

Komplexitätsmanagement durch systemische Selbstskalierung

**Kai Paetow
Marco Schmitt**

Technische Universität Hamburg-Harburg
Arbeitsbereich Technikbewertung & Technikgestaltung
Schwarzenbergstraße 95
21071 Hamburg

{kai.paetow, marco.schmitt}@tu-harburg.de

Zusammenfassung

Skalierbarkeit und Skalierung von Multiagentensystemen sind in der Informatik Probleme von entscheidender Bedeutung. Die bisherige Debatte ist vor allem durch die Unbestimmtheit dieser beiden zentralen Begriffe erschwert. Daher wird in dieser Arbeit der Versuch unternommen, Skalierung aus soziologischer Sicht begrifflich-kategorial klar definieren und theoretisch stärker zu reflektieren. Die hier geleistete begriffliche und konzeptionelle Arbeit orientiert sich an Niklas Luhmanns Theorie sozialer System, der allgemeinen Komplexitätswissenschaft sowie an Ansätzen aus der Organisations- und Managementforschung. Skalierung wird als Operationalisierung von Komplexität verstanden. Durch die differenztheoretische Entfaltung des Skalierungsbegriffs wird ein heuristisches Instrumentarium gewonnen, das die Bezugspunkte des systemischen Komplexitätsmanagements deutlich benennt. Die hierbei eingenommene Perspektive auf MAS wird letztlich auf ein evolutionstheoretisches Fundament gestellt. Abschließend werden die Ergebnisse der Theoriearbeit in Form einiger Vorschläge zur Reorientierung der Skalierungsdebatte präsentiert.

Abstract

In computer science, scalability and actual scaling processes of multiagent systems are problems of much concern. So far, the debate has been inhibited by the indeterminacy of both of these central terms. From a sociological point of view, it is tried to define the notions of scalability and scaling process more clearly and to reflect them in a profound theoretical context. The terminological and conceptual framework, developed here, is guided by Niklas Luhmann's theory of social systems, general complexity science, and some approaches from organization and management research. Scaling processes are understood as operationalizations of complexity. By decomposing the term "scaling" difference-theoretically, a heuristic tool is achieved that clearly denotes the points of reference of complexity management. The perspective on MAS is built on an evolution-theoretical fundament. Finally, the results of this theoretically oriented paper are presented as proposals for a re-framing of the debate on scalability.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
2. Der Begriff der Systemkomplexität	8
3. Das Management der Komplexität	13
4. Desiderata systemischer Selbstskalierung.....	22
5. Fazit	31
Literatur	35

1. Einleitung

In verteilten künstlichen Systemen wird Skalierung zu einem zentralen Problem, das für die Informatik von vor allem praktischer Bedeutung ist, da es in erster Linie um die Funktionsfähigkeit von Softwaresystemen unter wechselnden informationellen Belastungen geht. So wird Skalierbarkeit aus einer Design-Perspektive definiert als „a component’s ability to adapt readily to a greater or lesser intensity of use, volume, or demand while still meeting business objectives.“¹ Aus der spezifischen Sicht der VKI bzw. der MAS-Forschung wird die Lösung des Skalierungsproblems eher als eine notwendige Bedingung zur Konstruktion von „large-scale open systems“² betrachtet. Die Informationslast des Systems wird hier durch die Anzahl der beteiligten autonomen Agenten und die Migrationsoffenheit des Systems gegenüber „fremden“ Agenten bestimmt.

Dabei gibt es jedoch keine einheitliche Definition von Skalierbarkeit oder dem Skalierungsproblem, die in der Diskussion kohärent verwendet wird. Tatsächlich wird auf ganz unterschiedliche Referenzpunkte Bezug genommen. Wenn von Skalierbarkeit die Rede ist, kann es um die Wachstumspotentiale eines Systems gehen, um die Möglichkeit größere kooperative Projekte auszuführen oder um Korrelationen von Systemgröße mit anderen entscheidenden Systemvariablen. Auch die Anwendungsbezüge des Skalierungsproblems sind höchst unterschiedlich. Das Skalierungsproblem scheint virulent in Internetanwendungen, Agentenarchitekturen, „Agentengesellschaften“ und in jeder Art von „workload“-Problemen.

In der MAS-Forschung kursieren eine Reihe von Vorschlägen, wie dieses Problem aus informatischer Sicht anzugehen ist.³ Dabei wird Skalierbarkeit in eine Reihe weiterer Systemanforderungen dekomponiert, die man mit Robustheit, Flexibilität und Aufwand wohl treffend charakterisieren könnte.⁴ Diese Systemanforderungen können auch als Desiderata der Skalierbarkeit betrachtet werden.

Im Anschluss an diese Problembestimmung durch die VKI ist auch in der Sozionik eine Skalierungsdiskussion entfacht worden, deren Kern in der Suche nach angemessenen soziologischen Beschreibungen analoger Problemstellungen liegt, von denen auch informatische Lösungsansätze profitieren könnten. Diese Debatte zeichnet sich jedoch bislang durch begrifflich-theoretische Unbestimmtheit aus, die sich in konzeptionellen und theoretischen Reflexionsdefiziten äußert. Eine Umsetzung des informatischen Problems in eine soziologische Theoriesprache scheint bislang nicht geglückt. So wird in den sozionischen Projekten zumeist das aus der Soziologie hinlänglich bekannte Problem der Verbindung von sozialer Mikro- und Makroebene⁵ herangezogen, an dem man Skalierung soziologisch zu fassen versucht. Diese Analogie ist allerdings nicht stimmig, da es aus soziologischer Sicht eher um Probleme der

¹ High Volume Web Site Team 2001: Executive summary.

² Hewitt 1991.

³ Vgl. dazu den Konferenzband Wagner/Rana 2000.

⁴ Diese Dekomposition schließt an eine von Gerhard Weiß entwickelte Differenzierung an, die auf einem sozionischen Workshop zum Skalierungsproblem in Hagen im November 2001 vorgetragen worden ist.

⁵ Siehe zum Beispiel die Aufsätze in Alexander/Giesen 1987.

sozialen Aggregation, zum Beispiel der Bildung von sozialen Kollektivphänomenen geht, während informatisch eher ein Belastungsproblem durch systemisches Wachstum von Interesse ist. Der sozionisch ansetzenden Soziologie ist darüber hinaus der Vorwurf zu machen, allzu bedenkenlos das Agentenparadigma der MAS-Forschung bei der theoretischen Klärung von Skalierung übernommen zu haben. Schließlich ist es ja doch recht umstritten, ausschließlich das Individuum ins Zentrum soziologischer Analysen zu rücken. Viel eher richtet sich der soziologische Blick auf soziale Handlungen oder Kommunikationen, auf die eine soziologische Fassung des Skalierungsproblems in erster Linie zu rekurrieren hätte. Eine begriffliche Klärung sowie eine theoretisch plausible Einbettung von Skalierungsfragen in soziologisch interessante Forschungsfelder ist daher eine *conditio sine qua non* für die weitere fruchtbare Zusammenarbeit von VKI und Soziologie.

Der hier unterbreitete theoretisch-konzeptionelle Vorschlag einer soziologischen Annäherung an das Skalierungsproblem der VKI setzt *differenztheoretisch* an. Das heißt, der Ansatz stützt sich auf eine differentielle Begriffsbildung, mit deren Hilfe die Skalierbarkeit von Multiagentensystemen analysiert und rekonstruiert werden kann. Anders als größtenteils in der bisherigen sozionischen Debatte um Skalierung wird also nicht etwa das Begriffspaar „Mikro/Makro“ in den Vordergrund des Forschungsinteresses gerückt und das „missing link“ zwischen beiden zum neuralgischen Punkt der Analyse erklärt, sondern es soll fundamentaler angesetzt werden: bei der Unterscheidung zwischen Element und Relation, die zu den Bezugspunkten der Systemskalierung werden. Die sich mit dieser Differenzierung abzeichnende Frage nach der Relationierung der Systemelemente gibt Anlass, eine weitere zentrale Unterscheidung einzuführen: die zwischen der quantitativen und qualitativen Dimension der Skalierung. Skalierung lediglich quantitativ, über die Unterscheidung „mehr/weniger“ bzw. „viel/wenig“ anzudenken, erscheint als eine unzulässige Vereinfachung der mit Systemskalierung verbundenen Problematik. Daher ist das Skalierungsproblem zu redefinieren: Zum Problem wird die mutuale Syntonisierung der quantitativen und qualitativen Dimensionen der Skalierung von Elementen und Relationen in Multiagentensystemen und nicht einfach nur die Steigerung der Agentenanzahl. Dies wird auch deutlich, wenn man die oben erwähnten, aus der informatischen Skalierungsdiskussion herzuleitenden Desiderata (Robustheit, Flexibilität und Aufwand) der Skalierbarkeit berücksichtigt, die eher auf eine Feinabstimmung der Relationierung von Elementen setzen und nicht bloß auf das Wachstum der Agentenpopulation.

Die hiermit vorgeschlagene differenztheoretische Wendung der Skalierungsthematik erfolgt auf der Basis der Luhmannschen Systemtheorie. Es stellt sich die Frage, in welchem theorieimmanenten Kontext „Skalierung“ zu stellen ist; schließlich handelt es sich bei diesem Konzept um einen theoretischen „Fremdkörper“ im Begriffsinstrumentarium der Systemtheorie. Die theoriestrategisch korrekte Platzierung ist also entscheidend. Daher soll unter Skalierung die systeminterne Selbstbeeinflussung der quantitativen wie qualitativen Dimension der Eigenkomplexität verstanden werden. Die Hauptthese, mit der diese Arbeit also aufwartet, lautet: *Skalierung ist Operationalisierung von Komplexität.*

Wie gesagt, diese Arbeit versteht sich als Vorschlag, „Skalierung“ differenztheoretisch zu lesen, und das heißt in diesem Fall, aus der Perspektive der Luhmannschen Systemtheorie zu beleuchten. Management der Komplexität soll dabei als ein operationaler Prozess gedeutet werden, der über Systemskalierung autonom gesteuert wird. In Anlehnung an die Kognitionswissenschaft werden die für die Steuerung relevanten Differenzen zur systemischen Selbstskalierung als Schemata eingeführt, als eine spezifische Wissensform, die das System beim Komplexitätsmanagement operationalisiert. Des Weiteren erweist es sich als vorteilhaft, den Blick über die Systemtheorie hinaus auf das eher empirisch orientierte Forschungsfeld der Organisationswissenschaft (auf breitester Ebene) zu richten. Wenn Probleme der Komplexität in den Sozialwissenschaften in den letzten beiden Jahrzehnten diskutiert worden sind, dann hauptsächlich im Zusammenhang mit Unternehmensmanagement und Fragen der „richtigen“ Strukturierung von Organisation und Produktion. Die vorliegende Arbeit versucht daher, Ansätze und Forschungsergebnisse der Organisations- und Managementforschung sowie der Industrie- und Betriebssoziologie kreativ aufzunehmen und in das Paradigma der Systemtheorie mit Anspruch auf theoretische Konsistenz zu integrieren.⁶ Von diesen Disziplinen kann mit Sicherheit mehr zur systemischen Skalierung und Komplexitätsverarbeitung gelernt werden als von Sozial- und Gesellschaftstheorien, die Komplexität allerhöchstens als Randthema kennen.⁷ Angeregt werden soll letztlich eine Reorientierung der informatischen und sozionischen Forschungsanstrengungen zur Skalierbarkeit von MAS: der Fokus ist auf Systemkomplexität zu richten.

Im ersten Abschnitt geht es darum, ein sowohl informatisch wie soziologisch tragfähiges Komplexitätskonzept zu entwickeln, aus dessen Perspektive Skalierungsfragen und auch soziologisch weiterführende Probleme thematisiert werden können. Aus einem systemtheoretischen Komplexitätsverständnis heraus liegt es nahe, Skalierung auf die Unterscheidung von Element und Relation zu beziehen. Zusätzlich sind eine qualitative und eine quantitative Dimension der Skalierung zu unterscheiden. Diese beiden grundlegenden Unterscheidungen werden in einer Differentialmatrix kombiniert, so dass sich vier Skalierungsreferenzen herauskristallisieren: Anzahl der Elemente, Anzahl der Kopplungen, Diversität und Multiplexität. Wird obendrein die System/Umwelt-Differenz zugrunde gelegt, könnte Irritabilität als fünfte Skalierungsreferenz angenommen werden.

Im zweiten Abschnitt steht die systemische Operationalisierung der Skalierungsreferenzen im Zentrum. Es wird ein Konzept des Komplexitätsmanagements

⁶ Im Einzelnen wird dieser Rekurs nicht ausgewiesen. Die Inspirationsquellen sind sehr weit abzustecken: Sie erstrecken sich auf die soziologischen und wirtschaftswissenschaftlichen Debatten um Lean Production, Lean Management, die Neuen Produktionskonzepte sowie Reengineering. Verwiesen sei auf eine Arbeit von Stefan Kühl, die viele der mit diesen Debatten verbundenen Fragestellungen und Theorieprobleme aufgreift und aus organisationstheoretischer Sicht (die sich in hohem Maße systemtheoretisch informiert zeigt) thematisiert. Interessanterweise spitzt er die Antinomien dieser zum Teil normativ fundierten Ansätze zu Dilemmata der Organisationsgestaltung zu: Eins davon ist das „Komplexitätsdilemma“, das auch bei der Selbstskalierung von MAS zutage treten könnte. Vgl. Kühl 1995.

⁷ Dies gilt jedoch nicht für die hier zugrunde liegende Systemtheorie Luhmanns, die Fragen der Komplexität auch als sozial- und gesellschaftstheoretisch fundamental einschätzt.

erarbeitet. Komplexitätsmanagement erfolgt durch den operativen Einsatz von Steuerungsschemata. Zu zeigen ist, wie das System seine Komplexität anhand von Skalierungsstrategien, zu denen einzelne Schemata kombiniert werden, zu steuern versucht. Zwei Annahmen spielen hier eine entscheidende Rolle: Zum einen existiert eine ausgewiesene Managementinstanz, die Strategien entwirft und als kognitives Strukturierungsangebot im System verbreitet; zum anderen wird die systeminterne Komplexitätsbewältigung und Strategieformierung in Anlehnung an Mintzberg als ein gesamt-systemischer Prozess begriffen, in dem sich „top-down“-Aktivitäten des Managements mit den „bottom-up“-emergierenden Mustern operativer Komplexitätsverarbeitung evolutionär zu verbinden haben.

Zum Abschluss sollen im Fazit einige Vorschläge unterbreitet werden, die als prononcierte Zusammenfassung der Ergebnisse der vorliegenden konzeptionellen Arbeit zu verstehen sind und die der weiteren Diskussion des Skalierungsproblems systemtheoretische Anregungen bieten sollen.

2. Der Begriff der Systemkomplexität

David Byrne bringt es auf den Punkt: „Complexity is on the cutting edge of science.“⁸ Komplexität ist zum Modethema zahlreicher wissenschaftlicher Disziplinen geworden.⁹ Es beschäftigt Physiker, Biologen, Informatiker und Sozialwissenschaftler gleichermaßen. Dem Begriff kann eine gewisse interdisziplinäre Anschlussfähigkeit sicher nicht abgesprochen werden. Als Resultat vielfältiger Forschungsbemühungen entsteht eine allgemeine Komplexitätstheorie, die eine Anwendbarkeit auf unterschiedlichste Systeme in Aussicht stellt. Diese Systeme werden unter dem Oberbegriff der „complex adaptive systems“ zusammengefasst, der sich auf so verschiedene Systemtypen wie menschliche Gesellschaften, genetische Algorithmen, Ökosysteme oder Unternehmen bezieht.¹⁰ Die zentrale Forschungsfrage richtet sich auf das Rätsel der „coherence under change“¹¹ dieser Systeme.

Im Allgemeinen wird unter Komplexität die selektive Verknüpfung von Elementen verstanden. Komplexität wird damit im Unterschied zu einer kompletten Verknüpfung der Elemente definiert; sie liegt immer dann vor, wenn es mehr Möglichkeiten der Verknüpfung gibt, als aktuell realisiert werden. Komplexität ist demnach ein Formbegriff¹²: die Einheit einer zweiseitigen Unterscheidung zwischen kompletter und selektiver Relationierung, die erst das konstituiert, was dann als Komplexität begriffen werden kann. Der Möglichkeitsüberschuss, der bei selektiven Verknüpfungen vorausgesetzt werden muss, ist ein erster Hinweis auf den wechselseitigen Bedingungs-, gar Steigerungszusammenhang von Komplexität und Kontin-

⁸ Byrne 1998: 57.

⁹ Vgl. Lewin 1996.

¹⁰ Vgl. u.a. Feindt/ Bornholdt 1996.

¹¹ Holland 1992 und 1996: 4.

¹² Im Sinne der Luhmannschen Verwendung des Formbegriffs im Anschluss an Spencer Brown. Vgl. Luhmann 1993a: 62.

genz. Die realisierten Verknüpfungen sind immer nur eine Variante aller möglichen Verknüpfungen: Komplexität ist kontingent, und erlebte Kontingenz erzwingt geradezu den Aufbau von Komplexität. Der damit beschriebene Steigerungszusammenhang bildet die Basis für Phänomene der Emergenz, zum Beispiel für die Ausdifferenzierung von Systemen.

Von Systemkomplexität lässt sich nur sprechen, wenn ein System fokussiert wird, das sich in seiner Umwelt durch den Aufbau von Eigenkomplexität abgrenzt. Dieser Aufbau von Eigenkomplexität kann nur unter den Bedingungen operativer Schließung gelingen; das heißt, das System befindet selbstreferentiell über den eigenen Strukturaufbau, der es erlaubt, sich auszudifferenzieren. Das sich ausdifferenzierende System kann diesen Strukturaufbau nur auf der Basis eigener Elemente leisten, indem es seine Elemente aus sich selbst heraus produziert und diese im Systemgeschehen fortlaufend selektiv miteinander verknüpft. Eigenkomplexität gründet also in Eigenselektivität. Dieser selektive Strukturierungsprozess des Systems bringt es mit sich, dass überbordende Umweltkomplexität von vornherein ausgeschlossen wird; damit etabliert sich ein Komplexitätsgefälle zwischen System und Umwelt, zwischen denen es mithin keine Eins-zu-Eins-Entsprechung der Ereignisse mehr gibt: Nicht alles, was in der Umwelt geschieht, tangiert sogleich auch das System, das sich durch die Ausdifferenzierung in die Lage versetzt hat, nur noch auf sich selbst reagieren zu müssen.

Für den systemischen Strukturaufbau fungiert Komplexität als ein „formengenerierendes Formprinzip“¹³; mit anderen Worten: Die selektiven Verknüpfungen, in denen sich Komplexität ausprägt, erzeugen „automatisch“ weitere Formen. Das System nutzt folglich bereits aufgebaute Komplexität zur Organisierung der eigenen Komplexität. Dabei stützt es sich auf die zwei „Bausteine“ der Komplexität: Elemente und Relationen. Die Unterscheidung von Element und Relation erweist sich durchaus als heuristisch tragfähige Dekomposition des Komplexitätsbegriffs, da sie auch in der fächerübergreifenden Debatte um die „Komplexitätswissenschaft“ („science of complexity“) breite Verwendung findet. So definiert zum Beispiel Morin Komplexität in einem frühen epistemologisch ansetzenden Aufsatz als „organized diversity“ bzw. als „organization of diversity“. Systemische Komplexität steigt seiner Ansicht nach „on the one hand with the increase in the *number and diversity of the component parts*, on the other hand with the increased *flexibility and complication of the interrelations* (interactions, feedback effects, interferences, etc.) and the decrease in their determinism (at least from the standpoint of an observer).“¹⁴ In ganz ähnlicher Weise lässt sich mit Ebeling, Freund und Schweitzer aus der Sicht der Physik ein „operativ nicht eindeutig umzusetzendes Komplexitätsmaß“ bestimmen: „Die Komplexität einer Struktur spiegelt sich in der Anzahl der gleichen bzw. verschiedenen Elemente, in der Anzahl der gleichen bzw. verschiedenen Relationen und Operationen sowie in der Anzahl der Hierarchie-Ebenen wider.“¹⁵ Auch im politikwissenschaftlichen Kontext ist bereits mit einer Differenzierung von organisierter Komplexität gearbeitet worden,

¹³ Vgl. Luhmann 1993a: 65.

¹⁴ Morin 1974: 558. Hervorhebungen hinzugefügt.

¹⁵ Ebeling/Freund/ Schweitzer 1998: 18. Hervorhebung gestrichen.

die ebenfalls der Unterscheidung von Element und Relation sehr nahe kommt. So schlägt La Porte folgende Definition vor: „The degree of complexity of organized social systems (Q) is a function of a *number* of system components (C_i), the relative *differentiation* or variety of these components (D_j), and the degree of *interdependence* among these components (I_k). Then, by definition, the greater C_i , D_j , and I_k , the greater the complexity of the organized system (Q).”¹⁶

Es zeigt sich also, dass der analytische Blick auf Phänomene der Komplexität durch die Verwendung einer relativ einfachen Unterscheidung geschärft werden kann. Die Exploration von systemischer Komplexität differenziert nach Element und Relation bzw. nach Medium und Form. Ein Medium als eine Menge von Elementen stellt einen Überschuss an Verknüpfungsmöglichkeiten bereit, wohingegen Form eine immer schon selektive und feste Verknüpfung von Elementen meint.¹⁷ Anders gesagt: Medien sind schlicht offene Möglichkeiten, in die Formen einzuzeichnen sind. Dies lässt sich mit Luhmann auf die recht simpel anmutende Formel bringen, die Systemkomplexität als eine Relationierung von „abstrakten Potentialen und selektiven Reduktionen“ zu definieren.¹⁸ Die systemisch vorgenommene Relationierung von Medium und Form, die Inskribierung von Formen in die lose Ansammlung der Elemente kann mit Luhmann auch als ein „Bedingungs- und Steigerungsverhältnis von Mengen und Ordnungen“ gedeutet werden.¹⁹ Mengen sind in Ordnungen zu bringen: Elemente zu relationieren – und das in multidimensionaler Hinsicht.

Es soll hier der theoretisch-konzeptionelle Vorschlag unterbreitet werden, die Unterscheidung von Element und Relation mit einer weiteren Unterscheidung zu kombinieren: mit der zwischen Quantität und Qualität. Ein sich selbst organisierendes System operationalisiert seine systemische Komplexität, indem es eigenbestimmt über die Art und Anzahl seiner Elemente und Relationen problemfallbezogen disponiert. Es „skaliert“ sich selbst in quantitativer wie qualitativer Hinsicht, ohne direkt auf „scalability“ operativ ausgerichtet zu sein. Skalierung, dieser schillernde Begriff der Sozionik, soll in einem systemtheoretischen Sinne als operativer Umgang mit Komplexität definiert werden. Anders gesagt: Skalierung ist Operationalisierung der systemischen Eigenkomplexität. Es scheint sinnvoll zu sein, das Phänomen der Komplexität nach Formen und Dimensionen kategorial zu differenzieren.

Die Bezugspunkte der Skalierung sind Elemente und Relationen. So ließen sich zwei *Formen der Skalierung* unterscheiden:

- Elementeskalierung und
- Relationenskalierung.

Diese Formen der Skalierung drücken sich in zwei unterschiedlichen Dimensionen aus:

¹⁶ La Porte 1975: 6. Hervorhebung im Original. Vgl. auch Feindt/Bornholdt 1996: 25.

¹⁷ Luhmann 1997: 190ff.

¹⁸ Luhmann 1982a: 208.

¹⁹ Vgl. Luhmann 1982a: 208.

- quantitativ (mehr/weniger) und
- qualitativ (homogen/heterogen).

Somit ließe sich quantitative und qualitative Elementeskalierung von quantitativer und qualitativer Relationenskalierung unterscheiden. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, kann Skalierung nicht nur in einem quantitativen Verständnis, also als ein „mehr oder weniger“ gefasst werden; sondern auch die qualitative Ebene der Skalierung, die Ebene, auf der nach „homogen“ und „heterogen“ unterschieden wird, spielt eine entscheidende Rolle bei der Organisierung der systemischen Komplexität. Daher sind auch in einem systemtheoretischen „framework“ zwei Arten der Skalierung zu unterscheiden: quantitative und qualitative Skalierung, aus denen sich insgesamt vier Varianten des operativen Umgangs mit Komplexität ableiten lassen.

1. Quantitative Elementeskalierung: Operiert wird auf der Basis der Unterscheidung „mehr/weniger“. Skalierung bezieht sich hier auf die reine Anzahl der im System zugelassenen bzw. der dem System zugehörigen Elemente.
2. Quantitative Relationenskalierung: Skaliert wird bei dieser Variante ebenfalls nach der Unterscheidung „mehr/weniger“. Es geht rein um die Quantität der intra-systemischen Kopplungen.
3. Qualitative Elementeskalierung: Die systemische Skalierung referiert in diesem Fall die Unterscheidung „homogen/heterogen“. In Frage steht die Diversität der systemeigenen Elemente. Auf der Seite der Heterogenität könnte eine weitere qualitative Spezifikation vor allem hinsichtlich des medialen Substrats vorgenommen werden, das operativ genutzt wird (beispielsweise Sprache, Wahrheit, Recht, Liebe oder Geld), oder auch hinsichtlich des informationellen Gehalts.
4. Qualitative Relationenskalierung: Ein sich in dieser Variante skalierendes System prozessiert die Verschiedenartigkeit der internen Kopplungsformen zwischen seinen Elementen entlang der Differenz „homogen/heterogen“. Mit der Kopplungsform wird das „Wie“ des operativen Anschließens ausgewiesen: in erster Linie „lose/fest“, aber auch „dauerhaft/flüchtig“ oder „einmalig/mehrmalig referierbar“. Zur Disposition steht in diesem Fall die Varianz der strukturellen Referenzen, über die die Kopplung, der Anschluss eines Elements an das nächste mediatisiert werden soll. In den Fokus gerät hier die Multiplexität des Systems, das heißt die Vielgestaltigkeit der internen Relationen.

Die Varianten der Systemskalierung lassen sich in einer Differentialmatrix anschaulich zueinander ins Verhältnis setzen, so dass sich vier *Skalierungsreferenzen* ergeben:

	Elemente	Relationen
Quantitative Dimension	Anzahl der Elemente	Anzahl der Kopplungen
Qualitative Dimension	Diversität	Multiplexität

Elemente und Relationen stehen in einem rekursiv-zirkulären Bedingungs-zusammenhang. Deshalb ist zu beachten, dass Elementeskalierung und Relationenskalierung nicht unabhängig voneinander im System erfolgen. Sie fokussieren letzten Endes vier Skalierungsreferenzen, die die Bezugspunkte des systemischen Umgangs mit Komplexität darstellen: die Anzahl der Elemente, die Diversität der Elemente, die Anzahl der Relationen sowie die Multiplexität der Relationen.

Das Modell erstreckt sich bislang erst auf die Skalierungsoptionen der Handhabung systemischer Eigenkomplexität. Zum Aufbau und Abbau systemischer Komplexität bedarf es jedoch eines externen Bezugsrahmens, der Kriterien zur Skalierung liefert; schließlich muss klar sein, weshalb überhaupt und in welche „Richtung“ zu skalieren ist. Entscheidend ist, dass das System einen Komplexitätsgrad erreicht, der das System in die Lage versetzt, sich in ausreichendem Maße von Umweltereignissen irritieren zu lassen, um einerseits überhaupt Informationen über die Umwelt generieren zu können und um andererseits umweltangepasst und reproduktionsfähig zu bleiben. Das System unterhält strukturelle Kopplungen zu seiner Umwelt, die ein wechselseitiges Interpenetrationsverhältnis darstellen. Das bedeutet, dass das System auch in seinem strukturellen Umweltbezug quantitativ wie qualitativ relationiert ist. Somit wären auch Formen quantitativer und qualitativer Skalierbarkeit²⁰ der strukturellen Kopplungen anzunehmen. Hohe quantitative Skalierung hieße zum Beispiel, dass das System auf viele Umweltereignisse reagiert, während hohe qualitative Skalierung es mit sich brächte, dass das System sich durch ganz verschiedene Geschehnisse irritieren lässt.²¹ Die Unterscheidung System/Umwelt tritt folglich gleichwertig neben die Unterscheidungen Element/Relation und Quantität/Qualität als Bezugspunkt für die Konstruktion von Skalierungsreferenzen. Die fünfte Referenz ist also Irritabilität.

Der Grad der Systemkomplexität (SK) ist also eine Funktion der Anzahl der Elemente (Num_e), der Diversität der Elemente (Div_e), der Anzahl der Relationen (Num_r), der Multiplexität der Relationen (Mul_r) sowie der Irritabilität in der Außenperspektive (Irr):

$$SK=f(Num_e, Div_e, Num_r, Mul_r, Irr)$$

Dabei sind weitere komplexitätssteigernde Aspekte wie die Veränderlichkeit dieser Faktoren in der Zeit oder multiperspektivische Bestimmungen der Faktorgrößen noch nicht mitberücksichtigt.

Mit dieser formalen Definition der Systemkomplexität ist noch nichts über die tatsächliche Selbstskalierung des Systems ausgesagt. Offen ist auch die Frage, nach welchen Kriterien das System seine interne Komplexität zu bearbeiten hat und in welche Richtung es sich entwickeln sollte. In der Diskussion um Skalierung innerhalb der Computerwissenschaft werden verschiedene Richtgrößen als normative An-

²⁰ Von „Skalierbarkeit“ ist zu sprechen, weil nicht in jedem Fall davon auszugehen ist, dass das System seine strukturellen Kopplungen eigenmächtig einrichten und auflösen kann. Aktive Skalierung im systemischen Außenverhältnis ist zumeist nur begrenzt möglich.

²¹ Skalierbarkeit im System/Umwelt-Verhältnis wird in der hier vorgestellten Konzeption nur tangentiell thematisiert; von Interesse soll in erster Linie die systeminterne Skalierung selbst sein.

sprüche angeführt: in erster Linie Robustheit, Flexibilität und Aufwand. Das System muss über Leitlinien verfügen, anhand derer es den Umgang mit Komplexität steuern kann. Das Management der Komplexität erfolgt durch systemische Selbstskalierung. Wie dieses Komplexitätsmanagement im Einzelnen operiert und wie es die adaptive Feinabstimmung zwischen den Skalierungsreferenzen vornimmt, soll im nachfolgenden Abschnitt eingehender beleuchtet werden.

3. Das Management der Komplexität

Systeminterne Komplexität bedarf „richtiger Reduktionen“²², wenn das System nicht riskieren will, aus dem Ruder zu laufen. Zwei Arten der Komplexitätsverarbeitung sind grundlegend denkbar: Evolution und Steuerung. „Evolutionäre Komplexitätsbewältigung“ überlässt die Systementwicklung der zufallsbedingten Kombination der Evolutionsmechanismen Variation, Selektion und Restabilisierung, wohingegen systemische Selbststeuerung darauf zielt, Einfluss sowohl auf die Mechanismen der Komplexitätsverarbeitung zu nehmen bzw. neue Mechanismen zu generieren als auch autonom darüber zu befinden, an welchen Systemanforderungen das Komplexitätsniveau auszurichten ist.

Für die Konstruktion von Multagentensystem gilt generell, dass sie in die Lage versetzt sein sollten, sich selbst zu steuern – und zwar entweder evolutionär oder mit Hilfe einer implementierten Steuerungsinstanz. In diesem Modell wird explizit davon ausgegangen, dass das MAS aktiv Komplexitätsmanagement betreibt. Dazu bedarf es eines Steuerungszentrums, das als eine systeminterne Managementinstanz zu konzipieren ist.²³ Diese Instanz fungiert als ein in das System eingelassener Beobachter zweiter Ordnung, der seine Aufmerksamkeit auf die systeminternen Vorgänge richtet und, wenn nötig, zu intervenieren versucht.²⁴ Management übernimmt damit eine „Störfunktion“, indem es den gewohnten Gang der Dinge gelegentlich unterbricht und somit variierend auf die internen Ereignisse einwirkt: Es steuert, indem es stört.²⁵ Beobachtung zweiter Ordnung und Steuerung werden so in der Managementinstanz verbunden, dass im System Selbstbeobachtungen und –beschreibungen angefertigt werden, die für die Operationen Informationswert haben.

Das Management ist folglich mit der Aufgabe betraut, ein Bild des Systems intern zu entwerfen, ein Verständnis der Eigenkomplexität zu entwickeln. Entsteht im System ein derartiges Bild der eigenen Komplexität, wird das System hyperkomplex. Mit Baecker gesagt: „Hyperkomplexität ist dann gegeben, wenn unter den Beschreibungen, die ein System von sich selbst anfertigt, mindestens eine ist, die das System

²² Vgl. Baecker 1999: 170f.

²³ Ein MAS-internes Steuerungszentrum könnte auch anders modelliert werden, zum Beispiel als „Gehirn“ oder als Schaltzentrale.

²⁴ Zu dieser Konzeption, Management als personifizierte Beobachtung zweiter Ordnung zu beschreiben, siehe Baecker 1993: 166.

²⁵ Vgl. Baecker 1993: 157ff.

als komplex beschreibt.“²⁶ Um Selbstbeschreibungen anfertigen zu können, muss das System zwischen Selbstreferenz und Fremdreferenz diskriminieren können: Das Bild der Eigenkomplexität ist wiederum im Spiegel der eigenkonstruierten Umweltkomplexität zu betrachten und zu evaluieren. Die systemisch aufgebaute Eigenkomplexität muss gegenüber der perzipierten Umweltkomplexität angemessen sein. Das Management hat daher auch als Reflexionsinstanz zu fungieren, die die Selbstbeschreibung und die Beschreibung der Umwelt produziert und ins System projiziert. Darüber hinaus hat das Management auch die Angemessenheit des im System realisierten Komplexitätsniveaus im systemischen Außenbezug zu beurteilen. Dazu muss es in der Lage sein, rationale Reflexionen vorzunehmen; das heißt, es muss auf die Einheit der Differenz von System und Umwelt reflektieren, um Kriterien für diese Beurteilung hervorbringen zu können.²⁷

Zu fragen ist, wie diese Managementinstanz in einem MAS modelliert werden könnte. Sie könnte als eine eigenständig Informationen prozessierende Blackboard mit systemischer Interventionskompetenz, als einzelner Management-Agent²⁸ oder auch als eine Gruppe von Manager-Agenten konzipiert werden. Hier soll der Vorschlag unterbreitet werden, das Management als ein „Communication-based Social System Mirror“²⁹ zu begreifen, der die Systemereignisse beobachtet, sie (selektiv) aufzeichnet, die Daten reflektiert, Schlüsse aus ihnen zieht, sie gegebenenfalls in ihrem Informationsgehalt generalisiert und aus ihnen Strategien formuliert, die er auf seiner Blackboard systemweit zugänglich macht. Die Aktivitäten des Mirrors, der als ein Subsystem konzipiert werden könnte³⁰, zielen darauf, ein generelles Strukturwissen zu erarbeiten, das in zweierlei Hinsicht Verwendung finden kann: Einerseits wird das MAS zur Selbstorganisation, in gewisser Weise zur Selbstformierung und damit letztlich zum strategisch orientierten Komplexitätsmanagement angeregt. Andererseits dient es dem Management selbst als Richtlinie für intervenierende Störaktionen, um das System „back on track“ zu bringen, wenn systemintern operative Ergebnisse zutage getreten sind, die unzureichende Konformität mit den strategischen Erwartungen aufweisen.

Systemisches Komplexitätsmanagement ist teleologisch imprägnierte Evolution der medialen Form „MAS“. Das teleologische Moment der Systementwicklung wird in erster Linie durch manageriale Formentscheidungen geprägt. Genau genommen tritt die Managementinstanz im System als „evolutionärer Impulsgeber“³¹ auf; es formuliert Strategien, die als Variationsanlässe und Selektionsangebote im Prozess

²⁶ Baecker 1999: 29. Hervorhebung gestrichen. Nach Luhmann wäre Hyperkomplexität dagegen durch eine Mehrheit von Auffassungen über die eigene Komplexität charakterisiert, wie sie in erster Linie Subsysteme eigenständig anfertigen könnten. Vgl. Luhmann 1997: 876.

²⁷ Siehe Luhmann 1984: 640.

²⁸ Siehe z. B. das Konzept des „Agent Management Agent“ in Graham/McHugh/Mersic/McGeary/Windley/Cleaver/Decker 2000.

²⁹ Siehe die ausführlichen Erläuterungen zum „Mirror“ in Lorentzen/Nickles 2002.

³⁰ In der Weiterentwicklung dieses Modells wird gegenwärtig eine Differenzierung des Mirrors in verschiedene Subsysteme angedacht. Diese Subsysteme sind als Holone konzipiert; das heißt, sie entsprechen einander in ihrer Operationsweise, aber repräsentieren unterschiedliche Interaktionszusammenhänge. Damit wird auch eine weitergehende Differenzierung der Managementaktivitäten möglich.

³¹ Zu diesem Begriff siehe Paetow/Schmitt 2002.

der Systemevolution wirksam werden können. Strategien sind Erwartungszusammenhänge, die als Zielkorridore für das MAS formuliert werden, um es sowohl strukturell als auch prozessual zu orientieren, das heißt um sowohl für eine operative Einschränkung als auch für eine gesamtsystemische Ausrichtung zu sorgen.

Strategien sind hoch generalisierte Formen des im System prozessierten Steuerungswissens. Bereits einfache Systeme³², wie zum Beispiel Interaktionen, bedürfen der Strukturierung ihrer Kommunikationen, um mit den erfahrenen Kontingenzen zurecht zu kommen sowie die emergierende Komplexität handhabbar zu machen. Eine basale Strukturierungsform ist die der Schematisierung, die systemische Nutzung „operativer Duale“ in sachlicher, sozialer und zeitlicher Hinsicht.³³ In der Sachdimension eröffnen sich der Interaktion zwei Horizonte der Zurechnung von Ereignissen: internal (dem System selbst) oder external (der Umwelt). In der Sozialdimension selektiert das System kommunikative Beiträge, die Ego oder Alter zugerechnet werden; mit dem binären Schematismus „Ego/Alter“ wird die Wiederauflösung der sozialen Interdependenzen in der Kommunikation geordnet. Die zeitliche Unterscheidung „konstant/variabel“ ermöglicht es der Interaktion, zwischen konstanten Bedingungen der Konditionierung und variablen Selektionen von Ereignissen zu differenzieren, das heißt konstante Eigenschaften und variable Handlungen von Personen auseinander zu halten. Die Funktion dieser einfach gestrickten Schematismen besteht darin, „Kontingenz zu absorbieren und Selektionen zu prozessieren.“³⁴ Schematisierung ist somit als eine kognitive Selbstsimplifikation des Systems zu erachten.

Die Verwendung von Schemata ist eine grundlegende und naheliegende Bewältigungsform systemischer Komplexität. Daher soll im Folgenden explizit auf die Rolle von Schemata im Zuge des Komplexitätsmanagements eingegangen werden. Schemata³⁵ als kognitive Strukturen sind relativ stabile Ordnungsformen, die soziale Erfahrungen gliedern und als handlungsleitendes Wissen abrufbar aufbewahren. Sie fungieren als generalisierte kognitive „frameworks“, als Heuristiken, die zum einen als Beobachtungsschemata Informationen erst generieren und zum anderen als Interpretationsschemata die Verarbeitung der Erfahrungen anleiten. Differenziert werden könnte folglich zwischen einer konzeptgesteuerten („theory-driven“ bzw. „top-down“) und einer datengesteuerten Schemaverwendung („data-driven“ bzw. „bottom-up“).³⁶ Im Kern dient die Verwendung jedweder Schemata der Ordnung von Erlebnis- bzw. Ereignisräumen durch einen Beobachter.

Schemata sind also als kognitive Strukturen aufzufassen, deren operative Verwendung eine spezifische Form der Kognition darstellt. Kognition ist dabei im Anschluss an Luhmann „die Fähigkeit, neue Operationen an erinnerte anzuschließen.“³⁷ So erlaubt der Einsatz eines Schemas die Verortung eines neuen Ereignisses in einer schon bekannten Erfahrungswelt, die durch die vernetzten Interpretations- und Beob-

³² Siehe Luhmann 1982b sowie Kieserling 1999.

³³ Vgl. Luhmann 1993b.

³⁴ Luhmann 1993b: 82.

³⁵ Zum Begriff des Schemas siehe die grundlegenden Ausführungen in Barlett 1932 und Neisser 1979.

³⁶ Zu dieser Differenzierung siehe Augoustinos/Walker 1995: 42ff.

³⁷ Luhmann 1997: 122.

bachtungsschemata mitkonstituiert wird. Durch Kognitionsprozesse dieser Art werden Redundanzen erzeugt; das heißt, die bereits erarbeiteten Informationen werden in Wissen transformiert, das bei Bedarf reaktiviert werden kann.³⁸ In der operativen Schemaverwendung kann somit eine Simplifikation der systemischen Selbstbeobachtung gesehen werden. Es wird strukturelle Komplexität reduziert, das heißt Vergessen erleichtert, um den neuerlichen Aufbau operativer Komplexität zu ermöglichen, der die Adaptivität des Systems sichert.³⁹ Schemata können somit geradezu als „Instrumente des Vergessens“⁴⁰ beschrieben werden. Sie minimieren Referenzen; gleichzeitig eröffnen sie aber auch durch die dadurch bedingten strukturellen Restriktionen neue operative Freiheitsgrade.

Schemata sind zentrale Bausteine der systemischen Wissensarchitektur, in der sie als Relationierungsangebote und -hinweise für die Systemsteuerung und -beobachtung wiederverwendbar aufbewahrt werden. Die „Architektur der Komplexität“⁴¹ muss durch eine Architektur des Wissens flankiert sein; anders ist effektives Komplexitätsmanagement nicht denkbar. Kein Komplexitätsmanagement ohne ein „Management kognitiver Erwartungen.“⁴² Dies impliziert, dass die systemische Komplexität ein Problem der Selbststeuerung darstellt, das zunächst einmal kognitiv zu bewältigen ist. Komplexitätsbewältigung erfolgt im Zuge kognitiver Selbststrukturierung, die in erster Linie von der Managementinstanz erbracht bzw. von ihr ange-regt werden muss. Das Management operiert mit Hilfe von Schemata, die explizit als Steuerungsdifferenzen fungieren.⁴³

Steuerungsschemata transformieren einen Sachverhalt oder ein Ereignis kognitiv in eine „entweder/oder“-Konstellation, wodurch eine Entscheidungssituation konstituiert wird: Ein Ereignis erweist sich entweder als dies oder das; eine Situation wird so definiert oder anders. Mit Hilfe dieser strukturell kondensierten Steuerungsdifferenzen werden Probleme der internen Koordination schematisiert; das heißt, sie werden zur Erleichterung ihrer Verarbeitung binär codiert, in die Form operativer Duale gebracht. Anders als einfache Unterscheidungen, denen lediglich operativer Wert zukommt, handelt es sich bei Steuerungsschemata um kognitive Strukturen, um

³⁸ Mit Luhmann gesagt: „Kognition ist, von ihrer Funktion her gesehen, kein Copieren oder Repräsentieren von Umweltgegebenheiten im System. Sie leistet vielmehr die Erzeugung von Redundanzen, die es dem System ersparen, Informationserarbeitung zu wiederholen. Redundanzen werden als Wissen markiert, sie werden wiedererkennbar registriert und dann ‚ökonomisch‘ eingesetzt, um allfällige Prüfungen neuer Informationen zu konzentrieren und zu beschleunigen. So kann Kognition dem System dazu verhelfen, sich *vorübergehend* auf Lagen einzustellen, und darin liegen in einer veränderlichen Welt bedeutende Vorteile.“ Luhmann 1997: 124. Hervorhebung im Original.

³⁹ Vgl. Luhmann 1997: 111.

⁴⁰ Luhmann 1996: 193.

⁴¹ Zu diesem Begriff siehe Simon 1978.

⁴² Vgl. Willke 2002: 198.

⁴³ Zu beachten ist, dass dieser Fundus des verfügbaren Steuerungswissens selbst Komplexitätsprobleme aufwerfen kann. Fraglich ist, ob sich das Steuerungswissen im Laufe der Systemevolution so stark anhäufen kann, dass es eher zu einer Beeinträchtigung der systemischen Selbststeuerung zu werden droht, da es zu differenziert oder zu detailliert geworden ist. Hier ließen sich interessante Simulationsexperimente in MAS andenken. Die forschungsleitende Frage wäre dann: Kann die zunehmende Komplexität des Steuerungswissens ab einem bestimmten Punkt kontraproduktive Effekte bei der operativen Systemsteuerung nach sich ziehen?

eine Wissensform⁴⁴, die mehrfach in verschiedenen Operationen referiert werden kann und die sich somit als ein relativ stabiles Struktursediment herausstellt. Steuerungsschemata sind mithin als ein stark generalisiertes Orientierungswissen zu verstehen, das der sinnhaften Fokussierung und Operationalisierung von systeminternen Problemen dient.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit soll im Weiteren versucht werden, einige Steuerungsschemata aufzulisten, von denen anzunehmen ist, dass sie für die Steuerung eines MAS relevant sein könnten, dessen Konstruktion systemtheoretisch inspiriert ist. Versucht werden soll auch, diese Schemata hinsichtlich ihres unmittelbaren Bezugs zu den einzelnen Skalierungsreferenzen zu gliedern.⁴⁵

Auf grundlegendster Ebene steuert sich das rational reflektierende MAS⁴⁶ anhand der als Basisschema zu verstehenden *System/Umwelt-Differenz*, das es zum Aufbau der systemeigenen Komplexität heuristisch und operativ zugrunde legen muss und auf das alle weiteren Steuerungsschemata implizit Bezug nehmen müssen. Gegenüber der beobachteten und für relevant erachteten Umwelt ist ein ausreichendes Maß an systemischer Komplexität zu entwickeln, das es dem System ermöglicht, sich in seiner Umwelt reproduzieren zu können. Die systemkonstituierende System/Umwelt-Differenz wird systemintern als ein Schemawissen prozessiert, mit dem das System Ereignisse entweder sich selbst oder der Umwelt zurechnen kann. Das steuerungsrelevante Basisproblem, das das System/Umwelt-Schema bearbeitbar macht, kann als Problem der Ausdifferenzierung und Grenzerhaltung gefasst werden. Dieser basalen Differenz, die Selbstreferenz und Fremdreferenz diskriminiert, müssen weitere als Schemata fungierende Differenzen zugeordnet werden, und zwar auf der Innenseite, der Seite des System, wie auf der Außenseite, der Seite der Umwelt, damit auch speziellere interne wie externe Steuerungsherausforderungen kognitiv erfasst und bewältigt werden können. Es macht daher Sinn, zwischen intern prozessiertem Systemwissen und Wissen über die Umwelt zu differenzieren. Letzteres umfasst Kenntnisse, die Auskunft darüber geben, welche Umweltereignisse auch intern von Relevanz sein sollten bzw. es vereint Erfahrungen über die Konsequenzen, die systemintern erzeugte Ereignisse auf die Umwelt zeitigen. Dieses „Umweltwissen“ wird strukturell vom Management appräsentiert. Es kann das entweder über strukturelle Kopplungen des Mirrors mit der Umwelt gewonnen werden⁴⁷, oder aber das Management generiert dieses umweltbezogene Wissen durch die Beobachtungen der systeminternen (agentenmediatisierten) Kommunikationen. Für den Mirror ist die Systemumwelt letzten Endes internalisierte Fremdreferenz.

⁴⁴ Generell soll mit Luhmann folgendes unter Wissen verstanden werden: „Wissen ist ... das Sediment einer Unzahl von Kommunikationen, die kognitive Erwartungen benutzt und markiert hatten und mit ihren Resultaten reaktualisierbar sind.“ Luhmann 1992: 139.

⁴⁵ Wie bereits in der Einleitung erwähnt wird hierbei in eher lockerer Weise an größtenteils normative Ansätze der Organisations- und Managementforschung sowie an empirische Studien der Industrie- und Betriebssoziologie angeschlossen.

⁴⁶ „rational reflektierend“ – das heißt im Sinne Luhmanns auf Systemrationalität bezogen.

⁴⁷ Zu denken wäre hier an Vorgaben des Systemdesigners, die über ein Interface an den Mirror geleitet werden, oder an eine externe Kontaktierbarkeit des Mirrors über eine spezielle System/User-Plattform.

Um die Steuerungsleistungen des systemischen Komplexitätsmanagements eingehender beleuchten zu können, ist es notwendig, die hierfür konstruierte systemische Wissensarchitektur, also die auf der Systeminnenseite zu Steuerungszwecken aufgebauten kognitiven Strukturen zu beschreiben. Die Schemata, in denen dieses Steuerungs- und Skalierungswissen kondensiert ist, sollen im Folgenden kursorisch aufgelistet werden. Zur groben Systematisierung bietet es sich an, die Steuerungsschemata an Metaschemata konzeptionell anzulehnen. Ein *Metaschema* ist eine Strukturierungsregel zur Zuordnung von Operationen auf die alternativen Seiten der Unterscheidung, die durch eine Skalierungsreferenz begrifflich-kategorial zur Einheit gebracht wird. Metaschemata fungieren als Beobachtungs- und Evaluationsschemata, die sich nach ihren Komplexitäts- bzw. Sinnbezügen differenzieren lassen. Theoretisch gefasst: Mit Hilfe der Metaschemata lassen sich die Skalierungsreferenzen differenztheoretisch entfalten, sprich: digitalisieren. Mit der Bezeichnung einer Schema-Seite ist immer ein Effekt auf die jeweils affizierte Skalierungsreferenz verbunden, eine Entwicklung in die eine oder in die andere Richtung.

Zu den *komplexitätsbezogenen Metaschemata* gehören:

1. ***Metaschema viele Elemente/wenige Elemente:*** Der einheitsbezeichnende Begriff, oben als Skalierungsreferenz angeführt, ist die Anzahl. Auf die Skalierung der Anzahl der Elemente könnte der systemische Rekurs auf folgende Schemata Einfluss haben:
 - *Mitgliedschaftsregel (Inklusion/Exklusion):* Viele Agenten schaffen tendenziell mehr Kommunikationsmöglichkeiten; eine geringere Anzahl von Agenten tendenziell weniger.
 - *Führungsstil (demokratisch-dialogisch/autokratisch-anordnend):* Demokratische Führung gewährt „Mitspracherechte“; autokratische erwartet dagegen lediglich „kommentarloses“ Ausführen der Anordnungen.
 - *Arbeitsstil (kooperativ/singulär):* Gruppenarbeit bzw. Teamwork generiert mehr Kommunikationsmöglichkeiten und bedarf eines höheren Kommunikationsaufwands, während Einzelarbeit geringere kommunikative Abstimmung benötigt und somit weniger Kommunikationsanlässe schafft.
 - *Zielspezifikation (klare Zielsetzung/vage Zielsetzung):* Genauere Zielvereinbarungen reduzieren den kommunikativen Abstimmungsbedarf, wohingegen ungenaue Zieldefinitionen eher ein höheres Maß an kommunikativer Koordination erforderlich machen.
 - *Aufmerksamkeits- und Zuständigkeitsbereich (enge Indifferenzzone/weite Indifferenzzone⁴⁸):* Ein kleines Zuständigkeitspektrum sowie eine starke Aufmerksamkeitszentrierung bringen eher wenig Kommunikationsanlässe mit sich; ein großes Aufgabenfeld und eine weite Aufmerksamkeitsverteilung schaffen dagegen mehr Kommunikationsmöglichkeiten, aber zugleich auch mehr Kommunikationsnotwendigkeiten.

⁴⁸ Zu diesem Begriff siehe Barnard 1938.

- *Störungsaktivität (disturbierendes Management/zurückhaltend agierendes Management)*: Häufige manageriale Störaktionen produzieren mehr kommunikative Anregungen, während ein eher passives Management die kommunikativen Prozesse kaum fördert.
 - *Medienausstattung (umfangreich/beschränkt)*: Viele Kommunikationsmittel erzeugen mehr Kommunikationsmöglichkeiten; weniger Kommunikationsmedien werden eher ein geringeres Kommunikationsaufkommen mit sich bringen.
 - *Mediale Technisierung (hoch/gering)*: Eine höhere Simplifizierung und Beschleunigung der Kommunikation ermöglicht mehr Kommunikation in einem bestimmten Zeitraum, während ein geringer Technisierungsgrad Kommunikation aufwendiger und komplizierter macht und daher häufige Kommunikation eher demotiviert.
2. ***Metaschema viele Relationen/wenige Relationen***: Die Anzahl der Kopplungen ist in diesem Fall der die Identität des Schemas bezeichnende Begriff. Einfluss auf die quantitative Skalierung der Relationierung könnte die operative Verwendung der folgenden Schemata haben:
- *Interne Kontaktierbarkeit (direkter Zugang/indirekter Zugang)*: Direkte Kontakte führen zu einer höheren Anzahl der Relationen; indirekte Kontakte (über „middle agents“) reduzieren eher die Kopplungsanzahl im Gesamtnetzwerk.
 - *Kommunikative Verteiltheit (hoch/gering)*: Dezentrale Verknüpfung in heterarchischen Anordnungen generiert tendenziell mehr Kopplungen, während eine hierarchisch-zentralisierte Anordnung von Operationen tendenziell eher weniger Kopplungen nötig macht.
 - *Ressourcenverteilttheit (hoch/gering)*: Starke Dezentralisierung von relevantem Wissen, Expertise und Sachmitteln heißt auch eine höhere interne Vernetzung und somit eine größere Anzahl an Relationen; zentralisierte Aufbewahrung von Ressourcen zieht eher eine geringere Vernetzung nach sich, da ausschließlich Kopplungen zum Zentrum erforderlich sind.
3. ***Metaschema Varietät/Redundanz***: Mit dem Begriff der Diversität kann die Einheit dieser Unterscheidung bezeichnet werden. Die systemische Verwendung folgender Schemata zeitigt spezifizierbare Effekte auf die qualitative Elementeskalierung:
- *Inklusionsschema (spezielle Inklusion/generelle Inklusion)*: Vollständigere Inklusion des Agenten eröffnet dem System ein tendenziell vielfältigeres Themenspektrum, wohingegen eine partielle Inklusion eine geringere Vielfalt an thematischen Kommunikationsmöglichkeiten schafft.
 - *Agentiale Konformitätsneigung (schwach/stark)*: Eine Neigung zur Dissidenz könnte zu ungewohnten und neuartigen Kommunikationen führen;

Angepasstheit dagegen bestätigt etablierte Kommunikationsformen, steigert somit die Redundanz.

- *Innovationsklima (lernbereit/lernunwillig; experimentierfreudig/„keine Experimente“)*: Offenheit für neue Formen und Inhalte der Kommunikation erlaubt variantenreicheres Kommunizieren; hält man jedoch an hergebrachten Kommunikationsformen fest, spielen sich gleichförmigere Kommunikationen ein.
- *Störungsaktivität (innovationsstimulierend/innovationsinhibierend)*: Diverse Anregungen zu inventivem Verhalten generieren vielfältigere Kommunikationsformen sowie vielfältigere Inhalte; konservatives, änderungsresistentes Management dagegen lässt eher eine geringere Varietät der Kommunikationsformen und -themen zu.
- *Aufgabenbereich (weit/eng)*: Die Übernahme und Bearbeitung unterschiedlichster Aufgabenstellungen macht das Vorkommen verschiedenster kommunikativer Ereignisse wahrscheinlicher, wohingegen Spezialisierung auf einen engen Aufgabenbereich tendenziell eine größere Homogenität der Kommunikationsereignisse mit sich bringt.
- *Medienpluralität (hoch/gering)*: Sind verschiedene Kommunikationsmedien zugänglich wird es zu recht unterschiedlichen Mitteilungshandlungen kommen; sind jedoch nur wenige Kommunikationsmedien verwendbar, werden die Mitteilungsformen eher einseitiger Art sein.

4. **Metaschema homogene Kopplungen/heterogene Kopplungen**: Dieses Metaschema wird durch den Begriff der Multiplexität in seiner Einheit bezeichnet. Folgende Steuerungsschemata sind mit der qualitativen Relationenskalierung eng verbunden:

- *Binnendifferenzierung (ausdifferenziert/entdifferenziert)*: Die Ausbildung von relativ autonomen Subsystemen führt zu einer Erhöhung der Multiplexität, da vielfältigere Kopplungsformen möglich sind, während der Abbau autonomer Teilbereiche eine Nivellierung und Homogenisierung der Relationen zum Resultat hätte.
- *Funktionale Kapazitäten (Internalisierung/Externalisierung)*: Ein Aufbau interner Fähigkeiten der Aufgabenbewältigung ermöglicht neuartige interne Verknüpfungen; ein Abbau interner Fähigkeiten, der einen Rückgriff auf externe Problemlösungen nötig macht, könnte dagegen auf die Kappung bestehender interner Verknüpfungen hinauslaufen (dies hätte auch eine quantitative Auswirkung).
- *Operative Kopplung (fest/lose)*: Feste Kopplungen wie Routinisierung, Standardisierung und Habitualisierung fallen zumeist recht homogen aus, führen also zu geringerer Multiplexität; lose Kopplungen sind weniger restriktiv, lassen daher mehr Vielfalt in der Gestaltung der Relationierungen zu.

- *Kontrolle (selbst/fremd)*: Selbstkontrolle ermöglicht potentiell verschiedenartigere Relationierungen, da mehr Freiheitsgrade gewährt werden; Fremdkontrolle hingegen schreibt die Art der Relationierung vor und verhindert so die Gewinnung neuer und neuartiger Kopplungen im System.
5. ***Metaschema informationelle Offenheit/Geschlossenheit***: Unter dem einheitsbezeichnenden Begriff der Irritabilität vollzieht dieses Metaschema ein „re-entry“ der System/Umwelt-Differenz ins System. Auch hier kann man von einer Relationenskalierung sprechen, die sich jedoch auf die Außenbeziehungen des Systems richtet. Die operative Verwendung folgender Steuerungsschemata hat einen Bezug zur Irritabilität des Systems:
- *Aufgabenakquirierung (expansiv/restriktiv)*: Die Suche nach immer neuen Betätigungsfeldern eröffnet neuartige Beziehungen zur Umwelt und damit neue Quellen der Irritation; die Beschränkung auf die gewohnten Aufgaben schließt das System gegenüber neuen Möglichkeiten des Außenbezugs, was einem Verzicht auf Lernchancen gleichkommt.
 - *Funktionale Kapazitäten (Externalisierung/Internalisierung)*: Eine Ausgliederung von reproduktionsnotwendigen Funktionen macht den Aufbau neuer und andersartiger Außenrelationen vonnöten, während die Eingliederung ehemals extern erbrachter Funktionen eine Kappung von Umweltabhängigkeiten und damit eine Reduzierung extern bedingter Selbstirritation mit sich bringt.
 - *Leistungserbringung („In sourcing“/„Out sourcing“)*: Eine performative Schöpfung aus eigenen Ressourcen und Kapazitäten vermeidet irritierende Umwelteinflüsse; der Import notwendiger Leistungen aus der Umwelt erhöht dagegen die Irritabilität und Umweltabhängigkeiten.
 - *Strukturelle Kopplung (fest/lose)*: Der Aufbau strikterer Erwartungszusammenhänge zwischen dem MAS und einem oder mehrerer Umweltsysteme impliziert eine höhere Irritabilität und Perturbierbarkeit durch Ereignisse, die in der Umwelt stattfinden, wohingegen eine lose Strukturierung der System/Umwelt-Beziehung das System weniger anfällig für störende Umweltgeschehnisse macht, dafür aber einem größeren Spektrum an Irritationsquellen aussetzt.
 - *Auflösbarkeit struktureller Kopplungen: (leicht/schwer)*: Bei fester, schwer auflösbarer struktureller Außenrelationierung liegt eine tendenziell schwierigere Ignorierbarkeit von exogenen Irritation vor, die es obendrein schwierig macht, die Irritationsquellen zu wechseln; bei loserer, leichter auflösender Kopplung jedoch wird eine höhere Variierbarkeit der umweltbedingten Irritationsanlässe möglich.

Die *sinnbezogenen Metaschemata* (dies/das, Ego/Alter, vorher/nachher) dienen einem MAS als zusätzliche Beobachtungs-, Interpretations- und Evaluationsschemata, also als Medien der systemischen „redescription.“ Aus ihrer Perspektive lassen sich die

Skalierungsreferenzen redifferenzieren; das heißt, das System greift auf sachliche, soziale und zeitliche Schemata zurück, um die Effekte der Skalierung auf die Eigenkomplexität sinndimensional definieren zu können. Die sinndimensionale Schematisierung der systemischen Bemühungen um Selbstskalierung ermöglicht es dem System, die eigene Binnenkomplexität alternativ, vielleicht sogar genauer zu beschreiben: Dem System stehen dann Wege offen, die eigene Komplexität als sachlich, sozial und/oder zeitlich spezifiziert zu begreifen. Aus der Forschungsperspektive wird mit Hilfe dieser schematisierten Sinndimensionen eine Zweitanalyse der Systemkomplexität möglich, auf die in dieser Arbeit jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

Festzuhalten ist, dass die Skalierungsreferenzen durch die komplexitäts- und sinnbezogenen Schematisierungen gezielt operativ beeinflussbar werden, so dass die komplexitätssteigernden oder –minimierenden Effekte systemisch, in erster Linie vom Management leichter abgeschätzt werden können. Die Steuerungsschemata und ihre Differenzierung nach Metaschemata stellen bei nüchterner Betrachtung lediglich ein analytisches „tool“ dar; in der „Praxis“ wird sich herausstellen, dass die an den Metaschemata operativ ausgerichteten qualitativen wie quantitativen Skalierungsversuche multireferentiellen Einfluss aufeinander zeitigen. Die systemische Komplexität kann nur in seltenen Fällen unilateral gesteuert werden; zumeist rekurren die Steuerungsversuche auf ein „Paket“ an spezifisch konstellierte Steuerungsschemata, die im Folgenden als *Skalierungsstrategien*⁴⁹ bezeichnet werden sollen. Bei der operativen Umsetzung wird jeweils nur eine Seite der in der Strategie verwendeten Steuerungsschemata als positiver Anschlusswert (Präferenzwert) aktualisiert. Diese Auszeichnung einer Seite normativiert die strategieinterne Operationalisierung eines Schemas.

4. Desiderata systemischer Selbstskalierung

In diesem Abschnitt sollen einige Skalierungsstrategien tentativ formuliert werden. Sicherlich ließen sich eine ganze Reihe derartiger Strategien entwickeln; hier geht es jedoch darum, eher abstrakte Strategien zu entwickeln, die sich auf eine große Breite an möglichen Komplexitätsproblemen und deren Bewältigung beziehen lassen. Es ist zu betonen, dass die hier skizzierten Strategien nicht empirisch validiert sind; es handelt sich bei ihnen folglich nicht um Organisationsstrategien, wie sie sich auch in der Managementpraxis finden lassen. Die hier vorgeschlagenen Strategien dienen ausschließlich zur systemischen Selbststeuerung eines MAS. Ihre Funktion liegt in der zielführenden systemischen Ansteuerung der Desiderata, die in der Einleitung als besonders relevant erachtet worden sind.⁵⁰ Diese Desiderata können als normative Kri-

⁴⁹ Ein Begriff, der übrigens bereits in der MAS-Forschung, wenn auch in einem anderen, stärker Designorientierten Sinn, verwendet worden ist. Siehe Woodside 2000: 245.

⁵⁰ Diese Desiderata des Komplexitätsmanagements (Robustheit, Flexibilität, Aufwandsminimierung) müssten selbst noch wieder aus der Perspektive des Systemzwecks, der Ziele, die mit der Schaffung des MAS verbunden sind, beurteilt werden. Das ist eine Analyseebene, die hier nicht weiter fokussiert wird, da kein spezielles MAS konstruiert werden soll, sondern eine „generic technology“.

terien verstanden werden, mit denen sich das System grobe Richtungsvorgaben für die Selbstskalierung setzt. Es lassen sich mithin Skalierungsstrategien konstruieren, mit deren Hilfe sich Robustheit, Flexibilität, Effizienz und Effektivität ansteuern ließen. Im Folgenden sollen diese Desiderata anhand exemplarischer Strategien erläutert werden. Das Desideratum der Effektivität ist allerdings zu dicht an bestimmte Zwecksetzungen gebunden, als dass es möglich wäre, generelle Skalierungsstrategien zu präsentieren. Es steht hier kein konkret ausgearbeitetes Anwendungsszenario zu Demonstrationszwecken zur Verfügung, das die Formulierung einer effektivitätssteigernden Strategie möglich machte. Weitere Strategien, die den Desiderata zugeordnet werden könnten, sollen nur aufgezählt, jedoch nicht eingehender behandelt werden. Zu beachten ist, dass es sich bei den ausgearbeiteten Vorschlägen zur Realisierung bestimmter Skalierungsstrategien nicht um Patentrezepte handeln kann; das intendierte Strategieziel ist eventuell auch durch eine jeweils andersartige Konstellierung von Steuerungsschemata zu erreichen. Dargestellt werden beispielhafte Konstellierungen, die in vielen Fällen zu den gewünschten Ergebnissen führen dürften.

Zum Desideratum Robustheit

Robustheit muss als eine Schlüsselkomponente der Skalierbarkeit aufgefasst werden. Auch gegenüber Störungen muss eine bestimmtes Level an Performanz gesichert sein, um die Funktionalität des Systems zu erhalten: „Robustness is the ability of a system to maintain ‚safety responsibilities‘, even though events happen that are able to disturb the system.“⁵¹ Zwei Kernmerkmale von Robustheit lassen sich unter technischen Gesichtspunkten ausmachen: Redundanz, also die Fähigkeit eines Systems fehlerhafte Komponenten zu substituieren, und Resistenz, also die Eigenschaft sich von externen Störungen abzuschotten. Von einer systemtheoretischen Warte aus gesehen, ist es die Fähigkeit zur Grenzerhaltung, also zur Stabilisierung eines Komplexitätsgefälles zur Umwelt, die den Kern der Robustheit eines Systems bildet. Zwei an Robustheit orientierte Skalierungsstrategien sollen zur Verdeutlichung kurz vorgestellt werden.

Eine *soziale Pufferungsstrategie* versucht Robustheit durch den Aufbau überschüssiger sozialer Ressourcen antizipativ zu sichern. So könnten im Rahmen einer solchen Strategie die folgenden Präferenzwerte gesetzt werden:

- Inklusion von mehr Agenten als nötig;
- „demokratische Führung“, die durch Partizipation an Entscheidungen eine umfassendere Informiertheit der Agenten möglich macht;
- kooperativer Arbeitsstil, der wechselseitige Hilfeleistungen unter den Agenten zulässt;
- enge Indifferenzzonen, die eine hohe Aufmerksamkeit für die unterschiedlichsten Vorgänge von den Agenten fordern;

⁵¹ Schillo/Bürckert/Fischer/Klusch 2000: 1.

- direkter kommunikativer Zugang zu Vorgesetzten oder anderen Subsystemen gewährt eine schnelle Kontaktierbarkeit und beschleunigt die Selbstinformierung;
- hohe kommunikative Verteiltheit verhindert die Ausbildung unersetzbarer Funktionszentren, deren Ausfall nicht zu kompensieren wäre;
- hohe Ressourcenverteilttheit durch Bildung von Arbeitsgruppen und Teams, die für einen leichteren Zugang zu den benötigten Ressourcen sorgt;
- generelle Inklusion, bei der die Agenten sich mit all ihren Kompetenzen einbringen müssen;
- weite Aufgabenbereiche, die sich auch überlappen sollten, so dass der eine Agent für den anderen einspringen kann.

Bei der Verfolgung einer sozialen Pufferungsstrategie ist davon auszugehen, dass sich tendenziell die Anzahl der Elemente erhöht, ihre Diversität zunimmt und auch die Zahl der internen Relationen steigt.

Eine *Resistenzstrategie* fördert die Robustheit durch eine Stärkung der systemischen Widerstandskraft gegen äußere Einflüsse. Dabei werden folgende normative Schwerpunkte gesetzt:

- restriktive Aufgabenakquirierung, die eine Konzentration auf bekannte und erfolgreiche Arbeits- und Problembewältigungsmethoden nahe legt;
- „Insourcing“, bei der sich auf kontrollierbare interne Formen der Leistungserbringung verlassen wird;
- Internalisierung, die das System funktional von der Umwelt unabhängig macht;
- lose strukturelle Kopplungen an die Umwelt, die eine höhere Unempfindlichkeit gegenüber Umweltereignissen mit sich bringen;
- leicht aufzulösende strukturelle Kopplungen an die Umwelt, die den Abschluss turbulenter Umweltbereiche erleichtern.

Die durch eine Resistenzstrategie erzeugten Skalierungseffekte beschränken sich im Wesentlichen auf die Verringerung der systemischen Irritabilität.

Weitere plausibel anzunehmende Skalierungsstrategien zur Steigerung der systemischen Robustheit sind: Fehlertoleranzstrategien, sachliche und zeitliche Pufferungsstrategien, Abweichungsminimierungsstrategien, Selbstkorrekturstrategien, Substituierungsstrategien und Schließungsstrategien.

Zum Desideratum Flexibilität

Ein weiteres wichtiges Element systemischer Skalierbarkeit ist die Flexibilität eines Systems, also seine Anpassungsfähigkeit, Veränderungswilligkeit, Lernbereitschaft und informationelle Offenheit. Es geht um die Möglichkeiten des Systems, auf Veränderungen in seiner Umwelt angemessen reagieren zu können. Flexibilität, die auf der Autonomie der individuellen Agenten basiert, wird als ein zentraler Vorteil der

MAS-Technologie erachtet. Letztlich sollte die Flexibilität eher in der strukturellen Reversibilität des Systems begründet sein, die aber durchaus auf der Autonomie der Einzelagenten aufbauen kann.

Mit Hilfe der *mikrologisch-agentenzentrierten Lernstrategie* sollen günstige strukturelle Voraussetzungen zur Unterstützung des agentenbasierten Lernens erzeugt werden. Es wird erwartet, dass die Flexibilität des Gesamtsystems von den Lernerfolgen der Einzelagenten profitiert. Diese Strategie präferiert die folgenden Anschlusswerte:

- „demokratische Führung“, die durch Partizipationschancen Lernanreize schafft;
- kooperativer Arbeitsstil, der Wissen schneller diffundieren lässt;
- enge Indifferenzonen bieten den Agenten viele Gelegenheiten zum Lernen, da viele Ereignisse aufmerksam beobachtet werden;
- disturbierendes Management verleitet die Agenten zur Aufgabe operativer Routinen und stellt sie vor immer neue Herausforderungen;
- umfassende mediale Ausstattung ermöglicht polylinguale Kommunikationsformen und multiperspektivisches Reflektieren von Aufgaben und Problemen;
- direkter kommunikativer Zugang, der einen schnelleren Informationsaustausch unter den Agenten möglich macht;
- generelle Inklusion fördert das agentiale Lernen durch die Möglichkeit, vielfältige Kompetenzen in die Arbeitsprozesse einbringen zu können;
- „Freiräume“ zur Förderung der Experimentierfreude der Agenten;
- innovationsstimulierendes Management, das als Ideengeber und Bereitsteller von Ressourcen den Agenten Anregungen und Freiräume zur kreativen Betätigung bietet;
- expansive Aufgabenakquirierung schafft ständig neue Lernanreize durch die notwendige Auseinandersetzung mit immer neuen Aufgaben und Problemstellungen.

Die mikrologisch-agentenzentrierte Lernstrategie skaliert, indem sie die Anzahl der Elemente und Kopplungen sowie die Multiplexität und Irritabilität erhöht.

Die *Öffnungsstrategie* steigert die Flexibilität durch eine Stärkung der Fähigkeiten des Systems zur informationellen Bezugnahme auf seine Umwelt. Eine Öffnungsstrategie präferiert die Einrichtung struktureller Kopplungen der folgenden Art:

- expansive Aufgabenakquirierung flexibilisiert das System durch immer neue Bezugnahme auf unterschiedlichste Umweltbereiche;
- Externalisierung schafft Umweltabhängigkeiten und setzt das System der Intransparenz und Unkontrollierbarkeit der Umwelt aus;
- „Outsourcing“ steigert die Flexibilität, da das System weder selbst eine Leistung erbringen muss, noch von speziellen Kooperationspartnern abhängig ist, sondern Wahlchancen hat.

Der Skalierungseffekt einer Öffnungsstrategie ist als Steigerung der Irritabilität zu beschreiben. Die Öffnungsstrategie ist damit einer Resistenzstrategie mehr oder weniger diametral entgegengesetzt.

Als weitere flexibilitätsfördernde Skalierungsstrategien sind auszumachen: die makrologisch-systemzentrierte Lernstrategie (die nicht auf den Lernerfolg einzelner Agenten setzt, sondern das System selbst zum Lernen befähigen soll), Innovationsstrategien, Abweichungstolerierungsstrategien; Abweichungsverstärkungsstrategien und Pluralisierungsstrategien.

Zum Desideratum Effizienz

Effizienz ist systemisch dann erreicht, wenn Mittel und Zwecke so miteinander kombiniert werden, dass entweder mit dem geringst möglichen Mitteleinsatz ein gegebener Zweck erreicht oder mit gegebenen Mitteln der bestmögliche Output erzielt wird.⁵² Da sich effizienzsteigernde Strategien stark ähneln, soll im Folgenden nur eine ausführlicher vorgestellt werden.

Die *Akzelerierungsstrategie* setzt auf eine Beschleunigung der internen operativen Prozesse durch Abbau möglicher Verzögerungsfaktoren. Dies soll durch die Referenz auf folgende Präferenzwerte erreicht werden:

- Exklusion überflüssiger Agenten;
- „autokratische Führung“ führt zur Minimierung diskursiven Aufwands;
- klare Zielsetzungen, die keine Interpretationsspielräume haben, sondern direkt zum Handeln instruieren;
- weite Indifferenzzonen ermöglichen einen weitgehend störungsfreien Ablauf der Arbeitsprozesse, da sich die Agenten nur auf ihre unmittelbare Aufgabe zu konzentrieren haben;
- hohe mediale Technisierung unterstützt den reibungslosen kommunikativen Anschluss, da Mitteilungshandlungen vereinfacht und beschleunigt werden;
- direkter kommunikativer Zugang sorgt für eine schnellstmögliche Erreichbarkeit anderer Agenten mit benötigtem Spezialwissen;
- hohe kommunikative Verteiltheit verhindert Verzögerungen, die durch „bottle-necks“ und „gatekeepers“ erzeugt werden könnten;
- hohe Ressourcenverteilttheit, also eine dezentrale Speicherung der benötigten Mittel erleichtert deren subsystemische Aneignung und Prozessierung;
- spezielle Inklusion unterstützt die Zerlegung der Arbeitsprozesse in kleinste, von Spezialisten auszuführende Einheiten;
- hohe Konformitätsneigung der Agenten verhindert Widerspruch und führt zu umgehender Ausführung von Arbeitsaufträgen;

⁵² Betont werden muss, dass der hier verwendete Effizienzbegriff den Wirtschaftswissenschaften entlehnt ist. Soziologisch ist dieses Effizienzverständnis anzuzweifeln. In der Informatik scheint es allerdings nach wie vor recht verbreitet zu sein. Eine soziologische, gar systemtheoretische Kritik soll an dieser Stelle unterbleiben.

- enger Aufgabenbereich, der die Agenten nicht zu vielen Ablenkungen von ihrer spezialisierten Arbeit aussetzt;
- subsystemische Ausdifferenzierung fördert Arbeitsteilung und Spezialisierung;
- feste operative Kopplung trägt zur schnellen Arbeitsabwicklung bei, da die kommunikativen Anschlussstellen klar fixiert sind und damit sofortige Reaktionen nötig macht;
- Selbstkontrolle beschleunigt die Entscheidungsprozesse, da nicht auf externe Steuerung gewartet werden muss, sondern in Eigenregie gehandelt werden kann;
- lose strukturelle Kopplungen mit der Umwelt minimieren die Störungsanfälligkeit der Arbeitsvorgänge durch externe Ereignisse;
- leicht auflösbare Kopplungen zur Umwelt ermöglichen es dem System, schnell den Kooperationspartner auszutauschen, wenn Probleme in der Zusammenarbeit auftreten.

Die Skalierungseffekte der auf Prozessbeschleunigung ausgerichteten Strategie zeigen sich an der Verringerung der Elementanzahl bei gleichzeitiger Erhöhung der Anzahl der Kopplungen sowie an der Verringerung der Diversität, Multiplexität und Irritabilität.

Als weitere effizienzbezogene Skalierungsstrategien ließen sich Leanness-Strategien anführen, die als sachliche, zeitliche und/oder soziale Verschlankeungsstrategien den oben erwähnten Pufferungsstrategien entgegengesetzt sind, sowie Sparsamkeits- bzw. Aufwandsminimierungsstrategien, die auf eine systeminterne Strukturierung nach ökonomischen Prinzipien zielen.

Zu dieser Differenzierung verschiedener Skalierungsstrategien gehören eigentlich auch explizite Umweltstrategien. Bei diesen „Umweltstrategien“ handelt es sich um manageriale Pläne zur operativen Einflussnahme auf die Umwelt des MAS. Umweltstrategien sind Strategien zur Zielerreichung und zur Erfüllung des in erster Linie fremdreferentiell gesetzten Zwecks. Ein primärer Zweck des MAS ist die Gewährleistung technischer Effektivität. Somit wäre auch *Effektivität* als ein viertes Desideratum strategischen Komplexitätsmanagements anzusehen. Die Sicherung systemischer Effektivität obliegt dem Management, das versuchen muss, stellvertretend für das gesamte MAS die Systemreflexion zu übernehmen.⁵³ Die Effektivitätskriterien – sie mögen explizit vom Designer fürs System vorab definiert oder im Laufe der Systementwicklung aus der Umweltbeobachtung selbst gewonnen sein⁵⁴ – dienen dem Management des MAS als normative Basis zur Arrangierung eines Strategie-Mixes zur Beeinflussung der quantitativen wie qualitativen Systemskalierung. Da hier die Reflexion der System/Umwelt-Beziehungen durch den Mirror nicht weiter behandelt werden kann – das wäre ein Thema für eine eigenständige Arbeit –, soll eine syste-

⁵³ Ob jedoch diese Stellvertreterfunktion immer „erfolgreich“ wahrgenommen werden kann, steht auf einem anderen Blatt.

⁵⁴ Wie zum Beispiel auch im EXPAND-Modell angedacht. Vgl. Brauer/Nickles/Rovatsos/Weiß/Lorentzen 2002.

matische Darstellung der die System/Umwelt-Differenz affizierenden Effektivitätsstrategien unterbleiben.

Zu überlegen wäre jedoch, inwiefern die einzelnen Skalierungsstrategien *Nebeneffekte auf den Aufbau wie Abbau sinndimensionierter Komplexität* zeitigen. In der Selbst- wie Fremdbeschreibung könnte das MAS als sachlich, sozial und/ oder zeitlich komplex verstanden werden. Die oben beschriebenen Strategien affizieren nicht nur die Skalierungsreferenzen, um die Skalierungsdesiderata ansteuern zu können, sondern lassen sich zusätzlich auch aus der Perspektive der Sinndimensionen alternativ beurteilen. Letzteres setzt eine Beobachtung zweiter Ordnung voraus, die das Management für das System betreibt. Es sollen Erkenntnisse darüber erzielt werden, welche Wirkungen die gesamtsystemische Orientierung an dem vom Management instituierten Skalierungsstrategien auf das systeminterne Komplexitätsniveau hat. Der manageriale Rekurs auf die Sinndimensionen bei der Beobachtung der eigenen Steuerungsbemühungen kann auch als eine kognitive Alterierung und Simplifizierung begriffen werden. Die sinnbezogene (Re-)Schematisierung des systemischen Komplexitätsmanagements dient dem Aufbau von Hyperkomplexität.

Den Skalierungsstrategien lassen sich recht eindeutig sinnhafte Komplexitätseffekte zuordnen. Abgesehen von wahrscheinlichen paradoxen Effekten der Komplexitätssteigerung durch Komplexitätsreduktion⁵⁵ wäre zu erwarten, dass zum Beispiel eine Pufferungsstrategie zu einer Zunahme an sachlicher, sozialer und zeitlicher Komplexität führen wird. Die Leanness-Strategie wird den gegenteiligen Effekt auf das sachliche, soziale und zeitliche Komplexitätsniveau haben. Eine systemische Schließungsstrategie zielt in erster Linie darauf, das System von äußeren Einflüssen abzuschotten, was eine Reduktion der sachlichen Komplexität mit sich bringen soll; wahrscheinlich wird somit auch die Komplexität in sozialer Hinsicht auf einem bestimmten Niveau stabilisiert. Eine Öffnungsstrategie dagegen wird zu einer Steigerung der sinndimensionierten Komplexitätsniveaus führen: So werden mehr Aufgaben zu bewältigen sein, der „Personalbestand“ wird aufgestockt und es kommt sicherlich zu einer Ausdifferenzierung von unterschiedlichen Zeithorizonten. Ersichtlich wird, dass die einzelnen Strategien zum Teil einander widerstrebende, wenn nicht gar einander neutralisierende Effekte auf die Skalierungsreferenzen wie auch auf die Systemkomplexität haben können. Zum Beispiel dürfte sich das gleichzeitige „Fahren“ einer Leanness-Strategie und einer Innovationsstrategie selbst konterkarieren. Schließlich zielt eine Leanness-Strategie auf den Abbau von „slack“, also darauf, überschüssige Ressourcenansammlungen zu beseitigen; nur woraus sollte denn die Innovativität vor allem sachlich und sozial schöpfen, wenn nicht aus guter Ressourcenausstattung flexibel einsetzbaren Personals? Wenn also das Management einen Strategie-Mix entwickelt und systemweit promulgiert, an dem sich dann das MAS in der Art einer Strukturvorgabe zu orientieren hat, ist fast immer mit nicht-intendierten Effekte zu rechnen. Welche Skalierungswirkungen und Einflüsse auf das Komplexitätsmanagement über die strategische Planung erreicht werden, hängt letzten Endes

⁵⁵ Aus der industriesoziologischen Forschung ist bekannt, dass die Umsetzung des Modells der Lean Production derartige paradoxe Effekte mit sich gebracht hat. Zu diesem und weiteren Paradoxa und Dilemmata normativer Managementansätze siehe Kühl 1995 und 2001.

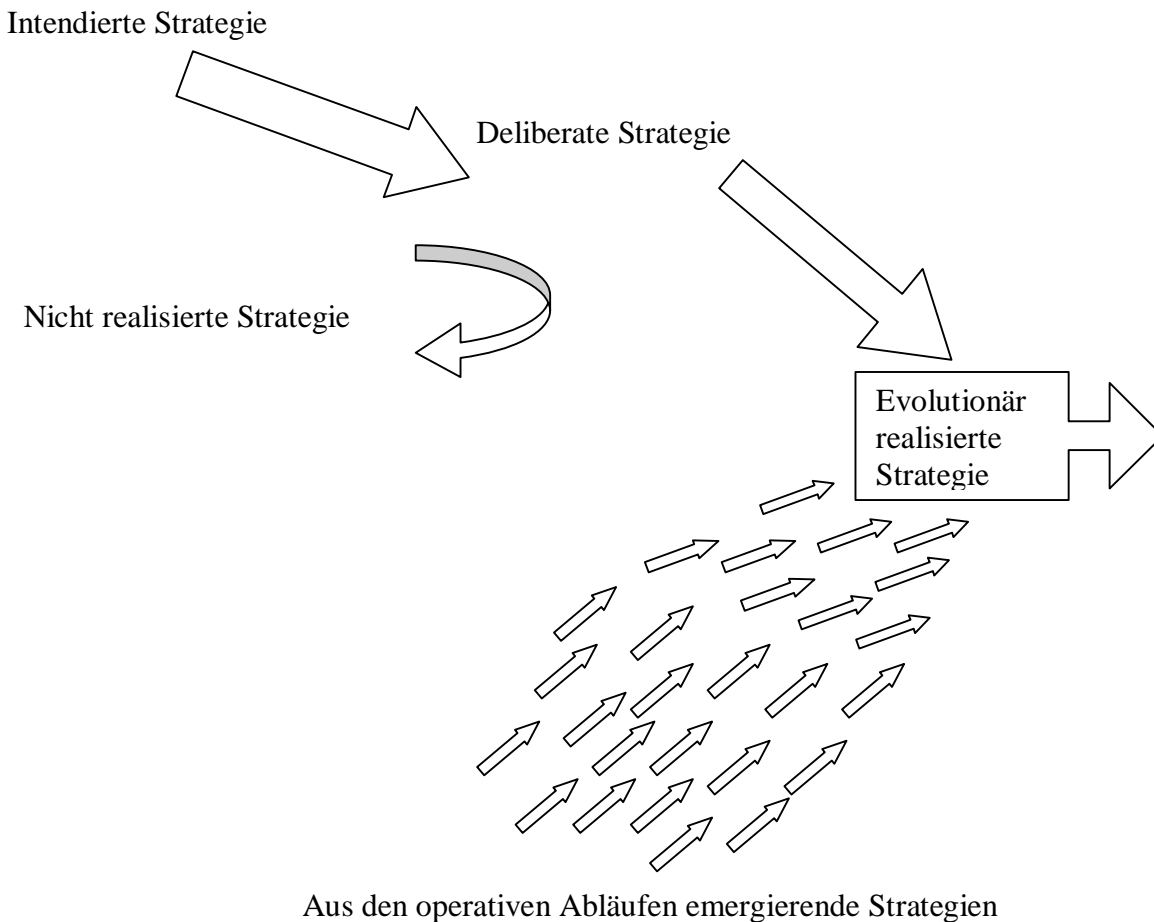
ganz entscheidend von der systemischen Adäquanz und „usability“ der managerial entworfenen Skalierungsstrategien ab.

Es stellt sich nun also die Frage, wie die vom Management konstruierten Skalierungsstrategien vom MAS systemisch angeeignet und umgesetzt werden. Inwiefern gehen sie als „top-down“ entworfener Orientierungsrahmen im Operationszusammenhang des MAS auf? Könnten die Strategien nicht sogar an der sozialen Realität des MAS abprallen? Wie ein Blick in die moderne Strategieforschung der Wirtschaftswissenschaften zeigt, ist man schon vor längerer Zeit davon abgerückt, in der strategischen Planung einen managerialen Versuch der Durchprogrammierung der Unternehmensorganisation und ihrer geschäftlichen Aktivitäten zu sehen. Weder können auf der Basis strategischer Planung zukünftige Geschäftsentwicklungen prognostiziert oder gar präterminiert werden, noch ist es möglich, alle unternehmensinternen Abläufe im Einzelnen so genau organisatorisch zu formalisieren, dass das Management die Unternehmensorganisation wie eine „white box“ durchschauen und alle Operationen bis ins kleinste nachvollziehen kann, für die sie dann nur noch die „optimale“ und „einzig passende“ Strategie als präskriptive Programmstruktur zu formulieren braucht.

Strategiebildung soll in Anlehnung an den Organisations- und Managementforscher Henry Mintzberg als ein gesamtsystemischer Formierungsprozess verstanden werden, der die vom Management „top-down“ instituierten Pläne mit „bottom-up“, „grass roots“-ähnlich emergierenden Strategien strukturell verquickt.⁵⁶ Der Rekurs auf dieses Strategieformierungsmodell ist auch innerhalb der MAS-Forschung recht plausibel, wenn man die wachsende Beschäftigung mit offenen und heterogen zusammengesetzten MAS berücksichtigt. Denn offene und heterogene MAS stehen vor ganz ähnlichen Problemen wie reale Organisationen. In beiden Fällen kann aufgrund wechselseitiger Intransparenz keine absolute Ablaufkontrolle hergestellt werden. „Strategy making“ wird in Mintzbergs Modell als ein dualer, in sich dichotomisierter Prozess konzipiert. Die Strategieformierung im MAS könnte also wie folgt beschrieben werden: Die vom Mirror generalisierten und der operativen Basis des MAS mitgeteilten Skalierungsstrategien sind lediglich intendierte Pläne („intended strategy“) der managerialen Einflussnahme auf das Komplexitätsmanagement des MAS. Nach einer ersten Reflexion auf die Implementierungschancen der Strategie hat das Management seine ursprünglichen strategischen Intentionen auf ein „realitätsadäquateres“ und „durchdachteres“ Format reduziert („deliberate strategy“). Diese deliberate und „top-down“ prozessierte Strategie geht allerdings nur zum Teil in die tatsächlich realisierte Skalierungsstrategie ein. Aus den Operationsprozessen des MAS emergieren ebenfalls Strategien des Umgangs mit systemischer Komplexität („emergent strategies“), ganz gleich, ob nun manageriale Strukturvorgaben, also handhabbare Steuerungsschemata referierbar waren oder nicht. Bei den emergenten Skalierungsstrategien handelt es sich um praxisbewährte Muster der Komplexitätsbewältigung, die sich im Strom der basalen Operationen strukturell kondensiert haben. Der Strategieformierungsprozess sei mit Hilfe einer Skizze illustriert:

⁵⁶ Vgl. Mintzberg 1989 und 1994.

Modell der intrasystemischen Strategieformierung nach Mintzberg⁵⁷



Mit Mintzberg kann also festgehalten werden: „Strategies can *form* as well as be *formulated*.“⁵⁸ Die Implementierungs- und letztlich Realisierungschance der „top-down“ entwickelten Strategien ist dann hoch, wenn der Mirror bei der Formulierung reflektierend auf die emergenten Strategien Bezug nimmt und nach operativen Anknüpfungspunkten für die deliberate Strategie sucht. Die strategisch initiierte „top-down“-Einflussnahme gleicht so einem Versuch indirekter Steuerung im Zuge eines Managements kognitiver Erwartungen⁵⁹: zum einen durch strukturelle Konditionierung der operativen Komplexitätsverarbeitung und zum anderen durch zielgeleitete Rekonditionierung bereits existierender Komplexitätsbewältigungsmuster. In der Strategieformierung macht sich das MAS sein aus der doppelten Schließung⁶⁰ resultierendes Reflexionspotential zunutze. Die manageriale Strategieformulierung basiert auf einem das Gesamtsystem fokussierenden Prozess virtueller Selbststrukturierung bzw. Selbstformierung des Mediums „MAS“ – mit Aussicht auf erfolgreiche, strategiekonforme Implementierung. Mintzberg selbst bezeichnet die systemweite Strategiebil-

⁵⁷ Vgl. Mintzberg 1994: 24.

⁵⁸ Mintzberg 1989: 30.

⁵⁹ Wie oben erläutert.

⁶⁰ „Doppelte Schließung“ umfasst operative wie strukturelle Schließung des Systems. Zu diesem Begriff siehe von Foerster 1994: 45ff. und in der organisationstheoretischen Weiterentwicklung Baecker 1999: 126ff.

dung terminologisch vereinfachend als „crafting“.⁶¹ Somit können Skalierungsstrategien als ein aus managerial entworfenen Zukunftsplänen und operativen Mustern der Vergangenheit formiertes Strukturkonglomerat verstanden werden, das zur Orientierung in der Gegenwart dienen soll.

Strategische Planung ist ein Moment der Systemevolution. Durch die Promulgation der deliberaten Strategie versucht der Mirror, Orientierungshilfen für eine teleologisch ausgerichtete Komplexitätsentwicklung zu geben. Er operiert in diesem Fall einerseits als „evolutionärer Impulsgeber“, als „Störer“, der mit der Veröffentlichung einer Strategie für einen Variationsanlass sorgt, und andererseits bietet er dem Gesamtsystem Selektionskriterien an, an denen sich die Einzelinteraktionen orientieren können oder auch nicht. Die tatsächliche Formierung der Systemkomplexität, das heißt die systemische Realisierung einer Skalierungsstrategie kann nicht determiniert werden. Selbst ein dezidierter Deliberationsprozess zur Feinjustierung und mutualen Abstimmung von managerialen Strategievorgaben und emergenten Mustern der komplexitätsbezogenen Schemaverwendung kann eine exakte Realisierung der angepeilten Strategie nicht sicherstellen; er kann jedoch Bedingungen kreieren, die die erwartete Form der Realisierung wahrscheinlicher werden lässt. Durch reflektiertes „crafting“ der Strategie kann der Mirror darauf hinwirken, die Realisierungschancen zu erhöhen, damit langfristig die Systemstabilität sichergestellt werden kann. Letztlich ist die operative Umsetzung einer Skalierungsstrategie aber als Produkt der Systemevolution zu erachten.

5. Fazit

Die vorgetragenen soziologischen Überlegungen zur systemischen Selbstskalierung verstehen sich selbst als eine „deliberate strategy“, die sich an die sozionische Forschungsgemeinschaft richtet. Es wird sich erst zu zeigen haben, inwiefern diese systemtheoretische Konzeption auf fruchtbaren Boden innerhalb der Skalierungsdebatte zu fallen vermag. Für die Systemdesigner mögen die theoretischen Ausführungen recht ernüchternd sein; denn sowohl das Mintzbergsche Strategiemodell als auch der evolutions- und komplexitätstheoretische Rahmen, in dem das Skalierungskonzept gestellt ist, geben überhaupt keine Hinweise, wie die MAS-interne Selbstskalierung im Einzelnen vonstatten zu gehen hat und welche Skalierungsstrategien je nach Systemzustand und Umweltlage zu aktivieren sind. Der Systemdesigner muss also wissen, dass es keinen „one best way“ der Skalierung des MAS geben kann. Patentrezepte für die Skalierung existieren genauso wenig wie soziologisch fundierte Bauanleitungen für „large-scale open systems“ im Sinne Hewitts.⁶² Dem hier präsentierten

⁶¹ Vgl. Mintzberg 1989: 25ff.

⁶² So kann es auch kein perfekt gestaltetes MAS geben. Die ablehnende Haltung gegenüber jeglichem „one best way“-Denken lässt sich auch durch einen Blick auf die kritische Diskussion der normativen Managementansätze und ihrer Rezepte zur Gestaltung effizienter Organisationen in den Sozialwissenschaften rechtfertigen. Darüber hinaus kann Komplexitätsbewältigung sinnvoller Weise nur als ein unendlicher, häufig inkrementell ablaufender Prozess beschrieben werden. So auch Degele 1997: 91.

Modell nach erfolgt Skalierung in systemischer Eigenregie. Vorstellbar ist lediglich, dass der Designer (anfänglich) Einfluss auf die im MAS prozessierten skalierungsrelevanten Differenzen und Schemata nehmen kann. Das ist nicht viel, aber wenigstens etwas.

Doch ganz so desillusionierend sollen diese Schlussbetrachtungen nicht daherkommen. Daher seien die Aspekte herausgestrichen, von denen die sozionische Debatte um Skalierung profitieren könnte.

Vorschlag 1: Da ist zum ersten die Erkenntnis, dass Skalierung zwei Dimensionen aufweist: die quantitative, auf die gemeinhin die Forschungsbemühungen gerichtet sind, und die qualitative, über die die Diversität der Systemelemente und die Multiplexität ihrer Relationierungen affiziert werden. Skalierung ist somit neben der quantitativen auch in eine qualitative Dimension zu differenzieren.

Vorschlag 2: Zum zweiten erweist es sich theoretisch als sehr fruchtbar, Skalierung im Zusammenhang mit Systemkomplexität zu thematisieren. Daher ist es notwendig, die System/Umwelt-Differenz als konstitutive Unterscheidung bei der Konstruktion skalierbarer MAS zu berücksichtigen. Komplexitätsmanagement geschieht im Prozess systemischer Selbstskalierung, wobei Skalierung als Operationalisierung systemischer Eigenkomplexität zu konzipieren ist, die gegenüber der Umweltkomplexität in einem angemessenen Verhältnis zu stehen hat.

Vorschlag 3: In Anlehnung an Differenzierungen, die sowohl von der allgemeinen Komplexitätstheorie (hauptsächlich der Physik und Biologie) als auch von der Luhmannschen Systemtheorie vorgenommen werden, hat sich Skalierung drittens auf die Systemelemente *und* ihre Relationierungen zu erstrecken. Es muss daher zwischen Elementeskalierung und Relationenskalierung unterschieden werden, und zwar jeweils sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht.

Vorschlag 4: Viertens kann behauptet werden, dass die systemische Selbstskalierung aus der Fähigkeit des MAS erwächst, Wissen zu prozessieren, auf das das zielorientierte Komplexitätsmanagement zu rekurrieren vermag. Dieses systemintern verfügbare Skalierungswissen ist als ein Fundus an Schemata und Strategien zu begreifen. Ein Schema ist nicht etwa eine einmalig operativ genutzte Unterscheidung, auf die eventuell nicht wieder referiert wird; sondern es handelt sich bei einem Schema um bewährtes Wissen, das sich als stabile Form strukturell kondensiert hat. Der systemisch aufgebauten „Komplexitätsarchitektur“ (Simon) hat somit eine intern nach Schemata differenzierte Wissensarchitektur funktional zu entsprechen. Anders wäre das MAS nicht in der Lage, gezielt Komplexitätsmanagement zu betreiben.

Vorschlag 5: Fünftens erweist es sich aus steuerungstheoretischer Perspektive als vorteilhaft, Skalierung differenztheoretisch zu entfalten. Dies geschieht durch die Unterscheidung von fünf grundlegenden Skalierungsreferenzen: Anzahl der Elemente und Relationen, Diversität, Multiplexität und Irritabilität. Skalierung ist systemische

Selbstmanipulation anhand intern prozessierter Differenzen, der Metaschemata viele/wenig Elemente, viele/wenig Relationen, Varietät/Redundanz, homogene/heterogene Kopplungen sowie informationelle Offenheit/ Geschlossenheit, die von den Skalierungsreferenzen auf ihre jeweilige Einheit gebracht werden.

Vorschlag 6: In einer systemtheoretischen Fassung kann Skalierung sechstens als Operationalisierung der systemischen Eigenkomplexität definiert werden; sie ist als strategiebasierte Komplexitätsbewältigung zu begreifen. Das heißt, systemisches Komplexitätsmanagement erfolgt nicht blindlings, sondern reflektiert und strategisch ausgerichtet. Im MAS werden somit Skalierungsstrategien prozessiert, die bei der Komplexitätsverarbeitung orientierungsstiftend wirken sollen. Es erweist sich als sehr erkenntnisfördernd, auf das Mintzbergsche Modell der Strategieformierung zu rekurrieren, da es sich zum einen gegenüber dem hier vertretenen systemtheoretischen Ansatz als recht theorie-affin darstellt und da es sich zum anderen evolutionstheoretisch respezifizieren lässt.

Vorschlag 7: Siebtens kann angenommen werden, dass ein Management als subsystemische Instanz für die Systemsteuerung und die strategische Ausrichtung des MAS verantwortlich zeichnet. Dieses Management fungiert als Mirror, der die Steuerungsschemata zu Skalierungsstrategien konfiguriert und als Steuerungsimpuls systemweit sichtbar auf seiner Blackboard promulgiert. Das Management operiert daher als evolutionärer Impulsgeber, der strategisch reflektiert auf den Komplexitätsaufbau wie -abbau im MAS einwirkt.

Vorschlag 8: Nichtsdestotrotz muss achtens berücksichtigt werden, dass die strategisch-teleologisch initiierte und orientierte Systemsteuerung durch das Management lediglich *einen*, wenn auch gewichtigen Einflussfaktor in der Evolution des MAS ausmacht. Über die Selbstskalierung und damit über die Art und Weise der Komplexitätsbewältigung „entscheidet“ Evolution, die nicht steuerbar, wohl aber beeinflussbar ist. Sowohl das Strategieformierungsmodell als auch die Steuerungskonzeption sind evolutionstheoretisch einzubetten, um ein anspruchsvolles Anwendungsszenario konstruieren zu können, anhand dessen auch soziologische Fragestellungen zu Problemen systemischer Komplexität thematisiert werden können.

Vorschlag 9: Die hier präsentierte Konzeption einer strategiebasierten Komplexitätsbewältigung impliziert neuntens zwei im Paradigma der Systemtheorie verwendete steuerungstheoretische Ansätze. Die Beeinflussung des operativen Geschehens durch ein Management kognitiver Erwartungen ähnelt dabei dem Modell der indirekten Kontextsteuerung bei Willke.⁶³ Die evolutionäre Strategieformierung und –realisierung entspricht dabei dem Modell dualer Kontrolle der Kybernetik IV, mit dem Unterschied, dass die systemische Kontrolle in der hier vorgestellten Konzeption

⁶³ Vgl. hierzu Willke 1992 und 1994.

in der Syntonisierung von „bottom-up“- und „top-down“-Prozessen besteht.⁶⁴ Daher sollte auch in MAS die Managementinstanz als ein Mitspieler unter anderen verstanden werden, der sich der Methoden der Kontextsteuerung bedienen muss und für eine Austarierung unterschiedlicher Strategien zu sorgen hat. Komplexitätsmanagement ist also immer ein gesamtsystemischer Prozess.

Vorschlag 10: Zehntens ist zu behaupten, dass die Skalierungsdebatte der Sozionik mehr von der Organisations- und Managementforschung sowie der Industrie- und Betriebssoziologie lernen kann als von den Sozial- und Gesellschaftstheorien der Soziologie, die Komplexität immer nur am Rande thematisieren. Daher scheint es angebracht zu sein, sich eher mit „theories of middle range“, sogenannten Mesotheorien, wie zum Beispiel mit Theorien der Organisation zu befassen, um Anregungen zu erhalten, wie Systemskalierung und Komplexitätsmanagement in MAS theoretisch beschrieben werden könnten.

Vorschlag 11: Diese differenztheoretische, an der Systemtheorie orientierte Bauart des MAS macht es elftens möglich, das MAS mit realen sozialen Systemen, vor allem mit Organisationen zu vergleichen. So könnten Vergleichsstudien zwischen den Analysen des Komplexitätsmanagements in MAS und in Unternehmensorganisationen angestellt werden. Hieraus könnte dann auch die Soziologie, in erster Linie die Organisationssoziologie einen Nutzen ziehen.

Vorschlag 12: Zwölftens wäre zu fragen, ob mit Skalierung nicht auch ein neuer soziologischer Begriff zu gewinnen ist, wenn man bedenkt, dass sich die Soziologie seit eh und je mit Steuerungs- und Komplexitätsproblemen befasst. Mit Skalierung stünde dann ein Begriff bereit, der die Operationalisierung von Komplexität als ein prozessuales Geschehen denotativ fasst.

Zum Schluss die wichtige Frage: Was bedeutet diese hier präsentierte Konzeption jetzt für die aktuelle Skalierungsdebatte, wie sie innerhalb der Sozionik geführt wird? Hauptsächlich ist dringend notwendige Begriffsarbeit geleistet worden. Wenn denn diese Debatte mit Schwierigkeiten behaftet ist, dann damit, nicht genau angeben zu können, worum sich Skalierung überhaupt dreht und auf welche theoretischen Annahmen und Konzepte zurückgegriffen werden muss, um Skalierung angemessen beschreiben und analysieren zu können. Es bleibt die Hoffnung, dass mit dieser Arbeit ein Fingerzeig gegeben werden konnte, wie Skalierung systemtheoretisch konzipiert werden könnte.

⁶⁴ Zur Unterscheidung dieser beiden soziokybernetischen Steuerungsmodelle siehe Degele 1997.

Literatur

- Alexander, Jeffrey C./Giesen, Bernhard/Münch, Richard/Smelser, Neil J. (Hrsg.), 1987:** The Micro-Macro-Link. Berkely und Los Angeles: University of California Press.
- Augoustinos, Martha/Walker, Iain (Hrsg.), 1995:** Social Cognition: An Integrated Introduction. London, Thousand Oaks und New Delhi: Sage.
- Bartlett, Frederic C., 1932:** Remembering: A Study in Experimental und Social Psychology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barnard, Chester I., 1938:** The Function of the Executive. Cambridge: Harvard University Press.
- Baecker, Dirk, 1993:** Die Form des Unternehmens. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Baecker, Dirk, 1999:** Organisation als System: Aufsätze. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Bornholdt, Stefan/Feindt, Peter Henning (Hrsg.), 1996:** Komplexe adaptive Systeme. Forum für interdisziplinäre Forschung, Band 15. Dettelbach: Röhl.
- Brauer, Wilfried/ Nickles, Matthias/Rovatsos, Michael/Weiß, Gerhard/Lorentzen, Kai F. 2002:** Expectation-Oriented Analysis and Design. Proceedings of the Second International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering (AOSE'2001). Heidelberg u. a.: Springer LNCS 2222.
- Byrne, David S., 1998:** Complexity Theory and the Social Sciences: An Introduction. London u. a.: Routledge.
- Degele, Nina, 1997:** Zur Steuerung komplexer Systeme – eine soziokybernetische Reflexion. Soziale Systeme 3: 81 – 99.
- Ebeling, Werner/Freund, Jan/Schweitzer, Frank, 1998:** Komplexe Strukturen: Entropie und Information. Stuttgart und Leipzig: Teubner.
- Feindt, Peter Henning/Bornholdt, 1996:** Komplexe adaptive Systeme – neue Perspektiven in den Natur- und Sozialwissenschaften? S. 9 – 36 in: Stefan Bornholdt / Peter Henning Feindt (Hrsg.), Komplexe adaptive Systeme. Forum für interdisziplinäre Forschung, Band 15. Dettelbach: Röhl.
- Foerster, Heinz v., 1994:** Über das Konstruieren von Wirklichkeiten. S. 25 – 49 in: ders., Wissen und Gewissen: Versuch einer Brücke. Hrsg. v. Siegfried J. Schmidt. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Graham, John R./McHugh, Daniel/Mersic, Michael/McGeary, Foster/Windly, M. Victoria/Cleaver, David/Decker, Keith S., 2000:** Tools for Developing and Monitoring Agents in Distributed Multi-agent Systems. S. 12 – 27 in: Tom Wagner/Omer Rana (Hrsg.), Infrastructure for Agents, Multi-Agent Systems, and Scalable Multi-Agent Systems. Proceedings of the International Workshop for Scalable Multi-Agent Systems. 3 – 7 Juni Barcelona, Spain. Heidelberg u. a.: Springer.
- Hewitt, Carl, 1991:** Open Information Systems Semantics for Distributed Artificial Intelligence. Artificial Intelligence 47: 79 – 106.
- High Volume Web Site Team, 2001:** A Design for Scalability. URL: <http://www7b.software.ibm.com/wsdd/library/techarticles/hvws/scalability.html>

- Holland, John H., 1992:** Complex Adaptive Systems. *Daedalus: Journal of the American Academy of Arts and Sciences* 121: 17 – 30.
- Holland, John H., 1996:** *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity.* Cambridge, Mass.: Helix und Perseus.
- Kieserling, André, 1999:** *Kommunikation unter Anwesenden: Studien über Interaktionssysteme.* Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Kühl, Stefan, 1995:** *Wenn die Affen den Zoo regieren: die Tücken der flachen Hierarchien.* 3. Aufl. Frankfurt am Main und New York: Campus.
- Kühl, Stefan, 2001:** Zentralisierung durch Dezentralisierung: paradoxe Effekte bei Führungsgruppen. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 53: 467 – 496.
- La Porte, Todd R. (Hrsg.), 1975:** *Organized Social Complexity: Challenge to Politics and Policy.* Princeton: Princeton University Press.
- Lewin, Roger, 1996:** *Die Komplexitätstheorie: Wissenschaft nach der Chaosforschung.* München: Droemer Knauer.
- Lorentzen, Kai F./Nickles, Matthias, 2002:** Ordnung aus Chaos – Prolegomena zu einer Luhmann'schen Modellierung deentropisierender Strukturbildung in Multiagentensystemen. S. 55 – 113 in: Thomas Kron (Hrsg.), *Luhmann modelliert: sozionische Ansätze zur Simulation von Kommunikationssystemen.* Opladen: Leske + Budrich.
- Luhmann, Niklas, 1982a:** Komplexität. S. 204 – 220 in: ders., *Soziologische Aufklärung 2: Aufsätze zur Theorie der Gesellschaft.* 2. Aufl. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Luhmann, Niklas, 1982b:** Einfache Sozialsysteme. S. 21 – 38 in: ders., *Soziologische Aufklärung 2: Aufsätze zur Theorie der Gesellschaft.* 2. Aufl. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Luhmann, Niklas, 1984:** *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie.* Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Luhmann, Niklas, 1992:** *Die Wissenschaft der Gesellschaft.* Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Luhmann, Niklas, 1993a:** Haltlose Komplexität S. 59 – 76 in: ders., *Soziologische Aufklärung 5: Konstruktivistische Perspektiven.* 2. Aufl. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Luhmann, Niklas 1993b:** Schematismen der Interaktion. S. 81 – 100 in: ders., *Soziologische Aufklärung 3: soziales System, Gesellschaft, Organisation.* 3. Aufl. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Luhmann, Niklas, 1996:** *Die Realität der Massenmedien.* 2., erweiterte Aufl. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Luhmann, Niklas, 1997:** *Die Gesellschaft der Gesellschaft.* Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Luhmann, Niklas, 2000:** *Organisation und Entscheidung.* Opladen und Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Mintzberg, Henry, 1989:** *Mintzberg on Management: Inside our Strange World of Organizations.* New York: Free Press.

- Mintzberg, Henry, 1994:** The Rise and Fall of Strategic Planning. New York u. a.: Prentice Hall.
- Morin, Edgar, 1974:** Complexity. International Social Science Journal 26: 555 – 582.
- Neisser, Ulric, 1979:** Kognition und Wirklichkeit: Prinzipien und Implikationen der kognitiven Psychologie. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Paetow, Kai/Schmitt, Marco, 2002:** Das Multiagentensystem als Organisation im Medium der Technik: Zur intelligenten Selbststeuerung künstlicher Entscheidungssysteme. S. 115 – 171 in: Thomas Kron (Hrsg.), Luhmann modelliert: sozionische Ansätze zur Simulation von Kommunikationssystemen. Opladen: Leske + Budrich.
- Schillo, Michael/Bürckert, Hans-Jürgen/Fischer, Klaus/Klusch, Matthias, 2000:** Towards a Definition of Robustness for Market-Style Open Multi-Agent Systems. URL: www.virtosphere.de/data/publications/conferences/2001/Schillo+.Robustness.AA01.pdf
- Simon, Herbert A, 1978:** Die Architektur der Komplexität. S. 94 – 120 in: Klaus Türk (Hrsg.), Handlungssysteme. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Wagner, Tom/Rana, Omer (Hrsg.), 2000:** Infrastructure for Agents, Multi-Agent Systems, and Scalable Multi-Agent Systems. Proceedings of the International Workshop for Scalable Multi-Agent Systems. 3 – 7 Juni Barcelona, Spain. Heidelberg u. a.: Springer.
- Willke, Helmut, 1992:** Ironie des Staates: Grundlinien einer Staatstheorie polyzentrischer Gesellschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Willke, Helmut 1994:** Systemtheorie II: Interventionstheorie. Stuttgart und Jena: Fischer.
- Willke, Helmut, 2002:** Dystopia: Studien zur Krisis des Wissens in modernen Gesellschaften. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Woodside, Murray, 2000:** Scalability Metrics and Analysis of Mobile Agent Systems. S. 234-245 in: Tom Wagner/ Omer Rana (Hrsg.), Infrastructure for Agents, Multi-Agent Systems, and Scalable Multi-Agent Systems. Proceedings of the International Workshop for Scalable Multi-Agent Systems. 3 – 7 Juni Barcelona, Spain. Heidelberg u. a.: Springer.