

Volkswirtschaftliche Schriften

Heft 432

**Neuere Entwicklungen
in der Theorie dynamischer
Systeme und ihre Bedeutung
für die Agrarökonomie**

Von

Wolfgang Lentz



Duncker & Humblot · Berlin

WOLFGANG LENTZ

**Neuere Entwicklungen in der Theorie dynamischer Systeme
und ihre Bedeutung für die Agrarökonomie**

Volkswirtschaftliche Schriften

Begründet von Prof. Dr. Dr. h. c. J. Broermann †

Heft 432

**Neuere Entwicklungen in
der Theorie dynamischer Systeme
und ihre Bedeutung für
die Agrarökonomie**

Von

Wolfgang Lentz



Duncker & Humblot · Berlin

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Lentz, Wolfgang:

Neuere Entwicklungen in der Theorie dynamischer Systeme und ihre Bedeutung für die Agrarökonomie / von Wolfgang Lentz. –

Berlin : Duncker und Humblot, 1993

(Volkswirtschaftliche Schriften ; H. 432)

Zugl.: München, Techn. Univ., Habil.-Schr., 1993

ISBN 3-428-07910-8

NE: GT

Alle Rechte vorbehalten

© 1993 Duncker & Humblot GmbH, Berlin

Fotoprint: Berliner Buchdruckerei Union GmbH, Berlin

Printed in Germany

ISSN 0505-9372

ISBN 3-428-07910-8

Inhalt

Einleitung	7
1. Wissenschaftstheoretische Vorbemerkungen	11
1.1 Erkenntnisgewinnung und Wissensrepräsentation	11
1.2 Die 'klassische Mechanik' als wissenschaftliche Leitidee	23
2. Komplexität marktwirtschaftlicher Systeme	32
2.1 Komplexität	33
2.2 System und Umwelt	35
2.3 Komplexität durch Vielheit	39
2.4 Komplexität durch Dynamik	44
2.5 Komplexität durch Nichtlinearität	52
2.6 Zusammenfassung	61
3. Neuere Entwicklungen in der Theorie dynamischer Systeme	63
3.1 Darstellung und Analyse dynamischer Systeme	63
3.1.1 Formale Darstellung dynamischer Systeme	63
3.1.2 Ziele der Analyse formaler dynamischer Systeme	66
3.2 Eigenschaften linearer dynamischer Systeme	70
3.2.1 Lineare Differentialgleichungen erster Ordnung	71
3.2.2 Lineare Differentialgleichungen zweiter Ordnung	76
3.2.3 Systeme linearer Differentialgleichungen höherer Ordnung	84
3.2.4 Zeitverzögerungen	85
3.2.5 Lineare Differenzgleichungen	91
3.2.6 Zusammenfassung	95
3.3 Eigenschaften nichtlinearer Systeme	96
3.3.1 Lokale Stabilitätsanalyse nichtlinearer Systeme	96
3.3.2 Grenzzyklen	99
3.3.3 Bifurkation	104
3.3.4 Chaos	113
3.3.4.1 Chaos in diskreten Systemen	114
3.3.4.2 Chaos in kontinuierlichen Systemen	120
3.3.5 Selbstorganisation	124

3.4	Numerische Verfahren zum Nachweis von Chaos	131
3.5	Zusammenfassung	136
4.	Nichtlineare Systeme in der Ökonomie	137
4.1	Eindimensionale Modelle	139
4.1.1	Nachfragemodelle	139
4.1.2	Preisanpassungsmodelle	143
4.2	Zweidimensionale Modelle	155
4.3	Dreidimensionale Modelle	165
4.4	Multiple stabile Gleichgewichte	174
4.5	Mögliche Anwendungen in der Agrarökonomie	183
4.5.1	Ein Marktmodell mit beschränkten Produktions- und Investi- tionsmöglichkeiten sowie diskreten Zeitverzögerungen	184
4.5.2	Verhaltensänderungen des Modells bei Verwendung multipler exponentieller Verzögerungen	194
4.5.3	Schlußfolgerungen aus den Simulationsergebnissen	198
4.6	Empirische Untersuchungen zur Relevanz nichtlinearer Systeme	199
5.	Modell und Realität - eine erneute Betrachtung	202
5.1	Die Relevanz nichtlinearer formaler Abbildungen für die Ökonomie	202
5.2	Die Grenzen formaler Abbildung	207
5.3	Resümee	211
6.	Zusammenfassung	215
	Literaturverzeichnis	220

Einleitung

Die Ökonomik versteht sich als Realwissenschaft und hat als solche die Aufgabe, Theorien zu entwickeln, die es erlauben, die Vielfalt ökonomischer Phänomene in eine Ordnung zu bringen, um das Allgemeingültige, das Wiederkehrende und das sich Verändernde in der sonst verwirrenden Fülle zu erkennen.

Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, muß das Wesentliche vom Unwesentlichen getrennt, müssen Verknüpfungen und Abhängigkeiten zwischen ökonomischen Phänomenen gesucht, Heterogenitäten zwischen Elementen aufgezeigt und homogene Elemente zu Gruppen aggregiert werden. Dieses Ordnen erfordert im allgemeinen schon eine Idee, ein konzeptformendes Vorverständnis bzw. Arbeitshypothesen bezüglich der zugrundeliegenden Strukturen und Prozesse, die durch weitere Beobachtungen oder gezielte Experimente bestätigt oder widerlegt werden. Ein solches konzeptionelles Vorverständnis beinhaltet aber auch immer Gefahren: Zum einen führt es zu einer selektiven Wahrnehmung und damit zu einer möglicherweise unbewußten Ausgrenzung relevanter Aspekte der Realität, zum anderen verleitet es zu einer bewußten Ausgrenzung real beobachtbarer Phänomene, wenn diese nicht mit der Leitidee in Einklang stehen.

Wie noch zu zeigen sein wird, ist die Ökonomik wie auch andere Wissenschaftsdisziplinen in einigen Teilbereichen stark von der Leitidee der klassischen Mechanik geprägt, deren Grundkonzept in ihren Ursprüngen auf René Descartes zurückführbar ist. Cramer (1989, S.26) schreibt dazu: "Einer der geistigen Väter der modernen Naturwissenschaft, René Descartes, hat in seiner berühmten Abhandlung über die Methode zum richtigen Vernunftgebrauch folgende, noch heute gültige Anweisung zum forschenden Handeln gegeben: »Wenn ein Problem zu komplex ist, als daß du es auf einmal lösen kannst, so zerlege es in so viele Unterprobleme, die dann entsprechend so klein sind, daß du jedes dieser Unterprobleme für sich lösen kannst.«". Und weiter schreibt Cramer: "Die kartesische Methode geht stillschweigend von der Annahme aus, daß man nach Lösung sämtlicher Einzelprobleme das System wieder zusammensetzen kann, so daß man aus der Summe der gelösten Einzelfragen dann eine Gesamtantwort erhält. Hier liegt nun aber der entscheidende Punkt: Für einfache Systeme, wie sie die Physiker der klassischen Physik (einschließlich Newton) behandelten, trifft das zu. Oder richtiger gesagt: Um die Methode anwenden zu können, hat man damals nur solche

Systeme behandelt, die wieder zusammensetzbar sind. Das ist bei lebenden Systemen jedoch nicht der Fall. Dort ist immer das Ganze mehr als die Summe seiner Teile. Beim Zerlegen geht unwiederbringlich etwas verloren - eben das Leben. Man kann manche entscheidenden Schritte grundsätzlich nicht zurückgehen oder, mit einem Fachausdruck, solche Systeme sind irreversibel, also nicht umkehrbar" (Cramer 1989, S.27 f.).

Der Versuch, die Methoden und Vorstellungen der klassischen Mechanik auf andere Wissenschaftsbereiche zu übertragen, ist nicht verwunderlich, betrachtet man zum einen nur die unvergleichlichen Erfolge, die damit in der Astronomie und Mechanik erzielt wurden, und zum anderen die Tatsache, daß im wesentlichen nur lineare mathematische Gleichungssysteme einer analytischen Behandlung zugänglich sind. Letzteres deutet auf das Problem hin, daß die explizite Darstellung wissenschaftlicher Erkenntnisse eng verbunden ist mit den Ausdrucksmöglichkeiten der dazu verwendeten Sprache.

Die Adäquanz der Methoden der klassischen Mechanik für die ökonomische Forschung wurde immer wieder in Frage gestellt. Ebenso wie in der Natur scheint das Ganze mehr zu sein als die Summe seiner Teile und das "ökonomische Leben" durch ein analytisches Vorgehen nicht erfaßt zu werden. Lineare deterministische Systeme lassen keinen Raum für das Entstehen von Neuem und die Existenz eines ständigen Strukturwandels. Eine Wirtschaftstheorie, die auf mechanistischen Prinzipien beruht, kann darum kaum zu zufriedenstellenden analytischen Erklärungen zeitlicher ökonomischer Abläufe gelangen, da diese wesentlich durch Neuerungen und Strukturwandel geprägt werden. Somit ist es nicht verwunderlich, daß in der Ökonomik schon immer nach neuen Leitideen für die Forschung gesucht wurde, was durch verschiedene Forschungsrichtungen wie Evolutionsökonomik, Systemtheorie (Systems Economics) oder Institutionenökonomik dokumentiert wird. Die verschiedenen Facetten der ökonomischen Realität lassen sich bis jetzt nur zum Teil und nur mit partiell gültigen Theorien erklären. Vor diesem Hintergrund fordert eine Reihe von Wissenschaftlern wie z.B. Johnson (1986, S.24) geradezu eine Vielfalt von wissenschaftlichen Methoden, da ihrer Meinung nach nur so die vielfältigen Aspekte der wirtschaftlichen und sozialen Welt eingefangen werden können.

Wie schon in dem Zitat von Cramer deutlich wurde, ist die Anwendung der Prinzipien der klassischen Mechanik in vielen Wissenschaftsbereichen mit Problemen verbunden und läßt offensichtlich ein zu enges "Weltbild" entstehen. Dies hat in den Naturwissenschaften zur Beschäftigung mit nichtlinearen dynamischen Systemen geführt, die für die weitere Entwicklung dieser Disziplinen von großer Wichtigkeit zu sein scheinen, da diese ein viel größeres Spektrum an dynamischen Verhaltensweisen aufweisen. Einige der daraus resultierenden Ergebnisse werden in jüngster Zeit unter dem Begriffspaar "Ordnung und Chaos" in vielen Wissenschaftsdisziplinen diskutiert und in

unmittelbare Nachbarschaft zu den Begriffen Komplexität, Selbstorganisation oder Kreativität gerückt (Gassmann 1991, S.369). Ausgehend von der Mathematik und Physik wurde schon Anfang der sechziger Jahre mit Erstaunen festgestellt, daß nichtlineare deterministische Systemgleichungen qualitative Änderungen in ihrem zeitlichen Verhalten aufweisen können, was zu komplexen und teilweise nicht prognostizierbaren Ergebnissen führt und den scheinbar widersprüchlichen Begriff "deterministisches Chaos" entstehen ließ.

Während der Begriff "Ordnung" in der Umgangssprache eher positiv gesehen wird, weil er in unmittelbarem Zusammenhang mit Struktur, Klarheit, Determiniertheit und Vertrauen gestellt wird, weist der Begriff "Chaos" eine mehr negative Bedeutung auf und wird oft in die Nachbarschaft von Wirrwarr, Zerstörung und Angst gerückt. Auf der anderen Seite hat der Begriff "Chaos" auch seine positive Seite, wenn man damit Kreativität, Überraschung und Kurzweil verknüpft, wohingegen die negative Seite von "Ordnung" mit Sterilität, Verkrustung und Langeweile assoziiert werden kann.

Für die Ökonomik stellt sich die Frage, ob die neueren Entwicklungen in der Theorie nichtlinearer Systeme für die Beschreibung oder gar Erklärung des zeitlichen Verhaltens sozialer und ökonomischer Systeme Relevanz haben. Betrachtet man das reale Geschehen in der Wirtschaft, dann ist dieses in fast allen Bereichen durch ein zeitlich fluktuierendes und teilweise diskontinuierliches Verhalten gekennzeichnet. Die Gründe hierfür werden sowohl innerhalb der Ökonomie in Form von Innovationen als auch außerhalb des ökonomischen Systems in Form exogener Schocks gesucht. Nichtlineare dynamische Systeme stellen möglicherweise einen Weg dar, ein besseres Verständnis der ökonomischen Zusammenhänge und des daraus resultierenden Systemverhaltens zu erlangen. Die Modellierung von plausiblen Annahmen und die Ableitung der darin enthaltenen Implikationen durch mathematische Analysen oder Modellsimulationen läßt uns möglicherweise zu einem anderen Vorverständnis über Ursache-Wirkungs-Beziehungen kommen und könnte so helfen, die Phänomene der realen Welt besser zu verstehen.

In diesem Sinne ist die vorliegende Arbeit als ein Versuch zu sehen, neue Entwicklungen in der Theorie dynamischer Systeme aufzugreifen, einfache ökonomische Modelle zu konstruieren und daraus resultierende potentielle Verhaltensmuster aufzuzeigen. Es geht in dieser Arbeit nicht darum, reale ökonomische Systeme in ihrer ganzen Vielfalt zu analysieren, sondern Ziel ist es vielmehr, durch Konstruktion einfacher "Modellökonomien" die vielfältigen potentiellen Verhaltensformen nichtlinearer ökonomischer Systeme darzustellen. Weiterhin ist der Frage nachzugehen, welche Eigenschaften ökonomischer Systeme mit einer derart erweiterten formalen Sprache adäquat abzubilden sind und welche Eigenschaften sich weiterhin der formalen Beschreibung verschließen.