

2.4 Endo-Interface

2.4.1 Komplexitätsforschung

Während die Zukunftsforschung oftmals zur Wahrsagerei ausartet, versucht die Komplexitätsforschung die Gesetze des Wandels zu verstehen und beschäftigt sich mit der Strukturbildung durch nichtlineare Phasenübergänge. Mit der Theorie komplexer Systeme entsteht eine neue strukturorientierte Wissenschaftsdisziplin/1/, die die systemorientierte Sichtweise um neuartige Phänomene erweitert. Unter Komplexität wird vor allem ein zeitliches Phänomen verstanden, wobei bei jedem Schritt zu höherer Komplexität ein neuer Lernprozeß erforderlich ist. Anders als beim Reduktionismus versucht die Komplexitätsforschung, die Mehrdimensionalität von Problemstellungen zu berücksichtigen:/2/

Durkheim: Komplexität bezeichnet den Grad der Vielschichtigkeit, Vernetzung und Folgelastigkeit eines Entscheidungsfeldes.

Luhmann: Komplexität ist nicht einfach die Menge der strukturell ermöglichten Relationen, sondern deren Selektivität./3/

Klaus: Komplexität ist eine Eigenschaft von Systemen, die durch Art und Zahl der zwischen den Systemelementen bestehenden Beziehungen festgelegt ist.

Ashby: Umweltkomplexität erfordert eine angemessene Eigenkomplexität des Systems./4/

Ein wichtiger Faktor ist nach **Einstein** die Einfachheit, oder wie er es nannte, die Natürlichkeit einer Theorie, die durch die Verringerung der Anzahl logisch unabhängiger Elemente charakterisiert ist. Die Komplexitätsforschung ist gegenwärtig das verbindende Element interdisziplinärer Wissenschaftsebenen. Die Einsicht in die Unmöglichkeit eines vollständigen Wissens erzeugt eine demütige und ehrfürchtige Haltung gegenüber diesem. Der Weg von der Systemtheorie und Kybernetik führt zur Strukturtheorie und Komplexitätsforschung. Ursächlich für die Komplexität von Strukturen ist die Interaktion einer Vielzahl von unterschiedlichen und weitgehend unabhängigen Variablen./5/ Komplexität darf jedoch nicht mit Kompliziertheit verwechselt werden.

In einem komplexen System kann man nichts beeinflussen, ohne nicht auch alle anderen Elemente zu beeinflussen. Im Leben eines Menschen kann somit jedes Ereignis eine Wirkung auf jede seiner zukünftigen Handlungen haben./6/ Komplexe Systeme beziehen sich deshalb nicht auf Einzelprobleme, sondern auf wechselwirkende Problemstellungen. Während die negative Rückkopplung einen bestimmten Zustand aufrecht erhält, wirkt die positive Rückkopplung destabilisierend auf das System. Der positiven Rückkopplung kommt die Aufgabe zu, das System in neue Grenzbereiche zu führen. Dagegen hilft uns die bremsende Wirkung der negativen Rückkopplung die Stabilität von Systemen wieder zu erlangen.

Die Theorie komplexe Systeme ist ein Teilsystem der Theorie für komplexe Modelle./7/ In der Systemtheorie bedeutet Komplexität nicht nur Nichtlinearität, sondern eine riesige Anzahl von Elementen mit vielen Freiheitsgraden./8/ Hierbei gilt, daß je komplexer ein System wird, desto größer wird die Zahl seiner Freiheitsgrade. Komplexität ist dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Entscheidungszentren parallel existieren, d. h. ein polyzentrisches System/9/ vorliegt./10/ Komplexität heißt, daß mehr und mehr Aufgaben miteinander gekoppelt sind, ohne daß man diese Aufgaben vorher kennt./11/ Die Rückkopplung sorgt dafür, daß komplexe Systeme nicht als eine untereinander verbundene Menge von unabhängigen Kreisläufen betrachtet werden können, sondern nur als Ganzes./12/ Da komplexe Systeme eine Vielzahl von Möglichkeiten haben, ihr Ziel zu erreichen, sind diese als äquifinal zu bezeichnen./13/

Komplexität kann als numerische und strukturelle Ungewißheit auftreten, wobei letztere ein wesentlich schwierigeres Problem darstellt./14/ Eine zusammenhängende Menge von Elementen ist komplex, wenn aufgrund immanenter Beschränkungen der Verfügungskapazität der Elemente nicht mehr jedes Element jederzeit mit jedem anderen verknüpft werden kann./15/ Systeme, die sich an ihrer eigenen Komplexität orientieren und diese zu erfassen suchen, bezeichnet **Luhmann** als hyperkomplex./16/ Komplexe Systeme haben immer bestimmte Formen von Hierarchien. Auch eine parallele Verschaltung von Elementen wie beim Hyperkubus läßt sich als eine Abfolge von Hierarchien interpretieren mit der Besonderheit, daß diese jedoch kreiskausal geschlossen werden.

Das Kernproblem eines jeden Organismus besteht darin, die für dessen Überleben relevante Komplexität unter Kontrolle zu bringen./17/ Komplexitätsbeherrschung wird nach **Malik** einerseits durch die Systemstrukturen andererseits durch Problemlösen (Lenkung) gewährleistet./18/ Ein System mit gegebener Komplexität kann nur durch ein System unter Kontrolle gebracht werden, das mindestens dieselbe Komplexität aufweist./19/ Deshalb führt eine Verdrängung von Komplexität auch zu einer Verdrängung der potentiellen Lösungsansätze. Der Komplexitätsgrad einer Organisation kann nur anwachsen, wenn die Verhaltensregeln allgemeiner oder abstrakter werden./20/ Dies zeigt sich am Internet, wo mit einfachen Regeln (z.B. Hyperlinks) hochkomplexe Vernetzungsmuster erzeugt werden können (siehe Kapitel 4.3.3.2). Da Komplexität eine natürliche Eigenschaft sozialer Systeme ist, müssen wir auch in Simulationen der Ökonomie eine Vielzahl von Teilnehmern berücksichtigen, weshalb individuenorientierte Modelle benötigt werden (siehe Kapitel 2.2.2).

Das Komplexe erwächst meist aus dem Einfachen, wobei es auf einfacher Stufe beginnt, sich reproduziert und sich zu immer komplexeren Strukturen entwickelt. Deshalb genügt es nicht mit klassischen Erkennungsmustern an Zukunftsmärkte wie China, Indonesien, Malaysien, Indien oder Brasilien heranzugehen./21/ Wir brauchen neuartige Interfaces, die uns die Augen für die Erfolgsfaktoren des 21. Jahrhunderts eröffnen. Hierzu gilt es, neben der Verbesserung unserer Wahrnehmungsfähigkeit vor allem die Fähigkeiten zur Mustererkennung und zur Entschlüsselung der Codierungen miteinander wechselwirkender Ökosysteme, Märkte und Unternehmen zu schulen. Der Manager muß die Nichtlinearen Dynamiken der Strukturen erkennen und gemäß der entdeckten Muster handeln.

als wenn wir den Dingen bewußt gegenüberstehen. Andererseits müssen wir uns auch mit unvollständigen und falschen Informationen auseinandersetzen.^{31/} Wie zuvor bereits in Kapitel 1 erläutert, scheinen komplexe Systeme eine maximale Informations-, oder besser, Signalverarbeitung zu haben.

Es ist denkbar, daß Deterministische Chaos die Entstehung größerer Gehirne und des Bewußtseins erst ermöglichte. Selbstorganisation und Deterministisches Chaos sind die subjektiv erfahrbaren Auswirkungen zunehmender Komplexität, die in instabilen Phasen (von Phasenübergängen) unendlich groß werden kann. Die Fähigkeit komplexer Systeme Instabilitäten zu durchlaufen, scheint eine notwendige Bedingung für das Freisetzen von Bedeutungen beim Subjekt zu sein.^{32/} Erhöht sich die Komplexität eines Systems, so ist dies mit der Erzeugung einer neuen Bedeutung gleichzusetzen.

- Ordnungsbildung

Ordnungsbildung ist ein Mittel zur Komplexitätsbewältigung und geschieht durch die Entwicklung von Regeln.^{33/} Ordnung entsteht aus dem System selbst heraus, diese wird nicht einfach vorgegeben.^{34/} Ob etwas geordnet oder zufällig erscheint, ist von den Kontexten der Beobachters abhängig. Nach **Spencer-Brown** kann man nicht sagen, daß eine Folge keine Ordnung hat, sondern höchstens, daß diese keine all jener Gesetzmäßigkeiten aufweist, nach denen man suchen könnte.^{35/} Der Mensch spielt hierbei mit dem Universum eine Art Versteck- und Suchspiel:^{36/}

"You will construct the universe ... as you know it now; but then again, what you will construct will not be all, for by the time you will have reached what now is, the universe will have expanded into a new order to contain what will then be."

Nach von Foerster ist Ordnung daher eine Relation zwischen Subjekt und Objekt, bei der die Fähigkeit einer Person zur Wahrnehmung von Ordnung die entscheidende Rolle spielt.^{37/} Der Umgang mit komplexen Systemen setzt hierbei Verständnis für Entstehung von Ordnung durch Regeln, Prozesswissen über Problemlösungen, sowie Einsicht in Lenkungsmöglichkeiten und Grenzen der Lenkungsfähigkeit voraus.^{38/} Komplexe Systeme haben mehrdimensionale Strukturen und erzeugen durch ihre rückgekoppelten Prozesse ein Verhalten, wie man es nicht unbedingt erwarten würde. Ein besonderes Verhalten ist hierbei die Emergenz, d.h. daß bereits einfache Systeme spontan komplexes Verhalten zeigen können - eine

der wichtigsten Aussagen der Komplexitätstheorie. Spontane Ordnungen sind nicht notwendig komplex, können jedoch jeden Grad von Komplexität erreichen./[39](#)/

- Emergenz und Ameisen

Der Begriff der Emergenz wurde von Lloyd **Morgan** 1923 durch sein Buch "Emergent Evolution" eingeführt. Emergenz beschreibt eine Ordnung, die nicht aus den zusammengesetzten Eigenschaften der Teile erklärt werden kann./[40](#)/ Emergenz bedeutet spontanes Entstehen von Ordnung, wobei komplexe Formen und Strukturen aus einfachen Gleichungen hervorgehen können und somit das Einfache und das Komplexe miteinander verbunden werden. Das Ganze läßt sich nicht einfach in Teile zerlegen, wie zahlreiche Beispiele aus der Physik belegen. So ist es in der Physik unsinnig, von der Temperatur einzelner Teilchen zu reden, vielmehr ist die Temperatur eines Systems eine Variable, die beim Übergang zur thermodynamischen Beschreibung emergiert./[41](#)/

Die Aussage von **Gell-Mann** (dem Entdecker der Quarks), daß Oberflächenkomplexität aus Tiefeneinfachheit erwächst und daß komplexe adaptive Systeme Mustersucher sind/[42](#)/, zeigt sich am besten bei den Fraktalen, wo einfache Formeln durch Rückkopplung zu hochkomplexen Mustern führen. Weitere Beispiele für Emergenz sind die Übergänge zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Phasen, die Durchgänge durch stark instabile Zustände darstellen. Da bei diesen die Entropie nicht zunimmt, ist eine Beschreibung mittels des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik nicht durchführbar./[43](#)/ Atmanspacher schreibt zu den hinreichenden und notwendigen Bedingungen von Emergenz:/[44](#)/

"Betrachtet man einen beobachteten Vorgang, bei dem ein emergentes Phänomen eingetreten ist, so gibt es notwendige Bedingungen dafür, daß die dazu erforderliche Instabilität erreicht wird, d.h. der alte, als insuffizient erkannte Zustand verlassen wird. Zusätzlich gibt es jedoch hinreichende Bedingungen dafür, daß nach Durchlaufen der Instabilität unter allen möglichen Zuständen genau einer tatsächlich als neuer Zustand eingenommen wird. In der modernen Physik zeigt sich immer deutlicher, daß derartige Bedingungen im allgemeinen nicht angegeben werden können."

Der Grund für die Unmöglichkeit hinreichende Bedingungen zu beschreiben, liegt im Auftreten von Instabilitäten, bei denen minimale Fluktuationen zu völlig anderen Ergebnissen führen können. Solche Rückkopplungen in komplexen Systemen können durch unser monokausales

Denken nicht erfaßt werden. Letztlich müssen wir erkennen, daß wir nur notwendige Bedingungen kontrolliert herbeiführen können, nicht jedoch hinreichende./45/ Aber auch bei der Angabe von notwendigen Bedingungen ist es möglich, daß alles ganz anders kommt, als man es erwarten würde. Zufall wird bei Emergenzphänomenen von den Systemen stets mit produziert, so daß für die eigene Reproduktion des Systems genügend Unordnung zur Verfügung steht./46/

Emergenz entsteht durch Interaktion von Spezialisierung und Kreativität, von Geschlossenheit und Wiederholbarkeit sowie von Offenheit und Zufall./47/ Die emergenten Ereignisse des Künstlichen Lebens sind nicht die Simulationen, sondern die Art und Weise wie die Simulationen mit der Welt interagieren und damit unsere Art des Denkens verändern./48/ In Anlehnung an **Cariani** können drei verschiedene Arten der Emergenz unterschieden werden:/49/

Emergenzentstehung	Phänomen	Beispiel
Computerbasierte Emergenz	Chaos-from-Order	Deterministisches Chaos
Thermodynamische Emergenz	Order-from-Noise	Dissipative Strukturen
Modellbezogene Emergenz	Order-from-Chaos	Konstruktion neuer Sprachen

Interessant für die Untersuchung des Emergenz-Phänomens durch Computer sind besonders die Verhaltensweisen von Ameisen/50/ und Termiten, bei denen durch einfache Signale hochkomplexe Organisationsstrukturen mit riesigen Familien von Hunderttausenden bis Millionen Einzelwesen entstehen./51/ Ameisen sind heutzutage neben dem Menschen die vorherrschenden Landorganismen; ihre Biomasse entspricht ziemlich genau derjenigen der gesamten Erdbevölkerung./52/ Bis auf die Königin sind Ameisen prinzipiell ununterscheidbar und eignen sich deshalb auch vorzüglich als Beispiel für die Interface-Theorie von Rössler (siehe Kapitel 2.2.3). Auch können Ameisen sehr leicht durch Roboter nachgebaut werden und lassen sich somit ideal für die Erprobung autarker miteinander kommunizierender Miniroboter einsetzen (siehe Robotik Kapitel 4.4.2).

Unter Ameisen gibt es alle Differenzierungen, die auch in von Menschen geschaffenen Organisationen anzutreffen sind: Subordination, Konkurrenzkampf, Reproduktionsteilung, Kastenwesen und Steuerung von Seiten einer Königin./53/ Ein Ameisenhaufen ist eine typische Endo-

Struktur, wobei die Suchexpeditionen der Ameisen deren Interface für die Umwelt bilden. Herbert Simon entdeckte, daß das komplexe Verhalten einer Ameise eine Funktion der Komplexität ihrer Umwelt ist./54/ Die Wege der Streifzüge von Ameisen weisen eine hohe algorithmische Komplexität auf./55/ David **Jefferson** hat an der University of California künstliche Ameisen konstruiert, um die Wege des 'Duftspurverhaltens' zu untersuchen. Daß Ameisen trotz ihres winzigen Hirns fähig sind, enge soziale Bande zu knüpfen und komplexe Sozialstrukturen aufzubauen, ist nicht nur ihre Stärke, sondern auch ihre Schwäche, da sich ihr Code von anderen Organismen leicht entschlüsseln läßt./56/



Abb. 2.48: Ameise bei der Bewältigung einer Transportaufgabe

Ein Beispiel für simulierte Evolution ist das Computerprogramm AntFarm von **Collins** und Jefferson. AntFarm basiert auf künstlichen Neuronalen Netzwerken, wobei jede Ameise durch ein eigenes Programm repräsentiert wird./57/ Da jedes Individuum und seine Umwelteinflüsse separat berücksichtigt werden, handelt es sich um ein mikroanalytisches, d.h. individuenorientiertes Modell. Wie bei jedem evolutionären Modell treten spezifische Problemstellungen der Selektion, Mutation und Komplexität auf, die die Stabilität und die Instabilität von Populationen im Laufe der Entwicklung beeinflussen. Ameisen eignen sich wegen des einfachen Verhaltens des Individuums und dem äußerst komplexen Verhalten der gesamten Kolonie besonders gut für Simulationen./58/59/ Bei den mikroanalytischen Simulationsläufen, die ständig verbessert werden, zeigte sich ein gruppendynamisches Verhalten bei der Nahrungssuche./60/

- Komplexitätsmaße

"Komplexe Strukturen bestehen aus einer großen Anzahl von Elementen, die untereinander stark vernetzt sind und über die Fähigkeit besitzen, in einer bestimmten Zeitspanne viele unterschiedliche Zustände annehmen zu können."/61/ **Penrose** betont, daß sich die Komplexitätstheorie nicht so sehr mit der Lösung einzelner Probleme durch Algorithmen beschäftigt, sondern mit unendlichen Problemfamilien, wobei es einen allgemeinen Algorithmus zur Lösungsfindung für sämtliche Probleme einer einzelnen Familie geben soll./62/ Es besteht eine komplementäre Beziehung zwischen Komplexität und Berechenbarkeit, wobei nur 'nicht inhärent zufällige Ereignisse' berechenbar sind./63/ Eine erste Abschätzung für die Komplexität des Universums ist das Produkt aus der Gesamtzahl aller stabilen Elementarbausteine (1080) mal dem Alter des Universums (1040) und beträgt $N = 10120$ Prozesse./64/ Bedenkt man dazu die Rückkopplungsprozesse von natürlichen und künstlichen Interfaces, so ergibt sich eine unbegreifliche Vielfalt. Die Komplexitätstheorie sollte uns deshalb auch Wissen über die Grenzen von Reduktionsprozessen vermitteln./65/

Es gibt drei Arten der Messung von Komplexität: die deterministische Komplexität (Varietät von **Ashby & Beer**), die statistische Komplexität (**Kolmogorov & Chaitin, Shannon & Weaver**), sowie die deterministisch-chaotische Komplexität (**Grassberger/66/**), die sowohl die Fakten als auch die Modellebene umfaßt und somit eine Verbindung zwischen Komplexität (Materie) und Bedeutung (Geist) herstellt./67/ Hierbei scheint es, als ob das Interface zwischen materieller und geistiger Welt die Berücksichtigung von Instabilitäten, d.h. von Chaos, erfordert./68/ Die höchste Komplexität wird deshalb durch ein Mischen von regulären und zufälligen Merkmalen erreicht./69/ **Grassberger** betont den Zusammenhang zwischen Komplexität und subjektiver Bedeutung, wobei ihm zufolge die Komplexität eines Musters nicht ohne Bezug auf den Beobachter beschrieben werden kann.

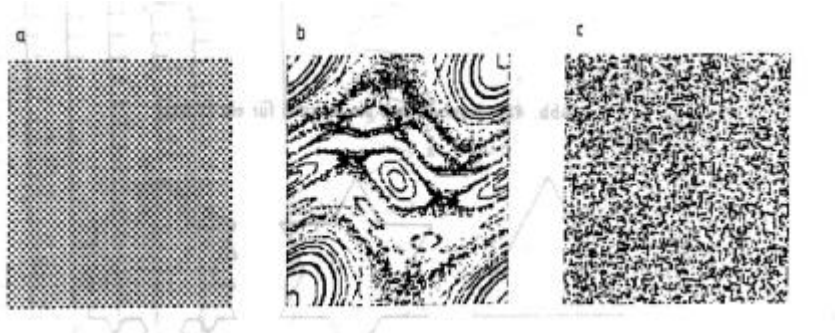


Abb. 2.49: Ordnung (a), Deterministisches Chaos (b) und Zufall (c)/[70](#)/

-- Varietät

Varietät und Konnektivität sind zwei Schlüsselbegriffe zum Verständnis komplexer Strukturen. Während die Varietät die Elementvielfalt verkörpert, beschreibt die Konnektivität die Beziehungsvielfalt von Strukturen. Im Rahmen des Varietäts-Begriffes, der auf einem quantitativen Komplexitätsverständnis basiert, wird Komplexität definiert, als die Fähigkeit eines Systems in einer gegebenen Zeitspanne eine große Zahl von verschiedenen Zuständen einnehmen zu können, wobei die Veränderlichkeit im Laufe der Zeit auch von der Veränderlichkeit der Wirkungsverläufe abhängt./[71](#)/ Die Varietät ist deterministisch und wird zur Beschreibung von komplexer Ordnungsbildung herangezogen. Nach **Brunner** ist Varietät ein Ergebnis aus ökonomischer Selektion, Erzeugung technologischer Verschiedenheit und wettbewerbsbedingter Diffusion von neuem Wissen./[72](#)/

Ökologische und soziale Systeme sind nach **Ulrich** nicht-triviale, komplexe Systeme/[73](#)/, wobei jedoch eine Spezialisierung der Teile zu abnehmender Vielfalt führt. Das Lösen von Problemen in Systemen erfordert jedoch Vielfalt, nur dann können wir die Komplexität begrenzen, wie **Ashby** es in seinem Gesetz der erforderlichen Vielfalt formulierte./[74](#)/ **Beers** Gesetz der erforderlichen Varietät besagt, daß nur Varietät Varietät absorbieren kann/[75](#)/, d.h. ein System muß, um ein Problem zu lösen, mindestens dieselbe Varietät haben wie das Problem selbst. Das erste Management-Axiom von Beer lautet, daß die horizontale Varietät und die vertikale Varietät der Organisation gleich sein müssen./[76](#)/

Die Struktur eines Systems ist für dessen Varietät von außerordentlich großer Bedeutung, da bestimmte Strukturen die Varietät des Systems

reduzieren, während andere diese erhöhen.^{77/} Allerdings kann ein quantitatives Maß allein nicht für eine Bewertung von Komplexität in Frage kommen, sondern es müssen qualitative Bewertungen komplexer Strukturen gefunden werden. Der Begriff Varietät scheint als alleiniges Komplexitätsmaß deshalb unzureichend, da er die Phänomene der Nichtlinearen Dynamik und die Freisetzung von Bedeutung nicht ausreichend zu beschreiben vermag.

-- Algorithmische Komplexität

Die algorithmische (auch universelle) Komplexität ist ein Maß der Zufälligkeit.^{78/} In Analogie zur Informationstheorie von Shannon, der die Information einer Nachricht als die Menge an Zufall definierte, die man in der Vielfalt möglicher Nachrichten vorfindet^{79/}, kann man die Komplexität eines Systems auch mit der Menge an Zufall definieren, die man in der Vielfalt der möglichen Systemzustände vorfindet. Unter algorithmischer Komplexität wird die kürzest mögliche Länge L der Beschreibung einer Folge von Ereignissen verstanden. Ordnung bezieht sich im Gegensatz zur Komplexität auf den tatsächlich aktuellen Zustand des Systems.^{80/} Ist die potentielle Information im System gleich Null, so hat das System eine maximale Ordnung. Ist die potentielle Information nahe dem Maximum, so geht die Ordnung gegen Null. Ordnung läßt sich hierbei als normalisierte Größe durch den Begriff der Redundanz R ausdrücken:^{81/}

$$O = R = (H_{\max} - H) / H_{\max}$$

Ein Höchstmaß an algorithmischer Komplexität (auch Kolmogorow-Chaitin-Komplexität genannt) entsteht somit immer dann, wenn eine Zahlenfolge zufällig ist. In einer Sequenz maximaler Komplexität sind die Daten irreduzibel verschlüsselt und die einfachste Form der Sequenzübertragung ist die symbolgetreue Kopie.^{82/} Die irreduzible Verschlüsselung bedeutet, daß es nicht gelingt, einen einfacheren Code für die Daten zu finden, als die Daten selbst. Diese Aussage gilt für zufällige Folgen aber auch für nicht zufällige Folgen, für die keine Decodierung erfolgen kann.

Die maximale Komplexität ist durch die Weiterentwicklung der Systeme keine Konstante, sondern diese erhöht sich, da immer neue, potentiell mögliche Zustände geschaffen werden. Die Zunahme der Links im Internet ist ein Beispiel für einen solchen ständigen Anstieg der maximalen Komplexität. Hierbei geht die Statistik dem eigentlichen Problem der Komplexität aus dem Wege, da sie an die Stelle der Fakten über die

individuellen Elemente Fakten über die Häufigkeit von Klassen solcher Elemente setzt./83/ Deshalb ist nicht die algorithmische, sondern eine deterministisch-chaotische Komplexität für das Verständnis von Interfaces entscheidend.

-- Deterministisch-chaotische Komplexität

Da Vernetzungen Vielfalt ermöglichen und dem Teilnehmer Freiräume eröffnen, werden Erkenntnisse der Gehirnforschung, Neuroprogrammierung, Fuzzy-Logik und Virtueller Realitäten zu einem bedeutenden Management-Tool für Problemlösungen avancieren. Komplexe Systeme sind durch Nichtlineare Dynamiken geprägt, die sich in Form von Deterministischem Chaos oder Selbstorganisation zeigen und somit weder rein zufällig noch rein deterministisch sind. In offenen Systemen erfolgt die Entwicklung fern vom Gleichgewicht, wobei durch zunehmende gegenseitige Abhängigkeit, Vernetzung und Rückkopplung eine dynamische Ordnung entsteht. Zusammen mit Rekursivität bilden Rückkopplungen die Spielregeln des Systems, während Instabilitäten Prozesse darstellen, die die Freisetzung neuer Bedeutungen ermöglichen. Lebensfähige Systeme entstehen somit nicht aus der Verdrängung von nichtlinearem Verhalten, sondern durch dessen Nutzung:

Komplexität = f (Rekursivität(Rückkopplung (Instabilität)))

Überträgt man das obige Komplexitätsverständnis und die Verhulst-Gleichung auf die Hyperkubus-Struktur, so ergeben sich folgende Analogieschlüsse:

Nichtlineare Dynamik:

Selbstorganisation:		Deterministisches Chaos:	
Rückkopplung	Rekursivität	Fraktale	Instabilität
Bifurkationen	Selbstähnlichkeit	Attraktoren	Fluktuation
Wechselwirkung	Musterbildung	Grenzyklus	Spiel
x_t	$(1-x_t)$	x_{t+1}	a

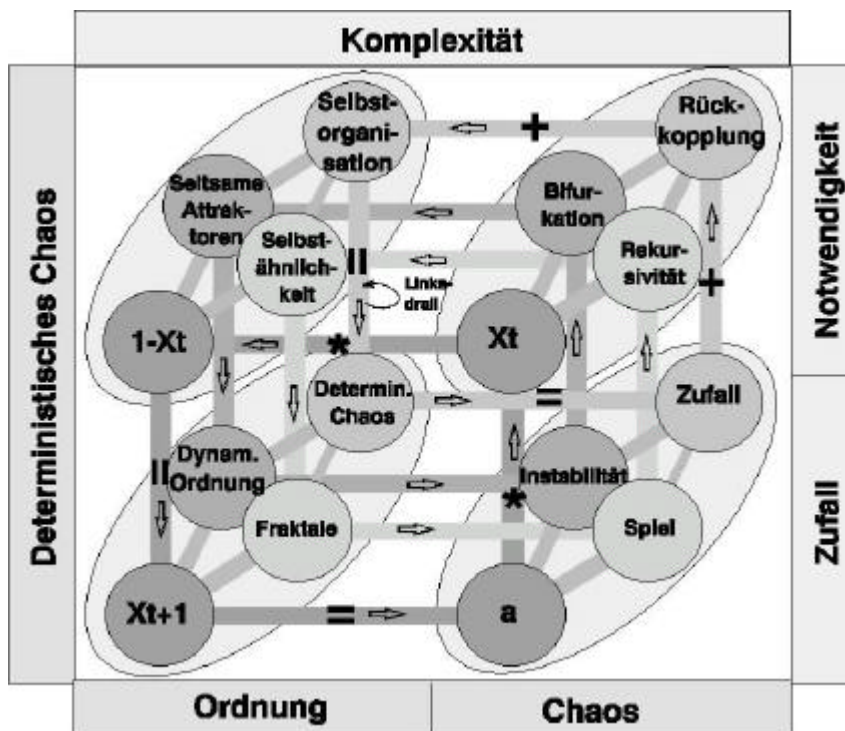


Abb. 2.50: Komplexität am Rande des Chaos

Obige Abbildung zeigt die unterschiedlichen Betrachtungsebenen der Komplexität: Chaos und Ordnung, Zufall und Notwendigkeit. Hierbei werden durch Rekursivität und Rückkopplungen Schleifen durchlaufen, die im räumlichen Kontext zu Fraktalen, im zeitlichen Kontext zu Deterministischem Chaos und im Rahmen einer integralen Raum-Zeit-Betrachtung zu dynamischen Ordnungen führen. Diese können von unterschiedlichen Standpunkten aus betrachtet werden, die dann äquivalent sind, wenn wir durch Transformation von dem einen zum anderen Standpunkt übergehen können. Gelingt eine solche Transformation, so können die unterschiedlichen Elemente des Systems ihr Wissen durch Kommunikation austauschen und wechselseitig ihre Kognitionsbereiche erweitern, was ermöglicht, daß sich das System hin auf ein höheres Komplexitätsniveau entwickelt. Die lokal gefundenen Forschungsergebnisse müssen durch ein neues prozessorientiertes Komplexitätsverständnis zu neuen globalen Ordnungen integriert werden, wozu **Lewin** ausführt:[/84/](#)

"Die morphologischen Übergänge sind dann das Ergebnis eines Kreislaufs, in dem die Dynamik Geometrie erzeugt und die Geometrie die Dynamik verändert."

Die Entstehung einer dynamischen Ordnung ist hierbei das Ergebnis der Selbstorganisation komplexer Strukturen und Prozesse. Jedes Interface hat hierbei die Fähigkeit sich fern vom Gleichgewicht aufzuhalten, für regelmäßige Phasenübergänge zu sorgen und durch Datenaustausch über das Interface seine Systemumgebung zu beeinflussen. Zu den Vorzügen des Deterministischen Chaos gehört hierbei die Maximierung der Informationserzeugung und somit die Fähigkeit zunehmende Komplexität zu bewältigen. Da es, bezogen auf die Informationserzeugung jedoch keine vollständig geschlossenen Strukturen innerhalb des Universums gibt, können wir lediglich die Frage stellen, ob die Zahl der Kontaktstellen groß oder klein ist./85/ Zusammenfassend sind an Strukturen, die Komplexität lenken können, nachfolgende Anforderungen zu stellen:

- Sie nutzen Deterministisches Chaos und Selbstorganisation für die Lenkung fern vom Gleichgewicht.

- Sie müssen sowohl fraktal als auch ganzheitlich ausgerichtet sein.

- Sie müssen die Lenkbarkeit von Problemsituationen ermöglichen.

- Sie beinhalten regelkreisorientiertes und vernetztes Denken.

- Sie erlauben die Gestaltung paralleler Prozesse.

- Sie haben eine hohe Sensitivität gegenüber Veränderungen in den Anfangsbedingungen.

- Sie entfalten komplexe Ordnung durch einfache Codierungen und positives Feedback.

- Sie erlauben, durch die Herstellung von Kontexten neue Bewußtseinsebenen abzubilden.

- Sie anerkennen das Wechselspiel von Zufall und Notwendigkeit in der evolutionären Entwicklung.

- Sie nutzen die Prinzipien des Lernens, um eine Lenkung von Innen zu ermöglichen.

- Sie erhöhen die Lebensfähigkeit des Gesamtsystems durch Flexibilität und Selektion.

- Sie akzeptieren den Dualismus von Zufall und Determinismus in Form des Deterministischen Chaos.

Abb. 2.51: Anforderungen an komplexe Strukturen

- Die Unmöglichkeit vollständigen Wissens begrenzt die Machtpotentiale komplexer Organisationen.

- Die Fähigkeit zur Lenkung komplexer Systeme bedeutet ein erhebliches Machtpotential.

- Komplexität schafft eine Vielfalt möglicher Handlungsoptionen.

- Emergenz schafft neuartige Freiräume für spontanes und kreatives Handeln.

Abb. 2.52: Konsequenzen für Macht und Freiheit

Wissenschaftliche Kontexte:	Auswirkungen auf das Management:
- Komplexitätsforschung bezieht sich auf wechselwirkende Problemstellungen.	- Management bezieht sich nicht auf Einzelprobleme, sondern auf wechselwirkende Problemstellungen.
- Instabilitäten stellen Prozesse dar, die die Freisetzung neuer Bedeutungen ermöglichen.	- Neue Bedeutungen werden bei Unternehmen immer dann freigesetzt, wenn diese starke Schwankungen durchlaufen.
- Bei komplexen Systemen geht es primär darum, die notwendigen Voraussetzungen für Weiterentwicklungen zu schaffen und bei den hinreichenden Bedingungen möglichst viele Freiräume zu lassen.	- Management erfordert notwendige Rahmenbedingungen zu schaffen und Flexibilität und Kreativität zu fördern.
- Nur für Teilnehmer, die sich nicht weiterentwickeln, wird das System komplexer, für lernende Individuen ist die Komplexität abhängig von ihrem jeweiligen Erkenntnisstand.	- Management ist ein relatives Phänomen, welches vom Erkenntnisstand des jeweiligen Managers abhängt.

Abb. 2.53: Konsequenzen für das Endo-Management

-
- [1](#) Vgl. Küppers (Komplexität), 95.
- [2](#) Vgl. Willke (Systemtheorie), 16.
- [3](#) Vgl. Luhmann (Systeme), 47.
- [4](#) Vgl. Willke (Systemtheorie), 21.
- [5](#) Vgl. Malik (Systeme), 201.
- [6](#) Vgl. von Hayek (Phänomene), 25.
- [7](#) Vgl. Casti (Complexification), 278.
- [8](#) Vgl. Mainzer (Complexity), 3.
- [9](#) Siehe auch das Symbol des Hyberkubus.
- [10](#) Vgl. Malik (Systeme), 237.
- [11](#) Vgl. Baecker (Management), 33.
- [12](#) Vgl. Asbhy (Kybernetik), 88.
- [13](#) Vgl. Malik (Systeme), 485.
- [14](#) Vgl. Malik (Systeme), 286.
- [15](#) Luhmann (Systeme), 637.
- [16](#) Vgl. Luhmann (Systeme), 637.
- [17](#) Vgl. Malik (Systeme), 170.
- [18](#) Vgl. Malik (Systeme), 177.
- [19](#) Vgl. Malik (Systeme), 191.
- [20](#) Vgl. Malik (Systeme), 228.
- [21](#) Quantitatives Wachstum kann nicht das alleinige Erfolgskriterium sein, wie die gigantischen Umweltzerstörungen in diesen Ländern verdeutlichen.
- [22](#) Vgl. Ruelle (Chaos), 158.
- [23](#) Vgl. Wolkenstein (Information), 209.
- [24](#) Vgl. Lewin (Komplexitätstheorie), 172.

[25](#) Vgl. Bühl (Krisentheorien), 84.

[26](#) Vgl. Maus (Complexity), 10.

[27](#) Vgl. Luhmann (Systeme), 50.

[28](#) Vgl. Jantsch (Selbstorganisation), 209.

Dies ist ein Hinweis dafür, daß die Evolution eigentlich nicht lernt. Die meisten Gene schützen sich vor regelmäßigen Mutationen, da diese normalerweise für das Überleben schädlich sind.

[29](#) Vgl. Stacey (Complexity), 36.

[30](#) Vgl. Dörner (Logik), 61.

[31](#) Vgl. Dörner (Logik), 66.

[32](#) Der Umgang mit komplexen Systemen erfordert eine Unterscheidung zwischen notwendigen und hinreichenden Bedingungen von Phasenübergängen in neue Zustände. Bei komplexen Systemen geht es primär darum, die notwendigen Voraussetzungen für Weiterentwicklungen zu schaffen und bei den hinreichenden Bedingungen möglichst viele Freiräume zu lassen. Wer in der Praxis überwiegend hinreichende Regeln definiert, braucht sich nicht zu wundern, wenn diese für die Lenkung nicht greifen, da hierbei die Rückkopplungswirkungen völlig außer acht gelassen werden. Dies zeigt sich insbesondere in großen Organisationen, die den einzelnen Menschen keine Spielräume zur Selbstorganisation ermöglichen und vor allem auf hinreichende Regeln setzen, die die Starrheit des Systems erhöhen und die Bürokratisierung fördern. Komplexität und Ordnung sind deshalb notwendige, dürfen jedoch keine hinreichenden Bedingungen für Organisationen sein.

[33](#) Vgl. Ulrich (Handeln), 253.

[34](#) Vgl. Ulrich (Handeln), 72.

[35](#) Vgl. Spencer-Brown (Laws), 105f.

[36](#) Vgl. Spencer-Brown (Laws), 106.

[37](#) Vgl. v. Foerster (Einsicht), 6.

[38](#) Vgl. Malik (Systeme), 342.

[39](#) Vgl. von Hayek (Regeln), 61.

[40](#) Vgl. Willke (Systemtheorie), 104.

[41](#) Vgl. Atmanspacher (Emergenz), 2.

[42](#) Vgl. Lewin (Komplexitätstheorie), 29.

[43](#) Vgl. Atmanspacher (Emergenz), 4.

[44](#) Atmanspacher (Emergenz), 4f.

[45](#) Vgl. Atmanspacher (Emergenz), 6.

[46](#) Vgl. Luhmann (Systeme), 170.

[47](#) Vgl. Cariani (Emergence), 776.

[48](#) Vgl. Cariani (Emergence), 790.

[49](#) Vgl. Cariani (Emergence), 777.

[50](#) Die Insektengruppe der Ameisen entwickelte sich vor etwa 100 Millionen Jahren und breitete sich schnell über die ganze Erde aus, wobei es heute etwa 9.500 bekannte Arten gibt. Während der Mensch erst seit etwa 100.000 Generationen auf der Erde existiert, gibt es Ameisen schon seit über 10 Millionen Generationen. Königinnen der Ameisen leben ungefähr genauso lange wie Hunde und Katzen bis zu 20 Jahre). Nach Holldöbler (Ameisen).

[51](#) Vgl. Wesson (Ordnung), 160.

[52](#) Vgl. Hölldobler (Ameisen), 1f.

[53](#) Vgl. Wesson (Ordnung), 162.

[54](#) Vgl. Levy (Leben), 366.

[55](#) Vgl. Gell-Mann (Quark), 134.

[56](#) Vgl. Hölldobler (Ameisen), 147.

[57](#) Vgl. Collins (AntFarm), 580.

[58](#) Für die Simulation der natürlichen Evolution wurde der Genetische Algorithmus verwendet, der auf vier Prinzipien basiert: Fitnesswerten, Selektion, Mutation und Rekombination. Vgl. Collins (AntFarm), 583.

[59](#) Die Repräsentation eines künstlichen Organismus erfordert folgende Teile: einen Genotyp (codiert die Verhaltensfunktion), eine Entwicklungsfunktion (decodiert den Genotyp für die Verhaltensfunktion), eine Erhaltungsfunktion (Programm, das durch Inputs Outputs erzeugt) und einen Interpreter (steuert die Ausführung der Verhaltensfunktion). Vgl. Collins (AntFarm), 592.

[60](#) Vgl. Collins (AntFarm), 599.

[61](#) Weber (Organisation), 52.

[62](#) Vgl. Penrose (Computerdenken), 137.

[63](#) Vgl. Küppers (Lebendigen), 26.

[64](#) Vgl. Küppers (Lebendigen), 22.

[65](#) Vgl. Casti (Complexity), 146.

[66](#) Nach Grassberger ist sowohl eine völlig zufällige als auch eine völlig geordnete Struktur minimal komplex. Ein Maximum an Komplexität wird durch Mischung (Chaos) erreicht.

[67](#) Vgl. Atmanspacher (Bridge), 174.

[68](#) Vgl. Atmanspacher (Bridge), 179.

[69](#) Vgl. Kurths (Complexity), 232.

[70](#) Vgl. Wackerbauer (Complexity), 134.

[71](#) Vgl. Ulrich (Handeln), 59ff.

[72](#) Vgl. Brunner (Firms), 41.

[73](#) Vgl. Ulrich (Handeln), 63.

[74](#) Vgl. Ashby (Kybernetik), 298.

[75](#) Vgl. Beer (System), 26.

[76](#) Vgl. Beer (System), 89.

[77](#) Vgl. Ulrich (Unternehmenspolitik), 199.

[78](#) Vgl. Kurths (Complexity), 224.

[79](#) Vgl. Ruelle (Zufall), 4.

[80](#) Vgl. Binswanger (Information), 75.

[81](#) Vgl. Binswanger (Information), 75.

[82](#) Vgl. Küppers (Lebendigen), 33.

[83](#) Vgl. von Hayek (Phänomene), 18.

[84](#) Vgl. Lewin (Komplexitätstheorie), 53.

[85](#) Vgl. von Hayek (Phänomene), 14.