

Komplexe Systeme als Gegenstand von Evolutionsökonomik und ökologischer Ökonomik

Selbstorganisation als „Missing Link“?

Selbstorganisation ist ein grundlegender Prozeß wirtschaftlicher Entwicklungsdynamik. Mit Hilfe der in den Naturwissenschaften entwickelten Konzepte zur Beschreibung von Selbstorganisationsprozessen lassen sich umweltökonomische Probleme als Effekte interdependenten individuellen Handelns verstehen. Gleichzeitig ist die Selbstorganisation an biophysikalische Bedingungen geknüpft, die auch für das menschliche Wirtschaften gelten. Sie scheint deshalb geeignet, eine Verbindung zwischen Evolutionsökonomik und ökologischer Ökonomik herzustellen.

Von Guido Bünstorf und
Christian Sartorius

Die Ausbeutung der Natur durch den Menschen ist kein neues Phänomen. Ihre Auswirkungen werden aber erst seit etwa 30 Jahren als Probleme von globaler Bedeutung aufgefaßt. Seit dieser Zeit werden Fragen der Wechselwirkung zwischen Wirtschaft und Umwelt in der *ökologischen Ökonomik* intensiv diskutiert. Dies geschah zunächst auf sehr grundsätzlicher Ebene, wobei die Relevanz der Naturgesetze für die Ökonomie als Subsystem der gesamten Natur explizit berücksichtigt wurde. Mit Hilfe dieser Analysen wurde das heutige Ausmaß der Ausbeutung der Umwelt als nicht nachhaltig charakterisiert. Offen blieben dabei jedoch die Ursachen der mangelnden Nachhaltigkeit des Wirtschaftens.

Das Verhältnis von Ökonomie und Ökologie wird von der speziellen Ausprägung des jeweiligen Wirtschaftssystems und besonders von dessen Dynamik bestimmt. Prozesse des Wandels im menschlichen Wirtschaften sind der zentrale Untersuchungsgegenstand der *Evolutionsökonomik*, die daher in der Lage sein sollte, zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen einen wichtigen Beitrag zu leisten. Es gibt Ansätze für eine Integration evolutionsökonomischer Ideen in die ökologische Ökonomik, zum Beispiel in den Arbeiten von Frank Beckenbach und von Markus Pasche (1). Beide Autoren untersuchen die Dynamik der Interdependenz von Wirtschaft und Umwelt auf der Grundlage verschiedener Modelle. Allerdings werden in diesen Modellen die Interaktionen von Wirtschaft und

Umwelt nur auf der Ebene von Aggregaten modelliert. Die Konzepte der Evolutionsökonomik ermöglichen es, hier weiterzugehen und zu zeigen, wie individuelles Verhalten und die Interaktion von Akteuren durch Selbstorganisationsprozesse zur Ursache von Umweltproblemen wird. In diesem Aufsatz werden Umwelteffekte der Interaktion von Individuen auf zwei Ebenen abgeleitet. Erstens wird das Selbstorganisationskonzept direkt auf die biophysikalische Ebene des Wirtschaftens angewendet. Zweitens wird argumentiert, daß auch umweltrelevante Rahmenbedingungen ökonomischen Handelns wie Institutionen und Umweltpolitik das Ergebnis interaktiver Prozesse sind, die mit dem Selbstorganisationskonzept dargestellt werden können.

► Selbstorganisation als allgemeines wissenschaftliches Konzept

Das Konzept der Selbstorganisation wurde in den Naturwissenschaften zur Beschreibung der Entwicklungsdynamik komplexer Systeme entwickelt. Selbstorganisation bedeutet grundsätzlich, daß sich aufgrund der Interaktionen der einzelnen Systemkomponenten auf der Ebene des Gesamtsystems (neue) Strukturen ausbilden. Dafür muß die Interaktion der Komponenten durch eine nichtlineare Dynamik der Selbstverstärkung und Selbstregulierung gekennzeichnet sein, die dazu führt, daß bereits marginale Änderungen einer Komponente drastische Veränderungen der Struktur auf der übergeordneten Ebene bewirken können.

Hinzu kommt als zweite Bedingung für die Selbstorganisation realer Systeme die Dissipation von Energie. Selbstorganisationsprozesse, die durch autokatalytische Beziehungen zwischen Molekülen verursacht werden, ermöglichen die Ausbildung von Strukturen in thermodynamisch offenen Systemen und eine temporär stabile Existenz fern vom thermodynamischen Gleichgewicht (2). Damit sich das System der Anziehung dieses Gleichgewichts widersetzen kann, muß es Energie aus der Umwelt aufnehmen und Entropie in die Umwelt abgeben. Selbstorganisierende Systeme werden wegen dieser Energiedissipation auch als „dissipative Strukturen“ bezeichnet.

Ursprünglich wurden die Theorie der Selbstorganisation und ihre mathematische Formalisierung in der Synergetik zur Beschreibung von unbelebten Systemen wie chemischen Reaktionssystemen oder physikalischen Phänomenen (z.B. Laser) entwickelt. Die Übertragung des Konzepts auf lebendige natürliche Systeme sowie auf soziale und ökonomische Zusammenhänge ist aber keine bloße Analogiebildung. Vielmehr läßt sich eine Übertragung auf zwei verschiedenen Ebenen inhaltlich rechtfertigen. Erstens stellen auf der Ebene der thermodynamischen Analyse auch die Menschen und damit ihre sozialen Systeme „dissipative Strukturen“ dar. Sie müssen daher grundsätzlich denselben thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten folgen. Zweitens ist in einer Reihe von Anwendungen synergetischer Modelle gezeigt worden, daß die Dynamik sozialer Interaktionen vielfach dieselben Eigenschaften aufweist wie die natürlicher Systeme.

► Dissipatives System Wirtschaft

Ökonomische Produktionsprozesse sind insofern eine Erweiterung der natürlichen Selbstorganisation, als jede Produktion von Gütern und Dienstleistungen auf Energiezuflüsse ebenso angewiesen ist wie lebendige Organismen. Wirtschaftssysteme sind „dissipative Strukturen“ (3). Aus der evolutiven Perspektive stellt sich zusätzlich die Frage, welche Rolle Energieflüsse für die *Entwicklung* der Produktionsprozesse haben.

Für die Beantwortung dieser Frage kann wiederum an Vorarbeiten in den Naturwissenschaften angeknüpft werden. Der Chemiker und Biologe Alfred Lotka hat schon 1945 argumentiert, daß im Verlauf der Evolution der gesamte Energiefluß durch das System maximiert wird, soweit das die Randbedingungen des evolvierenden Systems zulassen (4). Für den einzelnen Orga-

nismus ergeben sich daraus zwei potentiell erfolgreiche Wettbewerbsstrategien: die effiziente Nutzung vorhandener Energieflüsse und die Nutzbarmachung bislang ungenutzter Energiepotentiale. Eine Verallgemeinerung dieses Konzeptes geht von einer Hierarchie verschiedener Ebenen der Evolution aus, die jeweils nur teilweise unabhängig von den untergeordneten Ebenen sind (5). Die thermodynamische Effizienz als relevantes Kriterium der untersten Ebene ist nach diesem Konzept ein Bestimmungsfaktor sowohl für die „Fitneß“ von Organismen in der biologischen Evolution als auch für die Auswahl und Weitergabe nicht-genetisch fixierten Wissens in der ökonomischen Evolution.

Wenn thermodynamische Größen einen Einfluß auf die biologische und die ökonomische Evolution haben, dann müßten sich in deren Verlauf Regelmäßigkeiten in der Entwicklung der Energieflüsse ausmachen lassen. In der Tat gibt es Indizien dafür, daß sich sowohl in der Evolution der Biosphäre als auch in der kurzfristigen Ökosystem-Entwicklung einerseits eine Steigerung des gesamten Energieflusses und andererseits eine wachsende Energieeffizienz einzelner Prozesse beobachten läßt.

Ähnliche Prozesse kennzeichnen auch die wirtschaftliche Entwicklung (6). Zum einen hat der Pro-Kopf-Energieverbrauch im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklung drastisch zugenommen; physische Arbeit und zunehmend auch geistige Routinearbeit wurden und werden durch Maschinen ersetzt, deren Entwicklung das Resultat zunehmenden technischen Wissens ist und deren Betrieb tendenziell energieintensiver ist als die menschliche Arbeit. Zugleich werden einzelne Prozesse im Zuge der Weiterentwicklung von Technologien immer *energieeffizienter*.

Beide Entwicklungen lassen sich als Ergebnis der Selbstorganisationsdynamik verstehen. Sie spiegeln keine individuellen Ziele wider, sondern sind, wie weiter unten ausgeführt wird, Effekte der wettbewerblichen Selbstorganisation durch die Interaktion der Akteure. Ob im Verlauf der ökonomischen Evolution Energieverfügbarkeit oder Energieeffizienz größere relative Bedeutung hat, hängt von den Randbedingungen des Wirtschaftens ab. Die wirtschaftliche Evolution ist durch bewußte Entscheidungen sowie durch kulturelle und institutionelle Beschränkungen beeinflusst (7). Diese sind oft wieder das Ergebnis von Wirkungszusammenhängen, die als Selbstorganisationsphänomene charakterisiert werden können.

► Individuen und Selbstorganisation

Auch auf der Ebene des menschlichen Verhaltens führt Interaktion zu Selbstorganisation. Die wesentliche Rolle spielen hierbei Individuen, die Entscheidungen treffen. Dabei ist das Denken der offensichtlichste, weil bewußte, Teil des Vorgangs, durch den ein Individuum zu einer Entscheidung gelangt. Allerdings sind individuelle Entscheidungen in hohem Maße durch Interaktionen mit anderen Individuen beeinflusst. Erstens müssen die Entscheidungen anderer Individuen, sofern sie von den eigenen nicht unabhängig sind, in das eigene Denken mit einbezogen werden. Zweitens unterliegt das Denken – oder zumindest die daraus folgenden Entscheidungen – Beschränkungen, die als Normen, Werte, Bräuche oder Gewohnheiten für jeweils unterschiedliche Teilgruppen der Menschheit (zum Beispiel Kulturgemeinschaften, ethnische Gruppen oder *peer groups*) Bedeutung haben. Nicht alle dieser allgegenwärtigen Handlungsbeschränkungen sind uns bewußt und stehen beim Denken zur Disposition. Geschmack oder Moralvorstellungen beispielsweise sind Teil unserer Persönlichkeit und verändern sich oft unbemerkt und nur sehr langfristig. Sie sind Gegenstand sozialer Lernprozesse und damit ebenfalls das Ergebnis der Interaktion von Individuen.

Die individuelle Entscheidung ist also durch die kulturelle und institutionelle Umwelt geprägt. Andererseits wirkt das individuelle Handeln aber auch auf die Umwelt zurück. Alle diese Erscheinungen sind Ergebnis von Selbstorganisation, weil sie nur durch das Zusammenwirken von Subsystemen, nicht aber durch deren isolierte Betrachtung erklärbar sind. Das Individuum hat um so geringere Möglichkeiten, das von ihm verfolgte Ergebnis direkt herbeizuführen, je größer der Teil des Systems ist, auf das sie sich gegebenenfalls auswirken. Zwar kann eine einzelne Entscheidung durchaus sehr großräumige, ja globale Auswirkungen haben, aber sie ist dann das Ergebnis zahlreicher, sich daran anschließender Interaktionen, die nicht vorhersehbar sind und damit auch nicht von vornherein in das Kalkül einbezogen werden können.

Es gibt zahlreiche Indizien dafür, daß auch viele konstitutive Elemente des derzeitigen Wirtschaftssystems, wie etwa Institutionen, als Ergebnis selbstorganisierender Prozesse entstanden sind und ihrerseits Wirkungen nach sich ziehen, die in

vielen Fällen nicht vorhersehbar waren. Das Recht der Unternehmer zur *Aneignung der Gewinne* schafft den Anreiz zur Bildung von Kapital und damit für das Entstehen unternehmerischer Tätigkeit. Voraussetzung für die Erwirtschaftung eines Gewinns ist weiterhin der Tausch der Produkte gegen benötigte Ressourcen, Arbeitskraft oder Produkte anderer Unternehmer und damit die *Festlegung und Durchsetzung von Eigentumsrechten und Vertragspflichten*. Als wichtiger Katalysator kann auch die Einführung der *Geldwirtschaft* angesehen werden, denn sie erleichtert Unternehmern und Kunden die Suche nach geeigneten Tauschpartnern. Der *Wettbewerb* auf den Märkten schließlich ist sowohl Koordinationsinstrument für die Austauschakte als auch Antrieb des Wandels.

► Wettbewerbsdynamik und Umweltprobleme

Selbstorganisation als dynamisches Konzept der Entstehung von Makrostrukturen durch Mikrointeraktion ist in der Ökonomik bereits vor über 200 Jahren thematisiert worden. Adam Smith prägte die Metapher der „unsichtbaren Hand“, deren Wirken auf Wettbewerbsmärkten die Handlungen von Anbietern und Nachfragern zum beiderseitigen Vorteil koordiniert. Wäre der Marktwettbewerb nur ein Koordinationsmechanismus, dann kämen Angebot und Nachfrage auf den verschiedenen Märkten früher oder später zum Ausgleich – ein stabiles Gleichgewicht würde erreicht. In der Folge würden die Profite verschwinden und damit der Anreiz zu investieren. Gerade die Antizipation des Verschwindens der Profitmarge motiviert die Unternehmer dazu, Innovationen einzuführen, um die Gewinne wieder zu erhöhen (6). Dadurch entfernt sich das System vom Gleichgewicht und in dem Maße, wie das Ungleichgewicht größer wird, nimmt die Dynamik dieses sich selbstorganisierenden Systems zu – die Wirtschaft wächst.

Das Zusammenwirken der im letzten Abschnitt dargestellten Institutionen macht die spezifischen Rahmenbedingungen aus, unter denen dieser Wettbewerbsprozeß in marktwirtschaftlichen Systemen abläuft. Die große individuelle Freiheit in diesen Systemen erlaubt vielfältiges Experimentieren und innovative Problemlösungen. Individuelle Akteure können unter diesen Umständen Chancen im Wettbewerbsprozeß realisieren, indem sie neue Produkte zur Befriedigung bislang unbefriedigter Wünsche und Bedürfnisse anbieten oder indem sie kosten-senkende Prozeßinnovationen einführen.

Weil das Wirtschaftssystem ein dissipatives System ist, haben die Innovationen Rückwirkungen auf der biophysikalischen Ebene. Die Einführung neuer Produkte hat in der Vergangenheit zu einer enormen Erhöhung des Energieverbrauchs beigetragen. Prozessinnovationen haben einerseits Arbeitsleistung durch Energieeinsatz ersetzt, andererseits die Wirtschaftsleistung in Relation zur eingesetzten Energie erhöht. Die Steigerung von Energieverbrauch *und* Energieeffizienz stellen dabei unbeabsichtigte Nebenwirkungen auf der Makroebene dar, die mit der wettbewerblichen Selbstorganisation aufgrund der Verfolgung individueller Ziele einhergehen.

Letztlich werden Innovationen durch einen Zuwachs an Wissen ermöglicht. Die Evolution des Wissens ist selbst ein durch nichtlineare Selbstverstärkung gekennzeichneter Prozeß. Wissen wirkt „autokatalytisch“, wenn es dazu beiträgt, neues Wissen zu generieren bzw. die Speicherung und Verbreitung von Wissensinhalten zu erleichtern (wie beispielsweise Informationstechnologien). Es kann zur Erhöhung der zukünftigen Produktionsmöglichkeiten eingesetzt werden und wird damit im ökonomischen Sinn zu Kapital. Investiertes Wissen wirkt als Katalysator, der weiteres Wissen und weitere Energie für den Wirtschaftsprozess verfügbar macht. Als Folge der Selbstverstärkungstendenz des Wissensschaffungsprozesses ändert sich in dynamischen Marktwirtschaften die Qualität von Produkten und Produktionsverfahren in immer kürzeren Abständen.

Aufgrund dieser Dynamik existiert nicht *ein* einziges Umweltproblem, das mit Hilfe *eines* endlichen Bündels von Instrumenten beseitigt werden könnte, sondern Umweltprobleme treten auf die unterschiedlichste Art und dabei sukzessive auf. Schon hier entstehen durch Wechselwirkungen zwischen einzelnen Schadstoffen (und der Umwelt) nichtlineare Beziehungen, die

zu Selbstorganisationsprozessen führen können. Beispielsweise treten durch die Assimilationskapazität der Umwelt Probleme oft erst mit beachtlicher zeitlicher Verzögerung in Erscheinung. Analoges gilt in verstärktem Umfang für die Umweltpolitik. Jede einzelne Maßnahme entfaltet ihre Wirkung durch die Interaktion von Initiatoren (Politik, Verwaltung), Betroffenen (Produzenten, Konsumenten, Geschädigte) und anderen Institutionen, die ihrerseits wieder neue Probleme hervorbringt oder mit bereits bestehenden Problemen interagiert. Durch diesen Selbstorganisationscharakter ist es schwierig, wenn nicht unmöglich, die Probleme durch einfaches Nachdenken zu lösen. An dessen Stelle muß ein teilweise gerichteter *trial and error*-Prozeß treten, wodurch die Implementation wirksamer Problemlösungen eine beachtliche Menge Zeit erfordert (8).

► Fazit

Ausgangspunkt dieser Überlegungen war die Suche nach Ursachen für die mit der wirtschaftsweise industrialisierter Gesellschaften verbundenen Umweltprobleme. Dabei haben wir vorgeschlagen, am Konzept der Selbstorganisation anzusetzen, die sich in einer Hierarchie voneinander abhängiger Ebenen vollzieht. Wir haben gezeigt, wie die Interaktion von Akteuren Entscheidungen beeinflusst und zur Ausbildung von Institutionen führt. Die konkrete Ausgestaltung der Institutionen in marktwirtschaftlichen Wirtschaftssystemen verstärkt die wettbewerbliche Dynamik und begünstigt fortlaufende Innovationsprozesse. Diese Innovationen führen – da das Wirtschaftssystem ein dissipatives System darstellt – zu Effekten auf der biophysikalischen Ebene; neben steigender Energieeffizienz bewirken sie tendenziell auch einen immer höheren Gesamt-Energieverbrauch. Darüber hinaus verursacht der Wandel durch Innovationen ständig neue Umwelteffekte, deren Wirkungen auf komplexe Weise interagieren und die nicht ohne Zeitverzögerungen erkannt und angegangen werden können. Die Konzepte der Evolutionsökonomik können auf diese Weise einen Beitrag zur Erklärung der Entstehung von Umweltproblemen leisten und auch die Zeitverzögerungen begründen, die etwa in den eingangs erwähnten Modellierungen von Beckenbach und Pasche (1) vorausgesetzt werden und die dafür verantwortlich sind, daß die kontrollierte Steuerung der Wirtschaft zur Vermeidung von Umweltproblemen nicht ausreicht.

Anmerkungen

- (1) Beckenbach, Frank: Ökologische Ökonomie und nicht-lineare Systemmodellierung, in Beckenbach, Frank; Hans Diefenbacher (Hrsg.): Zwischen Entropie und Selbstorganisation, Marburg: Metropolis, 1994, S. 247-315.
- Pasche, Markus: Ansätze einer evolutiven Umweltökonomik, ebd., S. 75-118.
- (2) Eigen Manfred; Peter: Schuster: The Hypercycle, Berlin u.a.: Springer, 1979.
- Prigogine, Ilya; Isabelle Stengers: Order out of Chaos, Boulder / London: New Science Library, 1984.
- (3) Die Relevanz der Gesetze der Thermodynamik für die Ökonomik und damit die Notwendigkeit von Energie für jeden Produktionsprozeß wurde erstmals herausgestellt von Nicolas Georgescu-Roegen: The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, MA / London: Harvard University Press, 1971.
- Ein aktueller Überblick findet sich beispielsweise in Faber, Malte, Reiner Manstetten, John Proops: Ecological Economics, Cheltenham: Edward Elgar, 1996.
- (4) Lotka, Alfred J.: Elements of Mathematical Biology, New York: Dover, 1956 (erstmal 1945 unter dem Titel „Elements of Physical Biology“ veröffentlicht).
- (5) Depew, David J., Bruce H. Weber: Darwinism Evolving, Cambridge MA: MIT Press, 1995.
- (6) Witt, Ulrich: Self-organization and economics - what is new? In: Structural Change and Economic Dynamics 8 (1997), S. 489-507.
- (7) O'Connor, Martin: Entropy, structure, and organisational change, in: Ecological Economics 3 (1991), S. 95-122.
- (8) Sartorius, Christian: Verhaltensdynamik und der Verlust von Nachhaltigkeit, in: Renner, Andreas; Friedrich Hinterberger (Hrsg.): Zukunftsfähigkeit durch Wettbewerb, Baden-Baden: Nomos (erscheint voraussichtlich im Juli 1998).

Die drei Säulen der Nachhaltigkeit

ist das Thema des Informationsdienstes
Ökologisches Wirtschaften 6/98

Wenn Sie potentielle Beiträge haben,
wenden Sie sich bitte an die Redaktion!

Die Autoren

Guido Bünstorf und Dr. Christian Sartorius sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts zur Erforschung von Wirtschaftssystemen in Jena.
Kontakt: Max-Planck-Institut zur Erforschung von Wirtschaftssystemen, Abteilung für Evolutionsökonomik, Kahlaische Straße 10, 07745 Jena.
Tel. 03641/68 68 01, Fax 03641/68 68 68,
E-mail: buenstorf@mpiew-jena.mpg.de

(c) 2010 Authors; licensee IÖW and oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivates License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.