal-invasiv, denn eine Korrektur erfolgt erst, falls ein falscher Schritt gemacht wird.

Die Auflösung der Zauberei liegt in der Selbstkontrolle, also einer geschlossenen, aber zeitverzögerten Rückkopplungsschleife. Damit imitiert das Verfahren von Pyragas letztlich, was die Natur selber schon tausendfach zuvor erfunden hat, Systeme die sich selbst regulieren. Das Studium dieser Systeme in lebenden Organismen nennt man natürlich – und hier schließt sich ein anderer Kreis – *Physiologie*.⁴²

Und der Festkörperphysiker Thomas Bernhardt schrieb 1995: „Im Zusammenhang mit möglichen Anwendungen in der Technik oder Natur wird oft auf die Flexibilität hingewiesen, die die Kontrolle von Chaos bieten könnte (s. z.B. [OGY90]). Denn da in jedem chaotischen Attraktor unendlich viele UPOs eingebettet sind, müsste es möglich sein, das System auf *einen* ausgewählten UPO zu stabilisieren. Am einfachen Beispiel des Diodenresonators wurde in dieser Arbeit gezeigt, daß dies möglich ist. Auch wenn in der Praxis natürlich nicht unendlich viele UPOs erreichbar wären, so ist die Aussicht, mit *kleinen Steuersignalen* zwischen verschiedenen periodischen Zuständen hin- und herschalten zu können, sehr verlockend. Doch

⁴² Dahlem, 2010

von wirklichen Anwendungen ist man noch weit entfernt. Kontrolliert wurden bisher fast ausschließlich physikalische und chemische Modellsysteme.⁴³

Als gesicherte Erkenntnis der Chaos-Forschung kann man festhalten, dass das Phänomen der (Selbst-) Reflexivität, sofern diese Eigenschaft einem System zukommt - dass diese Eigenschaft chaotisches Verhalten in diesem System verursacht⁴⁴. Die Chaos-Kontrolle nach Pyrygas deutet darauf hin, dass Reflexivität, die von einer Meta-Ebene, sozusagen einem Systemadministrator, eingebracht wird, ordnende und stabilisierende Funktion entfalten kann. Fast möchte man von „weißer“ und „schwarzer“ Magie sprechen. „Schwarze“ Reflexivität wäre demnach mit atomistischen Aktionen unterer Systemebenen verbunden. Ein Beispiel ist die Einführung weltweit vernetzter Computertechnik an den Börsen. Parallel dazu bringen die einzelnen Händler eigene Hardware mit immer höherem und schnellerem Datendurchsatz sowie immer raffinierteren Softwareprogrammen ein. Das bewirkt ein systemisches **Paradoxon**: Jene Agenten, die sich durch verbesserte Analysen und Kursprognosen Informationsvorsprünge und Schutz vor der beobachteten Sprunghaftigkeit der Börsenkurse versprechen, erzeugen dadurch nur größere Reflexivität und verstärken somit durch ihre eigenen Handlungen die chaotische, fraktale Dimension des Marktes. Börsen werden dadurch zu superreagiblen Systemen mit immer größerer Volatilität⁴⁵. Finanzinvestoren stehen damit vor einem kompletten Dilemma. Die Investmentbankerin Kathy K. Sato hat auf dieses Problem eine überzeugende Antwort gefunden: In ihrer „Theory of Wild Beats“ beschreibt sie eine neuen Investmentstil des „Phaseinvesting“, bei dem Kapitalanleger nicht mehr versuchen müssen, die Marktentwicklung vorauszusehen (oder, wie Keynes es ausdrückte „to beat the gun“). Vielmehr komme es künftig darauf an, gleichsam wie ein Herdentier stets mit dem Markt in jene Assetklassen zu investieren, die der aktuellen Marktmode entsprechen.

In der logistischen Gleichung verdichtet sich die gesamte Komplexität in dem Koeffizienten r . Man könnte sagen, dass r die Resultante und das Desiderat der Erwartungshaltungen aller Marktagenten repräsentiert und damit jene Informationsmenge, die nach Famas

⁴³ Bernhard, 1995, S. 95

⁴⁴ Vergl. Pleitgen u.a.(1994-1)

⁴⁵ Zschäpitz, (2001)

Markteffizienzhypothese vollständig in den Preisen wiedergespiegelt wird. Diese Sichtweise würde aber wieder hinter die Einsichten, die man inzwischen in die Dynamik komplexer Markt Vorgänge gewonnen hat, zurückfallen. Eine dynamische Theorie muss die Bildung von Erwartungen gleichfalls als einen ökonomischen Prozess betrachten. Erwartungen bilden sich in Individuen nicht allein als *Verarbeitung* von empfangener Information vor dem Hintergrund eines Gerüsts von Wissen und persönlichen Prädispositionen⁴⁶. Mit Ausnahme der persönlichen Sinneseindrücke müssen Informationen zuvor erzeugt, das heißt erarbeitet worden sein. Es schiene mir ein großer Fortschritt, wenn man verstehen würde, dass und auf welche Weise in einer Informations- und Wissensgesellschaft Informationsarbeit geleistet wird, und dass *diese konkrete* Arbeit als immaterielles Wirtschaftsgut auf Informations- und Wissensmärkten gehandelt wird. Damit spannt sich der Bogen für ein weites Forschungsprogramm auf, das seine Fragen entlang den klassischen ökonomischen Kategorien an seinen Gegenstand stellt:

Wert- und Preis von Informationen

Produktion von Daten, Informationen, Bildung und Wissen und deren begriffliche Präzisierung für wirtschaftliche Zusammenhänge

Allokation des Wissens

Distribution von Informationen

Akkumulation von Daten, Informationen, Wissen; Problem der „ursprünglichen“ Akkumulation

Erklärung der ökonomischen Natur des Gewinns aus Informationsprozessen im Vergleich mit den klassischen Revenuen Grundrente, Lohn, Profit, Zins, Miete, Quasirente (→ Vermutung einer neuen Gewinnkategorie: „Proffit“ im Sinne des Informationsnutzen zur Vorhersage künftiger Daten.)

Institutionenökonomie der informationsprozierenden Einrichtungen, z.B. Hochschulen⁴⁷

Institutionenökonomie der Informationsverteilenden Einrichtungen = Bildungsökonomie

⁴⁶ Z.B. rationale Erwartungen: Lucas (1995) oder kognitiv verzerrte Wahrnehmungen: Kahnemann (1982) oder asymmetrisch verteilte Informationen: Mirrless (1996), Akerlof (1982)

⁴⁷ Vergl. Hollweg (2007)

Ökonomie der Wirtschaftssektoren⁴⁸

Allgemeine Theorie der immateriellen Wirtschaftsgüter: Wert, Preis, Verwertung; Investition und Finanzierung

Phänomenologie: Erklärung beobachteter Fakten, z.B. der historisch einmalig raschen Kapitalakkumulation durch Unternehmen wie Google und Facebook

Theorie der Politik der Wissenswirtschaft

Einige dieser Fragestellungen werden an dem von George Soros finanzierten „Institute of New Economic Thinking“ behandelt. Forschern, die sich für die hier skizzierten Problemstellungen interessieren, sei die Vernetzung mit dieser Einrichtung empfohlen.

Eine ganz besondere Fragestellung ergibt sich aus der ökonomisch interpretierten logistischen Gleichung zudem ganz unmittelbar:

Wenn der wundersame Koeffizient r keine immerwährende Konstante darstellt, sondern das Ergebnis der Interaktion um Informationen – welche Komponenten fließen dann wiederum in diese Größe ein und wie kann man sie messen? Welche Dimension haben die Kategorien, die diesen Wert hervorbringen und warum ist r dennoch nur eine dimensionslose absolute Zahl? Welche *Bedeutung* kommt dem Grenzwert 3,57 zu, „hinter“ dem das Chaos beginnt?

Könnten wir diese Fragen beantworten, so könnten wir kritische Systemzustände frühzeitig erkennen und möglicherweise tatsächlich mit geringem Aufwand „gegensteuern“, bevor Probleme manifest werden. Wichtig wäre dafür wahrscheinlich, dass die Messung des Systemzustandes kontinuierlich in kurzen Intervallen, sozusagen „realtime“ erfolgt, so dass die wirtschafts-statistischen Methoden in dem Sinn verbessert werden, dass wichtige Kennziffern aus dem Wirtschaftsprozess heraus online generiert und automatisch erzeugt werden. Gleichzeitig müssen wir die „Mathematik der Interaktion“ besser verstehen. Sie scheint unter anderem auf der Tatsache zu beruhen, dass Systeme/Märkte eine Geschichte bzw. ein Gedächtnis haben. In Märkten mit steigenden Preiserwartungen müssen die Käufer z.B. zu jedem Zeitpunkt genügend Verkäufer finden, die zu günstigeren Konditionen erworben hatten und deren Gewinnerwartung (Nutzen) jetzt befriedigt ist, so dass sie einem Verkauf ihrer Assets an Käufer mit (noch) optimistischer(er) Preiserwartung zustimmen.

Keynes arbeitete die Dominanz und die Steuerungsfunktion der Finanzmärkte über die Güter- und Arbeitsmärkte heraus. Es wird Zeit zu erkennen, dass das ökonomische System, in dem wir leben, inzwischen der Dominanz und den inneren Widersprüchen der Informationsmärkte unterworfen ist. Information steuert die Wirtschaft nicht nur, sie durchdringt

⁴⁸ Vergl. Hollweg (2008)

sie. Gleichzeitig *erscheint* die moderne Know-Economy auch als eine ungeheure Ansammlung von Informationen. Dies ist eine historisch entstandene Tatsache, keine theoretische Fiktion. Die Theorie jedoch geht an die tiefsten Wurzeln des ökonomischen wie des naturwissenschaftlichen Denkens, wenn der Physiker Carl Friedrich von Weizsäcker schreibt: „Eine Informationsmenge ist offenbar weder eine Materiemenge noch eine Energiemenge⁴⁹. ... (In)Form(ation) ist nicht ein Drittes neben ihnen, sondern sie ist ihr gemeinsamer Grund.“⁵⁰ ... „Der abstrakte Aufbau der Quantentheorie legt nahe, die Information als das Zugrundeliegende und insofern als die Substanz aufzufassen. Das Ur ist dann ein >>Atom der Information<<.⁵¹ So sieht es auch der Physiker Aton Zeilinger, wenn er sagt: „Dazu möchte ich den radikalen Vorschlag machen: Wirklichkeit und Information sind dasselbe.“⁵²

Schließlich verwandeln sich bei von Weizsäcker nicht allein die physikalischen Grundgrößen, sondern auch die ökonomischen Kategorien in Information: „Die These ist, dass operationale Definitionen der Begriffe Information und Nutzen gegeben werden können, nach denen beide Begriffe im wesentlichen identisch sind. Man könnte demnach ... Nutzen als ein Maß der inhaltlich verstandenen Informationen auffassen.“⁵³

Parallel dazu lässt sich „Arbeit“ als die Tätigkeit der Gestaltgebung erkennen: Formgebung, sprich ebenfalls Information. Die abstrakte Arbeit *ist* Informationsarbeit. Arbeitskraft wäre somit eine gestaltende Potentialkraft, denn, so Zeilinger: „Die Welt ist alles, was der Fall ist, und auch alles, was der Fall sein kann.“⁵⁴ Sofern Arbeitskraft ge- und verkauft wird, ist sie also stets ein immaterielles Wirtschaftsgut. Wirtschaft ist in ihrem Grunde sogar immer nur Potentialwirtschaft. Jede Mühe ist ein Akt der Hoffnung.

Der Widerspruch, der gerne bissig zwischen Real- und Finanzwirtschaft gesehen wird, ist in dieser Perspektive aufgehoben. Was abstrakt klingt, ist lebenspraktisch leicht zu verstehen: Der Bauer sät in der Perspektive auf gute Ernte, der Kaufmann sendet Handelsschiffe mit Bangen um sichere Ankunft. Der Fabrikant produziert in der Erwartung auf ausreichenden Absatz und seine Arbeiter mühen sich mit dem Anspruch auf den Lohn am Monatsende. Zum Zeitpunkt der Entscheidung ist an diesen Motiven nichts „real“. Den meisten ökonomischen Handlungen liegt offenbar eine Vermittlung zwischen Gegenwart und Zukunft zugrunde. Ein gedankliches Vorwegnehmen der Zeit. Eine Erwartung im Sinne einer Prognose, die sich bekanntlich häufig selbst erfüllen kann. Das gedankliche Voranschreiten in der Zeit ist kein trivialer Vorgang. Er beruht auf einem grundlegenden menschlichen Vermögen, der Phantasie. Die Phantasie allerdings funktioniert nicht allein nach operationalen

⁴⁹ Von Weizsäcker (1986), S. 166

⁵⁰ a. a. O., S. 581

⁵¹ A. a. O., S. 573

⁵² Zeilinger, (2003)

⁵³ Von Weizsäcker, (1986), S. 189

⁵⁴ Zeilinger, (2003), S. 230

Regeln, sie folgt nicht strenger Kausalität. Sie ist nicht deterministisch, sondern hat Freiheitsgrade (wie das Quark). Die Phantasie erlaubt, dass Neues entsteht, und sie ist damit die Basis der Kreativität.

Diese Überlegungen geben Anhaltspunkte für zwei Stränge ökonomischer Grundlagenforschung:

Zum Verhältnis von InformAKTION und ZEIT

Über das Wesen der Kreativität

Im Ausblick sei die These gewagt: Wissenswirtschaft ist ein Prozess der Kreation. Zunehmend kommt in dieser Wirtschaftsform nur solchen Gütern ein hoher Wert zu, die das Attribut „kreativ“ verdienen. Eine Ursache, die Kreativität hervorbringt, ist „Emergenz“. Emergenz ist das Produkt komplexer adaptiver Systeme.

Literaturverzeichnis:

Akerlof, G. A. (1970): [*The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanisms*](#), In: Quarterly Journal of Economics, Vol. 84(3), 1970, S. 488-500

Baecker, Dirk (1994): „Finanzkultur. Alchemie und Spekulation“, in: FAZ-Blick durch die Wirtschaft vom 12. 12. 1994

Bernard, Thomas (1995) „Chaoskontrolle nach Pyragas: Delayed Feedback Control“
Diplomarbeit am Institut für Festkörperphysik, TH Darmstadt, September 1995
<http://thbernard.leute.server.de/diplom.pdf>

Chen, Shu-Heng und Yeh, Chia-Hsuan (1995); „Genetic Programming and the Cobweb Model“, in: Advances in Genetic Programming 2; P. Angeline and K. E. Kinneer, Jr. (eds.) Chapter 22, Cambridge MA: MIT Press.

Cohen, Bernhard I (1987): „Newtons Gravitationsgesetz – aus Formeln wird eine Idee“, in Spektrum der Wissenschaft: „Verständliche Forschung. Gravitation. Raum-Zeit-Struktur und Wechselwirkung“, Spektrum-der Wissenschaft Verlagsgesellschaft & Co, Heidelberg, 1987, S. 12-23

Cont, Rama (2010); „Statistik für seltene Ereignisse“, in: Spektrum der Wissenschaft, Spezial, „Zufall und Chaos“, S. 68 -75, Springer Verlag, Berlin, Heft 1/10

Dahlem, Markus A. (2010): „Chaos-Kontrolle: eine Gratwanderung mit geschlossenen Augen“, brainlogs, 5. September 2010; <http://www.brainlogs.de/blogs/blog/graue-substanz/2010-09-05/chaos-kontrolle-eine-gratwanderung>; aufgerufen am 4.2.2011

Decker, Uli und Thomas, Harry (1983): „Unberechenbares Spiel der Natur: Die Chaos-Theorie“, in Bild der Wissenschaft,; Hrsg. Prof. Dr. rer. nat. habil Heinz Haber, Heft 1, 20. Jahrgang, Januar 1983; S. 62 bis 75

Gleick, James (1990): „CHAOS – die Ordnung des Universums. Vorstöße in Grenzbereiche der modernen Physik“, vollständige Taschenbuchausgabe Juli 1990, Droemersch Verlag Th. Knauer Nachf., München; Originalverlag Viking, New York, 1987; ISBN 3-426-04078-6 ;
Dieses auch für naturwissenschaftliche Laien sehr verständliche deutschsprachige Buch ist im Buchhandel leider vergriffen. Es sollte nach meiner Meinung (LH) unbedingt neu aufgelegt werden und an unseren Schulen Verbreitung finden!

Gollier, Christian (2010): „Wie sieht man DAS UNVORHERSEHBARE vorher?“, in: Spektrum der Wissenschaft, Spezial, „Zufall und Chaos“, S. 76-82, Springer Verlag, Berlin, Heft 1/10

Hanke, Thomas (1995): „Der Ordnung auf der Spur“, in : DIE ZEIT, Nr. 13 vom 24. März 1995, S. 36

Hannula, Hans (1992): „Making Money with Chaos“, in: Technical Analysis of Stocks and Commodities vom 14.2.1992; S.319 - 322

Helbing, Dirk (2009): „Systemic Risk in Society and Economy“, Santa Fe Institute, Working Paper vom 18.11.2009: <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/09-12-044.pdf>

Hollweg, Leander (2007): „I⁷ – Zur Zukunft der Wissenswirtschaft ([Sektorale gesamtwirtschaftliche Entwicklung und komparative Vorteile von Regionen mit geringen industriellen Forschungsaktivitäten](#))“; *Vortrag auf der Konferenz zur Wissenswirtschaft (Knowledge- Economy-Conference), 27./28.09.2007, European School of Business, Reutlingen;*
http://www.tenman.eu/presse/070927_ESB_Knowledge_Economy_Conference_Deutsch.pdf

Hollweg, Leander (2008) „[Perspektiven der Hochschulen in der Wissenswirtschaft](#) (Chancen privater Hochschulen im Spannungsfeld zwischen öffentlicher Hochschulreform und der Globalisierung des Bildungsmarktes), 23.10.2008 :
http://www.tenman.eu/presse/0810_Hochschulen_in_der_Wissenswirtschaft.pdf

Investors Chronicle (1992): „Chaos in the Stockmarket“, Vol 99/1258 vom 14.2.1992, S. 12 bis 14

Jentschura, Ulrich, (1993); „Gesundes Chaos verhindert den plötzlichen Herztod. Diagnoseverfahren der nichtlinearen Dynamik / Eingriff in die Herzrhythmickeit“, in Frankfurter Allgemeine Zeitung, 23. 6. 1993

D. Kahneman, P. Slovic u. A. Tversky (1982): *Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge University Press, New York 1982, [ISBN 978-05212-8414-1](#).

Kennedy, Paul (1996): „Aufstieg und Fall der großen Mächte. Ökonomischer Wandel und militärischer Konflikt von 1500 bis 2000“, Fischer Taschenbuch Verlag, 1996; Original im Verlag Random House, New York, 1987

Keppler, Michael (1990): „Risiko ist nicht gleich Volatilität“, in: Die Bank, Ausgabe 11/1990, S. 610 - 614

Keynes, John Maynard (1936): „The General Theory of Employment, Interest and Money“; The Macmillian Press Ltd, published for the Royal Economic Society, 1973; The Collected Writings of John Maynard Keynes, Volume VII; Zitate aus dem 18.Kapitel in deutscher Übersetzung stammen aus der Fassung von Dervenich, Bertram; Hartmann, Oskar, Hollweg, Leander, Probeübersetzung für den Verlag Duncker & Humblodt, 1978, unveröffentlicht.

Kieling, Hartmut (1992): „Das Chaos auf dem Aktienmarkt“, in : Die Bank, Ausgabe 3/1992, S.146 bis 150

Liening, Andreas (1998): „Komplexe Systeme zwischen Ordnung und Chaos: Neuere Entwicklungen in der Theorie nicht-linearer dynamischer Systeme und die Bedeutung für die Wirtschaftswissenschaft und ihre Didaktik“, Habilitationsschrift an der Universität Münster ,1998, Verlag: LIT (1999) ISBN-10: 3825840239 ; ISBN-13: 978-3825840235; (eine Arbeit, die unter Wirtschaftswissenschaftlern weit größere Verbreitung verdient hätte und für die dem Autor größere Anerkennung geschuldet ist! LH)
Auszüge sind einsehbar unter

http://books.google.de/books?id=FhYWKbvcjpQC&printsec=frontcover&dq=%22Andreas+Liening%22+Komplexe+Systeme&source=bl&ots=t5_eSr7xcT&sig=PP6jQPI2sy0obeyPRQiC8hLLMs&hl=de&ei=XrJLTaGjD4-Pswb6-s2cDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCYQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

Letellier, Christopher (2010): „Chaos unter Kontrolle“, in: Spektrum der Wissenschaft, Spezial, „Zufall und Chaos“, S. 24-31, Springer Verlag, Berlin, Heft 1/10

Lorenz, Wilhelm (ohne Datum), „Projekt micro-online, Spinnwebtheorem“; URL: <http://mikroo.de>

Lucas, Robert E. Jr. (1995): „Monetary Neutrality. Prize Lecture (to the Nobel Comitee)“, University of Chicago, 7. Dezember 1995; http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/1995/lucas-lecture.pdf

Mandelbrot, Benoit (2005): „Die tatsächlichen Risiken sind wesentlich größer, als wir annehmen“, Interview in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung, 4. Juni 2005, Nr. 127, S. 23; Gesprächsführung Dr. Hanno Beck

Mathiesen, Christian (1990): „An der Börse versetzt der Glaube Berge – wie selbstverstärkende Rückkoppelungseffekte die Finanzmärkte beherrschen“, in: FAZ-Blick durch die Wirtschaft Nr. 121, 27. Juni 1990, S. 7

May, Robert (1976): „Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics“, in: Nature 261, 1976, S. 459 -467

Mirrlees, James. A. (1996): „Information of Carrots and Sticks“. Nobel Lecture, Faculty of Economics and Politics, University of Cambridge, England, 9. Dezember 1996 ; http://nobelprize.org/nobel_prizes/economics/laureates/1996/mirrlees-lecture.pdf

Moore, Basil (2006): „Shaking the invisible Hand: Complexity, Endogenous Money and Exogeneous Interest Rates“, London/ New York, Palgrave Macmillan 2006

Murray Gell-Mann (1994): „Das Quark und der Jaguar. Vom Einfachen zum Komplexen – die Suche nach einer neuen Erklärung der Welt“, 2. Auflage 1994, Piper München Zürich, Original 1994, New York. (Murray Gell-Mann ist Nobelpreisträger für Physik des Jahres 1969)

Murtra, Bernat Corominas und Solé, Ricard (2002): „On the Universality of Zipf's Law“, Santa Fe Institute, Working Paper : <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/10-01-002.pdf>

Pleitgen, Hans-Otto, Jürgens, Hartmut und Saupe, Dietmar (1994-1): „Bausteine des Chaos - Fraktale“, Klett-Cotta/Springer Verlag; deutsche Ausgabe 1994;

Pleitgen, Hans-Otto, Jürgens, Hartmut und Saupe, Dietmar (1994-2): „C_H_A_O_S Bausteine der Ordnung“, Klett-Cotta/Springer Verlag; deutsche Ausgabe 1994;

Sato, Kathy K (2001): „The Theory of Wild Beasts. A Framework for Understanding Price Behavior in Financial Marktes“; Onlineprints unter: greatunpublished.com, title No. 378

Sornette, Didier (2004): „Why Stockmarkets Crash – Critical Events in Complex Financial Systems“, Princeton University Press, 2004, ISBN: 978-1-4008-2955-2

Sornette, Didier (2010): „Ich habe meinen Ruf auf's Spiel gesetzt“, in: ETH Life, 3.5.2010 ; http://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/100503_prognosenexperiment_nsn/index

Spohr, Frederic (2010): „Didier Sornette – der ungeliebte Prophet der Finanzmärkte“, in: Handelsblatt, 24.4.2010:
http://www.handelsblatt.com/politik/oekonomie/b=2566273_p=30_t=ftprint_doc_page=0;printpage ; aufgerufen am 7.2.2010

Stöner, Hans Martin: (2008): „Wachstumsmodelle. Das begrenzte hyperbolische Wachstum einer Population unter Verwendung der modifizierten Verhulst-Funktion.“, Stand: 08.12.2008
Quelle: <http://www.hansmartinstoenner.privat.t-online.de/index/Wachstumsmodelle.pdf?www.hansmartinstoenner.privat.t-online.de/worldpop.htm>; zuletzt aufgerufen am 4. 2. 2011

Storbek, Olaf (2009): „George Soros. Millionenangriff auf die etablierte VWL“, in Handelsblatt vom 3.11.2009 ; <http://www.handelsblatt.com/politik/nachrichten/george-soros-millionen-angriff-auf-etablierte-vwl;2477197>

Thro, Ellen (1994): „Künstliches Leben, eine spielerische Entdeckungsreise. Einführung in die Theorie und Praxis einer neuen Wissenschaft“, Addison-Wesley, Bonn-Paris-Reading (Mass.), 1994

Von Weizsäcker, Carl Friedrich (1986): „Aufbau der Physik“, Carl Hanser Verlag, München Wien , 2. Auflage 1986, ISBN 3-446-14142-1

Waldrop, M. Mitchell (1993): „Inseln im Chaos – Die Erforschung komplexer Systeme“, Rowohlt, 1. Auflage September 1993, Reinbek bei Hamburg; Original 1992, New York. (Neben der Einführung von James Gleick als Standardwerk gerade für Sozialwissenschaftler sehr zu empfehlen, LH)

Wallerstein, Immanuel (2000): *“The Essential Wallerstein”*, New York 2000.

Will, Henner (2010): „Kurzarbeit als Flexibilisierungsinstrument – Hemmnis strukturellen Wandels oder konjunkturelle Brücke für Beschäftigung“, Hrsg.: IMK Institut für Makroökonomik der Hans Böckler Stiftung, Düsseldorf, November 2010

Wikipedia (2010) „Logistische Gleichung“, zuletzt bearbeitet am 14.11.2010; aufgerufen am 7.1.2011; dieser Text steht unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/ Share Alike 3.0 Unported (abgekürzt CC-by-sa-3.0) und wurde mit dieser Lizenz für eine ausführliche Darstellung verwendet.

Wikipedia (2010): „Lotka-Volterra-Gleichungen“, zuletzt bearbeitet am 1. Oktober 2010; <http://de.wikipedia.org/wiki/Lotka-Volterra-Gleichungen>; Der Text ist unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ verfügbar und wurde mit dieser Lizenz für eine ausführliche Darstellung verwendet.

Wegner, Tyler, Peterson, Branderhorst (1993): „Fraktale Welten für Windows“, 1. Auflage 1993, te-wi Ziff Verlag GmbH, München

Zschäpitz, Holger (2001): „Die Börse wird immer unberechenbarer“, in: Die Welt vom 21.8.2001,S. 19

Zeilinger, Anton (2003): „Einsteins Schleier – Die neue Welt der Quantenphysik“, Verlag C.H. Beck, München 2003, ISBN 3 406 50281 4

Empfohlene Webseiten:

Institute of New Economic Thinking: <http://ineteconomics.org>

Santa Fe Institute: www.santafe.edu