

**KOMPLEXITÄTSTHEORIE UND GEOGRAPHIE –  
EIN BEITRAG ZUR BEGRÜNDUNG EINER ANDEREN SICHT  
AUF SYSTEME**

Beate M.W. RATTER, Mainz\*

*Wenn man denkt, das Unausweichliche wird geschehen,  
dann geschieht das Unerwartete.*  
Enrique CARDOSO, ehemaliger Staatspräsident von Brasilien

INHALT

<i>Summary</i> .....	109
<i>Zusammenfassung</i> .....	110
1 Einleitung .....	110
2 Die Komplexitätstheorie und dynamische Systeme.....	112
3 Systemverhalten in komplexen Systemen.....	114
4 Vom Akteursbegriff zum Agentenbegriff.....	116
5 Die Komplexitätstheorie in der Geographie.....	117
6 Fazit .....	122
7 Literaturverzeichnis .....	123

*Summary*

*Complexity theory and geography – a contribution to the discussion on an alternative perspective on systems*

*Complexity theory has attracted considerable attention in a number of disciplines. After two centuries of studying equilibria, the focus of the studies has shifted to the emergence of structures and the unfolding of patterns in natural and social systems. More often than displaying simple, static equilibria, systems are ever-changing, perpetually showing novel behaviour and emergent phenomena. Complexity theory portrays systems as non-predictable and non-mechanistic, but as constantly evolving. In this paper, ideas and approaches of complexity science are reviewed. It is argued that this approach has a lot to offer to human and physical geography as well as to*

\* Univ.-Prof. Dr. Beate M.W. RATTER, Geographisches Institut, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, D-55099 Mainz; e-mail: ratter@uni-mainz.de; <http://www.staff.uni-mainz.de/ratter/>

*the study of human-nature interaction. Drawing on complexity science, the renewed engagement between physical and human geography as well as between both and geographical information science seems possible, based on clearly shared concerns with the representation of geographical phenomena. In conclusion, it is suggested that complexity theory may be considered a constructive way to link the diverse perspectives within the discipline. This is important, above all, for coping with the difficulties of future environmental planning and management.*

### Zusammenfassung

*Die Komplexitätstheorie ist ein für zahlreiche Disziplinen attraktiver Weg, das Verhalten von dynamischen Systemen zu untersuchen. Während es lange Zeit üblich war, stabile Systeme zu behandeln, liegt der neue Fokus auf der Analyse der Veränderung und des Wandels in Natur- und Sozialsystemen. Die Komplexitätstheorie behandelt dynamische Systeme, deren Verhalten unvorhersehbar ist und sich durch die Emergenz von Strukturen, die Nichtlinearität und die Rolle von Agenten im Systemverlauf kennzeichnen lässt. Dieser Ansatz hat sowohl für die Physische als auch für die Humangeographie viel zu bieten, besonders interessant ist ihr Einsatz in der Behandlung des Überschneidungsbereichs von Natur- und Sozialsystemen bei der Mensch/Natur-Interaktion. Es wird argumentiert, dass die Komplexitätstheorie für beide Teile der Geographie als anschlussfähig betrachtet werden kann und einen Gewinn bringenden Weg darstellt, die unterschiedlichen Perspektiven in der Geographie miteinander zu verknüpfen, und der Angewandten Geographie in der Planung und beim Ressourcenmanagement zur Seite stehen kann.*

## 1 Einleitung

*Komplex* wurde in jüngster Zeit zum Modewort. *Komplexe Probleme* tauchen überall auf. Die Verwendung des Begriffs *komplex* verweist häufig auf Probleme, die noch komplizierter als kompliziert erscheinen, eben komplex. Die *Komplexitätstheorie* freilich benutzt den Begriff anders. In ihr bedeutet *komplex* mehr als nur kompliziert. *Komplex* im Sinne der Komplexitätstheorie beschreibt ein Verhalten von Systemen, das durch Nichtlinearität, Emergenz und Überraschung gekennzeichnet ist. Dieses Verhalten führt nicht zuletzt zu Unsicherheiten, denen wir in der Realität begegnen und vor allem in der strategischen Planung Rechnung tragen sollten. „Das Wichtigste, was man über Komplexität wissen muss, ist ganz einfach: Es kommt immer noch was nach.“ (LOTTER 2006, S. 46).

Geographen beschäftigen sich mit Systemen. Diese theoretischen Konstruktionen sollen helfen, die Welt besser zu verstehen. Die allgemeinen Systemtheorien sind dafür freilich nur eingeschränkt nützlich, da sie sich überwiegend mit stabilen Zuständen oder linearen Beziehungen beschäftigen. In ihren Modellen spielen vor allem die Stoffflüsse

(z.B. Energie, Information) eine zentrale Rolle. Hierbei stehen die Quantitäten der Stoff- und Energieflüsse im Mittelpunkt und nicht notwendigerweise ihre Qualität. „Systems theory favours simplification and parameterization of flows and stocks, a process that assumes that the system exists in equilibrium and therefore negates the need to examine changing relationships between systems elements.“ (MANSON 2001, S. 406) Und damit geht ein entscheidender Aspekt verloren: das qualitative Verhalten von Systemen.

Die Komplexitätstheorie behandelt nichtlineare Beziehungen zwischen Systemelementen in dynamischen Systemen. Ihr Forschungsinteresse zielt auf das komplexe Verhalten von Systemen und wie dieses Verhalten aus der Interaktion einfacher lokaler Systemkomponenten über einen Zeitraum hinweg entsteht. „Complexity research is concerned with how systems change and evolve over time due to interaction of their constituent parts.“ (MANSON 2001, S. 406).

Es geht also nicht darum, *was* Systeme sind, sondern der Schwerpunkt liegt auf der Frage, *wie* sich Systeme verhalten. Die Komplexitätstheorie liefert einen Gewinn bringenden Ansatz, sich der überholten Vorstellungen von linearen, prognostizierbaren Vorstellungen zu entledigen und das Paradigma des Gleichgewichts über Bord zu werfen, demzufolge ein Gleichgewichtszustand das Typische eines Systems ist und die Transienten zwischen den Gleichgewichtszuständen eher eine Anomalität darstellen (vgl. LEWIN 1992). Das ist nicht zuletzt für die Angewandte Geographie relevant; in der Planung – und sogar in Gesetzen wie etwa dem Bundesnaturschutzgesetz – wird oft und irrigerweise die Höherwertigkeit des „Gleichgewichtszustandes“ vorausgesetzt.

Die Komplexitätstheorie kann der Geographie zu einem Gestaltwechsel verhelfen. Der Begriff *Gestaltwechsel* – eine Entlehnung aus der Gestaltpsychologie – beschreibt einen Wechsel der Perspektive, in der die Welt ein anderes Gesicht erhält. Die veränderte Sichtweise kann Gegenstände in vollkommen veränderter Gestalt erscheinen lassen. Ein verwirrendes Durcheinander von Einzelprozessen kann mit Hilfe der Komplexitätstheorie als Formbildungsprozess verstanden werden. Es geht also um eine Sensibilisierung für eine neue, eine andere Betrachtungsweise. HEINZ VON FOERSTER sagte: „Der Beobachter kann nicht sehen, dass er nicht sieht, was er nicht sieht“ (VON FOERSTER 1997, S. 234).

Ein derartiger Gestaltwechsel könnte auch dazu beitragen, die breit diskutierte Sprachbarriere zwischen sozialwissenschaftlichen und naturwissenschaftlich orientierten Geographen zu überwinden (vgl. HARRISON et al. 2004, LANE 2001, MASSEY 1999). Die Komplexitätstheorie ist eine Möglichkeit, stattdessen zu einem Denken anzuregen, das helfen kann, unterschiedliche Systeme nach den gleichen Grundsätzen zu denken.

Für diese These werden im Folgenden Gründe und Belegbeispiele angeführt. An erster Stelle steht die Begriffsklärung – was ist komplex? In diesem Zusammenhang werden die Grundlagen der Komplexitätstheorie dargelegt, und es wird an ausgewählten Beispielen verdeutlicht, wie das Systemverhalten mit Hilfe der Komplexitätstheorie besser verstanden werden kann. Anhand der Schlüsselbegriffe – Evolution, Pfadabhängigkeit, Emergenz und Nichtlinearität – soll die veränderte Sichtweise auf Systeme behandelt werden. Danach wird die bisherige Rolle der Komplexitätstheorie in der Geographie diskutiert, und es werden ihre Anwendungsmöglichkeiten für geographisch-planerische Aufgaben herausgearbeitet.

## 2 Die Komplexitätstheorie und dynamische Systeme

Die Perspektive der Komplexitätstheorie ist ein relativ junger Ansatz, systemisches, nichtlineares Verhalten zu erklären. Sie ist in den formalen Wissenschaften beheimatet, namentlich in Informatik, Physik, Chemie und zunehmend auch in Teilen der Biologie. Sie ist mathematisch formuliert und beschreibt mit formalen Methoden, wie sich aus der lokalen und wiederholten Interaktion zwischen Komponenten bestimmte Formen herausbilden und sich wandeln (vgl. EISENHARDT et al. 1995, PEITGEN & RICHTER 1986). Diese Perspektive hilft bei mathematischen, physikalischen, chemischen und biologischen Problemen, allerdings hält sie in weit mehr Wissenschaften Einzug als in den reinen Naturwissenschaften – z.B. in den Rechtswissenschaften, der Medizin, der Ökonomie, der Psychologie etc. –, in allen Wissenschaften letztlich, in denen sich die Frage nach der Interaktion innerhalb von Vielteilchensystemen stellt, die nichtlineare Phänomene aufweisen (vgl. HOLLAND 1998, KAUFFMAN 1995). Sowohl in der Human- als auch in der Physischen Geographie haben wir es mit dynamischen, komplexen Systemen zu tun. Die Komplexitätstheorie hilft, deren Verhalten besser zu erklären.

In der Komplexitätstheorie bedeutet „komplex“, dass sich aus dem lokalen (möglicherweise sehr simplen, unkomplizierten) Zusammenwirken vieler (nicht notwendigerweise von einander verschiedener) Teile globale Formen herausbilden. In diesem Sinne bezeichnet „Komplexität“ ein Werden.<sup>1)</sup>

Ein **Beispiel** für das Entstehen nichtlinearer Phänomene aus dem Wechselspiel simpler Elemente ist das Doppelpendel, bestehend aus einem einfachen Pendel, an dessen Ende ein zweites schwingt. Wird es angeregt, dann schwingen seine Glieder einmal erratisch, dann beinahe im Gleichklang, dann wieder chaotisch etc. Feinste Auslenkungen oder Störungen führen zu vollständig unterschiedlichen Bewegungsfolgen dieses doch sehr einfach aufgebauten Systems. Sein Verhalten indes ist nicht einfach, sondern komplex.

Ein Doppelpendel ist ein komplexes System, das nicht kompliziert ist. Derartige Systeme können nicht allein durch die Beschreibung der einzelnen Elemente verstanden werden. Von Bedeutung sind die iterierte und rückgekoppelte Interaktion zwischen den Elementen und die Konsequenzen, die aus diesen Interaktionen für das gesamte System resultieren und es kennzeichnen.

Das Doppelpendel könnte sich durchaus als Metapher für das gekoppelte Gesellschaft-Natur-System eignen, wenngleich dessen zwei Elemente selbst nicht einfache, sondern ihrerseits komplexe Systeme sind, noch dazu zwei grundverschiedene. Das Zusammenspiel dieser beiden miteinander verkoppelten Systeme ist streng nichtlinear, komplex und selbstorganisierend. Nicht nur einfache Systeme wie das Doppelpen-

<sup>1)</sup> Unter Komplexitätstheoretikern wird darüber diskutiert, inwieweit ihre Denkweise „holistisch“ oder „reduktionistisch“ ist (siehe BYRNE 1998). Die Komplexitätstheorie erklärt das Verhalten von Systemen als Ganzes aus den iterierten und rückgekoppelten Wechselwirkungen ihrer Teile. Insofern wird der Streit um Holismus und Reduktionismus obsolet (wenn er nicht schon immer nur ein Streit um Forschungsstrategien und damit um Ressourcenverwendung war; vgl. auch MALANSON 1999, O'SULLIVAN 2004).

del zeigen ein komplexes Verhalten, sondern auch Vielteilchensysteme wie beispielsweise rutschende Sandmassen oder Wolken und ebenso soziale Vielteilchensysteme wie beispielsweise die Börse oder der Straßenverkehr. Mit Vielteilchensystemen hat es auch die Geographie zu tun.

Die Tauglichkeit formaler Modelle für die Sozialwissenschaft ist stets umstritten gewesen. Im Falle der Komplexitätstheorie handelt es sich um einen Ansatz, der von vorhergehenden quantitativen Sozialtheorien zu unterscheiden ist, denn er stellt nicht etwa formale Beziehungen zwischen aggregierten Größen (wie beispielsweise Produktivität und Bevölkerungszahl) her, sondern er schlägt vor, das Ergebnis iterierter Wechselwirkungen zwischen lokalen Entitäten zu berechnen. An dieser Stelle zeigt sich auch eine spezifische Schwäche der Komplexitätstheorie: In den Systemen, die sie beschreibt, kommt es sehr auf die Randbedingungen an, auf feine Abweichungen in den Konstellationen zum Zeitpunkt  $t_0$ , die in unterschiedlichen Konstellationen zum Zeitpunkt  $t_1$  resultieren. Damit aber verlangt die Theorie, um die Wirklichkeit zutreffend beschreiben zu können, eine Messgenauigkeit, die nur in konstruierten Welten wie der Informatik, prinzipiell aber nicht in der physikalischen oder gar in der sozialen Wirklichkeit erreicht werden kann. Was aber bleibt dann von ihrer Tauglichkeit? Viel, nämlich: Einsicht in bestimmte Systemeigenschaften. Auch mit der Komplexitätstheorie lassen sich weder ein Herzinfarkt noch eine politische Revolution vorhersagen, wohl aber eine Aussage darüber treffen, unter welchen Bedingungen ein Herzinfarkt droht – und vielleicht auch, sobald die Adaption der Komplexitätstheorie durch die Gesellschaftswissenschaften vorangeschritten ist, wann einer Gesellschaft eine radikale Formveränderung bevorstehen könnte.

Solche Überlegungen wendet die Komplexitätstheorie nicht etwa in dem Sinne an, dass man aus formalen Modellen präzise Voraussagen ableiten würde, sondern metaphorisch. Um bei den Beispielen zu bleiben, verhielte sich danach ein Herz oder eine Gesellschaft ähnlich wie ein bestimmtes, zu begründendes formales Modell, dessen Verhalten komplex ist (mehr dazu bei BYRNE 1998, S. 54ff.).

Insbesondere die aus der mathematisch formulierten Komplexitätstheorie bekannte Existenz von Attraktoren könnte eine für Gesellschaftstheorien erkenntnisförderliche Metapher sein. In etlichen dynamischen Systemen konzentrieren sich die möglichen Zustände, die diese – in Abhängigkeit von den Randbedingungen zum Zeitpunkt  $t_0$  – zum Zeitpunkt  $t_1$  einnehmen, auf bestimmte Teilmengen des Zustandsraums. Diese Teilmengen üben also gewissermaßen eine Anziehungskraft auf die Systementwicklung aus, weshalb sie „Attraktoren“ genannt werden. Sie bringen auf diese Weise ein wenig Ordnung ins Chaos der möglichen Systemtrajektorien. Allerdings können die Abweichungen innerhalb dieser Teilmengen im Vergleich zu den oft nur minimalen Unterschieden in den Anfangsbedingungen der Systementwicklung enorm sein. So gesehen nimmt es beispielsweise zwar nicht Wunder, dass in vielen Gesellschaften mittlerweile die Marktwirtschaft dominiert, aber deren Ausprägung sehr unterschiedlich sein kann, selbst im Vergleich von kulturell ähnlichen Nachbarländern.

### 3 Systemverhalten in komplexen Systemen

Die Komplexitätstheorie versucht, das Verhalten von Systemen zu verstehen, also von zusammengesetzten Einheiten, deren Glieder untereinander in Wechselbeziehungen stehen. Typische Begriffe, mit denen die Komplexitätstheorie Phänomene beschreibt, sind Evolution, Pfadabhängigkeit, Emergenz, Nichtlinearität und Agenten.

#### 3.1 Evolution und Pfadabhängigkeit

Evolution bezeichnet zunächst die Verlaufsbahn einer Systemgeschichte, die Trajektorie. In dieser Geschichte kann das Phänomen der „Pfadabhängigkeit“ auftreten: Eine kleine Veränderung der Trajektorie (oder der Randbedingungen des Systems) kann zu gewaltigen Wirkungen führen, die nicht mehr rückgängig zu machen sind, sondern von da an die Geschichte des Systems beeinflussen. Und weil feine Veränderungen unterhalb von Mess- oder Wahrnehmungsschwellen liegen können, tritt Überraschung auf.

Ökologische und ökonomische Systeme verhalten sich ähnlich, sie sind von der Wirkung ihrer konstituierenden Elemente abhängig. Das Erscheinen, Verschwinden oder die Mutation der Elemente kann weit reichende Wirkungen auf andere Elemente haben. So kann zum Beispiel die Einführung einer einzelnen Spezies nicht nur die anderen Spezies im Ökosystem beeinflussen, sondern das ganze Ökosystem verändern.

**Beispiel:** Die Einführung der Kamtschatka-Rose (*rosa rugosa*) in Deutschland seit dem Ende des 19. Jahrhunderts führte in weiten Teilen des betroffenen Ökosystems, insbesondere im Küstenbereich, zu einer geradezu dramatischen Verdrängung heimischer Arten und einer kompletten Umgestaltung des Ökosystems. Die Kamtschatka-Rose ist eine beliebte Zierpflanze, die vor allem wegen ihrer Widerstandsfähigkeit, Frosthärte und Salztoleranz vielfach an Böschungen in Wohngebieten, aber auch außerhalb von Siedlungen an Straßen und Autobahnen gepflanzt wird. Zu ihrem Erfolg trägt vor allem ihre Ausbreitungsstrategie bei. Die Früchte werden von Silbermöwen gefressen, die die Samen unverdaut ausscheiden. Daneben werden die Samen auch mit dem Wasser entlang der Küsten verbreitet. Nicht nur wegen dieser robusten Ausbreitungswege, sondern vor allem auch wegen ihrer Fähigkeit zum Austrieb aus Spross- oder Wurzelfragmenten ist die Kamtschatka-Rose nicht leicht zu bekämpfen. Als Problem wird die schrittweise völlige Umgestaltung nicht nur der Vorgärten der Wohnhäuser, sondern vor allem die Veränderung des gesamten Ökosystems aufgrund dieser aggressiven Verbreitungs- und Verdrängungsstrategie wahrgenommen. Kamtschatka-Rosen-Dominanzbestände sind wesentlich artenärmer als nicht von der Art besiedelte Systeme, dafür allerdings auch besser an vom Menschen geschaffene Extremstandorte wie die Mittelstreifen von Autobahnen angepasst. Die ansässigen lichtbedürftigen Pflanzenarten werden verdrängt, darunter auch seltene und gefährdete Arten, weshalb die Pflanze für viele Arten- und Biotopschützer ein Problem ist (vgl. KOWARIK 2003, S. 238ff.).

Kleine Störungen, wie die Einfuhr eines Neophyten, Schädlingsbefall oder Feuer, können zu großmaßstäbigen Neuverteilungen der Ressourcen und neuen Zusammenhängen in der internen Struktur eines Ökosystems führen (vgl. HOLLING 1978, 2004).

### 3.2 Emergenz

Emergenz ist ein Phänomen, das sich aus der Interaktion der konstituierenden Elemente eines Systems entwickelt. Mit simplen Regeln können komplizierte Strukturen hergestellt werden. Und kleine Abweichungen der simplen Regeln generieren unterschiedliche Strukturen. Liegen die Abweichungen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle, tauchen die Strukturen überraschend auf (siehe oben) und lassen sich nicht mit Instrumenten vorhersagen, die einfacher sind als das System selbst. Emergenz ist zuweilen kontraintuitiv, weil das Verhalten des Ganzen möglicherweise ganz anders aussieht als das Verhalten einzelner Teile. Emergente Strukturen gehen auf Prozesse der Selbstorganisation zurück, die innerhalb von Systemen stattfinden.

Der Begriff der Selbstorganisation wurde zuerst für chemische Systeme benutzt (NICOLIS & PRIGOGINE 1989), in deren Dynamik nicht gemusterte Stadien ohne eine Intervention von außen durch Stadien von Mustern abgelöst werden. Das spontane Auftreten, die Emergenz von Mustern geschieht meist durch nichtlineare Prozesse oder als Ergebnis der Interaktion einzelner Elementbeziehungen innerhalb eines Systems (KAUFFMAN 1995, PEITGEN & RICHTER 1986).

**Beispiele:** Ein klassisches Beispiel für emergentes Verhalten aus den Naturwissenschaften sind Kristallbildungsprozesse. Ein sozialwissenschaftliches Beispiel ist der Verkehrsstau. Der Verkehrsstau ist das Emergenzresultat aus der Interaktion vieler Autofahrer. Jeder einzelne Fahrer versucht, ein Ziel zu erreichen, dazu verfolgt er bestimmte Strategien, hier „Regeln“ genannt. Manche Regeln sind legale Regeln (Einhaltung der Höchstgeschwindigkeit), andere sind soziale Regeln (Verlangsamung der Geschwindigkeit, um andere in die Autoschlange einbiegen zu lassen) oder unsoziale Regeln (Vordrängen vor vermeintlich kleineren oder schwächeren Autos). Auch ohne blockierendes Extremereignis (Unfall, Baustelle etc.) kann es im fließenden Verkehr, dem diese Regeln zugrunde liegen, zu einem Stau kommen. Die Interaktion einzelner Autofahrer, die sich zu Beginn nur rücksichtsvoll, vorsichtig oder egoistisch verhalten, kann zu Behinderungen führen, die sich dann aus nicht ersichtlichen Gründen nach hinten fortsetzen, auch wenn die Autos vorne weiterfahren. Aus der Summe individueller Verhaltensweisen einzelner separater Verkehrsteilnehmer resultiert der Stau.

Ein weiteres Beispiel ist die Entwicklung der Börse, die ein völlig erratisches Verhalten aufzuweisen scheint, das aber auf individual-rationale Entscheidungen einzelner Systemelemente (Aktienhändler) zurückzuführen ist. „An economy has emergent qualities such as volatility and investor ‘herd behaviour’ that are commonly attributed to irrationality or imperfect markets but in fact are intrinsic to rational, local interactions and their non-linear consequences.“ (MANSON 2001, S. 410).

### 3.3 Nichtlinearität

Es kommt hinzu, dass der Übergang von einem Makrozustand des Systems zum nächsten womöglich über sehr wenige Stufen verläuft; solche „Nichtlinearität“ (G.W.F. HEGELS berühmter „Abbruch der Allmählichkeit“) steht im Widerspruch zur aristotelischen Naturlehre „*natura non facit saltus*“. Die Sprünge resultieren aus

der Interaktion zwischen den Elementen. Dynamische, komplexe Systeme geraten immer wieder in Phasen des Übergangs, die man aus den einzelnen Systemelementen heraus nicht erklären kann. Entscheidend für das Verständnis der Veränderungen im Systemverlauf ist die Aufdeckung der so genannten Bifurkationspunkte. Dies sind Punkte, an denen sich der Zustand des Systems und damit der weitere Systemverlauf entscheidend verändert. Überraschungen sind Teil des Systemverlaufs. Viel zitiert ist der Ausspruch des österreichischen Teilchenphysikers Anton ZEILINGER: „Es würde mich sehr überraschen, wenn mich die Zukunft nicht sehr überraschen würde“ (vgl. GROTELÜSCHEN 2000).

**Beispiele:** Ein einleuchtendes Beispiel aus der Natur ist der Schmelz- oder der Siedepunkt von Wasser. Ein anfänglich gradueller Temperaturanstieg führt zur Erhöhung der Temperatur in einer Flüssigkeit. Am Siedepunkt geschieht der Sprung und das komplette System hat einen völlig anderen Zustand erreicht. Es gibt auch Beispiele aus der Wirtschaftswelt, die zu Sprüngen in der Entwicklung eines Systems führen können (vgl. ARTHUR 1999). So setzen sich disruptive Technologien an einem bestimmten, nicht vorhersehbaren Punkt gegen andere Produkte schlagartig durch, sobald eine kritische Masse von Konsumenten sie akzeptiert hat (vgl. CHRISTENSEN 1997). Ein instruktives Beispiel hierfür war das Benzinauto, das sich nicht gleich zu Beginn der Entwicklung des Individualverkehrs gegen die Elektroautos durchsetzen konnte. Es musste erst zur Mode werden. Unter Technikhistorikern wird die Theorie erwogen, dass der Siegeszug des Benzinautos letztlich auf den Lärm und die Kraft zurückzuführen ist, nach der Männer in den Automobilen gesucht haben. Benzinautos strahlten mehr Power aus.

#### 4 Vom Akteursbegriff zum Agentenbegriff

Unterschiedliche Systementwicklungen und Überraschungen können der Komplexitätstheorie zufolge aus dem Zusammenspiel lokaler Instanzen entstehen, die jede für sich nur auf lokaler Ebene handeln. Entscheidend ist die Wechselwirkung der Instanzen mit den anderen Instanzen, die allesamt vielleicht nur über beschränkte oder gar keine Informationen verfügen, die aber doch die entscheidenden, die Gestalt gebenden Elemente eines Systems sind. Solche Instanzen werden als Agenten bezeichnet. Agenten sind Handelnde, die sich allerdings in einer Hinsicht extrem von einem Akteur im Sinne der Soziologie unterscheiden. Als Agent wird ein Akteur bezeichnet, der kein Wissen über das Gesamtsystem hat und dessen Handeln sich auch nur auf seine lokalen Umstände richtet. Ihm verhilft die Komplexitätstheorie zu neuen Ehren: „People certainly can make history because reflexive agency can influence crucial information changes in systems where the modulating role of information over energy is absolutely significant, but they do so from a given starting point, i.e. not in circumstances of their own choosing“ (BYRNE 1998, S. 6).

Der in den Sozialwissenschaften weit verbreitete handlungsorientierte Ansatz ver-säumt es, diesen wichtigen Zusammenhang zu berücksichtigen. In handlungsorientierten

Ansätzen liegt der Kern der Betrachtung auf der Rolle derjenigen Akteure, die sichtbar und bewusst ein System beeinflussen. Die Komplexitätstheorie zeigt, dass es allerdings nicht allein und ausschließlich diese Akteure sind, die ein System bestimmen.

Für die Entwicklung des Systemverlaufs kann freilich durchaus die Rolle ganz bestimmter Agenten und nicht die der Masse entscheidend sein. In ihrem Handeln sind sie beschränkt, ihre Handlungen haben jedoch – aufgrund ihrer Stellung im System – bei wiederholter Durchführung systemverändernden Charakter. Damit bestimmen solche Agenten den Fortgang des Systems mit, ohne selbst unbedingt „Entscheider“ im System zu sein. „Social history is full of agency, of agency at any scale“ (BYRNE 1998, S. 51).

**Beispiel:** Die Landschaftsplanung in Bruce und Grey County in Ontario, Kanada, gibt ein instruktives Beispiel für die Rolle von Agenten im Systemverlauf (vgl. RATTER 2001). Die 720 km lange Schichtstufe im Süden Ontarios sollte Ende der 1980er-Jahre mit Hilfe eines Landschaftsschutzkonzeptes vor weiteren Umweltbeeinträchtigungen bewahrt werden. Die beiden Gemeinden Bruce und Grey County im Norden der Region hatten dabei, ganz anders als die südlichen Gemeinden des hoch industrialisierten und entwickelten Südens des Golden Horseshoe, einander ähnliche Ausgangsbedingungen: Sie waren rückständig, agrarisch geprägt und fernab der Entscheidungszentren in Toronto. Freilich wiesen sie auch kleine Unterschiede auf, die sich über die Pfadabhängigkeit in ihrer Besiedlungsgeschichte erklären lassen. Eine unterschiedliche Besiedlungsmotivation resultierte in einer unterschiedlichen Natur- und Umweltwahrnehmung, die sich auch auf das Ressourcenverständnis auswirkte. Aber diese kleinen Unterschiede allein können das unterschiedliche Akzeptanzverhalten gegenüber dem geplanten Landschaftsschutzplan nicht erklären. Erst der Blick auf die Rolle einzelner – rein lokal handelnder – Agenten und deren Interaktionen half bei der Analyse des völlig unterschiedlichen Systemverhaltens und dadurch bei der Analyse der Akzeptanz (Bruce County) oder Nichtakzeptanz (Grey County) eines zentral eingerichteten Landschaftsschutzplanes zum Schutz des Niagara Escarpments (vgl. RATTER 2001).

## 5 Die Komplexitätstheorie in der Geographie

Die Geographie hat es in ihrer Geschichte immer wieder vermocht, Erkenntnisse anderer Disziplinen zu assimilieren. Die Komplexitätstheorie ist für diesen Aneignungsprozess eine interessante Kandidatin.

Sobald sie visualisiert werden, zeigen sich Formentstehungsprozesse in zwei- oder dreidimensionalen Räumen. Für die Geographie als einer Wissenschaft raumrelevanter Vorgänge klingt dies nach einer viel versprechenden Gelegenheit der Weiterentwicklung. Eine Hürde ist allerdings zu nehmen: diejenige der Formalität. In der Geographie sind allenfalls Hilfswissenschaften formalisiert, etwa auf dem Gebiet der Geographischen Informationssysteme; diese können gegebenenfalls die Komplexitätstheorie direkt adaptieren in Form von Modellierungen (vgl. O'SULLIVAN 2004). Für die Humangeo-

graphie gilt dies nicht. Gleichwohl kann sie die Komplexitätstheorie ebenfalls nutzen: Deren Erkenntnisse und Begrifflichkeiten lassen sich möglicherweise als metaphorische Sonden in das Raumeschehen verwenden.

Andere Disziplinen, die der Humangeographie benachbart sind, verfahren bereits so – etwa die Frankfurter Sozialökologie. Sie fasst Umweltprobleme als komplexe Gesellschaftsphänomene auf und nicht einfach als Naturerscheinungen (BECKER 2003, S. 4). Ein Programm der sozialökologischen Forschung in diesem Sinne hat auch Gilberto GALLOPIN von der UN-Wirtschaftskommission auf der Jahrestagung 2002 der American Association for the Advancement of Science (AAAS) umrissen:

- „Die neue Wissenschaft ist *sozial-ökologisch*: Sie bringt Umwelt- und Entwicklungsforschung dadurch zusammen, dass sich beide auf Natur-Gesellschafts-Interaktionen konzentrieren.
- Die neue Wissenschaft ist *integrativ*: Natur- und Sozialwissenschaften, unterschiedliche gesellschaftliche Handlungsbereiche, Wissenschaftler und Praktiker wirken bei Problemlösungen zusammen.
- Die neue Wissenschaft ist *grundlegend*: Skalenprobleme, nicht-lineare Prozesse und Komplexität, die Einheit von Natur und Gesellschaft müssen bearbeitet werden.
- Die neue Wissenschaft ist *regional und ortsgebunden*: Wo die Menschen und die Ökosysteme sind, wo Übergänge möglich sind, wo Integration auftritt, wo Komplexität verstanden werden kann – dort vollzieht sich die Forschung“ (zitiert nach BECKER 2003, S. 10/11).

BECKER (2003, S. 25) kommentiert: „Ganz offensichtlich sind menschlich-gesellschaftliche Aktivitäten (sozio-kulturelle, ökonomische oder technische) mit der Umwelt der Gesellschaft so stark verkoppelt, dass wechselseitige Determinationsverhältnisse bestehen. Beschreibt man sie mit Systemmodellen, dann muss man auf nicht-lineare, komplexe und selbstorganisierende Systeme zurückgreifen, wie sie in der modernen Komplexitätsforschung behandelt werden. Dieser Weg wird auch im internationalen Sustainability Science Network eingeschlagen. Die Erfahrungen der bisherigen sozial-ökologischen Forschung zeigen, dass dieser Weg erfolgversprechend ist. Denn in den meisten Fällen führt eine getrennte Analyse der Dynamik von gesellschaftlichen und ökologischen Systemen nicht zu Einsichten in die krisenhafte Dynamik sozial-ökologischer Problemlagen.“

## 5.1 Komplexitätstheoretische Arbeiten in der Geographie

Von der Komplexitätstheorie informierte Forschungsansätze finden sich derzeit innerhalb der Geographie bei der Simulation und der Modellierung von Multi-Agenten-Systemen. Sie führen allerdings bedauerlicherweise ein isoliertes, vom Rest der Geographie weitgehend getrenntes Dasein. Aber „... the presentation of simulation models becomes as routine in human as in physical geography, model makers must start telling more interesting stories, so that a wider audience is willing and able to listen constructively“ (O’SULLIVAN 2004, S. 292). Dabei gibt es durchaus instruktive

Beispiele, die sowohl für physisch-geographische als auch für humangeographische Fragestellungen Gewinn bringend eingesetzt werden können.

RAPER und LIVINGSTONE (1995) entwickelten ein Computermodell von geomorphologischen Prozessen, und es gibt zahlreiche Studien, die sich mit nichtlinearen, dynamischen Prozessen in der Biogeographie und der Landschaftsentwicklung beschäftigen (vgl. ANTROP 1998, BAKER & WEINBERG 1995, PHILLIPS 1999, WIENS 1989). RICHARDS (2002) bestätigt, dass Komplexität einer der am schnellsten wachsenden und überzeugendsten Zweige der allgemeinen Naturwissenschaften ist und dass in Disziplinen wie Physik, Chemie und Biologie das Interesse an nichtlinearen, unvorhersehbaren, dynamischen Systemen stark angestiegen ist. Für ihn wird damit verständlich, dass die Komplexitätstheorie auch in physisch-geographischen Fragestellungen zunehmend Eingang findet, wie beispielsweise in der Meteorologie, der Ökologie und der Geomorphologie (vgl. RICHARDS 2002, S. 101ff.). Nach RICHARDS spielt Raum eine entscheidende Rolle in der Komplexität: „... it creates non-linearities by allowing time lags dependent on scale ...“, und er begründet die Behauptung, dass das Paradigma der Komplexität die Physische Geographie zu revolutionieren vermag (RICHARDS 2002, S. 99). Mit ihrer Hilfe kann ein neuer Blick auf natürliche Prozesse erarbeitet werden, in dem die Betonung zunehmend auf Systemen fern vom Gleichgewicht liegt (PHILLIPS 1992). MALANSON (1999, S. 751) schreibt: „... that ecotones (and perhaps places, landscapes, or regions) are emergent phenomena – arising from the non-linear combinations of processes at finer spatial and temporal scales“ (vgl. auch HOLLAND 1998).

Der Soziologe David BYRNE beschäftigt sich in seinen Arbeiten mit dem städtischen Wandel als Konsequenz der Deindustrialisierung in britischen Großstädten. Der Schlüsselbegriff für BYRNE ist dabei die *Polarisation*, wobei für ihn Polarisation nicht nur einen Zustand beschreibt, sondern auch ein Bündel an Prozessen, aus denen eine akute soziale Differenzierung erwachsen kann (BYRNE 1997). „What matters is not the individual trajectory of social atoms, but rather the changing characteristics of the complex social order within which those trajectories occur. It must be remembered that individual interactions may constitute the source of changes in the social order itself. We have to understand how the micro is aggregated into something beyond the sum of its parts, to understand the nature of society as constituted by sets of attractors within the range of possible condition spaces, and to understand how changes in controlling variables for the whole system can come to reconstitute the form of that attractor set – to look in other words at real ‘social and political change’“ (BYRNE 1998, S. 71).

O’ SULLIVAN (2002) entwickelte auf der Basis komplextheoretischer Annahmen ein Modell der Gentrifizierungsprozesse in Londoner Stadtteilen. Und ähnlich den Ausführungen von THRIFT (2002) begründet auch O’ SULLIVAN (2004), dass die Komplexität nicht nur bei der Erklärung evolutionärer Systemverläufe helfen kann, sondern auch räumliche, maßstabsverschachtelte Auswirkungen berücksichtigt. Damit bekommt die Komplexitätstheorie eine weitere für die Geographie besonders interessante Begründung. „Contextuality is the reassertation of time and space into social theory (and an end of the primacy of time over space). Postmodern geography asserts that when and where things happen is central to how they happen. Thus theory must acknowledge not only that knowledge is historically specific, but geographically specific as well, i.e. explanation must be tailored to the unique characteristics of places“ (BYRNE 1998, S. 95).

Vor allem in der anglophonen Geographie herrscht eine lebhafte Diskussion über die Anwendungsmöglichkeiten und Begrenzungen der Komplexitätstheorie in der Geographie (vgl. MANSON 2001, REITSMA 2003, THRIFT 2002). Steven MANSON (2001) spricht unter anderem von einem als „Aggregate Komplexität“ bezeichneten Paradigma; es erweise seine Vorzüge in der kritischen Hinterfragung der konventionellen Vorstellungen von Stabilität und Wandel. Es helfe zu sehen, dass komplexe Systeme ihre innere Struktur und äußere Umgebung permanent wandeln durch Prozesse der Selbstorganisation, dissipatives Verhalten und *self-organised criticality*. Dies gilt nicht nur für Natursysteme, sondern auch für soziale Systeme, wie sie in der Geographie oder der Ökonomie vorkommen. „Mainstream economics studies stability and repeated patterns, while complexity research is interested in multiple equilibria, non-predictability, lock-in, inefficiency, historical path dependence, and asymmetry.“ (ARTHUR 1999, S. 108). Der Begriffswelt der „Aggregaten Komplexität“ liegt die Erkenntnis zugrunde, dass Beziehungen wichtiger sind als Attribute, um die Natur eines Systemelements zu definieren. Soziale Institutionen sind sowohl Konstruktionen als auch dynamische Prozesse (OSTROM 1990). „The discordance between these views underlines the need to couple complexity-based research with other conceptions of human agency and the role of social phenomena such as institutions and culture“ (MANSON 2001, S. 412).

Bislang scheinen die Ansätze der Komplexitätstheorie noch exklusiv entweder in physisch-geographischen oder humangeographischen Forschungen eingesetzt zu werden, und auch die Multi-Agenten-Simulationen führen ein isoliertes Dasein innerhalb der Disziplin und bevölkern ihr eigenes Lager ohne größere Anbindung an andere Forschungszweige. Aber vor allem im Zusammenhang mit der Diskussion um die Zukunft der Geographie als integrative Wissenschaft, die natur- und sozialwissenschaftliche Fragen miteinander verknüpft, häufen sich die Verweise auf ein neues Paradigma, diese Systeme zu sehen und deren Verhalten und Interaktion zu analysieren (vgl. MASSEY 1999, THRIFT 2002).

## 5.2 Komplexität in der Planung

Es existieren allerdings bereits Wege dieser Verknüpfung, und die liegen auf dem Gebiet der Angewandten Geographie, wo es um Planungs- und Managementprozesse geht. Denn hier werden Systemverläufe in die Zukunft hinein gedacht. Jahrzehntelange negative Planungserfahrungen haben gezeigt, dass lineare Systemverläufe nicht der Realität entsprechen und dass Unsicherheit und Überraschungen als systemimmanent verstanden werden sollten. „Planning is about change“ (BYRNE 1998, S. 141). Die Komplexitätstheorie könnte helfen, die Planungs- und Managementaufgaben neu zu denken und dynamische Systeme nicht mehr durch starre Planungskonzepte lenken zu wollen.

Die Geschichte des Planungsverständnisses lässt sich grob gesehen durch drei Phasen skizzieren: Zu Beginn des planerischen Denkens bis ungefähr in die 1960er-Jahre galt der Plan als Blaupause, der die Wirklichkeit anzupassen ist; dann galt der Plan als Regelwerk für die Steuerung eines Systems – und gegenwärtig gilt er als

Handlungsanweisung für den fortdauernden Konflikt mit der Realität (BYRNE 1998, S. 141). Starres Planungsverständnis und fokussiertes Planungsinteresse scheitern häufig an der nichtlinearen, nicht vorhersehbaren und emergenten Wirklichkeit. „Given the potential for small changes in one place to result in large changes elsewhere, planning must be sensitive to the transformative effect of local interaction“ (MANSON 2001, S. 408). So forderte CHRISTENSEN bereits 1985, dass städtische Planung Unsicherheiten und Unvorhersehbares berücksichtigen sollte und Planung sich an veränderte Systemverläufe adaptiv anzupassen hat.

BYRNE (1998, S. 140) illustriert dies am Beispiel der Stadtentwicklung, die sich von der Vorstellung verabschieden musste, der Stabilisierung von Gleichgewichtszuständen zu dienen. Stattdessen handle es sich bei Städten um komplexe Systeme, die sich beeinflussen, nicht aber steuern lassen. In den Worten von LAU (2006, S. 115/116): „Man kann nicht steuern, sondern nur kitzeln. Man versucht, Rahmen oder Impulse zu setzen, damit das System etwas damit tut. Man kann nicht vorhersehen, was das System macht, aber darauf setzen, dass es irgendwas macht. Sie müssen Ihren Steuerungs-begriff aufgeben und die Hoffnung, das System komplett zu verstehen. Aber wenn eine Interaktion etwas bewirkt, können Sie versuchen, etwas daraus zu lernen.“ Das Entscheidende sei, dass Planung bedeutet, immer wieder zu entscheiden, heißt es bei BYRNE (1998, S. 143), und die Komplexitätstheorie helfe, diesen Entscheidungen rationale Annahmen und Erwartungen zugrunde zu legen. Der kanadische Geograph Bruce MITCHELL schreibt unter anderem über Komplexität im Ressourcenmanagement: „Rather than investing more time and effort in collecting more detailed data, or fine-tuning our models, we should look for patterns of behaviour, or points to which systems tend to return, even if we cannot readily predict them“ (MITCHELL 2002, S. 79).

Zu den Grundannahmen, die der Planung vorausgehen sollten, gehört auch jene, dass bestimmte Systeme durch die Interaktion vieler gesteuert werden, weshalb Partizipation nicht nur ethischen, sondern auch pragmatischen Sinn ergibt (vgl. BYRNE 1998, S. 143). Dies beruht nicht zuletzt auf der Erkenntnis, dass je mehr Betroffene an einem Planungsprozess beteiligt werden, desto größer die Wahrscheinlichkeit ist, dass die Planungsziele internalisiert und auch im täglichen Handeln umgesetzt werden. So findet die Berücksichtigung der Rolle von Agenten in dynamischen Systemen ihre Entsprechung in der Partizipation der betroffenen Bevölkerung in Planungsprozessen – als Element eines „adaptiven“ Managements (RATTER 2001, S. 257).

Adaptives Management ist ein fruchtbringender Ansatz für die systematische Beeinflussung der Mensch-Natur-Interaktion, etwa in der Umweltschutzpolitik und im Ressourcenmanagement (vgl. HOLLING 1978). Es besteht aus Handlungen, die sich wiederum unausgesetzt auf Handlungen anderer beziehen und den Charakter des Mensch-Natur-Systems als „Multi-Agenten-System“ zugrunde legen (JANSSEN 2002). Daraus ergibt sich für die Umweltplanung und das Ressourcenmanagement ein neuer Organisationsstil, der vor allem prozessorientiert und offen ist. Er kann auch als adäquate Antwort auf eine neue ökonomische Realität gesehen werden, die sich dadurch auszeichnet, dass sie dynamischer und vernetzter, dadurch aber auch unübersichtlicher und erratischer ist als die bisher gewohnte. Technologie, Globalisierung und Deregulierung lösen die alten Sicherheiten auf und versetzen Staaten und Unternehmen heute in eine Lage, deren Zentralbegriff der *Wandel* ist und in der das

*Change Management* die Zentralaufgabe bildet. Diese Eigenschaften charakterisieren auch das Mensch-Natur-System (RATTER 2001, S. 64).

Dabei muss die analogische Anwendung der Komplexitätstheorie in der Umweltplanung und im Ressourcenmanagement keineswegs zu einer pessimistischen Fundamentalkritik aller Steuerungsversuche führen, deren Konsequenz es wäre, alles Bestehende als unabänderlich hinzunehmen. Umgekehrt leitet sich vielmehr die Notwendigkeit ab, eine Vielzahl von Agenten in die Kommunikation über zukünftige Entwicklungen und die nächsten Schritte einzubeziehen. Denn wer auf Steuerungsversuche verzichtet, wählt möglicherweise die schlechtere Systemtrajektorie oder, wie MAINZER (1997) treffend schreibt: „The problem is that doing nothing does not necessarily stabilize the equilibrium of a complex system and can drive it to another metastable state“ (MAINZER 1997, S. 324).

Dabei verändert sich die Rolle des Planers von der des externen Experten zu der des Teilnehmers, des Bereitstellers von Lösungsvorschlägen. Seine Fähigkeiten dürfen daher nicht nur auf wissenschaftlichem Gebiet liegen. „In that regard, resource and environmental management is not only a technical exercise. It requires people who can bridge scientific and civil concerns. Such a perspective also highlights the idea that who is an ‘expert’ in resource and environmental management is not determined only by formal education“ (MITCHELL 2002, S. 19/20).

C.S. HOLLING (1978) verweist darauf, dass Ressourcenmanagement anpassungsfähig sein muss, dass Planer lernen müssen, mit Unsicherheiten, Überraschungen und Unbekanntem fertig zu werden. Damit wird ein Zentralproblem angesprochen: Wenn Überraschungen typisch sind, ist es stets eine bessere Strategie, Optionen offen zu halten und bereit zu sein, aus Fehlern zu lernen, um Entscheidungen anzupassen und zu verbessern. Planung und Lernen gehört zusammen. Die Rückkoppelungseffekte, wie sie in dynamischen Systemen auftreten können, müssen in die Planung als Adaptionsprozesse integriert werden. Das Ideal der Mensch-Umwelt-Beziehung heißt nicht Gleichgewicht, sondern Anpassung und Zukunftsvorsorge. Es kommt auf die Details an, denn es können kleine Fluktuationen sein, die sich als systementscheidend in dieser Interaktion zweier dynamischer Systeme herausstellen (RATTER 2001, S. 268).

## 6 Fazit

Die Mensch-Natur-Interaktion eignet sich vielleicht besonders dazu, die Verwendbarkeit von Begriffen aus der Komplexitätstheorie für die Geographie zu prüfen. Das Verstehen evolutionärer Prozesse kann zu einem Verständnis der Transformationen in Systemen führen, und dafür sprechen mehrere Gründe. Menschliche Gesellschaften bestehen auch aus räumlich verteilten, wiederholt und lokal interagierenden Einheiten. Menschliche Gesellschaften haben (meist gut dokumentierte) Geschichte, die sich in leicht überschaubaren Zeiträumen abspielt. Indem sie mit der Natur interagieren, verändern Gesellschaften die Randbedingungen ihrer Entwicklung unausgesetzt. Die Wirkungen, die von diesem Vorgang ausgehen, sind nicht nur von theoretischem,

sondern auch von praktischem Interesse (Umweltschutz, Ressourcenpolitik). Planung und Management von Ressourcen (im Naturschutz, im Küstenschutz etc.) muss sich mit Überraschungen auseinandersetzen und zielt nicht zuletzt auf die Veränderung des Verhaltens in lokalen Bezügen. Und deshalb müssen Überraschungen als systemimmanent akzeptiert und der Planung vorausgesetzt werden. Dasselbe gilt für die Berücksichtigung von Agenten, ohne sie kann die Trajektorie eines Systems nicht umfassend verstanden werden.

Die Komplexitätstheorie kann zu einem Gestaltwechsel beitragen, der eine Verknüpfung von physisch- und humangeographischen Fragestellungen erleichtert. Die Komplexitätstheorie begründet keine Ethik (vgl. MAINZER 1997). Aber sie gibt eine gute Begründung dafür, dass lineares Denken in einer nichtlinearen Welt gefährlich sein kann. Der Mathematiker und Komplexitätsforscher H.O. PEITGEN konstatierte 2005 in einem Vortrag zur Faszination dynamischer Systeme: „Die Komplexitätstheorie lehrt uns, dass wir nicht überrascht sein sollen. Wir sollen nach einer Alternative suchen. – Es könnte auch ganz anders sein!“

## 7 Literaturverzeichnis

- ANTROP M. (1998), Landscape change: plan or chaos? In: *Landscape and Urban Planning*, 41, S. 155-161.
- ARTHUR W.B. (1999), Complexity and the Economy. In: *Science*, 284, 5411, S. 107-109.
- BAKER W.L., WEISBERG P.J. (1995), Landscape analysis of the forest-tundra ecotone in Rocky Mountain National Park, Colorado. In: *The Professional Geographer*, 47, S. 361-375.
- BECKER E. (2003), Soziale Ökologie: Konturen und Konzepte einer neuen Wissenschaft. In: MATSCHONAT G., GERBER, A. (Hrsg.), *Wissenschaftstheoretische Perspektiven für die Umweltwissenschaften*, S. 165/195. Weikersheim, Margraf Publishers [online: <http://www.isoe.de/ftp/hohenheim.pdf>]
- BYRNE D. (1997), Chaotic Places or Complex Places: Cities in a Postindustrial Era. In: WESTWOOD S., WILLIAMS J. (Hrsg.), *Imagining Cities*, S. 50-72. London, Routledge.
- BYRNE D. (1998), *Complexity Theory and the Social Sciences: An Introduction*. London, Routledge.
- CHRISTENSEN C.M. (1997), *The Innovator's Dilemma*. Harvard Business School Press.
- CHRISTENSEN K.S. (1985), Coping with uncertainty in planning. In: *Journal of the American Planning Association*, 51, 1, S. 63-73.
- EISENHARDT P., KURTH D., STIEHL H. (1995), *Wie neues entsteht – Die Wissenschaften des Komplexen und Fraktalen*. Hamburg, Rowohlt.
- FOERSTER H. von (1997), *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. Hrsg. von S.J. SCHMIDT (= Suhrkamp-Tb. Wissenschaft, 876). Frankfurt a.M.
- GROTELÜSCHEN F. (2000), Die Quantenwelt wird sichtbar – Anton ZEILINGERS physikalische Experimente stoßen an die Grenzen des Vorstellbaren. In: *Berliner Zeitung Wissenschaft*, W 01, 06.12.2000 [online: <http://www.berlinonline.de/berliner-zeitung/archiv/.bin/dump.fcgi/2000/1206/wissenschaft/0001/>]
- HARRISON S. et al. (2004), Thinking across the divide: perspectives on the conversation between physical and human geography. In: *Area*, 36, 4, S. 435-442.

- HOLLAND J.H. (1998), *Emergence: from chaos to order*. Cambridge MA, Perseus.
- HOLLING C.S. (Hrsg.) (1978), *Adaptive Environmental Assessment and Management*. London, John Wiley and Sons.
- HOLLING C.S. (2004), From complex regions to complex worlds. In: *Ecology and Society*, 9, 1, S. 11 [online: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art11/>]
- JANSSEN M.A. (Hrsg.) (2002), *Complexity and Ecosystem Management: The Theory and Practice of Multi-Agent Systems*. Cheltenham, Edward Elgar.
- KAUFFMAN S.A. (1995), *At Home in the Universe: The Search for Laws of Complexity*. London, Penguin.
- KOWARIK I. (2003), *Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa*. Stuttgart, Ulmer.
- LANE S.N. (2001), Constructive comments on D. Massey Space-time, "science" and the relationship between physical and human geography. In: *Transactions of the Inst. of British Geogr.*, 26, S. 243-256.
- LAU P. (2006), Alles funktioniert. In: *brand eins*, 8, 1, S. 111-116.
- LEWIN R. (1992), *Complexity – Life at the edge of chaos*. New York, Toronto, Macmillan.
- LOTTER W. (2006), Einfach mehr – Wem alles zu kompliziert ist, dem kann man einfach nicht helfen. In: *brand eins*, 8, 1, S. 46-55.
- MAINZER K. (1997), *Thinking in complexity – The complex dynamics of matter, mind, and mankind* (3<sup>rd</sup> ed.). Berlin, Springer.
- MALANSON G.P. (1999), Considering Complexity. In: *AAAG*, 89, S. 746-753.
- MANSON S.M. (2001), Simplifying complexity: a review of complexity theory. In: *Geoforum*, 32, S. 405-414.
- MASSEY D. (1999), Space-time, "science" and the relationship between physical and human geography. In: *Transactions of the Inst. of British Geogr.*, 24, S. 261-276.
- MITCHELL B. (2002), *Resource and environmental management* (2<sup>nd</sup> ed.). Harlow, Essex, Pearson.
- NICOLIS G., PRIGOGINE I. (1989), *Exploring Complexity*. New York, W.H. Freeman.
- OSTROM E. (1990), *Governing the global commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge, UK, Cambridge Univ.
- O'SULLIVAN D. (2002), Toward micro-scale spatial modelling of gentrification. In: *Journal of Geographical Systems*, 4, S. 251-274.
- O'SULLIVAN D. (2004), Complexity science and human geography. In: *Transactions of the Inst. of British Geogr.*, 29, S. 282-295.
- PEITGEN H.O., RICHTER P.H. (1986), *The beauty of fractals – Images of complex dynamical systems*. Berlin, Springer.
- PHILLIPS J.D. (1992), The end of equilibrium? In: *Geomorphology*, 5, S. 195-201.
- PHILLIPS J.D. (1999), Divergence, convergence, and self-organization in landscapes. In: *AAAG*, 89, S. 466-488.
- RAPER J.F., LIVINGSTONE D. (1995), Development of a geomorphological data model using object-oriented design. In: *Int. Journal of Geogr. Information Systems*, 9, S. 359-383.
- RATTER B.M.W. (2001), *Natur, Kultur und Komplexität – Adaptives Umweltmanagement am Niagara Escarpment in Ontario, Kanada (= Umweltnatur- & Umweltsozialwiss.)*. Berlin, Heidelberg et al., Springer Verlag.
- REITSMA F. (2003), A response to simplifying complexity. In: *Geoforum*, 34, S. 13-16.
- RICHARDS A. (2002), Complexity in physical geography. In: *Geography*, 87, S. 99-107.
- THRIFT N.J. (2002), The future of geography. In: *Geoforum*, 33, S. 291-298.
- WIENS J.A. (1989), Spatial scaling in ecology. In: *Functional Ecology*, 3, S. 385-397.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 2006

Band/Volume: [148](#)

Autor(en)/Author(s): Ratter Beate M. W.

Artikel/Article: [Komplexitätstheorie und Geographie - ein Beitrag zur Begründung einer anderen Sicht auf Systeme 109-124](#)