

Volker Bank

**Innovation und Wandel in diskret
strukturierten Systemen: Ein Sickermodell**

***Berichte aus der Berufs- und Wirtschaftspädagogik
Papers and Proceedings in Vocationomics
Nr. 4 – September 2009***



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ**

***Professur für Berufs- und Wirtschaftspädagogik
Technische Universität Chemnitz
Chair of Vocationomics - Chaire de Vocationomie
University of Technology - Université de Technologie
D-09107 Chemnitz (Allemagne)***

Innovation und Wandel in diskret strukturierten Systemen: Ein Sickermodell

Gliederung

1	<i>Partialmodell des systemischen Change Managements: Innovationsdurchsetzung als Koalitionsspiel</i>	3
2	<i>Auswahlentscheidungen für ein geeignetes Simulationsverfahren</i>	6
2.1	Modelle mit Stetigkeitsannahme.....	6
2.2	Modelle ohne Stetigkeitsannahme	9
3	<i>Die Perkolationstheorie als Sickermodell</i>	11
3.1	Die Idee der Durchdringung	11
3.2	Das Grundmodell der Perkolation	12
3.3	Erweiterungen des Grundmodells.....	14
4	<i>Der Durchdringungsprozeß in sozialen Systemen – einschränkende Annahmen</i>	16
5	<i>Vom Sickern zum Gestalten – Weiterentwicklung des angewandten Grundmodells</i>	20
6	<i>Zum Potential der Perkulationsmodelle für die Beforschung von Veränderungsprozessen in Systemen</i>	24
	Literatur	26

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Koalitionsmodell der Innovationsdurchsetzung</i>	4
<i>Abbildung 2: Wahrscheinlichkeit von Elementarereignis und Systemverhalten im Urnenmodell</i>	12
<i>Abbildung 3: Perkulationswahrscheinlichkeit und Elementarwahrscheinlichkeit</i>	13
<i>Abbildung 4: Der Strukturgittertorus als $\mathbb{N} \times \mathbb{N}$-Matrix mit Randschluß</i>	18
<i>Abbildung 5: Simulationsläufe für ein 6x6-System (Grundmodell)</i>	19
<i>Abbildung 6: Simulationsläufe für ein hierarchisches 6x6-System</i>	21

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Z	Cluster	\mathbb{R}^d	Menge der reellen Zahlen (in d Dimensionen)
\mathbb{Z}^3	dreidimensionaler diskreter Raum		
Γ	endlicher Ausschnitt eines Gitters	$P = \wp$	Passagewahrscheinlichkeit
K	Kante	$\theta(p)$	Perkulationswahrscheinlichkeit
K_t	Kantenzug	$p^* = p_c$	kritische Wahrscheinlichkeit/ Perkulationsschwelle
$x_{n,m}$	Knoten auf einem $n \times m$ Gitter	t	allgemein: Zeitpunkt (<i>time</i>)
$\xi_t(x_{n,m})$	Laufzeitvariable	$\mathbb{N}^2 = \mathbb{Z}^2$	zweidimensionaler Raum
\mathbb{Z}^d	Menge der ganzen Zahlen (in d Dimensionen)	c	(allg. :) Konstante

Innovation und Wandel in diskret strukturierten Systemen: Ein Sickermodell¹

Eines der seit fast zwanzig Jahren meistdiskutierten Themen liegt in der gestalteten Veränderung von Systemen, handele es sich dabei um politische Systeme, Erziehungs- und Schulsysteme, um einzelne Betriebe oder ganze Konzerne. Scheint überhaupt alles im Fluß zu sein, so fragt man sich, wie auf diese Veränderungsprozesse gestaltend Einfluß ausgeübt werden kann (systemisches Change Management; vgl. *Bank* 2004). Dieser Versuch einer gestaltenden Einflußnahme mündet nicht selten in Verfahren, die bloße Versuche angewandter Sozialtechnologie sind. Z.B. sollen im Zusammenhang mit der Entwicklung von Schulen Veränderungen durch die Entwicklung von Schulprogrammen, Leitbildern und ähnliche Eingriffe erzwungen werden – und häufig genug doch nicht erreicht. In der Betriebswirtschaftslehre werden demgegenüber Modelle diskutiert, die immerhin strategischen und nicht bloß instrumentellen Anspruch aufweisen und als Innovationsspiele charakterisiert werden könnten.

Nun aber operieren die Strategen dieser Innovationsspiele in einem Bereich der Entscheidungen erster Ebene (oder *echter* Entscheidungen),² der vor allem durch fehlende Information gekennzeichnet ist. Die nötige Routine, die nicht deterministisch ablaufenden Systemveränderungen an den richtigen Stellen beeinflussen zu können, kann man sich derzeit nur über die tatsächliche Administration eines derartigen sozialen Gebildes erwerben. Daher wäre es allemal wünschenswert, die entsprechenden Zusammenhänge in simulativen Verfahren abbildbar zu machen. Für diese Aufgabenstellung mit stets diskreten Strukturen eignen sich möglicherweise Konzepte, wie sie mit der Perkolationstheorie und weiteren ähnlichen Verfahren bereitgestellt worden sind.

Bevor im Folgenden der Versuch gemacht wird, ein Sickermodell der Innovation als elementaren Prozeß der Organisationsentwicklung zu konzipieren (Kap. 4) und sukzessive auszubauen (Kap. 5), werden auf der Grundlage eines Problemaufrisses (1) potentielle Simulationsverfahren untersucht (Kap. 2). Ferner wird als Vorbereitung der modellhaften Darstellung die Konzeption der Perkolationstheorie näher umrissen (Kap. 3). Abschließend sollen eine bewertende Einordnung und ein Ausblick erfolgen (Kap. 6).

¹ Dieser Diskussionsbeitrag gründet in vielen Details im bislang nicht veröffentlichten Kapitel 6 meiner Habilitationsschrift 2002. Einzelne Aspekte wurden in Rahmen von Vorträgen der kritischen Öffentlichkeit vorgetragen. Für wichtige Hinweise dankt der Autor insbesondere Herrn Kollegen Phillipe *Blanchard* und Herrn Dipl.-Phys. Andreas *Krüger* von der Universität Bielefeld sowie Frau Kollegin Nicole *Saam* von der Universität Erfurt.

² Vgl. für die Einteilung von Entscheidungen erster und zweiter Ebene *de Bono*: „Mathematics can get to work once we have chosen to look at things in a certain way. But mathematics cannot itself choose the way we are going to look at things.“ (1982, S. 5 ff, hier S. 6). Tatsächlich entscheidet das Denken der ersten Ebene, also die Problemdefinition, über die Ergebnisse des Kalküls, welches der zweiten Entscheidungsebene angehört. Auf der zweiten Entscheidungsebene liegen nach *Jongbloed* eigentlich gar keine Entscheidungsprobleme vor (vgl. *Jongbloed* 1984, S. 67 ff.; hier bes. S. 72 f.): Problemstrukturen, die algorithmisch abzuarbeiten sind, stellen lediglich Ableitungsprobleme und keine Entscheidungen dar. Gleiches gilt für Auswahlprobleme unter vollkommener Information (vgl. ebd., S. 88 ff.).

1 Partialmodell des systemischen Change Managements: Innovationsdurchsetzung als Koalitionsspiel

Die Entscheidung für ein geeignetes Simulationsverfahren ist angesichts aller theoretischen Erwägungen über die Eigenheiten von Simulationsverfahren fraglos von dem abhängig zu machen, was zu modellieren sein wird. Damit stellt sich hier vorab die Frage, ob ein solches Simulationsmodell in der Form eines Totalmodells von vornherein auf den gesamten Entwicklungsprozeß abgestellt werden soll, oder ob nicht zumindest vorläufig die Modellierung von Teilaspekten, also ein Partialmodell, genügen soll.³ Es kann gezeigt werden, daß eine Organisationsentwicklung, erst recht ein »systemisches Change Management« vielschichtig und verzweigt ist, selbst wenn man davon ausgeht, daß verschiedene, unabhängige Organisationsentwicklungstheorien und die Singularität praktischer Problemlagen im gedanklichen Konstrukt in der Tat aufeinander verweisbar sind (vgl. *Bank* 2004, Kap. 4). Deshalb muß angesichts der Tatsache, daß sich keine Quellen finden ließen, an deren Konzeption und Aussagenzusammenhang ein weiterreichendes Modell hätte angeschlossen werden können, zunächst ein Partialmodell genügen, das nicht den gesamten Entwicklungsprozeß eines systemischen Change Managements abbildet, sondern auf Teilaspekte beschränkt bleibt.

Das Augenmerk fällt dabei schnell auf einen der wesentlichen Teilaspekte des »systemischen Change Managements«, auf den organisationalen Innovationsprozeß. Im Folgenden wird von weitreichenden inneren Bezügen zwischen »systemischem Change Management«, organisationalem Lernen und der Innovationstheorie ausgegangen. *Bank*, wie zuvor auch schon *Franke* (vgl. *Bank* 2004, S. 354 f.; *Franke* 1993, S. 155 und passim) greifen bei ihren jeweiligen Konzepten der Organisationsentwicklung auf das Proponenten-Opponenten-Konzept von *Witte* zurück, welches von *Hauschildt* auf die Innovationstheorie hin weiterentwickelt worden ist.⁴

Diese Theorie beschäftigt sich in erster Linie mit dem Problem der Überwindung von den naheliegenderweise aufkommenden Widerständen⁵ gegen Veränderungen innerhalb der Systeme. Das heißt, daß Strategien diskutiert werden, die geeignet erscheinen, durch Einsatz von Macht (Machtproponenten/ -opponenten) und argumentativer Kraft (Fachproponenten/ -opponenten) diese Widerstände zu überwinden, sowie durch die Implementation der Rolle von Geschäftsführern (Prozeß-

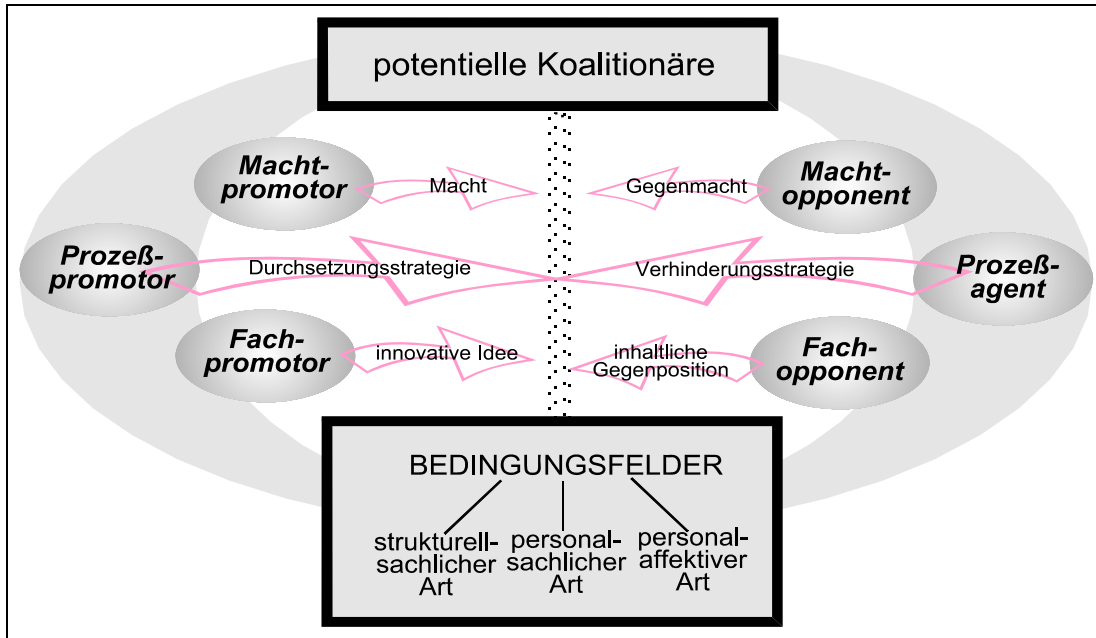
³ Hier soll nicht verschwiegen werden, daß zum Aspekt des organisationalen Lernens ein Simulationsmodell von *Lant & Mezias* 1990 vorliegt. Dieses Modell freilich überschreitet die Grenzen des einzelnen Systems bzw. Unternehmens und betrachtet die Entwicklung im Zusammenhang mit verschiedenen klassifizierten Verhaltensstrategien der Unternehmen.

⁴ Vgl. das Proponenten-Opponenten-Konzept erstmals bei *Witte* 1973, der allerdings nicht wie etwa *Kamlah & Lorenzen* 1973, S. 158 ff. von „Proponenten“ spricht, sondern in augenscheinlicher Anlehnung an angelsächsischen Sprachgebrauch von „Promotoren“. Die Inauguralität darf jedoch selbst bei *Witte* in Frage gestellt werden, denn wie *Benne* über die Laboratoriumstrainingsmaßnahmen der *Lewinschen* Forschergruppe berichtet, wurde bereits zu dieser Zeit die Rolle eines »Innovationsagenten« analysiert und gezielt eingebracht; vgl. *K.D. Benne* (1948): Principles of Training Method, in: *The Group* 10/2, S. 17 ff., zitiert nach *Comelli* 1985, S. 53. Fürderhin soll hier gleichwohl an den sprachlich konsistenten Gebrauch der Autoren der „Logischen Propädeutik“ angeknüpft werden, wann immer auch das »Promotoren-Opponenten-Konzept« nach *Witte* und *Hauschildt* gemeint sei. Vgl. eine kognitivistische Interpretation des ursprünglichen *Witteschen* Ansatzes der Widerstandsüberwindung bei *Krystek & Müller-Stewens* 1993, S. 249 ff. Vgl. darüber hinaus eine offenbar von der *Witte-Hauschildt*-Linie losgelöste Innovation(-widerstands-)theorie, außerhalb der *BWL* etwa bei *Zintl* 1970, innerhalb der *BWL* die bei *Schreyögg* 1999, S. 483 ff. zusammenfassend referierten Quellen.

⁵ Die naheliegende Provokation von Widerständen gilt vornehmlich unter dem Machtaspekt, wie auch *Luhmann* unter Bezugnahme auf selbstreferentiell aufgebaute Systeme hervorhebt: „Es mag Einflußdifferenzen, Hierarchien, Asym[m]etrisierungen geben, aber kein Teil des Systems kann andere kontrollieren ohne selbst der Kontrolle zu unterliegen; und unter solchen Umständen ist es möglich, ja in sinnhaft orientierten Systemen hochwahrscheinlich, daß jede Kontrolle unter Ant[i]zipation der Gegenkontrolle ausgeübt wird.“; 1999, S. 63.

agenten), denen die Aufgabe zufällt, die beiden Faktoren im Prozeß der Durchsetzung effektiv zur Geltung zu bringen.⁶

Abbildung 1:
Koalitionsmodell der Innovationsdurchsetzung



Quelle: Bank 1999, S. 23.

Diese betriebswirtschaftliche Theorie ist aus soziologischer Sicht unzulänglich elaboriert: Es werden von den Transaktions- bzw. Steuerungsmedien »Macht«, »Einfluß«, »Vertrauen« und »Verständigung« gerade noch die ersten beiden explizit angesprochen.⁷ Auch »Geld« wäre als Transaktionsmedium – auch im Systeminneren – nicht von vornherein aus der Argumentation auszuschließen.⁸ Völlig unbehandelt bleibt nicht zuletzt das Problem, daß alle jene Transaktionsmedien nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen und zumindest teilweise als konvertibel betrachtet werden müssen

⁶ Vgl. dazu Hauschildt 1993, der respektive von „Machtpromotor“, „Fachpromotor“ und „Prozeßpromotor“ spricht. Vgl. auch den Hinweis bei Bank 1999, S. 21 f., in dem deutlich gemacht wird, daß hier Rollen, nicht identifizierbare Personen gemeint sein müssen. Diese Konzeption weist interessante parallele Anschlußmöglichkeiten an die Differenzierung der Innovationsagenten von Jones auf: Jones unterscheidet hier denjenigen, der das Auffinden eines neuen Gleichgewichts methodisch oder inhaltlich erleichtert – und dabei selbst möglicherweise Veränderungen erfährt (dieser wird *change agent* genannt) – von demjenigen, der, etwa durch Einbringung von Macht den Prozeß beschleunigt, dabei aber selbst unverändert bleibt (dieser wird dann als *change catalyst* bezeichnet). Hinzu gesellt sich der *pacemaker*, der Schrittmacher, welcher den Prozeß steuert. Ferner kann nach der Analyse Jones der *change agent* nicht nur ein Individuum sein, sondern auch eine Gruppe oder eine Organisation/ organisationale Einheit. Wie auch hier schon deutlich gemacht, kann der *change agent* ein Systemexterner oder ein Systeminterner sein, er kann aber auch in (sub-)systemkultureller Hinsicht indigen (eingeboren) sein, muß es aber nicht. Vgl. Jones 1968, bes. S. 19 ff.; vgl. alternativ Bennis 1966, S. 54 ff. Vor allem zwischen *change catalyst* und Machtpromotor sowie *pacemaker* und Prozeßproponent lassen sich weitreichende begriffliche Beziehungen ausdeuten.

⁷ Vgl. dazu Zündorf 1986 sowie die dort verarbeitete Literatur, namentlich der Theorie kommunikativen Handelns von Habermas, die hier nicht im Einzelnen aufgegriffen und auf die Innovationstheorie bezogen werden soll.

⁸ Dieses schlägt Zündorf allerdings genau vor; vgl. 1986, S. 40. Der Autor will dies im Binnenverhältnis des Systems durch den Vertrauensmechanismus substituiert sehen. Wenn überhaupt, scheint es eher gerechtfertigt, die Möglichkeit der Zuweisung und des Entzugs finanzieller Ressourcen im Machtaspekt einzuschließen.

(vgl. grundsätzlich zur Theorie sozialer Transaktionsmedien *Parsons* 1968, S. 465 ff. und, elaborierter, *Coleman* 1991, S. 153 ff.).

Vor allem aber bedarf sie aus berufs- und wirtschaftspädagogischer Sicht umfassender Ergänzung: Der Einsatz von Macht und von Verständigung nach dem *Witte-Hauschildt*-Modell ist zu pauschal, um die Lernsensitivität gegen Information (Wissen), Training (Können) und Propaganda (Wollen) als mikrofundierte Lerndimensionen ausreichend zu thematisieren. Obwohl bei der Beschreibung der Gründe für Widerstände durchaus deutlich wird, daß es sich hier um ein Lernproblem handelt, bleibt die Behandlung im angesprochenen Theoriezusammenhang rein strategisch-machtorientiert aus einer hierarchischen Abwärtsperspektive.⁹

Die betriebswirtschaftliche Innovationstheorie bezieht sich im Allgemeinen auf technische oder organisatorische Innovationen. Diese sind in erster Linie dem strukturalen Ansatz der Organisationsentwicklung zuzuordnen, insofern ganz klar nur auf einen spezifischen Problemausschnitt gerichtet; gleichzeitig ist eine dauerhafte Durchsetzung ohne ein Nachhaltigkeit erzeugendes Lernen in affektiven Lernzielbereichen undenkbar.¹⁰ Angesichts des unvorbereiteten Terrains soll hierin der Partialaspekt gesehen werden, der zu untersuchen sein wird. Eine Ausweitung des Proponenten-Opponenten-Modells in soziologischer Absicht kann hier nicht Gegenstand sein; in berufs- und wirtschaftspädagogischer Hinsicht wird sie hier nur soweit als nötig vorgebracht.

Den Innovationsprozeß nach dem *Witte-Hauschildt*-Modell¹¹ kann man auch als gestalteten Sicker- oder Durchdringungsprozeß interpretieren.¹² In klaren Worten hat Frederick Winslow *Taylor* den Verlauf des Innovationsprozesses im Zusammenhang mit der Durchsetzung seines Verfahrens »wissenschaftlicher Betriebsführung« in Unternehmen beschrieben. Nicht nur, daß er immer wieder zur Ausbildung eines mehrjährigen (!) Erwartungshorizontes für die Umsetzung mahnt. Der Zeitaspekt ist also wichtig, doch auch nichtlineare Systemeffekte:

⁹ Auch in konkurrierenden Quellen wird dies deutlich, vgl. *Watson* 1975, der Widerstände aus der Person (vgl. S. 417 ff.; z.B. Gewohnheiten, selektive Wahrnehmung) und solche aus der Organisation (vgl. S. 423; z.B. Normenkonformität, Privilegien, Tabus) unterscheidet; vgl. darüber hinaus eine Reihe weiterer relevanter, v.a. organisationspsychologischer Quellen in *Schreyögg* 1999; S. 485 ff. Vgl. im übrigen auch die teils intensive Diskussion der Machtfrage im Rahmen der Organisationsentwicklungstheorie; vor allen anderen ist hier exemplarisch *Glasl* 2000 zu nennen.

¹⁰ Ein von technisch-organisatorischen Vorstellungen gelöster, rein auf die Verfolgung affektiver Lernziele gegründeter Teilaspekt »systemischen Change Managements«, wie es in einer verbesserten »Kundenorientierung« des organisatorischen Handelns und Verhaltens exemplifizierbar ist, entbehrt vielleicht eines korrespondierenden äußeren Anlasses, bedarf gleichwohl keiner strukturell anderen Vorgehensweise in der Modellierung.

¹¹ Vgl. hierzu als Quellen wie eben erwähnt *Witte* 1973 und von *Hauschildt* als dessen Hauptwerk in diesem Bereich die Monographie *Hauschildt* 1993. Es gibt jedoch weitere Betriebswirtschaftler, die sich dieser Problematik, obzwar in eigenständiger Form, angenommen haben; vgl. exemplarisch *Kieser & Hegele* 1998, S. 120 ff., auch S. 225 f. Diese Autoren handeln das Innovationsproblem aus dem gleichen Blickwinkel wie *Witte* und *Hauschildt* ab, nämlich der Frage der strategischen Überwindung der innerorganisatorischen Innovationsgegner, wie an dem dort verwendeten Stichwort des „organisatorischen Konservatismus“ (ebenda, S. 121) unmittelbar ersichtlich wird. Da zwar anders als bei jenen eine der Ursachen des Widerstandes nicht nur bei den Mitarbeitern, sondern auch auf der Ebene eines mit einem gewissermaßen eigenen Willen ausgestatteten Systems angesiedelt wird, ansonsten die Analyse von *Kieser & Hegele* mit der von *Witte* und *Hauschildt* inhaltlich argumentativ weitgehend zusammenfällt, ohne daß von *Kieser & Hegele* eine Kenntnis der älteren Quellen im Text oder im Literaturverzeichnis auch nur angedeutet wurde, kann man wohl davon ausgehen, daß hier eine Sachstandsauffassung vorliegt, die in der Betriebswirtschaftslehre paradigmatisch geteilt zu werden scheint.

¹² Vgl. ein wichtiges weiteres innovationstheoretisches Sickermodell bei *Rogers* 1962/ 2003. *Rogers* beschreibt den Innovationsfortschritt mit einer sigmoiden Kurve (S. 272 ff). Demgegenüber typisiert er die Koalitionäre nach dem (entropischen, nicht parametrischen) Zeitpunkt ihrer Zugehörigkeit klassifikatorisch und damit nicht stetig als „innovators“, „early adopters“, „early majority“, „late majority“ und schließlich als „laggards“ (S. 282 ff.).

„Die ersten, wenigen Änderungen, die den Arbeiter angehen, sollten ganz außerordentlich langsam vorgenommen werden. Nur mit einem einzigen Arbeiter auf einmal sollte man sich am Anfang beschäftigen. Bevor dieser nicht völlig davon überzeugt ist, ... sollte an keine weiteren Änderungen gegangen werden. Dann erst sollte man einen Mann nach dem anderen taktvoll in neue Wege leiten. Wenn etwa ein Viertel bis ein Drittel der Angestellten bekehrt worden ist, dann kann man mit einem raschen Vorgehen rechnen.“ (Taylor 1919, S. 142)

Ziel einer Modellierung müßte es sein, die Prozesse, die auf individueller oder interindividueller Ebene stattfinden, dynamisch für eine Voraussage des Systemverhaltens in seiner Gesamtheit zu nutzen. Im Zusammenhang mit den Innovationsprozessen des Proponenten-Opponenten-Konzepts heißt das, daß zwei gegensätzliche Zustände (Zustimmung und Ablehnung einer Innovationsmaßnahme) bestehen, von denen einer aktiv das System zu durchdringen trachtet. Die grundlegende Rolle der Konzeptionierung des Gedankens bzw. der Auswahl der Lernziele und der aktiven Verbreitung kommt dem „Führenden als Lehrer“ zu (Senge 1996, S. 427). So geht es darum, ein ‚Gefühl‘ für Handlungsnotwendigkeiten und Handlungsmöglichkeiten zu erzeugen – also eine Art Erfahrungslernen für den Systemführer zu ermöglichen, ohne den stets virulenten Restriktionen der Lebenszeit im realen Maße unterworfen zu sein.

In der Absicht, einen solchen Modellansatz zu beschreiben, sollen nun verschiedene formale Darstellungsverfahren gesichtet werden.

2 Auswahlentscheidungen für ein geeignetes Simulationsverfahren

Die hier zu lösende Aufgabe besteht vor dem Hintergrund der bisherigen Ausführungen mithin darin, die innovativen Veränderungen als Koalitionsspiel zwischen den innovationsfreudigen und innovationsfeindlichen Mitgliedern eines sozialen Systems zu modellieren. Das Auswahlproblem, das sich aus dem formalen Aspekt ergibt, setzt als erstes Entscheidungen über die Angemessenheit verschiedener Angebote voraus, welche die moderne Mathematik für derartige Anwendungsaufgaben bereithält (vgl. einschlägige Untersuchungen verschiedener formalwissenschaftlich gestützter Zugänge auch bei von Bertalanffy 1968, S. 17 ff.). Die Systemzusammenhänge in Organisationen sind nur im Ausnahmefall und dann höchstens lokal begrenzt linearer Natur. Demgemäß werden reine Funktionsmodelle oder Systeme linearer Gleichungen als theoretisch inadäquat von vornherein aus den Überlegungen ausgeschlossen. Wesentlich zu unterscheiden sind mathematisch ausgedrückte Modelle, die eine Stetigkeit in der Datenstruktur zulassen oder einfordern und solche, die darauf verzichten.

2.1 Modelle mit Stetigkeitsannahme

Der bislang vermutlich meistverbreitete Ansatz zur dynamischen Modellierung von Systemen liegt in der Darstellung der Zusammenhänge durch Differentialgleichungssysteme. Unter dem analytischen Leitkonzept von Differenzen- oder Differentialgleichungen könnte für die auszugsweise Darstellung des Gesamtsystems der kybernetische systemdynamische Ansatz von Jay Forrester reaktiviert und adaptiert werden.¹³ Der ‚System-Dynamics-Ansatz‘ stellt Systemzusammenhänge offener Systeme dar. Das betrachtete System kann dabei ebenso ein Unternehmen wie gleich die ganze Weltwirtschaft (*world dynamics*) sein. Die Beziehungen zwischen verschiedenen Bestandsgrößen wird durch kybernetisch geregelte Ströme hergestellt; die Offenheit der Systeme wird über den Einbau von ‚Quellen‘ (hier finden Zuflüsse statt) und ‚Senken‘ (in denen Güter- oder Zahlungsströme

¹³ Vgl. zuerst Forrester 1958, dann umfassender bei Forrester 1971. Bezogen auf Unternehmen hat das System-Dynamics-Konzept eine lange Tradition, vgl. etwa Koller 1969, S. 164 ff., vgl. ferner die Forschungsaktivitäten des Mannheimer Lehrstuhls, beispielsweise die prämierte Arbeit von Milling 1996.

das System verlassen) in die Gesamtkonzeption integriert. Die Regelungsparameter wurden empirisch erhoben und so wurde dieses Modell zur Zukunftsforschung eingesetzt.

In der vorliegenden Literatur zur Organisationsentwicklung findet sich der Hinweis darauf, daß es wohl eines gewissen Leidensdrucks bedürfe, um Prozesse der Organisationsentwicklung, die schließlich organisationsweit eine vorbehaltlose Lernbereitschaft voraussetzen, in Gang zu setzen. Eine Lösungsmöglichkeit, Diskontinuitäten oder plötzliche Umschwünge im Systemverhalten beschreiben zu können, wurde besonders in den siebziger Jahren im Ansatz der Katastrophentheorie vermutet.¹⁴

Obwohl nichtlinear, können Differentialgleichungen deterministisch ausgestaltet sein und trotzdem geometrisch in ungeordnet anmutenden Zusammenhängen enden. Dieser letzte Aspekt steht im Vordergrund bei der sogenannten Chaostheorie, deren Beiträge auch ihren Anteil an der neueren Systemtheorie haben (vgl. eine umfassende Einführung in dem zweibändigen Werk von *Peitgen et al.* 1992 und 1994).¹⁵ Auf dieser Grundlage wurden von *Troitzsch* 1990 Modelle chaotischen Verhaltens in Soziosystemen vorgelegt.¹⁶ Ihrerseits eröffnet die Chaostheorie nur hermeneutische Verständnismöglichkeiten auf die inneren Zusammenhänge bestimmter Systeme.¹⁷ Es scheint indes unmöglich, die ebenfalls deterministischen Rechenverfahren der Chaostheorie für den gewählten Partialansatz in sozialen Systemen in hinreichende Übereinstimmung zu bringen. Möglicherweise gibt es Wege, ein Totalmodell durch die chaostheoretischen Rechenverfahren anzudeuten.

Fraglich bleibt zur Zeit allerdings, ob dies über verwegene Analogien hinaus in zielangemessener Form applizierbar und von der Kaffeesatzleserei hinlänglich entfernt sein wird: Eine denkbare Herangehensweise bestünde m.E. darin zu schauen, in welchen Punkten ein bestimmtes vorliegendes Fraktal isomorphische Anklänge (mehr ist angesichts der Fülle der Strukturmerkmale wohl nicht möglich) zu einem bestimmten existierenden System aufweist – z.B. durchaus auch hinsichtlich der »Selbstähnlichkeit«. Man könnte dies vielleicht auch im Hinblick auf eine Menge vorliegender Fraktale tun, und daraus das bestgeeignete auswählen. Sinn des Ganzen wäre es dann, auf die zugrundeliegende Funktion zurückzugehen, die das Fraktal beschreibt. Schließlich könnte man mor-

¹⁴ Vgl. so *Arnol'd* 1992, S. 1, in dem Werk eine Darstellung der Katastrophentheorie, umfassender und zugleich nüchterner als bei *Thom* 1975 (der zumindest teilweise Urheberchaft für sich in Anspruch nehmen kann) und vor allem im Vergleich zu *Zeeman* (z.B. *Zeeman* 1977); vgl. kritisch hierzu die Anmerkungen in Fußnote 18. Vgl. einen Rückgriff auf die Katastrophentheorie in Zusammenhang mit Organisationsentwicklung bei *von Saldern* 1998, S. 98.

¹⁵ Erwartungen besonders hinsichtlich der analytischen Möglichkeiten der Theorie sollten nicht zu weit gesteckt werden, da die Chaostheorie bis heute nicht ganz ihren experimentellen Charakter hat überwinden können. Um deutlich zu machen, was ein adäquater analytischer Einsatz der fraktalen Geometrie voraussetzte: Es müßte dann möglich sein, Verfahren zu entwickeln, die iterativ oder analytisch die ‚gemessenen‘ ungeordneten Strukturen auf eine möglichst bestimmte Gleichung zu reduzieren vermöchten, so, wie es derzeit durch Regressionsgleichungen in der Statistik praktiziert wird.

¹⁶ Vgl. *Troitzsch* 1990, S. 117 (deterministisches Mikromodell) und S. 119 (stochastisches Mikromodell); vgl. auch denselben 1996.

¹⁷ Sofern das Konzept überhaupt verstanden wird. Ein gründlich mißlungener Versuch, die Leistungen der fraktalen Geometrie auf das Organisationslernen zu übertragen, kann bei *Stahl* 1995 besichtigt werden. Er scheint unter Verzicht auf eine Rezeption der entsprechenden Literatur – hier liegen mit den genannten Veröffentlichungen von *Peitgen et al.* im doppelten Sinne gut zugängliche Werke vor – direkt und ausschließlich an *Warnecke* 1993 angeknüpft zu haben und die dort vorliegenden Mißverständnisse nunmehr im Zusammenhang mit dem Organisationslernen zu reproduzieren. Gerade einmal das im »Apfelmännchen« aufscheinende Phänomen der Selbstähnlichkeit wurde neben einem eigenwilligen Begriff des »Fraktals« aufgegriffen: Der bloße Anklang der »Selbstähnlichkeit« in der fraktalen Geometrie mit natürlichen Phänomenen scheint Grund genug, in einem eigenwilligen naturalistischen Fehlschluß die Selbstähnlichkeit auch für Organisationen bzw. Unternehmen als handlungsleitendes Kriterium zu postulieren. Weitere Forderungen nach »Selbstorganisation«, »Dynamik«, »Zielorientierung« etc., wie sie sich bei *Warnecke* 1993, S. 152 ff. finden, weisen schließlich gar keinen Bezug zur fraktalen Geometrie auf.

phologische Veränderungen untersuchen, die sich aus der Zahl der Iterationen oder einer Modifikation der Funktion ergeben, um sich hieraus für die Veränderung der realen Struktur inspirieren zu lassen. Insoweit wäre dann die »fraktale Geometrie« auch simulativ einzusetzen; vgl. Ansätze dazu bei *Troitzsch* 1990.

Diese kritische Position möge man nicht dahingehend verstehen, daß solche Verfahren keinesfalls die entscheidende Einsicht verschaffen können. Ebenso wenig dürfen die gemachten Einlassungen als Kritik an der Chaostheorie an sich verstanden werden – dann wäre es der leichtere Weg gewesen, diese Verfahren überhaupt nicht erst in Erwägung zu ziehen oder gleich in Bausch und Bogen abzuqualifizieren. Trotzdem ist der eigentlich gegen die Katastrophentheorie *Thoms* und *Zeemans* formulierten Kritik im gleichen Sinne Rechnung zu tragen, daß nämlich in der Vorausbetrachtung offen ist, welches Modell anwendbar ist und in diesem Sinne die Rechenergebnisse nichts anderes seien, als ‘...bloße Graphen experimenteller Daten – die man vor dem Hintergrund einer ganzen Reihe willkürlicher Entscheidungen erhalten hat’.¹⁸ So bleibt die Verwendung dieser Formaltheorien im hier gewählten Zusammenhang auf das beschränkt, worin die unbezweifelbaren Stärken dieser Theorien liegen: in der Generierung von Fragen an die Wirklichkeit.

Es mag hier helfen, für die Abwägung der Eignung formaler Herangehensweisen und der Beurteilung der Eignung von Differentialgleichungssystemen im Allgemeinen die Absicht der Innovationsdurchsetzung in einem weiteren Sinne als ‚Infektion‘ eines Systems mit einer neuen Idee zu beschreiben: Der Erfolg einer epidemischen Infektion hängt unter anderem von den vorhandenen Abwehrkräften (mithin der Widerstandskraft) der von der Infektion Bedrohten sowie von der Infektiosität des Erregers ab. Während Erkrankungen wie Grippe, Masern oder Windpocken, die durch einfache Tröpfcheninfektionen zustande kommen, durch Approximationen auf der Grundlage von Differentialgleichungsmodellen darstellbar sind, gibt es andere Erkrankungen, die sich als Kontaktinfektionen¹⁹ wie etwa das HI-Virus in hohem Maße in Abhängigkeit von unterschiedlichen Verhaltensweisen der Betroffenen entwickeln.

Die Systemstruktur von Innovationsprozeß und epidemischem Prozeß zeigt sich nach diesen Überlegungen als hochgradig homomorph: Es gibt eine innovative Idee (entsprechend einem neuen Virus), die sich bei den Organisationsmitgliedern (in der Bevölkerung) zu verbreiten beginnt. Die Gefahr einer Epidemie besteht nicht, solange die Infektion innerhalb einer bestimmten Altersklasse weitergereicht wird, eine Chance auf die Durchsetzung einer Innovation besteht ebenfalls nicht, wenn die Idee sich nur bei einer bestimmten Klasse oder Kaste von Systemmitgliedern durchsetzt. Letzteres ließe sich durch die Verbreitung einer innovativen Idee allein in der mittleren Führungsebene, nur bei Ingenieuren oder nur bei den kaufmännischen Sachbearbeitern exemplifizieren.

¹⁸ *Zahler & Sussman* 1977: „merely graphs of the experimental data.” (S. 760) “the surface eventually chosen to model the cellular differentiation is ... obtained by a series of arbitrary choices ...“ (S. 761).

Die Kritik von *Zahler & Sussman* läßt am Ende kein gutes Haar mehr an der Katastrophentheorie: „Our criteria for judging a theory are rather generous. Even if a theory rests on questionable assumptions, or is based on faulty reasoning, or leads to false conclusions, or deals with ambiguous concepts, or does not make true testable predictions, we are ready to accept that it may be valuable, so long as it does not have all these faults at once.“ (ebenda, S. 736): „Unsere Kriterien für die Beurteilung einer Theorie sind ziemlich großzügig. Selbst wenn eine Theorie auf fragwürdigen Annahmen beruht, auf fehlerhafter Argumentation gründet, zu falschen Schlüssen verführt, mit uneindeutigen Konzepten arbeitet oder nicht zu wirklich überprüfbareren Voraussagen führt sind wir bereit davon auszugehen, daß sie von Wert sein kann – solange sie nicht alle diese Fehler zugleich aufweist.“ Ebendies konstatieren sie für alle katastrophentheoretischen Modelle, mit denen sie sich auseinandergesetzt hatten.

¹⁹ Tröpfcheninfektionen erfolgen durch Krankheitskeime, die über in der Umgebungsluft schwebende kleinste Flüssigkeitströpfchen übertragen werden. Bei Kontaktinfektionen erfolgt eine Infektion durch unmittelbaren Kontakt von Haut oder Schleimhaut zwischen Infizierten und Gesunden, ggf. indirekt über die Berührung von kontaminierten Gegenständen; vgl. *Pschyrembel* 1985, S. 784, S. 892, S. 1709.

Differentialgleichungssysteme könnten also vom Grundsatz her geeignet sein, das Systemverhalten unter bestimmten Verhaltensannahmen der Einzelsubjekte abzubilden. Und in der Tat liefert *Ebenhöh* ein strukturverwandtes Beispiel zu dem hier zu modellierenden Problem auf der Grundlage eines Differentialgleichungskonzepts (vgl. *Ebenhöh* 1975, S. 165 ff.). Dort wird das Mehrheitsproblem zwischen zwei Parteien gelöst. Es ist sogar möglich, sprunghaftes Systemverhalten im Sinne der Katastrophentheorie zu modellieren – doch ist die einzige Handlungsvariable der „Korruptionsparameter“ (*Ebenhöh* 1975, S. 166). Diese ist als eine resultierende Gesamtgröße der Einwirkung auf die Individuen mittels unterschiedlicher Transaktionsmedien zu verstehen.

Das Modell von *Ebenhöh* postuliert jedoch eine bedingungslose Homogenität der Subjekte. Es ist in dieser Hinsicht nicht realistisch und überdies angesichts der alleinigen Gesamtinterventionsvariablen nicht recht interpretierbar. Natürlich ließe sich eine Erweiterung nach verschiedenen Handlungsparametern vorstellen – wodurch sich die Interpretation materiell verbessern ließe, im Gegenzug jedoch allzu leicht formal jenseits aller Interpretierbarkeit geriete. Auch hinsichtlich der Modellierung der infektiösen Durchdringung von Systemen sind immer wieder Verhaltensänderungen ins Kalkül zu ziehen; damit werden die deterministischen Differentialgleichungsmodelle anfällig gegen Verhaltensänderungen. Solche Verhaltensänderungen aber sind beim »systemischen Change Management« ausdrücklich Ziel der Gestaltung; zudem ist die Integration zusätzlicher Verhaltensannahmen in Differentialgleichungsmodelle aufwendig. *Blanchard & Krüger*, die sich intensiv mit der Problematik der HIV-Epidemiologie beschäftigt haben, gelangen aus diesen Gründen zu einer entsprechend kritischen Position gegen die Modellierung mit Differentialgleichungen (1994, S. 2 f.).

Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf den Einsatz von Differentialgleichungssystemen als Modellansatz ist die Kritik von *Zwicker* an *Forresters* systemdynamischem Modellkonzept: „Es soll hier nicht behauptet werden, soziale Zusammenhänge seien nur mit Differenzgleichungen in adäquater Weise zu beschreiben; doch dürfte es relativ selten der Fall sein, daß Differentialgleichungsansätze einem Differenzgleichungsansatz vorzuziehen sind. Denn selbst in demographischen Modellen, in denen eine zeitkontinuierliche Bestandsveränderung noch am wahrscheinlichsten ist, stehen zumeist nur Jahresbeobachtungswerte zur Verfügung ... *Forresters* Infinitesimalprämisse erscheint mir aus den genannten Gründen ... nicht akzeptabel zu sein.“ (*Zwicker* 1981, S. 489). Ohne die Gültigkeit der Annahme stetiger Daten ist indes prinzipiell kein auf Differentialgleichungen gegründetes Modell interpretierbar.

Die bis an diese Stelle erörterten Verfahren beruhen jedoch insgesamt auf der von *Zwicker* kritisierten Stetigkeitsannahme und sind für die zu behandelnde Problematik dem Grunde nach wenig geeignete Verfahren der modellhaften Rekonstruktion. Sie sollen gleichwohl mit diesem Hinweis nicht einfach abschließend beiseite geschoben werden: Zum einen mögen sie trotz allem für den einen oder anderen hier nicht thematisierten Aspekt geeignete Modelle anbieten, zum anderen weisen sie zumindest Qualitäten im hermeneutischen Zugriff auf, die fruchtbar zu machen bleiben. Dies gilt beispielsweise für die Idee der Chaostheorie, daß ein kleiner Anstoß eine große Wirkung zeitigen kann oder für die Idee der Katastrophentheorie, daß ein Systemzustand sich hysteretisch entwickelt, also in Abhängigkeit von den zuvor erreichten Zuständen.

2.2 Modelle ohne Stetigkeitsannahme

Das hier zu behandelnde Problem betrifft die Darstellung von Veränderungen in diskreten Strukturen, die ein soziales System nach einem Prozeß der aktiven oder reaktiven Auseinandersetzung mit seiner Umwelt aufweist. Unternehmen als spezifische soziale Systeme sind in dieser Hinsicht in unterschiedlichen betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen mit Mitteln der Graphentheorie behandelt worden. Thematisch geht es dabei in erster Linie um die Darstellung prozessualer Zusammenhänge, die sich den in dieser betriebswirtschaftlichen Teilwissenschaft sehr viel mehr beachte-

ten strukturalistischen Fragen ansonsten entziehen.²⁰ Dagegen sind gerichtete Graphen zur Lösung ablauforganisatorischer Aufgabenstellungen längst gut eingeführt (vgl. *Kosiol* 1962²¹): Die Darstellung in gerichteten Graphen bei *Kosiol* betrifft namentlich die hierarchische Analyse betrieblicher Aufgaben (vgl. dies zusammenfassend etwa 1962, S. 209) im Allgemeinen wie logistischer Probleme im Besonderen²² und ist in Theorie und Praxis verbreitet. Möglicherweise in der betrieblichen Praxis, sicher jedoch in der betriebswirtschaftlichen Theorie haben sich graphentheoretische Kalküle in der Form von Entscheidungsbäumen (vgl. exemplarisch *Magee* 1964a, b) durchgesetzt.

Weitere Ansätze zur Darstellung einer emergenten (und damit nicht mikrofundierte prognostizierbaren) Differenz zwischen Elementarverhalten und Systemverhalten sind in theoretischen Konzepten wie der Perkolationstheorie, der Theorie selbstorganisierter Kritizität und der Automatentheorie zu sehen. Die Perkolationstheorie findet sich zuerst in *Broadbent & Hammersley* 1957, *Hammersley* 1957 (als Gesamtdarstellung vgl. *Stauffer & Aharony* 1992 und vor allem *Grimmet* 1999). Ein erster Überblick zur Theorie der selbstorganisierten Kritizität (oder gelegentlich auch: Kritikalität) ist etwa bei *Bak & Chen* 1991 und weitergehend bei *Bak et al.* 1988 zu finden. Die Automatentheorie wird unter sozialwissenschaftlichem Interesse von *Nowak et al.* und *Latané* im Sammelband von *Hegselmann & Peitgen* 1996 aufgegriffen. Einen Zusammenhang zwischen Automatentheorie und der Theorie selbstorganisierter Kritizität, der über die gemeinsame Grundanlage als Zufallsgraphen hinausgeht, zeigen *Bak et al.* 1989 auf. Eine Diskussion oder gar mathematische Beweisführung über die Zusammenhänge von Perkolations- und Automatenmodellen steht nach meiner Kenntnis noch aus. Insgesamt aber weisen selbstorganisierte Kritizität, Perkolationstheorie und Automaten-theorie wichtige Gemeinsamkeiten aus; v. a. sind sie auf diskrete Strukturgitter definiert und bieten damit die Möglichkeit, in einem wichtigen Detail die Unteilbarkeit der Individuen im sozialen System abzubilden.

Ferner kann es auf der Systemebene zu plötzlichen Umschwüngen kommen, ohne daß dies auf der Mikroebene erkennbar und damit vorhersagbar wäre. Dies gilt insbesondere in der Theorie selbstorganisierter Kritizität und in der Perkolationstheorie. Die plötzlichen Umschläge des Systemverhaltens sind durchaus interpretierbar: Der Moment des Umschlagens wäre zu begreifen als der empirisch wahrscheinlich eher selten registrierte Moment, in dem sich eine Innovation unwider-ruflich durchsetzt. Strukturell ist unter dem Anspruch von Homomorphie von diesen beiden Ansätzen der Perkolationstheorie der Vorzug zu gewähren. Sie gibt ein mathematisches Modell an die Hand, das zunächst einmal aufgrund seiner diskreten Grundstruktur vergleichsweise einfach zu handhaben ist. Des Weiteren ist es auf der Grundlage einer ursprünglich binären Codierung möglich, zwei nominal skalierte Zustandsattribute in adäquater Form darzustellen. Eine prinzipielle Erweiterung auf mehr als zwei Werte ist dann möglich, indem einfach die nominalen Zustandsattri-

²⁰ Damit soll keineswegs negiert werden, daß zumindest bestimmte Formen von Organigrammen – etwa Darstellungen des Systems der Einlinienführung – als einfache gerichtete Graphen interpretiert werden könnten. Sie werden allerdings m.E. nicht in formaler Absicht hergestellt, sondern laufen eher zufällig im Interesse inhaltlicher Strukturierung auf eine solche Formalisierung hinaus. Fälle, in denen Organigramme in rein formaler Betrachtung behandelt worden wären, beispielshalber mit dem Ziel einer kalkülisierten Strukturoptimierung, sind mir nicht bekannt. Vgl. dazu Darstellungen von Organigrammen in grundlegender Absicht *Nordsieck* 1956; vgl. als Beispiele von Organigrammen besser zugänglich auch *Wöhe* 1960, S. 71 ff. (bzw. eine der neueren Auflagen dieses Grundwerkes).

²¹ Vgl. v.a. den entsprechenden Teil von *Kosiol* 1962, S. 185 ff. sowie die dort erfolgten Verweise, namentlich auf *Nordsiecks* Bearbeitung des Problems der Ablauforganisation 1934.

²² Vgl. z.B. Wegeoptimierungsprobleme, die unter anderem unter dem Stichwort des »travelling salesman problem« abgehandelt werden; vgl. speziell dazu z.B. *Domschke* 1982, S. 56 ff. und allgemein das dreibändige Grundlagenwerk von *Domschke* 1981, 1982 sowie *Domschke & Drexl* 1984, insbesondere im letzten Band liegt der Fokus auf Dislozierungsproblemen.

bute einer zulässigen Skalentransformation auf \mathbb{N}_0 – beziehungsweise in aller Regel auf ein ausgewähltes Intervall darin – unterzogen werden.²³

Dem Innovationsproblem liegt ein körperlich diskret vonstatten gehender Prozeß zugrunde, der in der Regel langsam beginnt (einsickert) und dann zu einem relativ plötzlich und grundsätzlich veränderten Verhalten auf der Ebene des Gesamtsystems führt.²⁴ Dafür, so ist zu vermuten, eignen sich eher die Modellierungsverfahren der Perkolationstheorie und hierzu verwandter Verfahren wie der hier nur angeschnittenen Automatentheorie.²⁵ Damit sind als wesentliche Vorteile die Modellierungsflexibilität im Vergleich zu deterministischen Modellierungsansätzen bei gleichzeitig guter Interpretierbarkeit gegenüber weiteren in Erwägung gezogenen Verfahren für die Perkolationstheorie ins Feld zu führen. Aus diesen Gründen soll die Auseinandersetzung damit hier vertieft werden.

3 Die Perkolationstheorie als Sickermodell

Die Grundidee der Perkolationstheorie besteht in dem Versuch, das Verhalten eines Systems als emergentes Ganzes formalisiert darstellbar zu machen, auch wenn die Bestandteile des Systems sich zueinander stochastisch verhalten. Damit wird dem Hinweis *Peter Schmidts* gefolgt, daß Diffusionsstudien, die auf der Grundlage weitgehend unverbundener Einzelentscheidungen beruhen – zum Beispiel Kaufentscheidungen über noch bislang wenig verbreitete Gebrauchsgüter wie beispielsweise noch vor kürzerem über CD-Recorder – bereits seit geraumer Zeit und in hinreichender Menge vorliegen. Demgegenüber fehlten indessen noch angemessene Untersuchungen solcher Prozesse, die sich auf systemisch bedingten Entscheidungszusammenhängen gründen (vgl. so *Schmidt* 1976, S. 12).²⁶ Hierfür könnte die sogenannte Perkolationstheorie eine mögliche formale Annäherung bieten.

3.1 Die Idee der Durchdringung

Die Perkolationstheorie ist eine strukturorientierte Sickertheorie; sie bezieht ihren Namen von der englischen Bezeichnung für die Espressomaschine, den »percolator«, denn auch dort ist sozusagen die entscheidende Frage für erfolgreiches Systemverhalten, ob der Wasserdampf das Kaffeepulver zu durchdringen vermag. Die erste Modellierung allerdings geht auf *Broadbent & Hammersley* 1957 zurück, die als illustratives Anwendungsproblem die Frage stellten, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein poröser Festkörper, der in einer Gasphase oder einer Flüssigkeit liegt, von dem Gas oder der Flüssigkeit durchdrungen wird.²⁷ Dabei ist im Gegensatz zu älteren Modellen nicht das zufällige Verhalten der Flüssigkeit oder des Gases der Modellgegenstand, sondern die amorphe und daher nur näherungsweise und unter Zuhilfenahme stochastischer Beschreibungsmerkmale zu erfassende Struktur des Grundmediums, die das Verhalten von Gas oder Flüssigkeit bestimmt (vgl. *Kesten* 1987, S. 1232).

²³ Obwohl die hier gewählte Skalentransformation (Zuordnung) ganz offenbar völlig unproblematisch ist, sei allgemein auf eine Quelle verwiesen, welche die Zulässigkeit von Skalentransformationen behandelt: Vgl. zur Definition von Skalenniveaus und deren Eigenschaften ursprünglich *Stevens*, S.S.: On the Theory of Scales of Measurement, in: *Science* 103 (1946), S. 677-680, zitiert nach *Schnell* et al. 1995, S. 132 ff., hier S. 132.

²⁴ Vgl. noch einmal dazu *Rogers* 1962/ 2003; Fußnote 12.

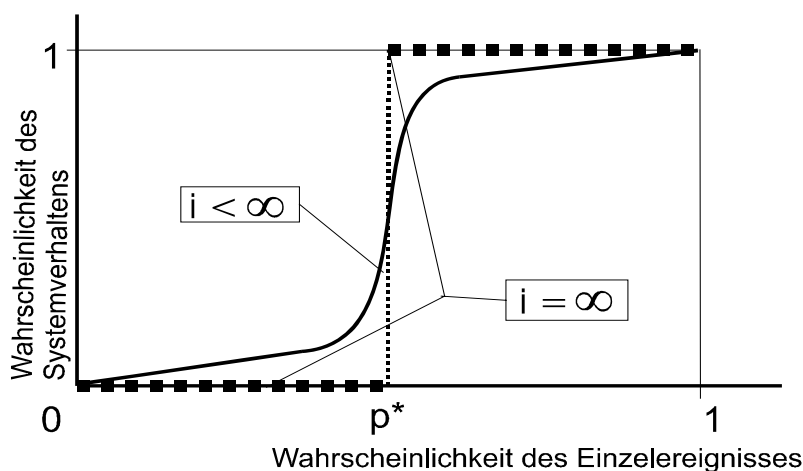
²⁵ Vgl. dazu einen weiteren Bericht von *Bank & Damm* 2009, der in Vorbereitung ist.

²⁶ Nach meiner Kenntnis darf diese Einschätzung nach wie vor einen Anspruch auf weitgehende Gültigkeit erheben.

²⁷ Vgl. *Broadbent & Hammersley* 1957, S. 630 und passim, oder eine neuere Darstellung bei *Blanchard & (T.) Krüger* 1994, S. 15 f. *Kesten* 1987, S. 1232 weist darauf hin, daß es 1941 schon ein Vorläufermodell bei *Flory* gibt: *Flory, P.J.* (1941): Molecular Size Distribution in Three Dimensional Gelation I,II, in: *J. Amer. Chem. Soc.* 63, S. 3083-3100.

Die Idee, daß ein deterministisches Systemverhalten aus einer Menge stochastischer Zusammenhänge entstehen kann, kann vorab an einem Urnenmodell illustriert werden. Sei eine unendliche Folge von Urnen U_i wie üblich gefüllt mit a_i weißen und n_i schwarzen Kugeln. Das Ereignis A_i , daß eine weiße Kugel aus der Urne i gezogen wird, ist ohne weitere Informationen wahrscheinlich wie $p(A_i) = a_i/(a_i + n_i)$. Dann kann die Wahrscheinlichkeit, daß in der ‚unendlichsten‘ Urne U_∞ eine weiße Kugel gezogen wird nur $p(A_\infty) = 0$ oder $p(A_\infty) = 1$ sein, da entweder die Zahl der weißen Kugeln $a_i = 0$ oder $a_i = \infty$. Dies gilt in der strengen Form freilich nur für unendliche Systeme, bei endlichen Systemen ist die Systemwahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Verhalten zunächst sehr klein und nach einem Phasenübergang bei der kritischen Wahrscheinlichkeit p^* dann sehr groß. Graphisch sind diese beiden Fälle wie folgt zu skizzieren:

Abbildung 2:
Wahrscheinlichkeit von Elementarereignis und Systemverhalten im Urnenmodell



Quelle: vgl. Stauffer & Aharony: 1992, S. 72.

3.2 Das Grundmodell der Perkolation

Die Poren des oben erwähnten ‚Steins‘ von *Broadbent & Hammersley* werden als Knoten in einem endlichen Ausschnitt Γ des dreidimensionalen Gitters \mathbb{Z}^3 dargestellt. Die Kanten sollen unabhängig voneinander mit der Wahrscheinlichkeit p (mit $0 \leq p \leq 1$) offen bzw. für Wasser durchlässig oder mit der Gegenwahrscheinlichkeit $(1-p)$ geschlossen sein. Die Passagewahrscheinlichkeit p ist für den Stein interpretierbar als Konstante, die den Grad seiner Porosität angibt.

Vor diesem Hintergrund können Gruppierungen von miteinander korrespondierenden Poren beschrieben werden, die als Cluster Z bezeichnet werden können und gewissermaßen einen Teilgraphen aus einem zusammenhängenden Zug offener Kanten darstellen. $Z(0)$ kann formal als die Menge aller Punkte betrachtet werden, die durch einen offenen Pfad mit dem Punkt 0 verbunden sind. Eine Pore 0 im Stein wird sich nun genau dann mit Wasser füllen, wenn das zugehörige Cluster $Z(0)$ eine an der Oberfläche des Steins befindliche Pore enthält.

Handelt es sich um einen sehr großen Stein, dann ist naheliegend, daß die Wahrscheinlichkeit, daß die Pore 0 naß wird, näherungsweise der Wahrscheinlichkeit entspricht, daß $Z(0)$ ‚unendlich‘ groß wird, in anderen Worten, daß die Anzahl der in $Z(0)$ enthaltenen Kanten gegen unendlich geht ($|Z| \rightarrow \infty$). Die Wahrscheinlichkeit für dieses Ereignis wiederum hängt von p ab und wird mit $\theta(p)$ bezeichnet. $\theta(p)$ ist demnach die Perkulationswahrscheinlichkeit, deren funktionaler Verlauf im Ursprung ($\theta(0)=0$) beginnt und im Punkt ($\theta(1)=1$) endet; dazwischen kann man einen steigenden Funktionsverlauf erwarten. Dabei gibt es – und hier liegt sozusagen der Knackpunkt der Theorie –

einen kritischen Wert p_c für die Passagewahrscheinlichkeit, bei der das Systemverhalten sich schlagartig ändert, so daß

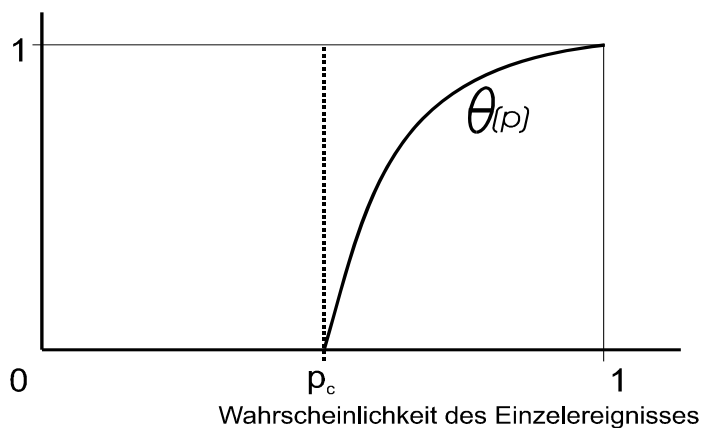
$$\theta(p) = \begin{cases} 0 & \text{für } p < p_c \\ 1 & \text{für } p > p_c \end{cases}$$

Der Schwellenwert p_c wird formal als Supremum aller p beschrieben, die noch ein Systemverhalten mit einer Perkulationswahrscheinlichkeit von Null aufweisen (Kesten 1987, S. 1233):

$$p_c = \sup \{p: \theta(p) = 0\}^{28}$$

Jenseits von p_c weisen die einzelnen Cluster in dem jeweiligen Stein plötzlich Verbindungen auf, so daß sie genaugenommen als einziges riesiges Cluster zu beschreiben sind. Im Modell kann man diese Feststellung dynamisieren, indem es für eine geringfügig veränderte Durchlässigkeit p berechnet wird, und so ein ‚Kippen‘ des Systems darstellen. Während der Verlauf der Größe des größten Clusters etwa wie im endlichen Urnenmodell verläuft (vgl. Abbildung 2), ist die funktionale Darstellung der Systemdurchlässigkeit $\theta(p)$ wie in Abbildung 3.

Abbildung 3:
Perkulationswahrscheinlichkeit und Elementarwahrscheinlichkeit



Quelle: Grimmet 1999, S. 14, Kesten 1987, S. 1233, Stauffer & Aharony 1992, S. 30.²⁹

Dieses Modellierungsverfahren ist an sich recht übersichtlich und man könnte auch die eine oder andere Eigenschaft nachweisen – so etwa, daß im zweidimensionalen Gitter \mathbb{Z}^2 für die kritische Wahrscheinlichkeit (der Kantenperkulation) $p_c = 1/2$ gilt und daß allgemein die Perkulationswahrscheinlichkeit $\theta(p)$ in Abhängigkeit von der Passagewahrscheinlichkeit außer in p_c stetig ist.³⁰ Trotzdem sieht sich Kesten veranlaßt zu notieren: „I find it fascinating that this very elementary and easily explained model leads to a large variety of quite difficult (and many still unsolved) problems.“³¹ Da es hier jedoch um ein Anwendungsproblem gehen soll, bedürfen die fraglos interessanten mathematischen Details hier keiner weiteren Ausführungen.

²⁸ Anders und m.E. von der Interpretation her problematisch definiert Durrett 1988, S. 120 p_c als Infimum der Werte p , die noch eine positive Perkulationswahrscheinlichkeit $\theta(p)$ aufweisen.

²⁹ Dieser Verlauf ist noch hypothetisch. Es gibt jedoch starke Hinweise, ihn so zu erwarten.

³⁰ Trivialerweise ist der entsprechende Wert auf dem \mathbb{Z}^1 $p_c = 1$; vgl. Durrett 1988, S. 120.

³¹ ‘Ich finde es faszinierend, daß dieses sehr grundlegende und leicht zu erläuternde Modell zu einer großen Vielzahl von recht schwierigen (und vielfach noch ungelösten) Problemen führt.’; Kesten 1987, S. 1232. Dort werden im

3.3 Erweiterungen des Grundmodells

Die im Grundmodell beschriebene Perkolation wird auch »Kantenperkolation« genannt. Sie eignet sich wie gesehen als Diffusionsmodell über feste Strukturen, in denen die Beschaffenheit der Knoten keine Rolle spielt und diejenige der Kanten, namentlich deren Durchlässigkeit, durch einfache Assignierung oder durch stichprobengestützte empirische Schätzung als Passagewahrscheinlichkeit eingebracht werden kann.

- (a) Eine erste Erweiterungsmöglichkeit besteht darin, die Struktur des ganzzahligen Grundgitters (\mathbb{Z}^d) durch eine periodische Struktur im reellen Raum \mathbb{R}^d zu ersetzen. So ist es möglich, beispielsweise in der zweidimensionalen Darstellung an der Stelle von vier Nachbarn im \mathbb{Z}^2 im Hexagonalgitter drei oder im Dreiecksgitter sechs Nachbarn zu repräsentieren (vgl. die Auswirkungen verschiedener Gitterstrukturen auf p_c bei *Grimmet* 1999, S. 53 ff. sowie die Möglichkeiten inhomogener Gitter ebenda, S. 331).
- (b) Vor allem jedoch kann eine wesentliche Verallgemeinerung darin gesehen werden, daß nicht den Kanten, sondern statt dessen den Knoten eine eigene Qualität zugestanden wird. Dies ermöglicht etwa eine Interpretation des Modells, wenn die Diffusion eines Krankheitserregers nicht von der physikalischen Distanz zwischen erkrankter und noch gesunder Pflanze abhängt, sondern die Übertragungsmöglichkeit durch die Widerstandskraft der jeweilig zu infizierenden Pflanze bestimmt ist. Die Mehrzahl der Modelle relevanter sozialer Probleme wird eine Formulierung dieser Art erfordern. Dieses Erfordernis führt zu einer »Knotenperkolation«, zu welcher eine »Kantenperkolation« einseitig durch die Verschiebung um einen halben Gitterwert transformiert werden kann.³²
- (c) So lange die Ereigniswahrscheinlichkeiten für die Knoten und Kanten stochastisch unabhängig sind, bezeichnet man die Perkolation als Bernoulliperkolation. Für eine Vielzahl von Gegenständen eignet sich die Annahme der Unabhängigkeit jedoch nicht. Sollten im obigen Beispiel nicht nur die Übertragungsentfernung und die Widerstandskraft eine Rolle spielen, sondern auch die Dauer der Exposition, wäre bereits die Annahme der Unabhängigkeit durchbrochen. Für die Modellierung von Innovationsprozessen müßte man demnach wenigstens von einer kombinierten Knoten- und Kantenperkolation ohne Unabhängigkeit ausgehen (vgl. Literaturhinweise dazu bei *Grimmet* 1999, S. 350).³³
- (d) Ein weiterer Schritt zur Erweiterung liegt in der zusätzlichen Annahme der Gerichtetheit der Prozesse, man spricht von *gerichteter Perkolation*³⁴. Das soll heißen, daß es nicht egal ist, ob ein Knoten X_{nm} auf einen Knoten X_{nm+1} einwirkt oder eben X_{nm+1} auf X_{nm} . Man kann sich nun die Kanten so vorstellen, daß je eine Kante von X_{nm} in Richtung X_{nm+1} mit der gerichteten Wahr-

Folgenden (1232 ff., 1238 ff.) einige der angedeuteten mathematischen Probleme thematisiert. Vgl. eine ähnliche Aussage bei *Blanchard & (T.) Krüger* 1994, S. 16 sowie *Durrett* 1988, S. 120: "Percolation is one of the simplest systems which exhibits a 'phase transition'."

³² Engl.: *bond percolation* respektive *site percolation*. *Grimmet* weist darauf hin, daß Knotenmodelle von größerer Allgemeinheit sind als Kantenmodelle; vgl. diesen 1999, S. 3.

³³ Engl.: *mixed percolation* – für die *Kesten* dann bedauernd feststellt, daß dieser Form der Perkolation der Reiz der Einfachheit verlorengeht; vgl. diesen 1987, S. 1237.

³⁴ Engl.: *directed percolation* oder *oriented percolation*. Vgl. dazu *Durrett* 1984, bes. S. 1000 ff. Dieses Konzept weist m.E. über die ansonsten starke Strukturorientierung der Perkulationsmodelle hinaus, welche auf festen Besetzungen der Knoten beruhen. Eine weitere Variante mit gerichteten Eigenschaften der Übergänge, die ursprünglich nichts mit der Perkulationstheorie zu tun hatte, sind sogenannte ISING-Modelle. Diese Modelle beziehen eine Möglichkeit der Beeinflussung durch die Nachbarn systematisch in die Modellkonstruktion mit ein; vgl. dazu sehr knapp *Grimmet* 1999, S. 7 u.ö.

scheinlichkeit $\beta_{m,m+1}$ und eine von X_{nm+1} in Richtung auf X_{nm} mit gerichteten Wahrscheinlichkeit $\beta_{m+1,m}$ wirkt. Damit wäre das Grundmodell ein Spezialfall der gerichteten Perkolation, bei dem beide Kanten mit der gleichen Wahrscheinlichkeit $p = \beta_{m,m+1} = \beta_{m+1,m}$ geöffnet oder geschlossen sind.

- (e) Es lassen sich weitere Qualitäten durch die Differenzierung von Parametern einbringen. Exemplarisch ist hier auf eines der Waldbrandmodelle³⁵ hinzuweisen, nach dem es sinnvoll sein kann, die Entzündungswahrscheinlichkeit von benachbarten Bäumen nicht nur vom Status der Nachbarn abhängig zu machen – d.h. den Knoten unterschiedliche Gefährdungsgrade zu assignieren (feucht, trocken, brennend, ausgebrannt) – sondern auch die Einwirkung des Windes aus einer bestimmten Richtung mit zu modellieren, etwa durch eine unterschiedliche Passagewahrscheinlichkeit für horizontale und vertikale Kanten (vgl. einen Abriß über Multiparametermodelle bei *Kesten* 1987, S. 1238 sowie weitere Einzelheiten in der dort angegebenen Literatur).
- (f) Es hat im Hinblick auf Gelierprozesse, deren Erfolg darin besteht, daß sich ein zusammenhängender makromolekularer Cluster durch die Ausbildung von intermolekularen Brückenbindungen herausbildet, und für weitere Anwendungen Versuche gegeben, auf die Grundgitterstruktur zu verzichten. Während *Kesten* diese Versuche einer Kontinuumsperkolation noch skeptisch beurteilt (vgl. die Beschreibung solcher Versuche einer *continuum percolation* bei *Kesten* 1987, S. 1246 ff.), gibt es mittlerweile erfolgversprechende Ansätze (vgl. *Krüger* 2002 für eine Gesamtdarstellung und Anwendung). Der entscheidende Unterschied besteht darin, daß die Knoten durch n-dimensionale Raumkörper repräsentiert werden, die auf zufallsgenerierten Plätzen nicht mehr äquidistant angeordnet sind. Eine zusätzliche Erweiterung dieses Modells durch die Einführung unterschiedlicher Radien der Raumkörper macht es z.B. denkbar, daß ein besonders wichtiges Systemmitglied wie ein Geschäftsführer einer GmbH oder ein Abteilungsleiter einer Schule durch einen entsprechend großen Wirkradius repräsentiert wird.³⁶
- (g) Ganz anders dagegen die »Invasionsperkolation«,³⁷ deren ursprüngliche Zielsetzung in der Modellierung der Verdrängung einer Flüssigkeit durch eine andere in einer strukturierten Träger-substanz lag.³⁸ Mit anderen Worten: Wie berechne ich die Verdrängung von Erdöl durch Wasser? In der hier verfolgten Perspektive heißt das: Wie kann ein bereits erlernter Inhalt durch einen neu zu erlernenden Inhalt verdrängt werden?³⁹ Der formal entscheidende Unterschied gegenüber den einfacheren Modellen besteht in einer Dynamisierung der Modellierung.

In diesem Modellierungsverfahren wird jeder Kante k des Gitters \mathbb{Z}^d eine eigene (positive) Passagewahrscheinlichkeit $\beta(k) \geq 0$ assigniert. Man kann jetzt sukzessive den Invasionsdruck erhöhen, so daß sich zum Zeitpunkt t ein Kantenzug $K_t(k_0)$ im Anschluß an die zuerst durchdrungene Kante k_0 herausbildet, bei dem die nächstdurchdrungene Kante k' jeweils diejenige ist, die den Kantenzug bereits berührt, ohne bereits durchdrungen zu sein, und von diesen möglichen k' die nächstgrößte Passagewahrscheinlichkeit aufweist:

³⁵ Schon *Broadbent & Hammersley* 1957 erwähnen eine solche Anwendungsmöglichkeit, vgl. ihr Beispiel 5, S. 630.

³⁶ Ein solcher Ansatz ist nach meiner Kenntnis noch Desiderat.

³⁷ Engl.: *invasion percolation*.

³⁸ Vgl. *De Gennes, P.G. & Guyon, E.*: Lois générales pour l'injection d'un fluide dans un milieu poreux aléatoire, in: *Journal de Mécanique* 17 (1978), S. 403-432, zitiert nach *Kesten* 1987, S. 1254.

³⁹ Für diese illustrierende Interpretation hinsichtlich einer Auseinandersetzung mit der Grundfrage des organisationalen Verlernens ist exemplarisch auf den Beitrag von *Hedberg* 1981 zu verweisen („How organizations learn and unlearn“).

$$\mathcal{P}(k_{t+1}) = \max \{ \mathcal{P}(k) : k' \text{ berührt } K_t, \text{ ohne bereits } k' \in K_t \}^{40}$$

Eine wesentliche Ausdifferenzierung dieses Modells liegt in der Tatsache begründet, daß unter bestimmten Voraussetzungen die Entstehung von isolierten Teilgraphen eine Rolle spielen kann, wenn nämlich der Kantenzug K_t diesen vom unendlichen Graphen separiert. Man spricht in einem solchen Fall von einer Invasionsperkolations mit Fallenbildung (engl.: *invasion percolation with trapping*). Im ursprünglichen Anwendungsbeispiel der Ausspülung eines Erdölvorkommens liegt die Relevanz auf der Hand; in Modellen von Soziosystemen ist die Frage der Bedeutsamkeit der Isolation einzelner Gruppen nur in Abhängigkeit vom konkreten Untersuchungsziel zu beantworten.

Mit diesen Erweiterungen ist die Liste der Möglichkeiten der Abwandlung des Durchdringungsproblems noch lange nicht abgeschlossen (vgl. *Grimmet* 1999, S. 349 ff.). Von großem Allgemeininteresse ist sicher noch die Erstdurchlaufperkolations (engl.: *first-passage percolation*; vgl. dazu *Kesten* 1987, S. 1257 ff.), die eine weitere Generalisierung der Bernoulliperkolations darstellt. Aus der hier betrachteten Perspektive wäre sicherlich noch die Übersprungsperkolations zu untersuchen, bei der nicht nur die unmittelbaren Nachbarn betroffen sind (engl.: *long-range percolation*; vgl. dazu *Grimmet* 1999, S. 351 ff.).

Die bereits erwähnten Erweiterungsmöglichkeiten zeigen jedoch bereits hinreichend deutlich die ungewöhnlich hohe problemspezifische Anpassungsfähigkeit dieser Theorie auf, so daß nun zu einer exemplarischen Formulierung der Veränderung einer Handlungsdisposition eines Systems übergegangen werden soll, mithin zu einem (zunächst notgedrungen groben) Modell der Innovationsdurchsetzung durch Systemlernen.

4 Der Durchdringungsprozeß in sozialen Systemen – einschränkende Annahmen

Die Lernfortschritte des Systems werden als Ergebnis individueller Lernfortschritte der Systemmitglieder verstanden. Diese Einzelnen werden in ihrem Mikroverhalten auf der Grundlage des Proponenten-Opponenten-Konzepts modellhaft integriert werden; das Systemverhalten ist gleichwohl nicht (ausschließlich) mikrofundiert, sondern emergent. Dies gilt bereits für die Modellierung des einfachen Prozesses der Innovationsdurchsetzung. Er ist auf folgenden Annahmen aufgebaut, die im Einzelnen dann zu erläutern sein werden:

⁴⁰ An dieser Stelle wird von dem von *Kesten* 1987, S. 1255 vorgeschlagenen Ansatz insofern abgewichen, als dieser vom Konzept der Passagewahrscheinlichkeiten abgeht und nunmehr stattdessen den »Invasionsdruck« steigert. Beide Formulierungen sind weitgehend gleichwertig, denn sie berücksichtigen iterativ jeweils nur die berührenden Kanten, die im einen Fall die nächstgeringste Druckerhöhung, im anderen Fall die nächstgrößte Passagewahrscheinlichkeit abfragen. Allerdings handelt es sich bei der Druckerhöhung um ein deterministisches Konzept, während hier das ursprünglich stochastische Konzept weiter verfolgt wird und damit insofern ungenau wird, als sich natürlich prinzipiell eine Kante als offen zeigen kann, die eine viel niedrigere Passagewahrscheinlichkeit aufweist und umgekehrt.

Insbesondere die Idee der Erhöhung des Invasionsdrucks berücksichtigt andererseits in nicht ausreichendem Maße, daß die jeweils weiter entfernt liegenden Kanten (sozusagen der nächsten und übernächsten Generation) auch schon mal eine wieder erleichterte Durchdringbarkeit aufweisen können. Dies führt zu einem anderen Interpretationsproblem, denn nach dem Konzept der Erhöhung des Außendrucks würden auch diese Kanten automatisch mit 'geflutet', also an K_t angeschlossen und der Kantenzug würde um mehr als nur eine Kante pro Periode wachsen.

- (a) Die Modellierung der Organisation erfolgt durch einen ungerichteten Graphen auf einem zwei-dimensionalen Gitter. Die Organisationsmitglieder (im Falle der Unternehmen: Beschäftigten) werden durch die Knoten, ihre Interaktionswege durch die Kanten repräsentiert. Darüber hinaus wird eine wesentliche Erweiterung zur ursprünglich nur auf eine (stochastisch) gegebene Struktur hin angelegte Perkolations-theorie mit eingebaut: Die Elemente sollen aufeinander einwirken können. Dieses Konzept deutet sich zwar bereits in der Erweiterung zur Invasionsperkolation an, nutzt in diesem Punkte jedoch ergänzend Verfahren, die im Zusammenhang mit den sogenannten »zellulären Automaten« entwickelt worden sind.

Prinzipiell ist jeder Knoten x als Darstellung eines Organisationsmitgliedes zu interpretieren, es können jedoch ebensogut Außenbeziehungen zum Umsystem symbolisiert werden. Dies wird im Beispiel des Unternehmens deutlich: stabile Kunden- oder Lieferantenbeziehungen können selbstverständlich eine organisatorische Veränderung aufhalten, wenn diese mit den Veränderungen nicht einverstanden sind – etwa, indem die Modifikation der Vorprodukte als zu kostspielig verweigert wird oder indem die Kunden auf dem gewohnten Standard bestehen.

Die Knoten sind auf einem regelmäßigen ganzzahligen $n \times m$ Gitter angeordnet, sie sind dementsprechend bezeichnet als $x_{n,m}$.

- (b) Die Durchsetzung von Innovationsprozessen in der Organisation ist eine Frage der Bildung von Koalitionen. Nur die Proponenten sind in diesem Sinne aktiv.

Ein soziales System, wie ein Unternehmen etwa es darstellt, ist nicht dadurch zu verändern, daß an einer einzigen Stelle Veränderungen gedacht oder auch durchgeführt werden. Es bedarf der Bildung von Koalitionen, die sich in ihrer Interaktionsstruktur stabilisieren müssen. Daher werden die Kanten als mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ϕ durchlässig beschrieben, d.h. ein Proponent vermag es mit dieser bestimmten Wahrscheinlichkeit, seine Interaktionspartner von dem Vorhaben zu überzeugen und in die Koalition zu ziehen.⁴¹

- (c) Hierarchische Strukturen spielen keine Rolle.

Für die Einfachheit des Modells sollen hierarchische Strukturen keine Rolle zugewiesen bekommen. Das bedeutet sozusagen, daß auf die ‚Überzeugung‘ mit Machtmitteln verzichtet wird. Auch werden besondere persönliche Beziehungen außer Acht gelassen, die auf informellem Wege der Gruppenkohäsion oder einer bilateralen Freundschaft eine erfolgreiche Überzeugungsleistung wahrscheinlicher werden lassen. Die Passagewahrscheinlichkeit wird als für alle Kanten gleich angenommen.

- (d) Ein Innovationsprozeß findet seinen Ursprung an einer beliebigen Stelle der Organisation.

Diese Annahme folgt weitgehend aus der Annahme (c), ohne ihr ganz zu entsprechen. Natürlich gibt es für bestimmte Innovationsanstöße privilegierte Orte: Kaum wird man damit rechnen müssen, daß entscheidende Veränderungen in der verwendeten Produktionstechnologie aus der Buchhaltung in einem Unternehmen entspringen werden. Im Grunde drücken die Annahmen (c) und (d) nicht weniger und nicht mehr aus, als daß von einer stratifikatorischen (Annahme c) und darüber hinaus von einer funktionalen Differenzierung (Annahme d) abstrahiert wird. Operational wird der Graph auf der Grundlage dieser beiden Annahmen jeweils so transformiert, daß der Ausgangsknoten im Ursprung des Graphen $x_{0,0}$ zu liegen kommt.

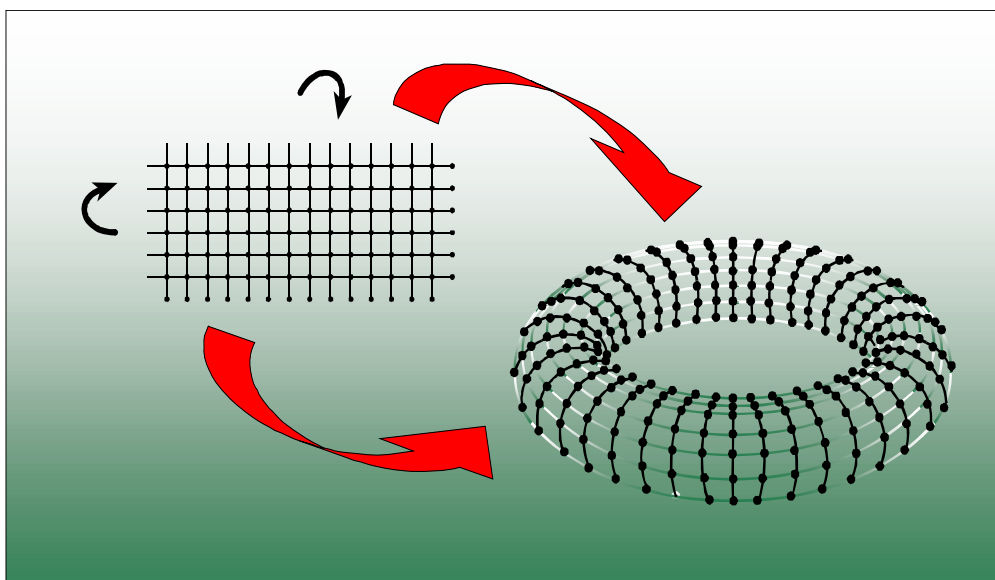
- (e) Jeder Beschäftigte hat vier Interaktionspartner.

⁴¹ Vgl. so bereits in *Kirsch* 1972, S. 176, der davon ausgeht, daß die Mitglieder einer Organisation nicht notwendig ein ‚Team‘ darstellen, das geschlossen auf einer einheitlichen Wertgrundlage agiert, sondern die um die Verteilung legitimer Einfluß- bzw. Verteilungschancen koalieren und konkurrieren.

Dies bedeutet zum einen, daß eine gleichmäßige Zahl von Interaktionen pro Periode unterstellt wird. Gleichzeitig zeigt dies an, daß die modellhafte Darstellung im zweidimensionalen Raum (\mathbb{N}^2) erfolgt und sich ein torusförmiges Modell ergibt (vgl. die Rekonstruktion eines Torus aus einer im zweidimensionalen Raum ausgebreiteten Matrix durch Anschluß von oberem und unterem ‚Rand‘ sowie von linkem und rechten ‚Rand‘⁴² in der zweidimensionalen Darstellung nach Abbildung 4).

Abbildung 4:

Der Strukturgittertorus als $\mathbb{N} \times \mathbb{N}$ -Matrix mit Randschluß



- (f) Ein nachhaltiger Erfolg ist dabei nur zu erzielen, wenn Lernprozesse angeregt werden.

Bei der Annahme wird auf eine Differenzierung nach kognitiven bzw. psychomotorischen und affektiven Lernzielen zunächst verzichtet. Vor allem aber die wesentliche Rolle der affektiven Lernziele zeigt an, daß ein Verbrauch an Zeit vonstatten geht (vgl. oben das Postulat von *Taylor*). Dieser Zeitverbrauch wird durch die verschiedenen Iterationsschritte simuliert, so daß die Knotenwerte zusätzlich durch eine Laufzeitvariable zu indizieren sind: $\xi_t(x_{n,m})$. Dabei ist freilich auf ein Interpretationsproblem hinzuweisen, nämlich wie die Iterationsabstände realzeitlich zu verstehen sein sollen. Die Frage, ob ein Iterationsschritt einen Tag, eine Woche oder einen Monat modellieren soll, ist formal jedoch ohne Belang.

- (g) Es sollen nur Opponenten und Proponenten im Modell vorkommen.

Die Opponenten werden zu einem Zeitpunkt t durch einen Knotenwert $\xi_t(x_{n,m}) = 0$, die Proponenten durch einen Knotenwert $\xi_t(x_{n,m}) = 1$ repräsentiert.

- (h) Ist ein Organisationsmitglied zur Innovatorengruppe gestoßen, wird er bei dieser Position bleiben. Ein Mitglied der Opposition wird dann seine Meinung mit der Wahrscheinlichkeit \wp ändern, wenn zu einem Innovator eine kommunikative Beziehung besteht.

Das heißt, es wird ein Sperrklinkeneffekt unterstellt, der überdies punktuelle Meinungsänderungen voraussetzt und keine kontinuierlichen oder länger andauernden Meinungsbildungsprozesse

⁴² 'Ränder' existieren annahmegemäß eigentlich nicht, sondern resultieren aus der vertrauteren zweidimensionalen Darstellung. Insofern geht es im Grunde genommen auch nicht darum, einen Torus zu konstruieren, sondern den kommunikativen Selbstbezug des Systems Rechnung zu tragen.

se. Die zeitlichen Übergänge zwischen den einzelnen Iterationsschritten sind damit festzulegen als:

Für

$$\xi_t(x_{n,m}) = 1 \rightarrow \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 1 \quad (\text{Stabilität der Koalitionszugehörigkeit})$$

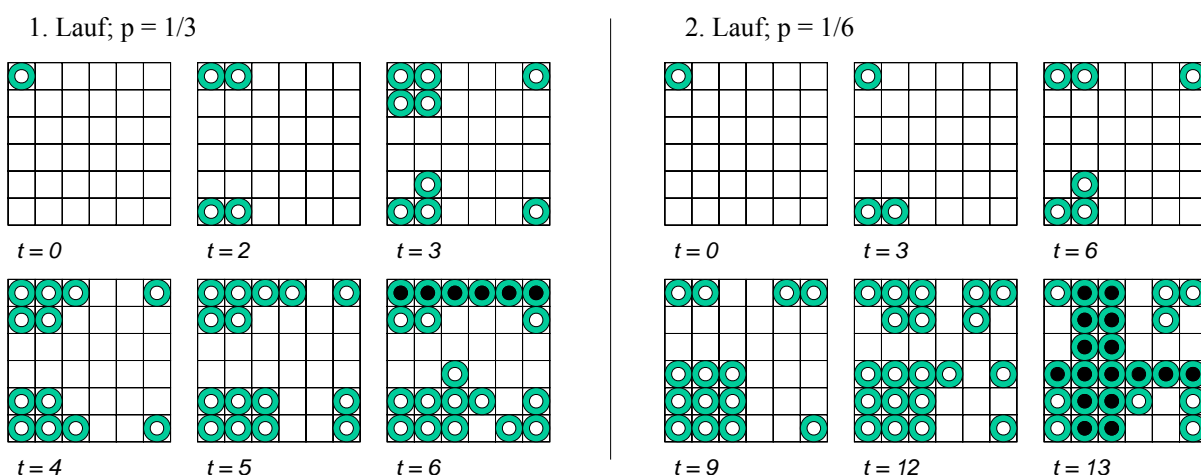
$$\xi_t(x_{n,m}) = 0 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 1, \text{ mit } \wp | \dots \\ \dots [\xi_t(x_{n-1,m})=1] \\ \vee [\xi_t(x_{n,m-1})=1] \\ \vee [\xi_t(x_{n+1,m})=1] \\ \vee [\xi_t(x_{n,m+1})=1] \\ \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 0, \text{ mit } (1-\wp) | (\text{sonst}) \end{array} \right. \begin{array}{l} (\text{Beeinflussbarkeit durch Dritte/} \\ \text{durch Nachbarknoten/} \\ \text{durch Kommunikationsprozeß}) \end{array}$$

(i) Eine Innovationskoalition ist dann »erfolgreich«, wenn sie sich im System stabilisiert hat.

Eine Organisation sei dann zur Umsetzung einer Innovation bereit ($\theta(p) = 1$), wenn sich in der Darstellung des Modells ein unendlicher Graph von Proponentenknoten ausgebildet hat. Dies stellt sich dar als das Schließen eines horizontalen, vertikalen oder eines kombinierten ‚Weges‘, der sich durch die gesamte Organisation hindurch zieht und sich aus benachbarten und koalierenden Knotenpunkten zusammensetzt.

Diese Annahmen werden nun probenhalber in einem kleineren Modell umgesetzt, das auf Perkolation (Durchdringung) untersucht wird. Das (aleatorisch) simulierte System habe 36 Mitglieder, die ‚Meinung‘ der Knoten wird durch grüne Kringel für die Träger der Innovationskoalition symbolisiert. Wenn das System perkoliert, ist die Zeile oder Spalte, für welche die Systemdurchlässigkeit festzustellen ist, mit schwarz gefüllten Kernen verdeutlicht.

Abbildung 5:
Simulationsläufe für ein 6x6-System (Grundmodell)



Niemand wird behaupten wollen, daß ein solches Modell mit den gemachten Annahmen in besonderem Maße dem Ziel der Homomorphie entspreche. Auch formal ist es dem ursprünglichen Konzept der Perkolation insofern unterlegen, als es nicht eine Frage ist, ob es zu einer Durchdringung

kommt, sondern *wann* dies der Fall ist.⁴³ Dies wird deutlich bei den hier wiedergegebenen Testläufen in einem kleinen System (vgl. Abbildung 5). In jedem Iterationsschritt („Zeitpunkt“) wird seriell für jeden Knoten, der noch nicht der Koalition angehört, mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit eine Meinungsänderung ausgelöst. Dabei ändert sich der Knotenwert (die „Meinung“) mit je unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von den Werten der vier Nachbarknoten. Der Urheber der Invention, der ursprüngliche Fachproponent der Innovation, wird hierfür auf den linken oberen Knoten definiert (in $t=0$). Dies ist ggf. leicht durch eine Parallelverschiebung des Gitters herzustellen.

Auch auf der Grundlage dieser einfachen Modellform lassen sich schon einige interessante Beobachtungen machen, die wenigstens plausibel erscheinen: Zunächst ist auffallend, daß die Durchsetzung zu Beginn des Prozesses weitaus langsamer abläuft, als dies gegen Ende der Fall ist. Daraus ließe sich – bei aller Vorsicht – der Schluß ziehen, daß es nicht sinnvoll sein kann, Innovationen mit der Brechstange durchsetzen zu wollen, der Boden muß bereitet sein. Dies kann durch bloßes Zuhalten geschehen – mit dem Risiko, daß trotz Aufrechterhaltung des innovativen Impulses der Versuch abgebrochen wird (im obigen 2. Lauf zeigt sich nach sechs „Monaten“ eine augenscheinlich völlig hoffnungslose Lage). Es kann aber auch dadurch geschehen, daß die Bereitschaft, auf das Anliegen einzugehen, verbessert wird (und etwa durch systemdidaktische Maßnahmen⁴⁴ die Übergangswahrscheinlichkeit von $1/6$ auf $1/3$ erhöht wird).

Weiter ist augenfällig, daß ein Umschwenken auf die Linie der Innovationskoalition umso wahrscheinlicher wird, je mehr Nachbarn ihr angehören. Im günstigsten Fall wird von vier benachbarten Kommunikationspartnern „Überzeugungsarbeit“ geleistet – mit der Folge, daß sich die resultierende Übergangswahrscheinlichkeit erhöht. Dies beschreibt ohne Frage ein ausgesprochen vertraut erscheinendes Verhalten ... außer bei eigensinnigen Sturköppen, natürlich.

Vor diesem Hintergrund wird auch das Durchdringungskriterium interpretierbar: Ist erst einmal eine ganze Zeile oder eine ganze Spalte in die Koalition eingetreten, könnte man argumentieren, daß entweder damit der Beweis angetreten ist, daß das Innovationskonzept auf allen Ebenen des Systems angenommen werden kann oder aber über verschiedene inhaltliche Perspektiven (wie in funktional differenzierten Unternehmen) konsensfähig ist.

5 Vom Sichern zum Gestalten – Weiterentwicklung des angewandten Grundmodells

Obwohl sich das Grundmodell trotz seiner Einfachheit als interpretierbar gezeigt hat, sollen noch einige Möglichkeiten alternativer Formulierungen angedeutet werden, die man in ihrer Gesamtheit oder konkurrierend zur Variation des Modells heranziehen könnte.

(a) Es sollen auch hierarchische Aspekte Berücksichtigung finden.

Eine denkbare Darstellung hierarchischer Einwirkung liegt in der Einführung einer gerichteten Veränderung der Nachbarknoten, d.h. hierarchische Aspekte lassen sich durch Einführung unterschiedlicher Passierwahrscheinlichkeiten darstellen.

⁴³ Der Grund hierfür liegt in der Modellannahme der iterierten Bestimmung der Knotenzustände. Möglicherweise wäre es in diesem Interesse sinnvoller, eine kombinierte Knoten-Kanten-Perkolation durchzuführen, bei der nur einer der beiden Aspekte iterativ bearbeitet wird, der andere jedoch aleatorisch vorab festgelegt wird; z.B. Definition eines geringen Anteils „Fundamentalopposition“. In einem solchen Modell ist von einem eigenen kritischen Wert p_c auszugehen.

⁴⁴ Es ist der gebotenen Akkuratess halber darauf hinzuweisen, daß systemdidaktische Maßnahmen i.S.v. *Bank* 2004, Kap. 5, außerhalb dieses Sickermodells stehen, denn sie widersprechen der Annahme (e).

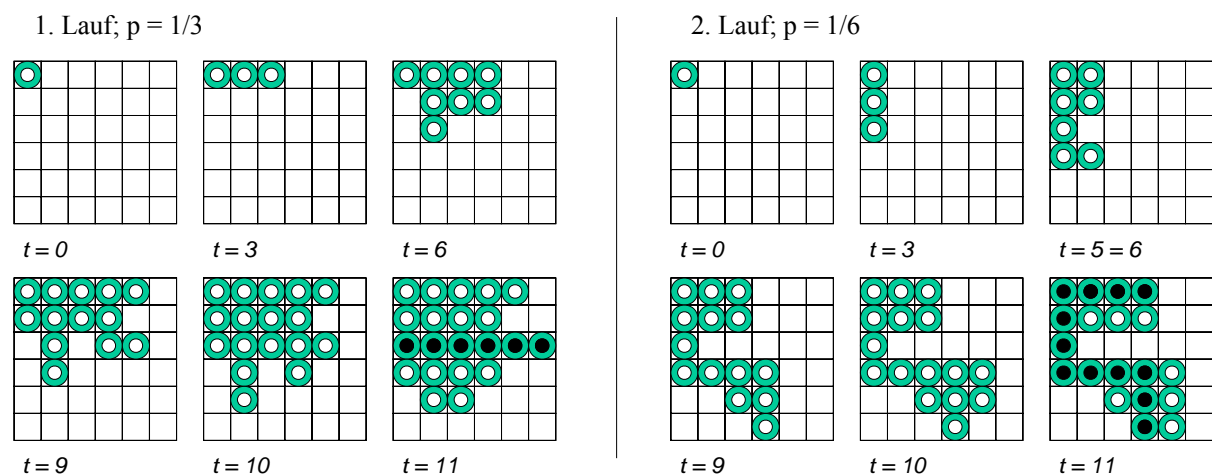
In der radikalen Form ($\wp = c$) würde dies bedeuten, daß nur ein Teil der gleichrangigen oder alle höherrangigen Systemmitglieder die Bereitschaft zur Veränderung beeinflussen können. Ansonsten ($\wp > c$) hieße dies soviel, als daß auch niedrigerrangige und die übrigen gleichrangigen Nachbarn einen, wenn auch geringeren, Einfluß geltend machen können.

Für

$$\begin{array}{l}
 \xi_t(x_{n,m}) = 1 \rightarrow \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 1 \quad \text{(Koalitionär bleibt)} \\
 \\
 \xi_t(x_{n,m}) = 0 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l}
 \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 1, \text{ mit } \wp | \dots \\
 \dots [\xi_t(x_{n-1,m})=1] \quad \text{(hierarchisch verstärkter Lernprozeß/} \\
 \vee [\xi_t(x_{n,m-1})=1] \quad \text{von links oben nach rechts unten)} \\
 \\
 \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 1, \text{ mit } (\wp - c) | \dots \\
 \dots [\xi_t(x_{n+1,m})=1] \quad \text{(abgeschwächter Effekt} \\
 \vee [\xi_t(x_{n,m+1})=1] \quad \text{von rechts unten nach links oben)} \\
 \\
 \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 0, \text{ mit Gegenwahrscheinlichkeit | (sonst)}
 \end{array} \right. \\
 \\
 \text{(falls } c=p: \text{ totale Obrigkeitshörigkeit; falls } c=0 \text{ entspricht dies dem Grundmodell)}
 \end{array}$$

So ergibt sich für den radikalen Fall, daß wegen ($\wp = c$) mithin nur der linke oder obere Knoten Einfluß ausübt, ein ganz anderes Bild des Verlaufs der Durchdringung. Interessant ist, daß Hierarchie in diesem Modell zu einer Verzögerung der Durchdringung des Systems führt. Somit scheint die radikale Form des Hierarchiemodells *prima vista* weniger angemessen zu sein, denn normalerweise geht man davon aus, daß hierarchische Strukturen kurzfristig von einer höheren Durchsetzungsfähigkeit sind. Dies gilt offensichtlich aber nur insoweit, als neben einer machtvollen Beeinflussung der Durchdringungsparameter keine Lernprozesse bezüglich der kognitiven und psychomotorischen wie erst recht der affektiven Dimensionen ablaufen müssen. Nur wenn auf Mikroebene ein entsprechendes Verhaltensrepertoire bereits vorhanden und auf der emergenten Systemebene bewährt ist, hat dieses Modell einer gerichteten Kommunikationsstruktur gegenüber einer ungerichteten Vorteile aufzuweisen.

Abbildung 6:
Simulationsläufe für ein hierarchisches 6x6-System



Hier erzeugt der zweidimensional gerichtete Durchlauf ein deutlich erkennbar anderes Bild gegenüber dem anarchischen System oben, weil (wie in bestimmten Versionen der *oriented percolation*) nur Knoten rechts und unterhalb verändert werden.

(b) Es sollen nicht nur Opponenten und Proponenten im Modell vorkommen.

Es besteht nun die Möglichkeit, in einem ersten Schritt der Erweiterung den Knoten verschiedene Qualitäten zu assignieren. Damit wird die Möglichkeit formalisierbar, daß über eine gewisse Zeit eine Anzahl von Personen sich unentschieden verhält. Die Opponenten werden zu einem Zeitpunkt t durch einen Knotenwert $\xi_t(x_{n,m}) = (-1)$, die Proponenten wie vor durch einen Knotenwert $\xi_t(x_{n,m}) = 1$ repräsentiert, die Unentschiedenen werden wie vor durch den Knotenwert $\xi_t(x_{n,m}) = 0$ dargestellt.

(c) Es soll auch die Opposition Durchdringungskraft haben.

Es ist nun ganz und gar nicht damit zu rechnen, daß die Opposition sich nur passiv verhält, sondern vielmehr, daß auch die Opponenten versuchen werden, Koalitionäre zu gewinnen. Dies läßt sich dadurch darstellen, daß in das Modell nicht nur eine Veränderung der ‚Einstellung‘ eines Knotens unter der Maßgabe der benachbarten Proponentenknoten [$(\xi_t(x_{n,m}) = 1)$] eintreten kann, sondern auch unter dem Einfluß eines Opponenten [$\xi_t(x_{n,m}) = (-1)$] eine Veränderung mitmodelliert wird.

Zum Beispiel läßt sich auf der Basis einer zufallsverteilten Assignierung von Proponenten- und Opponentenknoten als Ausgangslage die iterative Zuweisung der Knotenwerte dann unterschiedlich formulieren, etwa dadurch, daß mit der gleichen Passagewahrscheinlichkeit die Meinung des Nachbarn übernommen wird:⁴⁵

Für

$$\begin{array}{l} \xi_t(x_{n,m}) = 1 \rightarrow \quad \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 1 \\ \xi_t(x_{n,m}) = (-1) \rightarrow \quad \xi_{t+1}(x_{n,m}) = (-1) \\ \\ \xi_t(x_{n,m}) = 0 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 1, \text{ mit } \wp | \dots \\ \quad \dots [\xi_t(x_{n-1,m})=1] \\ \quad \vee [\xi_t(x_{n,m-1})=1] \\ \quad \vee [\xi_t(x_{n+1,m})=1] \\ \quad \vee [\xi_t(x_{n,m+1})=1] \\ \\ \xi_{t+1}(x_{n,m}) = (-1), \text{ mit } \wp | \dots \\ \quad \dots [\xi_t(x_{n-1,m})= (-1)] \\ \quad \vee [\xi_t(x_{n,m-1})= (-1)] \\ \quad \vee [\xi_t(x_{n+1,m})= (-1)] \\ \quad \vee [\xi_t(x_{n,m+1})= (-1)] \\ \text{(Abbruch nach der 1. iterativen Veränderung)} \\ \\ \xi_{t+1}(x_{n,m}) = 0, \text{ mit } (1-\wp) | \text{ (sonst)} \end{array} \right. \end{array}$$

Diese Erweiterung ist leicht ausbaufähig, etwa in dem Sinne, daß Proposition und Opposition sich mit unterschiedlicher Kraft durchsetzen, dann wäre zu unterscheiden \wp_p und \wp_o .

(d) Es sollen unterschiedliche Grade der Überzeugung Ausdruck finden können.

⁴⁵ Es scheint lohnend, diesen Modellansatz in seinen augenfälligen Eigenschaften mit dem »zellulären Automaten« von Nowak et al. und den dort errechneten Ergebnissen zu vergleichen; vgl. 1996, S. 58 ff.

Es wird in weiterer Ausdifferenzierung aber auch die Möglichkeit darstellbar, bestimmte Systemmitglieder als unbeeinflussbare Fundamentalopponenten [$\xi_i(x_{n,m}) = (-2)$], andere wiederum als militante Innovationsideologen [$\xi_i(x_{n,m}) = (+2)$] auszuweisen. Unterschiede im Grad der Überzeugung können so einen Ausdruck finden: Im Sinne des Modellerns beziehungsweise opportunistischer Überlegungen könnten die sogenannten »Mitläufer« [$\xi_i(x_{n,m}) = (\pm 1)$] dementsprechend berücksichtigt werden. Die Unentschiedenen würden weiterhin durch den Knotenwert $\xi_i(x_{n,m}) = 0$ modelliert.⁴⁶

Eine Reihe weiterer, hier nicht mehr im Detail ausgeführter Veränderungen soll im Weiteren nur noch angerissen werden. Zu denken ist etwa an eine Modellierung von Vergessenseffekten, indem die Parteinahme zugunsten der einen oder der anderen Seite auf einer singular definierten oder in Form einer gegen Null strebenden geometrischen Reihe der Parameterwerte ausgedrückt wird.

Da im Normalfall die Kontakte nicht nur in ihrer inhaltlichen Komponente, sondern auch in ihrer Intensität bzw. Frequenz variieren, kann man dazu übergehen, anstelle nur regelmäßiger Gitter auch Leerstellen einzufügen. Für eine Erhöhung der Menge der Kontaktpersonen ist an ein Modell zu denken, das sich an der Übersprungperkolation orientiert, alternativ dazu ließe sich die Dimensionalität des Systems theoretisch ins Unendliche steigern. Letzteres ist grundsätzlich nur durch die Unmöglichkeit einer operationalen Implementation eines solchen Systems begrenzt. So geht zwar die geometrische Anschaulichkeit verloren, es wird indessen dem Konzept der Orthosysteme⁴⁷ besonders Rechnung getragen, denn es lassen sich auch die Abteilungen eines Unternehmens oder einer Schule unter bestimmten Bedingungen als orthogonal zueinander gerichtete Subsysteme begreifen. Nicht zuletzt ließe sich in diesem Sinne eine mittelbare Beeinflussung in die Modellstruktur mit einbeziehen, so daß eine Einwirkung durch soziometrisch weiter entfernte Systemmitglieder darstellbar würde, etwa durch eine Multiplikation der Passagewahrscheinlichkeit

$$\wp'(X_{n,m} \rightsquigarrow X_{n,m+d}) = \wp(X_{n,m} \rightsquigarrow X_{n,m+1}) * 1/de^c \text{.}^{48}$$

Diese Überlegungen führen in letzter Konsequenz zu singular definierten Graphen, die einzeln definierte Knoten, je individuell bestimmte Interaktionskanten und deren je spezifische Durchlässigkeit im Modell vereinigen. Dann schließt sich der Kreis zu den Soziogrammen *Morenos*,⁴⁹ deren Anliegen hier nicht mehr die Deskription aus eigenem Recht ist oder gar die Entblößung irgendwelcher pathologischer Zustände, sondern die empirische Grundlage für eine gezielte Testung verschiedener Handlungsstrategien mit Steuerungsabsicht außerhalb der erbarmungslosen Wirklichkeit abgibt.⁵⁰

⁴⁶ Vgl. auch hier noch einmal die Modellierung unterschiedlicher Meinungsstärken im »zellulären Automaten« ebenda, besonders S. 64. NOWAK et al. 1996

⁴⁷ Das Konzept der Orthosysteme ist in *Bank* 2004, S. 101 ff. entwickelt worden. Mit dem Konzept der »Orthosysteme« soll dem Problem Rechnung getragen werden, daß Menschen niemals nur einem einzigen sozialen System angehören, sondern in Familie, Freundeskreis, Beschäftigung etc. ganz unterschiedlichen Systemen. Dies kann weder von funktionalen, strukturalen oder hierarchischen Systemkonzepten geleistet werden, was zu teils skurrilen Verwindungen in der Literatur geführt hat.

⁴⁸ *Nowak et al.* verweisen auf Quellen, welche die Kommunikationswahrscheinlichkeit als eine quadratisch abnehmende Funktion der physischen Distanz bestimmt haben wollen; vgl. 1996, S. 58.

⁴⁹ Vgl. zur Soziometrie ursprünglich *Moreno* 1954 sowie die dort aufgeführten einschlägigen Schriften desselben. Das Soziogramm versucht, die sozialen Beziehungen (Sympathie, Antipathie, Kontaktfrequenzen etc.) zu operationalisieren und graphisch darzustellen.

⁵⁰ Es ist natürlich auf die obige Kritik der empirischen Sozialforschung hinzuweisen; vgl. eine entsprechende Kritik bei *Zwicker* unter dem Stichwort ‚Hypothesengewinnung‘ 1981, S. 110. Insofern darf nicht erwartet werden, daß der

6 Zum Potential der Perkulationsmodelle für die Beforschung von Veränderungsprozessen in Systemen

In diesem Beitrag wurde von der Problematik der Koalitionsbildung in Systemen als spezifische Form der Innovation in Unternehmen oder anderen sozialen Systemen ausgegangen. Die Problematik der Innovationsdurchsetzung in Unternehmen und ähnliche Durchdringungsprobleme stellen sich auf gesamtgesellschaftlicher Ebene in Hinblick auf die Durchsetzung politischer Positionen und in didaktischen Aufgabenstellungen im Klassenunterricht etwa mit der Frage der hinreichenden Beherrschung des zu lernenden Stoffes durch eine so große Anzahl von Klassenmitgliedern, daß ein Fortschreiten im Lehrplan möglich ist, ohne die Klasse insgesamt zu überfordern. Vor diesem Hintergrund wurde nach Möglichkeiten der formalen Darstellung dieses Anliegens in dynamischen Modellen gefragt. Um die Durchdringung eines sozialen Systems mit einer Idee in dieser Form darzustellen, wurde für die Nutzung der Perkulationstheorie in modifizierter Form plädiert.

Für eine Modellierung mit Hilfe von Zufallsgraphen spricht in erster Linie das theoretische Argument der Ganzzahligkeit aber auch die praktische Überlegung der leichteren mathematischen Handhabbarkeit sowie der Flexibilität bei sich ändernden äußeren Vorgaben durch den zu modellierenden Zusammenhang. In der Perkulationstheorie liegt ein spezifisches Augenmerk auf dem Phasenübergang des Gesamtsystems, was dieses Verfahren vor den mathematischen Automaten auszeichnet. Im Vergleich zu analytischen Verfahren, die auf stetigen Daten gründen, ist darüber hinaus eine komplexere Modellierung in Verbindung mit einer besseren Passung der Variablen möglich. Damit können wesentliche Vorzüge der Computersimulation als Erkenntnisinstrument (vgl. Saam 2005) erzielt werden, die bislang für die Auseinandersetzung mit Innovationen und ihrer Durchsetzung so nicht versucht worden sind.

Kritisch ist anzumerken, daß mit der Überschreitung des Grundmodells eine Reihe von Annahmen eingeführt worden sind, die zu der theoretischen Verankerung als Zufallsgraph nicht mehr konform sind. Das erweiterte Modell und sein Ausbau erweisen sich als unabsichtlich in mancherlei Hinsicht an die Konzeption der Theorie zellulärer Automaten angenähert, die von spezifischen Interaktionen zwischen den Knoten (Zellen) ausgeht und unterschiedliche Nachbarschaften definiert. Da es aber nicht um eine Anwendung einer mathematischen Theorie *per se* geht, sondern um die Modellierung eines konkreten sozialen Gestaltungsproblems, wird man diesen Einwand nicht zu hoch hängen wollen, solange aus dem Hybridmodell von Perkulations- und Automatentheorie die dem Eindeutigkeits- und Repräsentationssatz⁵¹ genügenden numerischen Modellzusammenhänge darstellbar werden. Hier sollte für die konkrete Ausgestaltung des Modellansatzes das pragmatische Kriterium der Viabilität (Gangbarkeit) Vorrang haben.

Insgesamt wäre der größte Gewinn aus dem Modellierungskonzept zu ziehen, wenn die Auswirkungen unterschiedlicher Systemgrößen wie unterschiedliche Systemstrukturen (Dimensionalität, Homogenität, Übergangswahrscheinlichkeit etc.) verglichen würden. Das Interesse der Analyse aus formaler Sicht liegt in der Frage des Systemverhaltens in Bezug auf die Elementareigenschaften sowie der experimentellen Ermittlung oder – soweit möglich – dem Beweis unterschiedlicher kritischer Übergänge. Aus materieller Sicht interessiert die Frage des Erfolges unterschiedlicher Einwirkungsmöglichkeiten unter verschiedenen Systembedingungen. Die Perkulationstheorie zeigt sich als Verfahren, welches den Anforderungen einer Modellierung von Veränderungsprozessen in sozialen Systemen und deren systematischer Steuerung gerecht wird, sodaß eine Implementation eines

Erkenntnisrahmen des Modells in irgendeiner Form ohne die Übernahme der Entscheidungen oder der Handlungen durch Individuen vonstatten gehen könnte.

⁵¹ Der Eindeutigkeitsatz verbietet eine mehrdeutige Abbildung, der Repräsentationssatz fordert eine valide Abbildung von Entitäten und der dazwischen bestehenden Zusammenhänge im numerischen Relativ einer Messung (skalar) oder eines Modells (multidimensional; vgl. Jongbloed 2005, S. 338).

solchen Modells umso mehr erwarten läßt. Es kann nicht das Ziel sein, für eine streng formulierte Theorie neue Anwendungsfälle zu suchen,⁵² sondern die Theorie für die Modellierungsproblematik gewinnbringend einzubringen. Man wird anerkennen, daß das wiederum innovative Rückwirkungen in die Mathematik haben kann.

Das hier untersuchte Anliegen besteht in der Absicht, die Zusammenhänge von Veränderungsprozessen in sozialen Systemen und deren systemische Steuerung besser verstehen zu lernen. Wie setzen sich neue Ideen in sozialen Systemen durch, welche Parameterkonstellationen führen dazu, daß es zu keiner Durchsetzung kommt, wie schnell und unter welchen Bedingungen ist eine Innovation durchsetzbar, welche Parameter lassen sich in der Realität gezielt beeinflussen, um eine Durchsetzung zu beschleunigen: Im Hinblick auf die formale Darstellung und Beforschung der formalen Darstellung jenseits der rein mathematischen Grundlagen gibt es noch kein entsprechendes und umfassendes Forschungsprogramm.⁵³ Sicher aber ist kein empirisches Programm mit entsprechenden Erfahrungsmöglichkeiten gegeben: Für die Feldforschung – soweit sie sich nicht phänomenologisch mit der Interpretation einiger weniger Einzelfälle zufriedengeben will – entziehen sich die erforderlichen Ressourcen jedem menschlichen Begriff. Selbst ein intergenerativ angelegtes Großprogramm würde wohl nicht die erhofften Ergebnisse zutage fördern können, die überdies in technologischem Interesse mit dem dann unübersehbaren Makel einer über kürzere oder längere Zeit bereits vergangenen Realität behaftet wären (vgl. dazu grundsätzlicher Bank 2009).

Daraus läßt sich eine enge Verbindung in der Auseinandersetzung mit simulativen Modellen auf der Grundlage von Zufallsgraphen und der Innovations(durchsetzungs)theorie ableiten, die sich in diesem Beitrag immer wieder als unvermeidbar gezeigt hat. Dem Erkenntnisinteresse über die Möglichkeiten der formalen Abbildung entspricht ein Erkenntnisinteresse über die tatsächlichen Relationen in einem (zunächst lediglich phänomenalen) empirischen Relativ. Dementsprechend sieht sich ein Forschungsprogramm, welches das unhintergehbare empirische Defizit durch den Einsatz simulativer Modelle zu umgehen trachtet, leicht dem Vorwurf eines Modellplatonismus ausgesetzt. Diesem Vorwurf kann nur durch hinreichend realistische Grundannahmen begegnet werden, die immerhin als solche Gegenstand einer empirischen Feldbegehung sein müssen. Dann aber ist es so, daß auch die Simulation nicht nur mit den Programmierkosten verbunden wäre. Gerade dann, wenn man an die unerläßlichen Modellvariationen denkt, die notwendig sind, um das Modell an eine konkret betrachtete realweltliche Situation so gut als möglich anzupassen, wird einsichtig, daß auch hier erhebliche Forschungsressourcen eingesetzt werden müssen. Umso mehr gilt diese Feststellung, wenn das Ziel der Simulation die bloße Beschreibung überschreiten soll und zur Beurteilung von Handlungsalternativen mit dem Ziel der Steuerung des Systemwandels – sei es im Klassenunterricht, sei es als Change Management in Unternehmen, sei es gar auf politischer Ebene – herangezogen werden soll. Wie dem auch sei: Eine weitergehende Bearbeitung dieser interessanten und relevanten Problematik ist an dieser Stelle als Desiderat für weitergehende Forschung mit diesem Beitrag benannt.

⁵² Immerhin: Deutlich wird schon an dieser Stelle, daß der bei *Blanchard* geäußerte Wunsch, den Verfahren, welche sich auf Zufallsgraphen stützen, mögen sich weitere Anwendungsfelder erschließen, in der simulativen Bearbeitung von »sozialen Systemen« ein weites Feld findet, um in Erfüllung zu gehen; vgl. diesen 1993, S. 1118. Nichtsdestoweniger ist dieser Beitrag ausschließlich der Anregung *Blanchards* geschuldet und insoweit ein Stück weit Einlösung dieser Absicht.

⁵³ »Forschungsprogramm« ist hier eher umgangssprachlich als ein ‚umfassendes und systematisches Vorhaben‘ zu verstehen. Vgl. dagegen zu den Eigenschaften eines Forschungsprogramms *Gethmann*: Ein Forschungsprogramm ist „ein Komplex von Hypothesen und methodischen Regeln, aus deren Befolgung sich eine kontinuierliche Entwicklung wissenschaftlicher Theorien ergibt. [...] Ein Forschungsprogramm besteht aus Verbotsregeln („positive Heuristik“). Die Verbotsregeln beinhalten, daß bestimmte Hypothesen nicht angegriffen werden dürfen („harter Kern“ des Forschungsprogramms).“; 1980, S. 664, Abkürzungen wurden ausgeschrieben. Die oben zitierte Definition *Gethmanns* würde den Begriff, so wie er an dieser Stelle verwendet wird, vermutlich nicht mit einschließen.

Literatur

- Arnol'd, V. I.*: Catastrophe Theory (org.: Teoriia katastrof. Moskau 1981). 3. Auflage, Berlin u.a 1992.
- Bak, P. & Chen, K.*: Selbstorganisierte Kritizität, in: Spektrum der Wissenschaft (1991), Nr. 3, S. 62-71.
- Bak, P., Tang, C. & Wiesenfeld, K.*: Self-Organized Criticality, in: Physical Review A 38 (1988), Nr. 1, S. 364-374.
- Bak, P., Chen, K. & Creutz, M.*: Self-Organized Criticality in the 'Game of Life', in: Nature 342 (1989), Nr. 6251, S. 780-782.
- Bank, V.*: Zum Verhältnis von 'Wissenschaft' und 'wissenschaftlicher Weiterbildung' aus der Sicht eines sozioökonomischen Innovationsmodells, in: *Graeßner, G. & Brödel, R. (Hg.)*: Wissenschaftliche Weiterbildung im Netz der Wissenschaften - Interdisziplinarität, Innovation, Transfer – Beispiele aus Umweltschutz und Gesundheit. Hamburg 1999, S. 19-36.
- Bank, V.*: Gestaltung organisationalen Wandels als Führungsaufgabe. Organisationsentwicklung in systemtheoretischer und didaktischer Weiterung. Kiel: Habilitationsschrift 2002.
- Bank, V.*: Von der Organisationsentwicklung zum »systemischen Change Management«. Der Umgang mit Innovationen als didaktisches Problem der Führung in sozialen Systemen. Kiel 2004.
- Bank, V.*: Von der Organisationsentwicklung zum »systemischen Change Management«. (Berichte aus der Berufs- und Wirtschaftspädagogik Nr. 3), in Vorbereitung, Chemnitz 2009.
- Bank, V. & Damm, A.*: Mastery Learning im Klassenunterricht: Problemformulierung zur Ermöglichung einer Untersuchung mit Hilfe der Automatentheorie (Berichte aus der Berufs- und Wirtschaftspädagogik Nr. 5), in Vorbereitung, Chemnitz 2009.
- Bennis, W.G.*: Theory and Method in Applying Behavioural Science to Planned Organizational (*sic*) Change, in: *Lawrence, J. R. (Hg.)*: Operational Research and the Social Sciences, London u.a. 1966, S. 33-76.
- Bertalanffy, L.v.*: General System Theory. Foundations, Development, Applications. London 1968.
- Blanchard, P.*: Zufallsgraphen, Perkolationstheorie und HIV-Ausbreitung, in: Physikalische Blätter. Verbandsorgan der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 49 (1993), Nr. 12, S. 1116-1118.
- Blanchard, P. & Krüger, T.*: Die Ausbreitung von AIDS; Zufall und Komplexität (Forschungszentrum Bielefeld-Bochum-Stochastik BiBOS Nr. 663/10/94). Bielefeld 1994.
- Broadbent, S.R. & Hammersley, J.M.*: Percolation Processes. I. Crystals and Mazes, in: Proceedings of the Cambridge Philosophical Society (Mathematical and Physical Sciences) 53 (1957), Nr. 3, S. 629-641.
- Coleman, J.S.*: Grundlagen der Sozialtheorie. Band 1: Handlungen und Handlungssysteme (org.: Foundations of Social Theory. Cambridge/ Mass.: Belknap Press 1990). München 1991.
- Comelli, G.*: Training als Beitrag zur Organisationsentwicklung (Handbuch der Weiterbildung für die Praxis in Wirtschaft und Verwaltung, Band 4). München u. Wien 1985.
- De Bono, E.*: Lateral Thinking for Management, Harmondsworth 1982.
- Domschke, W. & Drexl, A.*: Logistik (Band 3): Standorte. München u. Wien 1984.
- Domschke, W.*: Logistik (Band 1): Transport. München u. Wien 1981.
- Domschke, W.*: Logistik (Band 2): Rundreisen und Touren. München u. Wien 1982.
- Durrett, R.*: Crabgrass, Measles, and Gypsy Moths: An Introduction to modern Probability, in: Bulletin (New Series) of The American Mathematical Society 18 (1988), Nr. 2, S. 117-143.
- Ebenhöh, W.*: Mathematik für Biologen und Mediziner. Heidelberg 1975.
- Forrester, J.W.*: Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers, in: Harvard Business Review 36 (1958), July/ Aug., S. 37-66.
- Forrester, J. W.*: World Dynamics. Cambridge/ Mass. 1971.
- Franke, J.*: Organisationsentwicklung und Organisationsentwicklungsberatung. Eine wirtschaftspädagogische Perspektive (Wirtschafts-, Berufs- und Sozialpädagogische Texte, Band 20), Köln 1993.
- Gethmann, C.F.*: Forschungsprogramm, in: *Mittelstraß, J. (Hg.)*: Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie. Band 1 A-G. Mannheim u.a. 1980, S. 664.
- Glasl, F.*: Wie geht Organisationsentwicklung mit Macht in Organisationen um?, in: *Trebesch, K. (Hg.)*: Organisationsentwicklung. Konzepte, Strategien, Fallstudien (org.: Organisationsentwicklung – Zeitschrift der GOE 2, Nr. 2/ 1983, S. 41-71). Stuttgart 2000, S. 90-116.

- Grimmett, G. R.*: Percolation (Grundlehren der mathematischen Wissenschaften, Band 321). 2. Auflage, Berlin u.a. 1999.
- Hammersley, J.M.*: Percolation Processes. II. The Connective Constant, in: Proceedings of the Cambridge Philosophical Society (Mathematical and Physical Sciences) 53 (1957), Nr. 3, S. 642-645.
- Hauschildt, J.*: Innovationsmanagement. München 1993.
- Hegselmann, R. & Peitgen, H.-O.*: Modelle sozialer Dynamiken: Ordnung, Chaos und Komplexität (Veröffentlichungen des Instituts Wiener Kreis; Band 3). Wien 1996.
- Jones, G.N.*: Planned Organizational Change. A Study of Change Dynamics (The International Library of Sociology, Vol. IX). London 1968.
- Jongebloed, H.-C.*: Fachdidaktik und Entscheidung. Vorüberlegungen zu einer umstrittenen Problematik (Wirtschafts-, Berufs- und Sozialpädagogische Texte, Band 6), Düsseldorf 1983.
- Jongebloed, H.-C.*: Die Messung schulischer und betrieblicher Leistungen in bildungsökonomisch-modellhafter Sicht, in: *Bank, V. (Hg.)*: Vom Wert der Bildung. Bildungsökonomie in wirtschaftspädagogischer Perspektive neu gedacht. Bern u.a. 2005, S. 331-351.
- Kamlah, W. & Lorenzen, P.*: Logische Propädeutik oder Vorschule des vernünftigen Redens. 2. Auflage, Mannheim u.a. 1973.
- Kesten, H.*: Percolation Theory and First-Passage Percolation (The 1986 Wald Memorial Lectures), in: The Annals of Probability 15 (1987), Nr. 3, S. 1231-1271.
- Kieser, A. & Hegele, C.*: Kommunikation im organisatorischen Wandel. Stuttgart 1998.
- Kirsch, W.*: Die entscheidungsorientierte Betriebswirtschaftslehre. Wissenschaftsprogramm, Grundkonzeption, Wertfreiheit und Parteilichkeit, in: *Dlugos, G., Eberlein, G. & Steinmann, H. (Hg.)*: Wissenschaftstheorie und Betriebswirtschaftslehre. Eine methodologische Kontroverse (Wissenschaftstheorie der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Band 2). Düsseldorf 1972, S. 153-207.
- Koller, H.*: Simulation und Planspieltechnik (Betriebswirtschaftliche Beiträge zur Organisation und Automation, Band 5). Wiesbaden 1969.
- Kosiol, E.*: Organisation der Unternehmung. Wiesbaden 1962.
- Krüger, A.*: Dimensionality in Continuum Percolation (unveröff. Diplomarbeit). Universität Bielefeld 2002.
- Krystek, U. & Müller-Stewens, G.*: Frühaufklärung für Unternehmen. Identifikation und Handhabung zukünftiger Chancen und Bedrohungen. Stuttgart 1993.
- Lant, T.K. & Mezias, S.J.*: Managing Discontinuous Change. A Simulation Study of Organizational Learning and Entrepreneurship, in: Strategic Management Journal 11 (1990), Summer Special Issue, S. 147-179.
- Latané, B.*: The Emergence of Clustering and Correlation from Social Interaction, in: *Hegselmann, R. & Peitgen, H.-O. (Hg.)*: Modelle sozialer Dynamiken: Ordnung, Chaos und Komplexität (Veröffentlichungen des Instituts Wiener Kreis; Band 3). Wien 1996, S. 79-104.
- Luhmann, N.*: Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie. 7. Auflage, Frankfurt a.M. 1999.
- Magee, J.F.*: Decision Trees for Decision Making, in: Harvard Business Review 42 (1964a) July/ Aug., S. 126-138.
- Magee, J.F.*: How to use Decision Trees in Capital Investment, in: Harvard Business Review 42 (1964b) Sept./ Oct., S. 79-96.
- Milling, P.*: Modeling Innovation Processes for Decision Support and Management Simulation, in: System Dynamics Review 12 (1996), Nr. 3, S. 211-234.
- Moreno, J. L.*: Die Grundlagen der Soziometrie. Wege zur Neuordnung der Gesellschaft (Org.: Who shall survive? A new Approach to the Problem of Human Interrelations. Washington 1934, neu aufgelegt als: Who shall survive? Foundations of Sociometry, Group Psychotherapy and Sociodrama, New York 1953). 2. Auflage, Köln u. Opladen 1954.
- Nordsieck, F.*: Die schaubildliche Erfassung und Untersuchung der Betriebsorganisation. 5. Auflage, Stuttgart 1956.
- Nordsieck, F.*: Grundlagen der Organisationslehre. Stuttgart 1934.
- Nowak, A., Lewenstein, M. & Frejlik, P.*: Dynamics of Public Opinion and Social Change, in: *Hegselmann, R. & Peitgen, H.-O. (Hg.)*: Modelle sozialer Dynamiken: Ordnung, Chaos und Komplexität (Veröffentlichungen des Instituts Wiener Kreis; Band 3). Wien 1996, S. 54-78.
- Parsons, T.*: Social Systems, in: *Sills, D. (Hg.)*: The International Encyclopedia of the Social Sciences, Band 15, New York 1968, S. 458-473.
- Peitgen, H.-O., Jürgens, H. & Saupe, D.*: Bausteine des Chaos. Fraktale. Berlin u.a. 1992.

- Peitgen, H.-O., Jürgens, H. & Saupe, D.*: Chaos. Bausteine der Ordnung. Berlin u.a. 1994.
- Psychyrembel, W. (Hg.)*: Psychyrembel. Klinisches Wörterbuch mit klinischen Syndromen und Nomina Anatomica. 255. Aufl., Berlin u. New York 1985.
- Rogers, E.*: Diffusion of Innovations. 5. Auflage New York: 2003 (Erstveröffentlichung 1962).
- Saam, N. J.*: Computersimulation, in: *Kühl, St., Strodtholtz, P. & Taffertshofer, A. (Hg.)*: Quantitative Methoden der Organisationsforschung. Ein Handbuch. Wiesbaden 2005, S. 167-189.
- Saldern, M.v.*: Grundlagen systemischer Organisationsentwicklung (Betriebspädagogik aktuell, Band 2), Baltmannsweiler 1998.
- Schmidt, P.*: Der Problembereich, in: *Schmidt, P. (Hg.)*: Innovation. Diffusion von Neuerungen im sozialen Bereich, Hamburg 1976, S. 7-19.
- Schnell, R., Hill, P.B. & Esser, E.*: Methoden empirischer Sozialforschung. 5. Auflage, München u. Wien 1995.
- Schreyögg, G.*: Organisation. Grundlagen moderner Organisationsgestaltung. 3. Auflage, Wiesbaden 1999.
- Senge, P.M.*: Die fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation (org.: The fifth Discipline. The Art and Practice of the Learning Organization. New York 1990). 2. Auflage, Stuttgart 1996.
- Stahl, Th.*: Organisationslernen und Weiterbildung – Kommunikative Vernetzung im fraktalen Unternehmen, in: *Geißler, H. (Hg.)*: Organisationslernen und Weiterbildung. Die strategische Antwort auf die Herausforderungen unserer Zeit. Neuwied u.a. 1995, S. 121-142.
- Stauffer, D. & Aharony, A.*: Introduction to Percolation Theory. 2. Auflage, London 1992.
- Taylor, F. W.*: Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung (org.: The Principles of Scientific Management, New York 1911), München u. Berlin 1919.
- Thom, R.*: Structural Stability and Morphogenesis. An Outline of a General Theory of Models (org.: Stabilité structurelle et morphogénèse. Essai d'une Théorie générale des modèles), Reading/ Mass. 1975.
- Troitzsch, K. G.*: Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften (ZUMA-Publikationen), Opladen 1990.
- Troitzsch, K. G.*: Chaotic Behaviour in Social Systems, in: *Hegselmann, R. & Peitgen, H.-O. (Hg.)*: Modelle sozialer Dynamiken: Ordnung, Chaos und Komplexität (Veröffentlichungen des Instituts Wiener Kreis; Band 3). Wien 1996, S. 162-186.
- Warnecke, H.-J.*: Revolution der Unternehmenskultur. Das fraktale Unternehmen (org.: Die Fraktale Fabrik. Revolution der Unternehmenskultur. Berlin u.a. 1992). 2. Auflage, Berlin u.a. 1993.
- Watson, G.*: Widerstand gegen Veränderungen, in: *Bennis, W.G., Benne, K.D. & Chin, R. (Hg.)*: Änderung des Sozialverhaltens (org.: Resistance to Change, in: *Watson, G. (Hg.)*: Concepts for Social Change, Cooperative Project for Educational Development Series, Vol. I. Washington 1966). Stuttgart 1975, S. 415-429.
- Witte, E.*: Organisation für Innovationsentscheidungen. Das Promotoren-Modell (Kommission für wirtschaftlichen und sozialen Wandel, Band 2), Göttingen 1973.
- Wöhe, G.*: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Berlin u. Frankfurt a.M. 1960.
- Zahler, R.S. & Sussman, H. J.*: Claims and Accomplishments of Applied Catastrophe Theory, in: *Nature* 269 (1977), Nr. 27, S. 759-763.
- Zeeman, C.*: Catastrophe Theory. Selected Papers 1972-77. Reading: Addison-Wesley 1977.
- Zintl, R.*: Organisation und Innovation, in: *Politische Vierteljahresschrift* 11 (1970), Nr. 2/3, S. 219-235.
- Zündorf, L.*: Macht, Einfluß, Vertrauen und Verständigung, in: *Seltz, R., Mill, U. & Hildebrandt, E. (Hg.)*: Organisation als soziales System, Berlin 1986, S. 33-56.
- Zwicker, E.*: Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Berlin u. New York 1981.

* * * * *

Autor:

Prof. Dr. Volker Bank
 Professur für Berufs- und Wirtschaftspädagogik
 Technische Universität Chemnitz
 Reichenhainer Str. 41
 D-09 107 Chemnitz
 volker.bank@phil.tu-chemnitz.de
 Download address: <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2009/0163>

Weitere in der Reihe
„Berichte aus der Berufs- und Wirtschaftspädagogik – Papers and Proceedings in Vocationomics“
publizierte Diskussionspapiere:

- [003] **Bank, V.:** Dynamik und die Problematik der Führung. Präliminarien zur Konzeption dynamischer Modelle für didaktische und ökonomische Führungsprobleme (Nr. 3 – August 2009). Chemnitz 2009 [Download address: <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2009/0160/data/Vocationomica003.pdf>]
- [002] **Bank, V. & Jongbloed, H.-C.:** Le ‘Système de Dualité’, expliqué aux enfants (Das Duale System, verständlich erklärt) (Nr. 2 – Dezember 2007). Chemnitz 2007 [Download address <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2007/0215/data/vocationomica002.pdf>]
- [001] **Bank, V.:** On Money, Selfishness, and their Contributions to Bildung (Nr. 1 – Oktober 2006). Chemnitz 2006 [Download address: <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2007/0006/data/Vocationomica001.pdf>]