



# Herausforderung Komplexitäts- management

Unvorhersagbarkeit und der Mangel an Beherrschbarkeit sind Zeichen von Komplexität. Was sind ihre Ursachen und wie können Menschen, Institutionen und Unternehmen damit umgehen? Welche Lösungsvorschläge können im Spannungsfeld zwischen Komplexitätsreduktion und Komplexitätssteigerung erarbeitet werden? Der Artikel gibt Aufschluss.



*Die globale Finanzkrise führte dazu, dass viele Unternehmer „auf Sicht fahren“. Mit den vorhandenen Daten konnte nur noch schwer auf die wirtschaftliche Lage in einigen Monaten, geschweige denn in einem Jahr geschlossen werden. Unerwartete Probleme wie Schuldenkrisen oder instabile politische Verhältnisse oder Naturkatastrophen lassen manche Prognose schnell wieder hinfällig werden.*

Täglich sind wir mit komplexen Situationen konfrontiert, die Entscheidungen erfordern. Entscheidungen technischer oder wirtschaftlicher Natur, die mit hohem Risiko und entsprechenden Folgekosten belegt sein können. Was können wir tun, um komplexe Situationen beherrschbarer zu machen und letztendlich bessere Entscheidungen zu treffen? Einsichten der Komplexitätsforschung verhelfen zu einem besseren Verständnis.

Die Komplexitätsforschung ist eine hochgradig inter- und transdisziplinäre Wissenschaft. Sie ist nicht nur auf physikalische, chemische und biologische Systeme anwendbar, sondern auch auf soziale, ökonomische und politische Strukturen und Prozesse und hat inzwischen auch in den Geisteswissenschaften Bedeutung erlangt, z. B. in der Kognitionsforschung.

## **„Drei ist eine große Zahl“ - Komplexe Situationen bewältigen**

Eines der wichtigsten Ergebnisse der Komplexitätsforschung ist die Einsicht, dass es nicht nur praktische, sondern auch grundsätzliche Grenzen der Vorhersagbarkeit und der Vorherberechenbarkeit gibt. Die Herausforderung besteht gerade darin, mit solcherart gekennzeichneten Situationen und Systemen umzugehen.

Ein geflügeltes Wort der Mathematik lautet: „Drei ist eine große Zahl“. Ein Beispiel hierfür ist das „Dreikörperproblem“: Bestünde das ganze Weltall lediglich aus drei punktförmigen Massen, deren Bewegung vollständig durch das Gravitationsgesetz bestimmt ist, so wäre man selbst mit den leistungsfähigsten Computern nicht in der

Lage, ihre Bahnen exakt vorauszuberechnen. Im Gegenteil, der Rechenfehler würde exponentiell anwachsen, je weiter man in die Zukunft rechnet, und letztendlich wäre unbekannt, wo sich die Körper befinden. Für die Bahnkurven stehen keine geschlossenen Formeln zur Verfügung!

Nach der Theorie des deterministischen Chaos, einem Teilgebiet der mathematischen Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme, besteht eine Hauptursache in der sogenannten sensiblen Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen. Sprichwörtlich hierfür ist der „Schmetterlingseffekt“ geworden: „Der Flügelschlag eines Schmetterlings in Brasilien kann einen

## „Drei ist eine große Zahl“



Tornado in Texas auslösen.“ Relativ einfach strukturierte, völlig gesetzmäßig ablaufende Prozesse können aufgrund nicht-linearer Wechselwirkungen ein Verhalten zeigen, das vom Zufall nicht unterschieden werden kann und sich deshalb einer völligen Beherrschbarkeit grundsätzlich entzieht (s. an der Heiden 1996).

Diese Tatsache hat erhebliche Konsequenzen. Es ist nicht möglich, eine Sonde so zum Mond oder zum Mars zu senden, dass man sie beim Start präzise ausrichtet und danach sich selbst überlässt. Stattdessen müssen von Zeit zu Zeit ihre Position und Richtung gemessen und, den Messungen entsprechend, ihre Bahn durch an Bord befindliche Raketen korrigiert werden. Nur durch eine derartige Feedbackkontrolle kann das Ziel erreicht werden.

Die Probleme fangen aber nicht erst im Kosmos an, sondern bereits auf der Erde. Unser aus 100 Milliarden Nervenzellen bestehendes Gehirn ist nicht in der Lage, nach einem Blick auf eine hohe Treppe die Schritte über ihre Stufen so vorherzube-rechnen, dass man sie mit geschlossenen Augen erklimmen könnte. Der Ausweg ist auch hier Feedback: Wir schauen immer wieder auf die Stufen und richten danach unsere Schritte aus.

Soll in komplexen Situationen ein Ziel erreicht werden, so sollte auf dem Weg dorthin der Ist-Zustand stets beobachtet werden, um zielgerichtete Maßnahmen und Planungen immer wieder korrigieren und neu einstellen zu können. Wir haben damit ein erstes Prinzip des Umgangs mit Komplexität.

Eine ganz andere Art des Umgangs mit Komplexität zeigt das Beispiel einer in Australien lebenden Fledermausart. Ihre Mitglieder verbringen ihr ganzes Leben nur in einem einzigen Busch oder Baum. Sie kennen alle Zweige desselben auswendig und

können bei völliger Dunkelheit in ihm herumfliegen ohne anzustoßen, und sich so ausschließlich auf die Ortung (mit Hilfe von Echolot) von sich bewegenden Insekten konzentrieren. Diese Fledermaus folgt einem Prinzip für die Bewältigung von Komplexität, das man mit dem Goethezitat „In der Beschränkung zeigt sich der Meister“ unterstreichen könnte. Wer sich mit zu vielen Dingen beschäftigt, wird keines richtig beherrschen. Die professionelle, mehr noch die exzellente Beherrschung eines Gegenstandsbereiches ist oft eine unabdingbare Voraussetzung für die Erzeugung von Qualität. In einer Wettbewerbssituation kann Qualität den entscheidenden Vorsprung bedeuten. Die Kreation von Qualität erfordert häufig eine besondere Vertrautheit mit einem bestimmten Bereich oder Thema, die eben nur durch Beschränkung und Konzentration darauf erlangbar ist.

## Komplexitätsreduktion

Die beiden soeben genannten Prinzipien (Feedback und Beschränkung) reichen in vielen Situationen keineswegs aus, um auf Gefahren, die auf Komplexität beruhen, hinreichend gut zu reagieren. Ein weiteres Prinzip besteht in der Komplexitätsreduktion: Die Fortbewegung auf einer Straße ist weitaus einfacher als diejenige in einem Urwald. Die Ausrottung wilder Tiere oder gefährlicher Mikroorganismen erübrigt die ständige weitere Auseinandersetzung mit ihnen. In einer Wettbewerbssituation besteht die stärkste Komplexitätsreduktion in der Ausschaltung der anderen Wettbewerber, beispielsweise durch die Methode des „Preiskampfes“ oder durch die Schaffung eines Alleinstellungsmerkmals.

Komplexitätsreduktion ist auch eine der bedeutendsten Methoden der Naturwissenschaften: Die großen Erfolge der Naturwissenschaften beruhen zu einem wesentlichen Teil darauf, dass sie sich zunächst

1 Hinweis: eine ausführliche Version des Artikels können Sie auf dem Performance-Portal ([www.ey.com/performance](http://www.ey.com/performance)) herunterladen.

auf die einfachsten Dinge konzentrierten und speziell im Experiment und im vom Rest der komplexen Welt abgeschirmten Labor möglichst einfache Situationen herstellen. Die Randbedingungen werden konstant gehalten und oft nur eine einzige Kontrollgröße variiert. Auch in der Technik und bei vielen Errungenschaften der Zivilisation sind Einfachheit und Vermeidung von Komplexität ein Hauptprinzip. Eigentlich entgegen dem Wesen der Technik sind viele moderne technische Geräte für den Menschen zu komplex geworden, sodass er sie nicht mehr ausreichend beherrschen kann. Dies kann in Notsituationen fatal sein. Daher: Versuche, Komplexität dadurch zu bewältigen, dass du die Situation vereinfachst. Das Design von technischen Geräten sollte daher möglichst eine „intuitive Bedienbarkeit“ ermöglichen. Der Erfolg vieler Unternehmen beruht zu einem großen Teil genau auf diesem Prinzip.<sup>1</sup>

# Spielend Komplexität beherrschen lernen

Oft ist es gar nicht wünschenswert, die Komplexität zu reduzieren. Ein schönes Beispiel hierfür sind Spiele. Viele Spiele beruhen auf einem Mangel an Vorherberechenbarkeit. Hierzu gehören insbesondere Ballspiele, etwa Billard, Fußball und Tennis. Ein winziger Fehler beim Stoß an eine Kugel verstärkt sich auf dem Weg der Kugel mindestens proportional zu dessen Länge, nachdem er sich beim Stoß selbst bereits verdoppelt hat und bei jedem weiteren Zusammenprall mit einer anderen Kugel wiederum verdoppelt (vgl. hierzu Grotelüsch 2010).

Besonders Kinder zeichnen sich durch einen anhaltenden Spieltrieb aus. Durch diese Einrichtung der Natur kommt es zu einem wahrhaft spielerischen Umgang mit Komplexität. In dem mit dem Spielen verbundenen Lernvorgang passt sich das Gehirn der Komplexität eines Systems oder einer Situation an. Ein guter Schachspieler kann aber ebenso wenig wie ein guter Pianist, ein guter Fußballspieler, ein hervorragender Wissenschaftler und auch ein erfolgreicher Unternehmer einigermaßen genau sagen, wie er Leistung und Qualität erbringt. Der Lernvorgang beruht auf sich wandelnden Verknüpfungen der Nervenzellen, die sich nicht beobachten und beschreiben lassen. Bei dieser Art von Erfahrung spricht man von implizitem Wissen. In nachhaltig erfolgreichen Unternehmen existiert häufig implizites Wissen und Können, repräsentiert in Mitarbeitern oder in gewissen Strukturen des Unternehmens, deren man sich eventuell nicht einmal bewusst ist. Bei Einsparungen oder unvermeidlichen Entlassungen ist daher sorgfältig zu prüfen, dass implizites Wissen erhalten bleibt. Das Spielen führt zur Verinnerlichung von Komplexität und wird so als freie Bewegung des menschlichen Geistes zu einer Quelle von Kreativität.



## Genie:

10 % Talent, 90 % Schweiß

Sogar Genialität beruht zu einem überwiegenden Teil auf Erfahrung und Gewöhnung und nicht primär auf angeborener Begabung. Die neuere Forschung hierzu hat gezeigt, dass zur Genialität zunächst einmal Üben, Üben und nochmals Üben gehört, gleichgültig ob es sich um Mozart, Darwin oder Einstein handelt. Genies investierten jahrelang zahllose Stunden in zielgerichtetes Trainieren. Man braucht 10.000 Stunden Training – das macht drei Stunden am Tag über zehn Jahre hinweg –, um als Komponist, Basketballspieler, Schriftsteller, Konzertpianist oder Schachspieler auf internationalem Parkett zu glänzen. Der Mensch ist damit zu einem guten Teil der Architekt seines eigenen Gehirns, insbesondere des Kortex. Das durch Training erworbene implizite Wissen erlaubt schließlich Entscheidungen „aus dem Bauch heraus“.

## Dynamische Systeme und Komplexität

Die Komplexitätstheorie folgt der Theorie dynamischer System, indem sie die Wirklichkeit als ein Wirkungsgefüge betrachtet. Zentral sind die Begriffe Interaktion (Wechselwirkung), Vernetzung und Selbstorganisation. Ein System ist eine Ganzheit interagierender Elemente. Die Elemente werden bisweilen „Agenten“ genannt und können ganz unterschiedlicher Natur sein: Atome, Moleküle, Zellen, Lebewesen oder Populationen oder Menschen in einem Markt. Ein System ist erst dann als Ganzheit beschrieben, wenn klar ist, welche Elemente zu ihm gehören (und damit zwangsläufig, welche nicht zu ihm, sondern allenfalls zu seiner Umgebung gehören).

### *Kontrollparameter, Phasenübergänge, Bifurkationen*

Es hat sich gezeigt, dass sich ein System mit nichtlinearen Wechselwirkungen zwischen seinen Elementen in sehr unterschiedlichen Zuständen befinden und sehr unterschiedliche Verhaltensmuster erzeugen kann. Wichtig ist, dass es einzelne Größen, sogenannte Kontrollparameter („Stellgrößen“) gibt, deren Verstellung den Übergang von einem Verhaltensmuster zu einem völlig anderen mit sich bringen

gen kann. Zum Verständnis betrachten wir ein möglichst einfaches System: Wenn Sie einen Wasserhahn ein wenig aufdrehen, so fließt ein gleichmäßiger Wasserstrahl, der sich mit wenigen Worten und Messdaten beschreiben lässt („laminare Strömung“). Drehen Sie ihn aber sehr stark auf, so braust das Wasser heraus und eine einigermaßen genaue Beschreibung ist ausgeschlossen („turbulente Strömung“). Interessant ist hier, dass zwei qualitativ völlig verschiedene Verhaltensmuster unter nahezu identischen Bedingungen auftreten. Nur der Kontrollparameter „Öffnungsgrad des Wasserhahns“ ist quantitativ verschieden eingestellt. In

### *Nichtlineare Wechselwirkungen*

Die zwischen den Elementen oder Agenten bestehenden Wechselwirkungen sind häufig nichtlinearer Natur. Nichtlinear heißt, dass die Wirkung nicht strikt proportional zur Stärke der Ursache ist. Hierzu gibt es bereits sehr einfache Beispiele: Trifft etwa ein Ball mit einer gewissen Kraft auf eine Glasscheibe, so gibt es einen kritischen Wert der Kraft, unterhalb dessen die Scheibe erhalten bleibt und oberhalb dessen sie zerspringt. Im Bereich der menschlichen Kommunikation kann ein einziges Wort mehr bewirken als tausend Worte. Ein Kaufpreis kann eine nichtlineare Wirkung auf einen Käufer ausüben: Etwa wird ein Parfum wenig gekauft, sowohl wenn der Preis zu niedrig als auch wenn er zu hoch angesetzt ist.



*Umkipppunkte erfordern eine besondere Aufmerksamkeit. Durch ihre Beobachtung können kritische Situationen oder gar eine Krise verhindert werden.*

Abhängigkeit vom Wert dieses Parameters treten sogar noch weitere, von der laminaren und turbulenten Strömung qualitativ verschiedene Verhaltensweisen auf: Ist der Wert nämlich sehr klein, so tropft der Wasserhahn. Dabei kann er in unterschiedlichen Rhythmen tropfen, je nach Einstellung des Öffnungsgrades.

Der Übergang von einer Verhaltensweise oder Ordnungsstruktur zu einer qualitativ anderen wird in der Physik als Phasenübergang bezeichnet. Die Mathematiker sprechen von einer Verzweigung oder Bifurkation. Der Übergang kann durch Änderung des Werts eines Kontrollparameters bewirkt werden. In der Natur sehr wichtige Kontrollparameter sind Temperatur, Niederschlagsmenge und Sauerstoffgehalt. Die Struktur ganzer Ökosysteme (komplexe Systeme par excellence) hängen von deren Werten ab. Dabei gibt es kritische Werte („Bifurkationspunkte“) dieser Parameter, bei denen der Übergang von einer Ordnungsstruktur in eine qualitativ andere eventuell nahezu schlagartig stattfindet. Dieser schlagartige Wechsel wird von den Systemtheoretikern als Katastrophe bezeichnet, allerdings in einem wertneutralen Sinn. Vertrautestes Beispiel ist Wasser mit dem Kontrollparameter Temperatur. Katastrophen im systemtheoretischen Sinn treten bei 0° C und 100° C (unter Normaldruck) ein, wo Wasser zwischen den Zuständen flüssig, fest und gasförmig wechselt. Ob bei Krokodilen, Eidechsen und Schildkröten aus einem Ei ein Männchen oder Weibchen ausschlüpft, hängt nicht von den Genen ab, sondern von der Ausbrüttemperatur (eine Theorie für das Aussterben der Saurier beruht hierauf). Der Alkoholgehalt im Blut eines Menschen ist ein Parameter, über den sich sehr unterschiedliche Verhaltensmuster einstellen lassen. In Volkswirtschaften kann die Menge des umlaufenden Geldes als Kontrollparameter zu sehr unterschiedlichen Szenarien führen.

Überschreitet ein Kontrollparameter einen kritischen Wert, so verliert das bisherige Verhalten des Systems (sein Ordnungszustand) seine Stabilität. In der Nähe des Bifurkationspunktes kommt es aufgrund dieser Instabilität zu kritischen Fluktuationen (Näheres s. Haken 2004). Solche Umkipppunkte erfordern eine besondere Aufmerksamkeit. Durch ihre Beobachtung können kritische Situationen oder gar eine Krise verhindert werden. Geht eine Entwicklung sehr schnell in eine ungewünschte Richtung, so ist eine frühzeitige Reaktion notwendig. Ein praktiziertes Beispiel aus der Volkswirtschaft ist das Drehen an der Zinsschraube durch Zentralbanken, um Inflationen und Deflationen zu verhindern, die bislang funktionierende Volkswirtschaften in relativ kurzer Zeit in die Krise führen können. Auch das Modeverhalten von Konsumenten schwankt stark. Unternehmen sollten solche Fluktuationen sorgfältig beobachten, um aus ihnen eventuell frühzeitig Trends abzuleiten.

### *Selbstorganisation: Top down - und bottom up - Kausalität.*

Die Art der Interaktionen zwischen den Elementen („Mikroebene“) bestimmen wesentlich die Eigenschaften des Gesamtsystems („Makroebene“). Das Gesamtsystem hat andere Eigenschaften als seine Elemente. Dies drückt der bekannte Satz aus: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Die Eigenschaften der Makroebene resultieren aus den Eigenschaften und Interaktionen der Elemente der Mikroebene. Dies wird als Bottom-up-Kausalität bezeichnet. Eine besondere und wichtige Klasse bilden aber solche Systeme, bei denen die Existenz und die Eigenschaften der Elemente umgekehrt auch vom Systemganzen abhängen. In diesem Fall

spricht man von Top-down-Kausalität. Hervorragende Beispiele hierfür sind Organismen: Die Elemente eines Organismus, etwa seine Organe oder seine Zellen, könnten nicht ohne den Gesamtorganismus existieren. Es gibt hier einen Funktionszusammenhang zwischen dem Ganzen und seinen Teilen. Bottom-up- und Top-down-Kausalität schließen sich zusammen zu einer zirkulären Kausalität, die wiederum zur Komplexität des Gesamtsystems beiträgt. Erst aus der Integration der Abhängigkeit des Ganzen von den Teilen und der Teile vom Ganzen generieren sich die Eigenschaften und das Verhalten eines komplexen Systems. Dieses Phänomen wird als Selbstorganisation bezeichnet und man spricht von autopoietischen (sich selbst herstellenden) Systemen. Betrachten wir als Beispiel einen Ameisenstaat. Es gibt niemanden, der dieses außerordentlich komplexe Gebilde entworfen oder konstruiert hätte. Es organisiert sich selbst. Seine makroskopischen Eigenschaften, etwa Gestalt und Größe des Ameisenhaufens, die Anzahl seiner Ameisen, entstehen durch Wechselwirkung aller in ihm enthaltenen Bestandteile. Diese haben keine Vorstellung von dem Ganzen, sondern operieren ausschließlich lokal, etwa durch physikalische, chemische oder physiologische Interaktionen. Die Funktionsganzheit „Ameisenstaat“ ist aber andererseits Voraussetzung dafür, dass seine Teile, nämlich die Ameisen überhaupt existieren können. Wie bei jedem realen System sind auch bei sich selbst organisierenden Systemen außerdem noch der Einfluss von Anfangs- und Randbedingungen. Der Rand besteht aus denjenigen Stellen eines Systems, an denen Interaktionen mit Elementen, die nicht zum System gehören, stattfinden. Diese Bedingungen können ebenfalls wesentlich die mikroskopischen und die makroskopischen Eigenschaften eines Systems mitbestimmen. Ein einfaches Beispiel ist ein See, von dessen äußeren Bedingungen es abhängt, ob sein Wasser



flüssig oder gefroren ist oder womöglich verdampft. Ein Unternehmer ist gut beraten, wenn er sich allein schon die Fundamentalstruktur komplexer Systeme vor Augen hält - wobei er ganz unterschiedliche Systeme betrachten kann: sowohl sein eigenes Unternehmen als auch andere Unternehmen, die Volkswirtschaft oder Trends in der Gesellschaft. Wie zu jedem System kann er sich insbesondere zu seinem eigenen Unternehmen als System fragen: Aus welchen Elementen besteht es? Welche Wechselwirkungen gibt es zwischen ihnen? Wie wirken Eigenschaften des Gesamtunternehmens auf die Elemente zurück? Welche Außenbeziehungen gibt es? Was sollte somit zum Kerngeschäft des Unternehmens gehören und was sollte z. B. outgesourced werden?

# Fazit

*Begriffe und Erkenntnisse der Theorie dynamischer Systeme sind universell. Sie können sowohl auf die Natur als auch auf die Gesellschaft und die Wirtschaft angewendet werden. Ihre Beachtung und möglichst umfassende Anwendung können außerordentlich bedeutsam sein, sind aber bei Weitem noch nicht realisiert.*

## Autor

Prof. Dr. Uwe an der Heiden  
Universität Witten/Herdecke  
Lehrstuhl für Mathematik und Theorie komplexer Systeme