
WERNER EBELING & ANDREA SCHARNHORST

Technische Evolution aus der Sicht der Theorie der Selbstorganisation

1. *Einleitung*

Die Theorie der Selbstorganisation – in jüngerer Zeit auch Komplexitätsforschung genannt – hat sich besonders im letzten Jahrzehnt der Beschreibung sozio-ökonomischer Probleme zugewandt. Bereits am Beginn der Entwicklung des Selbstorganisationsparadigmas hat das Innovationsproblem einen spezifischen Platz eingenommen, etwa in den Schulen in Brüssel (Prigogine) und in Stuttgart (Haken). Das Innovationskonzept wird verbunden mit Instabilitäten, der Rolle von Fluktuationen und Strukturbildung interpretiert. In diesem Zusammenhang wird technische Evolution konzeptionell eingebettet und modelliert. In gewisser Hinsicht nimmt die evolutionäre Ökonomie¹ damit die Ideen von Schumpeter und anderen Pionieren wieder auf.²

In dieser Betrachtungsweise wird die alte Frage, aus welcher Eigengesetzlichkeit heraus technologischer Wandel jahrhundertlang immer wieder neue Lösungen erzeugt hat, in den allgemeinen Evolutionszusammenhang eingebettet. Ebenso wie die Mutationen in der biologischen Evolution sind die Innovationen das entscheidende Moment für das Auftreten des Neuen in der technischen Evolution. Technische Evolution kann nicht rational gesteuert, nicht administrativ angewiesen oder politisch gewollt werden. Ihr Wirken entspricht einer evolutionären Gesetzmäßigkeit, aber ihre einzelne Erscheinung ist immer auch Zufälligkeiten unterworfen. Die Sicht auf Innovationen als stochastischen Instabilitäten³ eines sozialen, ökonomischen, technologischen oder politischen Systems eröffnet daher

- 1 Witt, U. (Ed.) 1993 *Evolutionary Economics*, Elgar, Aldershot. Für eine Einführung und zahlreiche Literaturhinweise siehe auch Andersen's Evolutionary Economics Site <http://www.business.auc.dk/evolution/evolecon/welcome.html>
- 2 Hodgson, G.M. (Ed.), *The Foundations of Evolutionary Economics 1890-1973*, Volume I u. II. Cheltenham: Edward Elgar 1998.
- 3 Jiménez-Montaño, M.A. / Ebeling, W., A Stochastic Evolutionary Model of Technological Change. - In: *Collective Phenomena*. 3(1980), S. 107 – 114; Bruckner, E. / Ebeling, W. / Scharnhorst, A., Stochastic Dynamics of Instabilities in Evolutionary Systems. - In: *System Dynamics Review*. 5(1989), S. 176 – 191.

nicht nur die Möglichkeit einer Brückenbildung zu physikalischen Evolutionstheorien⁴, es erweist sich auch als konstruktiv für das Verständnis der Rolle von Unsicherheit und Risiko in gesellschaftlichen Zusammenhängen. Innovationen und ihre Durchsetzung sind das Resultat von Handlungskoordination zwischen Hunderttausenden oder sogar Millionen von Individuen in der Gesellschaft. Im Endeffekt funktioniert diese koordinierte Aktion so, dass sie im Resultat zu immer wieder neuen, produktiven Systemlösungen führt.

In evolutionsorientierten Theorien, zu denen wir auch unseren Zugang rechnen, stellt der Innovationsbegriff einen zentralen Begriff dar.⁵ Innovationen nehmen im Kontext der ökonomischen Entwicklungsauffassungen, im besonderen in der evolutionary economics⁶, eine Schlüsselrolle ein. Neben dem Rückgriff auf

- 4 Ebeling, W., Das Neue in der natürlichen und technischen Evolution. - In: Das Neue. Seine Entstehung und Aufnahme in Natur und Gesellschaft. Hrsg. von H. Parthey Berlin: Akademie-Verlag 1990. S. 19 - 44; Bruckner, E. / Ebeling, W. / Jiménez-Montaña, M.A. / Scharnhorst, A., Nonlinear Stochastic Effects of Substitution - An Evolutionary Approach. - In: Journal of Evolutionary Economics. 6(1996)1, S. 1 - 30; Ebeling, W. / Jiménez-Montaña, M.A. /Karmeshu, Dynamics of Innovations in Technology and Science Based on Individual Development. - In: F. Schweitzer (Hrsg.), Self-Organization of Complex Structures. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers 1997. S. 407 - 414; Bruckner, E. / Ebeling, W. / Scharnhorst, A., Technologischer Wandel und Innovation - Stochastische Modelle für innovative Veränderungen in der Ökonomie. - In: Evolution und Selbstorganisation in der Ökonomie. Hrsg. von F. Schweitzer / G. Silverberg. Berlin: Duncker-Humblot, 1998. S. 361 - 382; Ebeling, W. / Scharnhorst, A., Evolutionary Models of Innovation Dynamics. - In: Traffic and Granular Flow -99- Social, Traffic, and Granular Dynamics. Ed. by D. Helbing / H.J. Herrmann / M. Schreckenberg / D.E. Wolf. Berlin: Springer 2000. S. 43 - 56; Scharnhorst, A., Evolution in Adaptive Landscapes- Examples of Science and Technology Development. Discussion Paper FS II 00 - 302, WZB 2000. (Paper: http://www.wz-berlin.de/nu/pdf/ii00_302.pdf) Later published in: Collaboration in Science. Ed. by F. Havemann / H. Kretschmer. Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung 2000. S. 118 - 142.
- 5 Nelson, R.R. / Winter, S.G., An Evolutionary Theory of Economic Change. Cambridge, Mass. 1982; Dosi, G. / Freeman, C. / Nelson, R.R. / Silverberg, G. / Soete, L. (Hrsg.), Technical Change and Economic Theory. London 1988; Saviotti, P.P. / Metcalfe, J.S. (Eds.), Evolutionary Theories of Economic and Technological Change. Chur 1991; Leydesdorff, L. / van den Besselaar, P. (Hrsg.), Evolutionary Economics and Chaos Theory: New Directions in Technology Studies. London 1994; Ziman, J.M. (Hrsg.), Technological Innovation as an Evolutionary Process. Cambridge: Cambridge University Press 2000.
- 6 Haag, G. / Mueller, U. / Troitzsch, K.G. (Eds.), Economic Evolution and Demographic Change: Formal Models in Social Sciences. Berlin 1992; Day, R.H. / Ping Chen (Eds.), Nonlinear Dynamics and Evolutionary Economics. New York 1993; Beckenbach, F. / Diefenbacher, H. (Eds.), Zwischen Entropie und Selbstorganisation: Perspektiven einer ökologischen Ökonomie. Marburg 1994; Burley, P. / Foster, J. (Eds.), Economics and Thermodynamics: New Perspectives on Economic Analysis. Boston 1994; Goonatillake, S. / Treleaven, Ph. (Eds.), Intelligent Systems for Finance and Business. Chichester 1995.

Vorstellungen der biologischen Evolution haben auch moderne naturwissenschaftliche Theorien der nichtlinearen Dynamik, der Selbstorganisationsprozesse und der Chaostheorie die Theorienbildung nachhaltig beeinflusst. In der evolutionären Ökonomik spielen die Ideen der Selbstorganisation sowohl bei der Entwicklung konzeptioneller Überlegungen als auch in modelltheoretischer und mathematisch-methodischer Hinsicht eine wichtige Rolle. Dabei sind eine Reihe von Modellen im Rahmen der Methodologie der Selbstorganisationstheorie entwickelt worden.⁷

2. *Das Neue im Rahmen eines stochastischen Modells*

Eine technologische Innovation ist im Sinne unserer Betrachtungen das erstmalige Auftreten eines neuen technischen Verfahrens in der praktischen Anwendung.

Eine Innovation setzt sich im System durch und breitet sich aus, wenn mehr individuelle Unternehmen sie einführen.

Die entsprechenden mathematischen Modelle sind bisher vorwiegend *diskrete Modelle*⁸. Das heißt es wird zwischen verschiedenen Typen von Technologien unterschieden, die miteinander im Wettbewerb stehen. Eine Innovation ist immer ein singuläres Ereignis und ihr Durchsetzungsprozess hängt auch von zufälligen Ereignissen ab. Am besten kann dies durch stochastische Prozesse repräsentiert werden. Für Prozesse des technologischen Wandels sind diskrete Modelle zum Beispiel für die Beschreibung von Substitutionsprozessen zwischen verschiedenen Technologien entwickelt worden. Beispiele hierfür sind Lotka-Volterra-Systeme,

7 Als Beispiel für relativ frühe Arbeiten siehe: Allen, P.M. (Ed.), Management and Modelling of Dynamic Systems. - In: European Journal of Operational Research 1986, vol 25; Batten, D., On the Dynamics of Industrial Evolution. - In: Regional Science and Urban Economics. 12(1982), S. 449 - 462; Haag, G. / Weidlich, W. / Mensch, G.O., The Schumpeter Clock. - In: Batten, D. / Casti, J.L. / Johansson, B., Economic Evolution and Structural Adjustment. Berlin 1987, S. 187 - 226; Silverberg, G., Embodied Technical Progress in a Dynamic Economic Model: the Self-Organization Paradigm. - In: R.M. Goodwin / M. Krüger / A. Vercelli (Eds.), Nonlinear Models of Fluctuating Growth. Berlin 1984. S. 192 - 208.

Zu nichtlinearen Ansätzen in der ökonomischen Modellierung vgl.: Goodwin/Krüger/Vercelli, 1984 (ebenda); Arthur, W.B., Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events. - In: The Economic Journal. 99(1989), S. 116 - 131; Barnett, W.A. / Geweke, J. / Shell, K. (Eds.), Economic Complexity: Chaos, Sunspots, Bubbles, and Nonlinearity. Cambridge 1989; Lorenz, H.-W., Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion. Berlin 1989; Day, R.H. / Ping Chen (Eds.), Nonlinear Dynamics and Evolutionary Economics. New York 1993; Kwasnicki, W., Knowledge, Innovation and Economy. Cheltenham: Edward Elgar 1996; Schweitzer, F. (Ed.), Self-Organization of Complex Structures. London 1997; Schweitzer, F., Modelling Migration and Economic Agglomeration with Active Brownian Particles. - In: Advances in Complex Systems. 1(1998)1, S. 11 - 37.

Replikatoransätze und diskrete stochastische Modelle Dabei bilden Technologien, die sich in Produkttypen oder verschiedenen Herstellungsprozessen spiegeln, die (technologischen) Populationen.

In diskreten Modellen werden die Populationen formal durch die Zahl x_i von Elementen eines bestimmten Typs i beschrieben. Dabei kann x_i auch für den Anteil eines Typs an einer Gesamtpopulation der Größe N stehen. Dann ist x_i eine rationale Zahl. Der Zustand des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt t ist durch die Werte der Besetzungszahlen x_i aller im System befindlichen Populationen zum Zeitpunkt t charakterisiert. Im Fall diskreter Werte der Besetzung geht man zu ganzzahligen Besetzungszahlen N_i über und benutzt den Mastergleichungs-Formalismus.⁹ Mit Hilfe dieses Formalismus wird individuelles Verhalten auf der Mikroebene spezifisch mit dem Trendverhalten des Systems auf der Makroebene verknüpft. Zwar werden die einzelnen Populationen diskret - und damit in einem gewissen Sinne typologisch - beschrieben, die Systemdynamik aber resultiert aus Regeln für das Verhalten der einzelnen Mitglieder der Population.¹⁰ Das stochastische Bild, das nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über die individuellen Aktionen macht, sichert die Variabilität innerhalb der Population und ermöglicht damit die Beschreibung von Evolutionsprozessen. Die Relevanz solcher - im doppelten Sinne diskreter - stochastischer Modelle insbesondere zur Beschreibung von Neuerungsprozessen ergibt sich daraus, dass eine neue Qualität in der Regel nicht kontinuierlich aus der alten hervorgeht, sondern in ihrem ersten Ex-

- 8 Zum Verhältnis von diskreten und kontinuierlichen Modellen siehe: Ebeling, W. / Scharnhorst, A. / Jiménez-Montaño, M.A. / Karmeshu, Evolutions- und Innovationsdynamik als Suchprozess in komplexen adaptiven Landschaften. - In: Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Hrsg. von K. Mainzer. Berlin: Springer 1999. S. 446 – 473. (Paper <http://www.phil.uni-augsburg.de/dgksnd/>)
Zur Anwendung von kontinuierlichen Modellen auf Prozesse des technologischen Wandels siehe: Ebeling, W., Karmeshu, Scharnhorst, A., Dynamics of Economic and Technological Search Processes in Complex Adaptive Landscapes. - In: Advances in Complex Systems. 4(1) (2001), S. 77 – 88.
- 9 Für den mathematischen Formalismus vergleiche etwa: Ebeling, W. / Feistel, R., Physik der Selbstorganisation und Evolution. Berlin 1982; Weidlich, W. / Haag, G., Concepts and Models in Quantitative Sociology. Berlin 1983.
- 10 Die individuellen Verhaltensmöglichkeiten werden dabei auf Übergangsprozesse zwischen Systemzuständen abgebildet, wobei sich maximal zwei Besetzungszahlen gleichzeitig ändern können. Die Systemdynamik ist vollständig durch die Übergangswahrscheinlichkeiten definiert, die vom vorherigen Zustand abhängen können und durch Systemparameter gewichtet werden. Letztere stehen mit den Systemparametern des deterministischen Trendverhaltens in Beziehung. Zu den Elementarprozessen gehören Zugangs- und Abgangsprozesse von Individuen oder Elementen zu/aus einer Population und zu/aus dem System; und Übergangsprozesse von Elementen zwischen den Populationen.

emplar als Ergebnis eines sprunghaften Prozesses plötzlich erscheint. Der Mastergleichungs-Formalismus mit seinen ganzzahligen Besetzungszahlen ist daher als Modell der Entstehung und Durchsetzung von Innovationen gut geeignet, wobei dem Sprung von Null auf Eins, der die Entstehung der neuen Qualität dokumentiert, spezifische Bedeutung zukommt.¹¹

Das erste Auftreten einer neuen Technologie im System (Makroebene) kann nur in ihrer Einführung durch ein Unternehmen (Mikroebene) bestehen. Mikro- und Makroebene werden in diesem Fall beide durch den gleichen Prozess charakterisiert, der auf beiden Ebenen Neuerungscharakter hat. Insofern spielt bei der Besiedlung der technologischen Populationen der Sprung von Null auf Eins eine besondere Rolle. Die nun folgende Phase der Durchsetzung der neuen Technologie ist indessen durch Wachstum bedingt, d.h. durch Prozesse, die auf der Ebene des Systems keinen Innovationscharakter (im Sinn der Erscheinung einer neuen Qualität) mehr haben. Auf der Ebene der Unternehmen (Mikroebene) wird die Durchsetzung der neuen Technologie von einer Vielzahl von Prozessen begleitet, die je spezifisch sehr unterschiedlichen Charakter haben können, jedoch makroökonomisch alle zu dem gleichen Resultat beitragen. Einige von ihnen haben für die Ebene des Unternehmens (auf unterschiedliche Weise) Neuerungscharakter, andere nicht. Neu für das Unternehmen kann sowohl die Übernahme der neuen Technologie sein als auch einer etablierten, die beide schon in anderen Unternehmen des Systems Verwendung finden. Diese mikroökonomische Erneuerung kann überdies auf ganz unterschiedliche Weise erfolgen, je nachdem ob die Anwendung der neuen Technologie mit dem Aufbau einer neuen Firma bzw. einer neuen Produktionseinheit eines bestehenden Unternehmens einhergeht oder ob sie in der Ersetzung einer alten Technologie in einer bestehenden Firma bzw. Produktionseinheit besteht. Ferner kann zur Durchsetzung der neuen Technologie ein Prozess beitragen, der mikroökonomisch keinerlei Neuerungscharakter hat, etwa wenn in einem bestehenden Unternehmen, das die neue Technologie bereits anwendet, eine weitere Produktionseinheit mit dieser Technologie hinzugefügt wird. In diesem Sinne tragen unterschiedliche Elementarprozesse, die im Modell zu spezifizieren sind, zur Durchsetzung der neuen Technologie im System bei.

11 Das zentrale Argument dabei ist, dass die Entstehung des Neuen immer ein singuläres, individuelles Ereignis ist (d.h. mathematisch ein diskretes Ereignis im Sinne einer Übergang von $N_n=0$ auf $N_n=1$, n steht dabei für eine bis dato nicht besiedelte also für das System nicht existente Population). Ein solcher Übergang kann nicht adäquat mittels kontinuierlich variierender Systemvariablen abgebildet werden (s.a. Bruckner/Ebeling/Scharnhorst 1996 (siehe Fußnote 5); Bruckner, E. / Ebeling, W. / Jiménez-Montaño, M.A. / Scharnhorst, A., *Technological Innovations - a Self-Organisation Approach*, WZB papers FS II 93-302, Berlin 1993).

Betrachten wir dazu ein Modellbeispiel aus der Klasse der diskreten Modelle.¹² Nehmen wir an, technologischer Wandel ließe sich in einem System von Technologien (Populationen) beschreiben, die jeweils um Firmen bzw. Produktionseinheiten innerhalb von Firmen konkurrieren. Die Konkurrenz zwischen Firmen, deren *differentia specifica* die Einführung bzw. Übernahme einer neuen Technologie ist, wird damit auf ein quasi inverses Problem - der Konkurrenz von Technologien um Firmen - transformiert. Führen wir als abstrakte Größe eine Produktionseinheit ein, die jeweils einem bestimmten Kapitalbestand bzw. einer Produktionsgröße entspricht. Dann können Wachstums- und Schrumpfungsprozesse von Firmen auf die Zu- bzw. Abnahme der Anzahl von Produktionseinheiten projiziert werden. Damit bilden Produktionseinheiten von Firmen, die eine bestimmte Technologie benutzen bzw. einführen, die Elemente des Systems. Ihre Anzahl fungiert als Besetzungszahl. Mittels des Modells kann das Auftreten des Neuen in diesen verschiedenen Kategorien klassifiziert und entsprechenden Elementarprozessen der Systemdynamik zugeordnet werden.¹³

Der Substitutionsprozess einer Technologie innerhalb einer Firma durch eine andere Technologie infolge von Imitation verändert den „technologischen“ Zustand der Firma, ohne dass damit im System neue Elemente (Produktionseinheiten, Firmen oder Technologien) auftreten müssen. Bestimmte Rekombinationen allerdings verändern die Struktur des Systems. Immer wenn es durch Firmenneugründung, Erweiterung von Kapazitäten in neue technologische Bereiche oder technologische Veränderungen in bestehenden Produktionseinheiten zu einer im System als neu zu klassifizierenden Technologie kommt, ist die Möglichkeit für eine Strukturveränderung gegeben. Das Modell bietet die Möglichkeit, verschiedene Erneuerungsprozesse zu klassifizieren¹⁴, sie mit Elementarprozessen auf der Mikroebene zu verbinden und sie gleichzeitig in ihrer möglichen Auswirkung auf die Systemstruktur auf der Makroebene zu untersuchen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Auftreten von Innovationen auf der Ebene des Gesamtsystems immer mit Instabilisierung eines bestehenden und

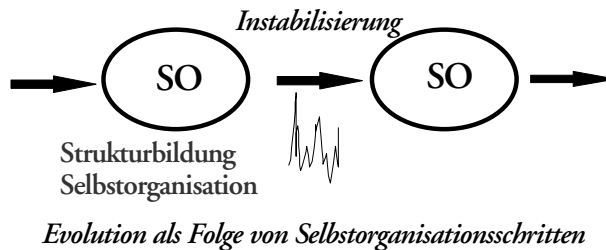
12 Siehe Bruckner/Ebeling/Jiménez-Montaña/Scharnhorst 1993 (siehe Fußnote 12), Bruckner/Ebeling/Jiménez-Montaña/Scharnhorst 1996 (siehe Fußnote 5).

13 In der mathematischen Beschreibung nutzt dieses Modell in seiner stochastischen Form den bereits erwähnten Mastergleichungsformalismus. Die einzelnen Technologien $i=1, \dots, n$ sind durch Besetzungszahlen N_i charakterisiert, deren Veränderung ($N_i \rightarrow N_i \pm 1$) entsprechend bestimmter Übergangswahrscheinlichkeiten erfolgt. Für die Übergangswahrscheinlichkeiten wird dabei ein generalisierter Fisher-Eigen Formalismus benutzt. Für Details des Modells und insbesondere dessen mathematischer Formalisierung sei auf die folgenden Literaturstellen verwiesen (Jiménez-Montaña/Ebeling (siehe Fußnote 4), Bruckner/Ebeling/Jiménez-Montaña/Scharnhorst 1993 (siehe Fußnote 12); diess. 1996 (siehe Fußnote 5)).

14 Siehe dazu Bruckner/Ebeling/Scharnhorst 1998 (siehe Fußnote 5).

Restabilisierung eines neuen Zustandes in einem weiteren Selbstorganisations-schritt verbunden ist (Abbildung 1).

Abbildung 1: *Evolution als Folge von Selbstorganisationsschritten*



Die Durchsetzung des Neuen, d.h. die Etablierung der Innovation im System im Verlauf eines Selektionsprozesses kann dabei zu einer Vergrößerung¹⁵, Verkleinerung¹⁶ oder Veränderung¹⁷ des Populationspools des Systems führen. In der Klasse der diskreten Modelle wird damit die Zahl der konkurrierenden Populationen - der Teilsysteme im System - zu einer zeitlich variablen Größe. Die mathematische Behandelbarkeit solcher systemstruktureller Veränderungen im Rahmen formaler Modelle wirft eine Reihe von Fragen auf. In der Simulation eines diskreten Systems können neue Varianten mit bestimmten Eigenschaften zufällig erzeugt und den herrschenden Wachstums- und Konkurrenzprozessen unterworfen werden. Dann sind zum Beispiel Fragen nach dem Einfluss von Innovationsraten auf den Verlauf von Trajektorien der Systementwicklung möglich. Für eine analytische Beschreibung (etwa im Rahmen eines diskreten deterministischen Modells) ergeben sich eher Schwierigkeiten, da sich mit jeder neuen Population die Taxonomie des System verändert. Es tritt eine neue Systemvariable und entsprechend eine neue Differentialgleichung auf. Eine Möglichkeit der Approximation eines im Grunde als infinit anzunehmenden evolutionären Prozesses besteht in der Annahme eines hinreichend großen finiten Modells, bei dem die meisten möglichen Populationen nicht besetzt sind (sog. *underoccupied systems*).¹⁸

15 Etwa wenn eine neue Technologie mit neuen Anwendungsbereichen zu den herrschenden Technologien (ergänzend) dazukommt.

16 Etwa wenn eine neue Technologie zum allmählichen Verschwinden einer Reihe von Technologien führt.

17 Etwa wenn eine bestehende Technologie durch eine andere ersetzt wird.

18 Ebeling, W. / Sonntag, I., A Stochastic Description of Evolutionary Processes in Underoccupied Systems. - In: BioSystems. 19(1986)2, S. 91 - 100.

3. *Innovationen als technologische Substitutionsprozesse*

Betrachten wir den Substitutionsprozess zwischen zwei Technologien (Ersetzungsprozess einer bestehenden Technologie durch eine neue, bessere Technologie). Dabei handelt es sich um ein Problem, das bereits seit Anfang der 60er Jahre mathematisch modelliert wird¹⁹. Wir unterscheiden im folgenden zwischen Innovationen erster und zweiter Art. Unter einer Innovation erster Art verstehen wir einen Durchsetzungsprozess, der einem linearen Wachstumsgesetz folgt und mit einem sog. normalen Selektionsprozess verbunden ist. Eine Innovation zweiter Art liegt dann vor, wenn der Durchsetzungsprozess einem quadratischen Wachstumsgesetz folgt und eine hyperselektive Situation vorliegt. Der „klassische“ Substitutionsprozess stellt eine Innovation erster Art dar. Dabei wird die Durchsetzung einer neuen Technologie in Form eines S-förmigen, im wesentlichen logistischen Wachstums des Anteils dieser Technologie am gemeinsamen Markt beschrieben. Dieser Substitutionsprozess kann als Resultat eines Wettbewerbs zwischen zwei technologischen Populationen verstanden werden. Verschiedene aus diesem Ansatz hervorgegangene Modellentwicklungen dienen dabei vor allem einem besseren Verständnis der Mechanismen der Innovationsdiffusion, sowohl in Hinblick auf die Verknüpfung von ökonomischen und technologischen Prozessen als auch bezüglich der Rolle von Zufallsprozessen auf der Mikroebene der Akteure. Insbesondere die stochastische Beschreibungsweise öffnet ein Möglichkeitsfeld zwischen extremen Situationen wie „das (bessere) Neue setzt sich immer durch“ auf der einen Seite²⁰ und „das Vorherrschende blockiert die Entwicklung, so dass sich Neues nicht durchsetzen kann“²¹ auf der anderen Seite.

Betrachten wir als Illustration dafür zunächst die - von Brian Arthur²² eingeführte - Modellierung einer Konkurrenzsituation zwischen zwei alternativen Technologien mit Hilfe eines stochastischen Polya-Urnen-Prozesses.²³ Ob die fortlaufenden Entscheidungen der Akteure für die eine oder die andere Technologie zu einer Koexistenz oder Selektion zwischen den beiden Alternativen führt,

19 Siehe dazu die klassischen Arbeiten von *Mansfield* (Mansfield, E., Technical Change and the Rate of Imitation. - In: *Econometrica*. 29(1961), S. 741 - 766 und *Fisher* und *Pry* (Fisher, C. / Pry, R.H., A Simple Substitution Model of Technological Change. - In: *Technological Forecasting and Social Change*. 3(1971), S. 75 - 88.

Für einen Überblick über Arbeiten zu Innovationsausbreitung in den 60ern einschließlich erster Simulationsmodelle siehe auch: Rogers, E.M., *Diffusion of Innovations*. New York 1962, 1. Aufl., New York 1995, 4. Aufl.

20 einfache oder Darwinsche Selektion.

21 Hyperselektion

22 Arthur, W.B., *Competing Technologies: an Overview*. - In: *Dosi/Freeman/Nelson/Silverberg/Soete* (siehe Fußnote 6), pp. 590 - 607; *ders.* (siehe Fußnote 8).

hängt bekanntlich von der Art der Verknüpfung der zu erwartenden Erträge (returns) mit dem bisherigen Verlauf des Diffusionsprozesses zusammen. Im Fall der Existenz von Netzwerkeffekten (increasing returns) beobachtet man das Auftreten von absorbierenden Barrieren. Wächst in dem stochastischen Entscheidungsprozess die Differenz zwischen den Nutzern der zunächst in einem gewissen Sinne gleichwertigen Technologien über einen kritischen Wert, so beobachtet man eine Symmetriebrechung im Sinne des konsequenten Einlaufens in eine der Technologien („Lock-in“) und den Ausschluss der anderen Alternative. In diesem Fall gewinnt die Technologie, die zuerst eine gewisse „kritische Masse“ erreicht. Das Auftreten von „Lock-ins“ ist ein Langzeiteffekt, zwischenzeitlich ist Koexistenz möglich. Die Geschwindigkeit des Einlaufens in die absorbierenden Zustände hängt wesentlich von der Größenordnung des Netzwerkeffektes ab. Dabei können verschiedenen Einflüsse einen beginnenden „Lock-in“-Prozess auch umkehren. Einflüsse von Anfangsbedingungen, Marktgröße und der Natur der modellierten elementaren Entscheidungsprozesse auf der Akteursebene auf den Durchsetzungsprozess technologischer Innovationen sind auch in anderen Modellkontexten untersucht worden. Die Resultate führen zu differenzierteren Aussagen über System-Umwelt-Bedingungen, unter denen sich Innovationen in einem System behaupten können. Modifikationen des Systemverhaltens durch die Berücksichtigung von Fluktuationen haben auch die Autoren des vorliegenden Beitrags bei der Modellierung des Substitutionsprozesses zwischen konkurrierenden Technologien mit Hilfe eines speziellen stochastischen Evolutionsmodells untersucht.²⁴ Am Beispiel dieses Modellansatzes wollen wir in diesem Abschnitt der Frage nachgehen, wie mögliche Aussagen derartiger Modelle über die Bedingungen von Innovationsprozessen zu bewerten sind. Dabei werden die grundlegenden Modellannahmen, mögliche Modellaussagen und ihre empirische Relevanz dargestellt.²⁵

Den Ausgangspunkt bildet ein stochastischer Entscheidungsprozess²⁶, wobei die Wahl zwischen zwei Technologien durch bestimmte Wahrscheinlichkeitsraten festgelegt wird. Durch eine Anfangsbedingung, in der die neue Technologie B mit einem Innovator startet und alle anderen Akteure (im Sinn von Firmen oder

23 Historisch wurden Urnenmodelle von *Ehrenfest* zur stochastischen Modellierung des Wärmeaustauschs eingeführt (Ehrenfest, P. / Ehrenfest, T., Über zwei bekannte Einwände gegen das Boltzmannsche *H*-Theorem. - In: *Physikalische Zeitschrift*. 8(1907), S. 311 - 314).

Zu einer Klassifikation verschiedener Typen von Urnenmodellen siehe auch: Feller, W., *An Introduction to Probability Theory and its Applications*, vol. 1. New York 1970.

24 Bruckner/Ebeling/Jiménez-Montaño/Scharnhorst 1996 (siehe Fußnote 5).

25 Für technische Details sei auf die Originalarbeit verwiesen.

26 modelliert als Markov-Prozess mit einem Mastergleichungsformalismus.

Produktionseinheiten) der bestehenden (dominanten) Technologie A zugeordnet werden, wird ein Infektionsprozess des Systems mit einer neuen Variante beschrieben. Die neue Technologie erscheint dabei als Störung eines stabilen Systemzustandes. Betrachten wir zunächst eine Innovation erster Art. Charakteristisch für den Ansatz ist dann, dass die Rekrutierungswahrscheinlichkeit von Nutzern durch eine Technologie mit der bereits vorhandenen Zahl von Nutzern dieser Technologie wächst.²⁷ Eine weitere Besonderheit entsteht durch die Begrenzung des Marktes bzw. der Zahl aller Akteure. Unter der Bedingung, dass sich diese Zahl (Raum der Konkurrenz bzw. Marktgröße) nicht ändert, sind alle Entscheidungsprozesse per Definition Übergangsprozesse von Akteuren zwischen den beiden existierenden technologischen Varianten. Das hat Konsequenzen, die im mathematischen Formalismus sichtbar werden. Die Wahrscheinlichkeit von einer Technologie A zu einer Technologie B überzugehen, hängt dann neben der Zahl der Nutzer dieser Technologie B auch von der Zahl der Nutzer der Technologie A ab. Das Wachstum der Technologien ist die Folge von wechselseitigen Imitationsprozessen. Im Fall einer linearen Kopplung der Übergangsrate an die Größe der Ziel-Population²⁸ lässt sich zeigen, dass die stochastische Dynamik im Limes für große Ensembles (bzw. kleine Fluktuationen) zu einem Substitutionsprozess im Sinne von Fisher-Price führt. Die Stringenz der Durchsetzung einer neuen (besseren²⁹) Technologie im deterministischen Bild im Sinne einfacher Darwinscher Selektion wird allerdings im stochastischen Bild dahingehend modifiziert, dass sich erstens die neue Technologie nicht mit Sicherheit, sondern nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit durchsetzt und zweitens auch Technologien mit ungünstigeren Parametern eine (wenn auch geringe) Überlebenswahrscheinlichkeit besitzen.

Im Fall einer Innovation zweiter Art sind bei der Ausbreitung der Technologien nichtlineare Wachstums- (bzw. Ausbreitungs-) Effekte im Spiel. Dann löst sich die Stringenz der Durchsetzung des „Besseren“ auf³⁰ und wir beobachten ein grundsätzlich anderes Systemverhalten. Betrachten wir dazu zunächst das deterministische Modell. Im einfachsten Fall eines rein quadratischen Wachstums³¹ existieren drei stationäre Systemzustände (Technologie A gewinnt, Technologie A

27 Dies entspricht einem autokatalytischen Prozess.

28 D.h. die Übergangswahrscheinlichkeit W eines Nutzers von der Technologie A zur Technologie B ist definiert als $W(A \rightarrow B) = E_B N_A N_B / N$.

29 im Sinne größerer Wachstumsraten E_B

30 Im einfachsten Fall sind die Wachstums- bzw. Ausbreitungsrate der Technologien quadratisch (hyperlogistisches Wachstum) und die entsprechenden Übergangsrate im stochastischen Modell proportional zum Quadrat der Ziel-Technologie; d.h. Wahrscheinlichkeit des Übergangs von Technologie B zu Technologie A ist proportional zu N_A^2 und N_B .

und B koexistieren und Technologie B gewinnt). Der Koexistenzfall ist instabil gegenüber Fluktuationen, er markiert die Separatrix zwischen den beiden anderen Attraktoren (Bistabilität). Das Modell der Konkurrenz von Technologien mit solchen Wachstumseigenschaften ist analog zur Selektion zwischen Hyperzyklen. Befindet sich das System erst einmal in einem der beiden Zustände, d.h. hat sich eine Technologie durchgesetzt, dann entspricht das Innovationsproblem (Infektion) der Frage, ob und unter welchen Bedingungen das System zwischen den beiden Attraktoren wechselt. Der Vergleich beider Technologien (alter und neuer) hinsichtlich ihrer Wachstumseigenschaften ist dabei eher sekundär.³² Das Charakteristische des Hyperselektionsfalls liegt gerade darin, dass der einmal stabilisierte Zustand stabil gegenüber allen Störungen ist, auch wenn die neue Technologie „besser“ ist. Entscheidend ist, in welchem Attraktorbasin, d.h. mit welcher Anfangsbedingung beide Technologien in Konkurrenz treten. Die Symmetriebrechung hängt dabei von dem Verhältnis der Anfangsgrößen und der Ausbreitungsgeschwindigkeiten beider Technologien ab. Die Separatrix definiert den Schwellwert N^* für die neue Technologie, es gilt:

$$N^* = \frac{N}{\alpha + 1} \quad (\text{Gleichung 1}),$$

wobei N die Systemgröße ($N = N_A + N_B$) und α der Quotient der Wachstumsraten der ($\alpha = B_B/B_A$) oder der Selektionsvorteil der Technologie B ist.³³ Für $N_B(t=0) < N^*$ verschwindet die neue Technologie und das System läuft in den Zustand, in dem die Technologie A dominant ist, für gewinnt die Technologie B mit Sicherheit. Der Selektionsvorteil geht in die Lage des Schwellwertes ein. Aus Gleichung 1 ist unmittelbar zu ersehen, dass N^* linear mit N wächst und hyperbolisch mit α abnimmt. Je größer das Gesamtsystem ist, desto größer muss die Anfangszahl der Nutzer sein, um einer „besseren“ Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. Ist die Technologie B schlechter als die Technologie A, so kann sie nur gewinnen, wenn wir von einer Anfangssituation ausgehen, in der diese Technologie bereits über 50% des Marktes beherrscht. Andererseits ist dies genau der Mechanismus, mit dem sich bereits etablierte Technologien gegen Alternativen behaupten können. Auch wenn die Technologie B bessere Wachstumchancen bietet, muss sie immer noch mit der Übernahme großer Marktanteile starten. Der Übergang zum stochastischen Bild modifiziert diese strenge Aussage nicht

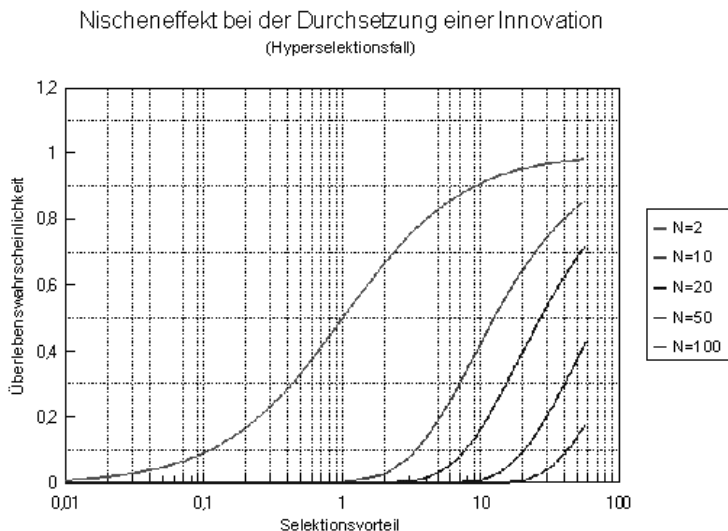
31 D.h. die Rekrutierung von Nutzern durch eine Technologie wächst mit dem Quadrat der bereits vorhandenen Zahl von Nutzern dieser Technologie.

32 Der Selektionsvorteil spielt insofern eine Rolle als das Verhältnis der Parameter beider Technologien die Lage der Separatrix bestimmt.

33 Für $\alpha > 1$ ist die Technologie B „besser“ oder fitter im Sinne der Kopplung der Fitness an die Wachstums- oder Reproduktionseigenschaften der Population.

nur, er zeigt auch die einzige Möglichkeit, wie singuläre Ereignisse auch in solchen scheinbar eingefahrenen Situationen den Weg der Evolution wieder neu öffnen. Startet eine neue Technologie, die doppelt so gut ist, wie die bestehende ($\alpha=2$) mit einem einzelnen Nutzer bzw. Anbieter ($N_B(t=0)=1$) so hat sie im deterministischen Modell keine Durchsetzungschance, wenn sie auf mehr als 2 Konkurrenten trifft.³⁴ In einem Fluktuationen berücksichtigenden stochastischen Modell sind die Chancen in großen Populationen immer noch gering, aber sie sind nicht mehr aussichtslos. Bei insgesamt zehn Konkurrenten hat eine um das Doppelte bessere Technologie immerhin schon eine Überlebenschance von 2% und diese erhöht sich auf 20% bei einer weiteren Halbierung der Zahl der in Wettbewerb befindlichen Akteure (Abbildung 2).³⁵

Abbildung 2: Nischeneffekt bei der Durchsetzung einer Innovation



Die Aussagen des stochastischen Bildes tragen Wahrscheinlichkeitscharakter. Die verschiedenen Realisierungen eröffnen daher einen weiteren Spielraum des Systemverhaltens. Simulationen zeigen, wie der erfolgreiche Durchsetzungsprozess an das Auftreten und Verstärken von Fluktuationen gebunden ist. Die neue Vari-

34 Startet die Innovation mit einem singulären Ereignis ($N_B(t=0) = 1$), dann liegt die kritische Größe des Marktes (N_A+N_B) in dem eine Durchsetzung möglich ist bei $(\alpha+1)$.

35 Die entsprechenden Separatrixpunkte liegen bei $N^*=3,3$ für $N=10$ und bei $N^*=1,7$ für $N=5$. Aus Gleichung 1 folgt, dass eine Technologie mit verdoppelten Wachstumsaussichten bei ihrem Eintritt über 30% des Marktes einnehmen muss.

ante kann dabei auch zeitweilig wieder verschwinden, aber eine zufällige Verstärkung kann das System auch über die Separatrix tragen und den Übergang in einen strukturell neuen Systemzustand auslösen. Die starke Abhängigkeit der Überlebenswahrscheinlichkeit einer Innovation von der Ensemblegröße legt den Schluss nahe, dass die Einführung einer neuen Technologie über Nischen im Sinne begrenzter Wettbewerbsräume erfolgt. Empirische Analysen zur Einführung alternativer Technologien scheinen dies zu bestätigen.³⁶ Die neue Technologie hat in ihrer Anfangsgestalt nahezu keine Chance gegen eine monopolistisch existente Technologie.³⁷ In einer Marktnische kann sich die neue Technologie mit kleinen Produktionszahlen entwickeln, um in einer zweiten Phase der Durchsetzung auf dem gesamten Markt mit der bis dato herrschenden Technologie erfolgreich zu konkurrieren. Das im geschützten Raum vollzogene Wachstum sorgt für eine verbesserte Ausgangsposition für den Wettbewerb in einem erweiterten Markt. Im Modell spiegelt sich das in der Abhängigkeit der Überlebenswahrscheinlichkeit von der Anfangsgröße der neuen, besseren technologischen Variante wider. Bei gegebenen Werten (N , a) wächst die Überlebenswahrscheinlichkeit mit wachsendem Anfangswert.³⁸ Begrenzte Wettbewerbsbereiche wirken als Nischen für das Überleben von Neuem und stellen insbesondere in einer Situation einer dominierenden, ausschließlichen Technologie (Hyperselektionsfall) die ein-

36 In einer vergleichenden Analyse der Entwicklung verschiedener Eisengusstechnologien und ihrer Diffusionsverläufe in Deutschland und Frankreich kamen *Foray* und *Grübler* zu dem Schluss, dass die Einführung einer neuen Technologie in zwei Phasen verläuft. In der ersten Periode kommt es zu einer schnellen Übernahme der neuen Technologie in Marktnischen (Losgrößenproduktion). Erst in einer zweiten Phase erfolgt die Übernahme in Bereiche der Massenproduktion. (Foray, D. / Grübler, A., Morphological Analysis, Diffusion and Lock-Out of Technologies: Ferrous Casting in France and the FRG. – In: Research Policy. 19(1990), S. 535 - 550).

37 *Foray* und *Grübler* schreiben dazu: „According to *Rosenberg* and *Frischtak* [Long Waves and Economic Growth. - In: The American Economic Review - Paper and Proceedings, May 1983]:“ New inventions are typically very primitive at the time of their birth. Their performance is usually poor, compared to existing (alternative) technologies as well as to their future performance.‘ Thus, when a new technology is introduced in its initial ... form, it has virtually no chance of imposing itself, even if the old technology is ‘inherently inferior’. The latter has profited from its monopolistic period ... In this respect, our case study displays the crucial nature of an initial diffusion in a highly specialized market. In this first period the new technology, ‘protected’ by a high value-added differential, may improve within a ‘quasi in vitro’ development, so to speak. Thus shielded, the new technology may acquire industrial properties via the mechanisms related to the increasing returns to adoption, gradually armouring itself for competition. Between 1950 and 1970, the GP process [gasifiable pattern process technology, d.A.] improved in a virtually underground fashion in the FRG; it was later able to enter the main competition area under auspicious conditions. Having missing the first phase, France is now missing the second one.“ (Foray/Grübler (siehe Fußnote 37), S. 548).

38 siehe Bruckner/Ebeling/Jiménez-Montaño/Scharnhorst 1996 (siehe Fußnote 5).

zige Möglichkeit dar, wie ein einmal angenommener Zustand wieder verlassen werden kann. In den Nischen sind die globalen Selektionsregeln in gewisser Weise neutralisiert. Nachdem sich das Neue in solchen Nischen behauptet hat, kann es schrittweise größere Bereiche erobern und sich letztendlich im Gesamtsystem durchsetzen. Die Nische ist also in einem gewissen Sinne dynamisch.

Das hier diskutierte Beispielsystem beleuchtet einen Selbstorganisations- oder Strukturbildungsprozess in miteinander verwobenen evolutionären Folgen. Die Einschränkung der Wettbewerbssituation auf bestimmte Wachstums- und Marktbedingungen und die Betrachtung nur zweier Technologien spezifiziert diesen Strukturbildungsprozess zu einem einfachen Substitutionsfall. Ohne weiteres lassen sich derartige Modellvorstellungen auf eine Folge von solchen Substitutionsschritten erweitern. Verbunden mit einer Entwicklung der herrschenden Technologie während einer einzelnen Wettbewerbsperiode (etwa im Sinne eines Reifungsprozesses oder Lebenszyklus) kann ein solches Modell zur Erklärung von Wechseln von kontinuierlichen und sprunghaften Phasen innovativer Prozesse dienen.³⁹

4. Zusammenfassung

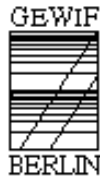
Technische Innovationen lassen sich besonders gut durch diskrete, stochastische Modelle beschreiben. In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, wie durch gezielte Anwendung dieser Beschreibung differenzierte Aussagen zur Durchsetzung von Innovationen gemacht werden können. Insbesondere wurde die Frage diskutiert, auf welche Weise unterschiedlich sich das Entstehen des Neuen in verschiedenen Modelltypen abbilden lässt, welche Aussagekraft solche Modelle haben und wo ihre Grenzen liegen. Der Sprung von Null auf Eins spielt insofern bei der Besiedlung der technologischen Populationen eine besondere Rolle. An dieses singuläre Ereignis schließt sich eine Durchsetzungsphase der neuen Technologie an, die durch Wachstum bedingt ist, d.h. durch Prozesse, die auf der Ebene des Systems keinen Innovationscharakter (im Sinn der Erscheinung einer neuen Qualität) mehr haben. Die Durchsetzung der neuen Technologie wird auf der Ebene der Unternehmen (Mikroebene) von einer Vielzahl von Prozessen begleitet. Einige von ihnen haben auf der Mikroebene Neuerungscharakter, andere nicht. Unabhängig von ihrem unterschiedlichen Charakter tragen jedoch alle diese Prozesse makroökonomisch zu dem gleichen Resultat bei. Neu für das Unternehmen kann sowohl die Übernahme einer neuen Technologie sein als auch einer etablierten, die beide schon in anderen Unternehmen des Systems Verwendung

39 siehe Ebeling/Jiménez-Montaña/Karmeshu (siehe Fußnote 5).

finden. Diese mikroökonomische Erneuerung kann überdies auf ganz unterschiedliche Weise erfolgen: die Anwendung der neuen Technologie kann mit dem Aufbau einer neuen Firma bzw. einer neuen Produktionseinheit eines bestehenden Unternehmens einhergehen oder sie kann in der Ersetzung einer alten Technologie in einer bestehenden Firma bzw. Produktionseinheit bestehen. Zur Durchsetzung der neuen Technologie kann ferner ein Prozess beitragen, der mikroökonomisch keinerlei Neuerungsscharakter hat, etwa wenn in einem bestehenden Unternehmen, das die neue Technologie bereits anwendet, eine weitere Produktionseinheit mit dieser Technologie hinzugefügt wird. In diesem Sinne tragen unterschiedliche Elementarprozesse, die im Modell zu spezifizieren sind, zur Durchsetzung der neuen Technologie im System bei.

Auf die Sensibilität und Relevanz der Anfangsphase bei der Durchsetzung von Innovationen weisen auch mathematische Analysen verschiedener Innovationsdynamiken in Substitutionsprozessen hin. Wie solche Analysen, insbesondere mittels stochastischer Evolutionsmodelle zeigen, ist die schematische Übertragung des Darwinschen „survival of the fittest“ kein geeignetes Modell der Technologieentwicklung. Unter den Bedingungen eines superschnellen Wachstums wäre die technologische Evolution vermutlich schnell beendet und durch „Hyperselektion“ ersetzt (einen Zustand, in dem bestehende Technologien ihre Dominanz gegenüber jedweder Veränderung erfolgreich behaupten). Die mathematische Analyse zeigt, dass im Fall ausgeprägter Nichtlinearitäten neben der Produktqualität („besser“) vor allem auch der Zeitpunkt und die Art und Weise der Einführung einer neuen Technologie entscheidend für ihre Durchsetzung am Markt ist. Neue Technik ist am Markt zunächst meist durch eine dynamische Nische geschützt, in der die noch weithin unbekannte Variante nur einem begrenzten Wettbewerbsdruck unterliegt. Empirische Analysen zur Einführung alternativer Technologien scheinen dies zu bestätigen. Eine neue Technologie hat in ihrer Anfangsgestalt nahezu keine Chance gegen eine monopolistisch existente Technologie. In einer geschützten Marktnische und mit kleinen Produktionszahlen kann sich eine neue Technologie entwickeln, um in einer zweiten Phase der Durchsetzung auf dem gesamten Markt mit der bis dato herrschenden Technologie erfolgreich zu konkurrieren. Die geschützte Marktnische in der ersten Phase der Durchsetzung stellt dabei eine notwendige Bedingung für eine langfristig dauerhafte Innovation dar.

Gesellschaft für
Wissenschaftsforschung



Heinrich Parthey,
Günter Spur (Hrsg.)

**Wissenschaft
und
Innovation**

Wissenschaftsforschung
Jahrbuch 2001

Sonderdruck

Mit Beiträgen von:

*Wolfgang Biedermann • Manfred Bonitz •
Werner Ebeling • Klaus Fuchs-Kittowski •
Siegfried Greif • Christoph Grenzmann •
Horst Kant • Mathias Köbel •
Rüdiger Marquardt • Heinrich Parthey •
Andrea Scharnhorst • Tankred Schewe •
Günter Spur • Walther Umstätter*

Wissenschaftsforschung
Jahrbuch **2001**

Wissenschaft und Innovation:

Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2001 / Heinrich Parthey; Günter Spur (Hrsg.). Mit Beiträgen von Wolfgang Biedermann ... - Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung 2002.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede kommerzielle Verwertung ohne schriftliche Genehmigung des Verlages ist unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in Systeme(n) der elektronischen Datenverarbeitung.

© Gesellschaft für Wissenschaftsforschung,
1. Auflage 2002
Alle Rechte vorbehalten.

Verlag:
Gesellschaft für Wissenschaftsforschung
c/o Prof. Dr. Walther Umstätter, Institut für
Bibliothekswissenschaft der Humboldt-Universität zu
Berlin, Dorotheenstr. 26, D-10099 Berlin

Druck: BOOKS on DEMAND GmbH,
Gutenbergring, D-22848 Norderstet

ISBN 3-934682-35-9

Preis 15,80 €

Jahrbücher Wissenschaftsforschung

Wissenschaftsforschung: Jahrbuch 1994/95.

Hrsg. v. Hubert Laitko, Heinrich Parthey u. Jutta Petersdorf. Mit Beiträgen von Siegfried Greif, Günter Hartung, Frank Havemann, Horst Kant, Hubert Laitko, Karlheinz Lüdtke, Renate Müller, Heinrich Parthey u. Manfred Wölfling. Marburg: BdWi – Verlag 1996. 306 Seiten (ISBN 3-924684-49-6) 39,80 DM

Wissenschaftsforschung: Jahrbuch 1996/97.

Hrsg. v. Siegfried Greif, Hubert Laitko u. Heinrich Parthey. Mit Beiträgen von Siegfried Greif, Christoph Grenzmann, Claudia Hermann, Gunter Kayser, Karlheinz Lüdtke, Werner Meske, Heinrich Parthey, Roland Wagner-Döbler, Manfred Wölfling u. Regine Zott. Marburg: BdWi – Verlag 1998. 254 Seiten (ISBN 3-924684-85-5) 38,00 DM

Wissenschaft und Digitale Bibliothek: Wissenschaftsforschung Jahrbuch 1998.

Hrsg. v. Klaus Fuchs-Kittowski, Hubert Laitko, Heinrich Parthey u. Walther Umstätter. Mit Beiträgen von Manfred Bonitz, Klaus Fuchs-Kittowski, Siegfried Greif, Frank Havemann, Horst Kant, Hubert Laitko, Karlheinz Lüdtke, Heinrich Parthey, Wolfgang Stock, Walther Umstätter, Roland Wagner-Döbler, Petra Werner u. Regine Zott. Berlin: GeWif 2000. 368 Seiten. (ISBN 3-934682-30-8) 38,00 DM

Wissenschaft und Innovation: Wissenschaftsforschung Jahrbuch 1999.

Hrsg. v. Siegfried Greif u. Manfred Wölfling. Mit Beiträgen von Siegfried Greif, Christoph Grenzmann, Hans-Eduard Hauser, Frank Havemann, Gunter Kayser, Andrea Scharnhorst, Roland Wagner-Döbler, Manfred Wölfling u. Janos Wolf. Berlin: GeWif 2001. 227 Seiten. (ISBN 3-934682-33-2) 13,00 €

Organisationsinformatik und Digitale Bibliothek in der Wissenschaft: Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2000.

Hrsg. v. Klaus Fuchs-Kittowski, Heinrich Parthey, Walther Umstätter u. Roland Wagner-Döbler. Mit Beiträgen von Manfred Bonitz, Christian Dahme, Klaus Fuchs-Kittowski, Frank Havemann, Heinrich Parthey, Andrea Scharnhorst, Walther Umstätter u. Roland Wagner-Döbler. Berlin: GeWif 2001. 239 Seiten. (ISBN 3-934682-34-0) 14,00 €

Inhaltsverzeichnisse der Jahrbücher Wissenschaftsforschung im Internet:
www.wissenschaftsforschung.de