WAGNER Reinhard

Vermittlung systemwissenschaftlicher Grundkonzepte

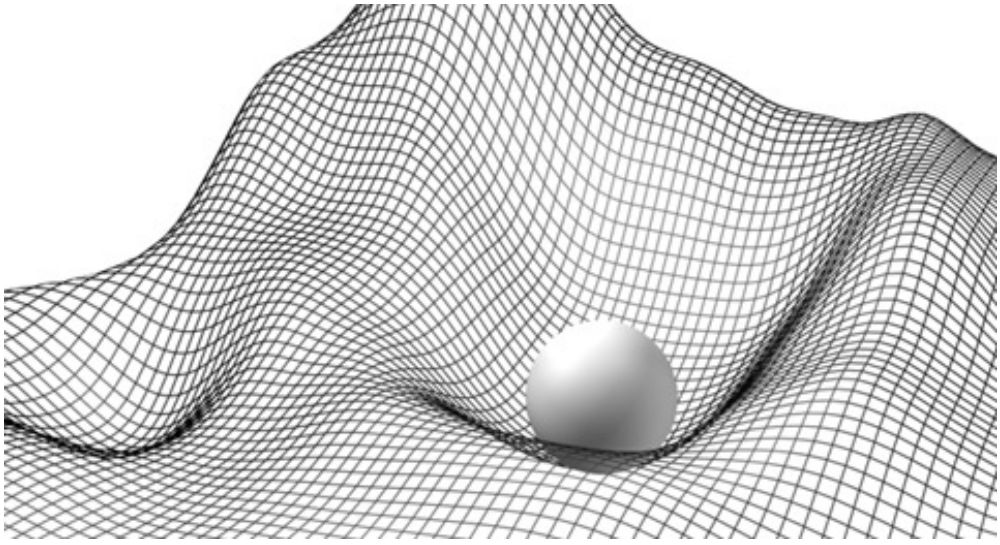
Diplomarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Magisters rer. nat.

An der Naturwissenschaftlichen Fakultät der

Karl – Franzens – Universität Graz



Berlin 2002

Email: reinhard.wagner@gmx.net

Inhaltsübersicht

Titelblatt
Vorwort
Inhaltsübersicht
Inhaltsverzeichnis

I. BASISABSCHNITT

1. Einführung und Fragestellung

II. KERNABSCHNITT

2. Was ist ein System?

3. Was ist systemisches Denken?

4. Darstellungsformen / Systemmodelle

5. Rückkoppelungen

6. Wachstum

7. Stabilität und Dynamik

8. Chaos

9. Zeitverzögerungen

10. Systemarchetypen nach Senge

11. Systemisches Handeln / Steuerung von Systemen

III. SCHLUSSABSCHNITT

12. Zusammenfassung

Literaturverzeichnis
Anhang

Inhaltsverzeichnis

Titelblatt I
Vorwort n.v.
Inhaltsübersicht III
Inhaltsverzeichnis IV

I. BASISABSCHNITT

1. Einführung und Fragestellung 2
1.1. Einleitung und Problemstellung 2
1.2. Zielsetzung der Arbeit 5
1.3. Formaler Aufbau 6

II. KERNABSCHNITT

2. Was ist ein System? 9
2.1. Begriffsdefinition 9
2.1.1. System oder Nicht-System 10
2.2. Unterschiedliche Systemtypen 12
2.2.1. Technische Systeme 12
2.2.2. Biologische Systeme 12
2.2.3. Soziale Systeme 13
2.2.4. Materielle Systeme 13
2.2.5. Formale Systeme 13
2.3. Systemkomponenten 14
2.3.1. Beziehungen zwischen den Systemelementen 14
2.3.2. Systemgrenzen - geschlossene und offene Systeme 15
2.3.3. Das System als Netz 17
2.3.4. Funktionen eines Systems 17

3. Was ist systemisches Denken? 19
3.1. Die Entwicklung des systemischen Denkens 19
3.2. Die Bedeutung von Systemdenken 21
3.3. Der Nutzen des Systemdenkens 22
3.4. Systemisches Denken in der Literatur 24
3.4.1. Senge 24
3.4.2. Dörner 26
3.4.3. Gomez / Probst 26

3.4.4. Ossimitz 26

4. Darstellungsformen / Systemmodelle 29
4.1. Qualitative Darstellung 30
4.1.1. Verbale Beschreibung 30
4.1.2. Wirkungsdiagramme 30
4.2. Quantitative Darstellung 32
4.2.1. Flussdiagramme 33
4.2.2. Gleichungssysteme, Tabellen und Grafiken 33

5. Rückkoppelungen 34
5.1. Allgemeines 34
5.2. Positive Rückkoppelungen 35
5.2.1. Self – fulfilling prophecies 38
5.3. Negative Rückkoppelungen 39
5.4. Indifferente Rückkoppelungen 44
5.5. Zeitverzögerungen bei Rückkoppelungen 44

6. Wachstum 46
6.1. Grundsätzliche Wachstumsformen 46
6.2. Qualitatives Wachstum 49
6.3. Sonderfälle 49
6.3.1. Exponentielles Wachstum 49
6.3.2. Logistisches Wachstum 52
6.3.3. „Overshoot and collapse“ 54
6.4. Ein mathematisches Wachstumsmodell 56

7. Stabilität und Dynamik 61
7.1. Unterschiedliche Arten von Stabilität 61
7.2. Störungen und Belastungen 62
7.3. Das Verhalten in der Zeit – die Dynamik von Systemen 65
7.4. Wandel von Systemen nach Watzlawick 67
7.5. Stabilität vs. Dynamik 68

8. Chaos 69
8.1. Allgemeines 69
8.2. Deterministisches Chaos 71
8.3. Seltsame Attraktoren und Selbstähnlichkeit 72

8.4. Bifurkation 73
8.5. Chaotische Zustände vs. chaotische Dynamik 79

9. Zeitverzögerungen 81
9.1. Der „Schweinezyklus“ 81
9.2. Die Rolle von Zeitverzögerungen in Systemen 83
9.2.1. Schwingungen 84
9.2.2. Der Mensch und Verzögerungen 84

10. Systemarchetypen nach Senge 88
10.1. Gleichgewichtsprozess mit Verzögerung 88
10.2. Eskalation 89
10.3. Grenzen des Wachstums 90
10.4. Die Problemverschiebung 91
10.4.1. Die Verschiebung des Problems auf den Intervenierenden 92
10.5. Erodierende Ziele 93
10.6. Erfolg den Erfolgreichen 94
10.7. Die Tragödie der Gemeingüter 95
10.8. Fehlkorrekturen 96

11. Systemisches Handeln / Steuerung von Systemen 98
11.1. Erkennen relevanter Steuergrößen 98
11.1.1. Die Bedeutung von aktiv, passiv, kritisch und träge für eine Intervention 101
11.1.2. Stärken und Schwächen 103
11.2. Denkfehler, Regeln und Gesetze 104
11.2.1. Denkfehler im Umgang mit komplexen Systemen nach Gomez / Probst 104
11.2.2. Komplexes Problemlösen nach Dörner 107
11.2.3. Kybernetische Grundregeln nach Vester 109
11.2.4. Die Gesetze der fünften Disziplin 111

III. SCHLUSSABSCHNITT

12. Zusammenfassung 117

Literaturverzeichnis VII
Anhang XI

I. Basisabschnitt

1. Einführung und Fragestellung

1.1. Einleitung und Problemstellung

Die Welt, in der wir leben, wird von Tag zu Tag immer komplexer. Permanent ergeben sich neue Verknüpfungen und Querverbindungen zwischen den unterschiedlichsten Objekten, Orten und Sachverhalten. Dies betrifft sowohl die Weltwirtschaft als auch die Politik, globale Umweltverschmutzungen oder die Nutzung natürlicher Ressourcen: Schadstoffemissionen an einer Stelle führen zu einer Zerstörung der Ozonschicht an ganz anderer Stelle und das Jahre später. Ein Krieg an einem Ende der Welt führt zu einer Verteuerung vieler Produkte, wie z.B. Treibstoffe am anderen Ende, ein Unternehmen geht in Konkurs, wodurch das hunderte Kilometer entfernte Konkurrenzunternehmen plötzlich expandieren kann. Die Beispiele lassen sich beliebig erweitern.

Aber welche Möglichkeiten stehen uns zur Verfügung diese immer komplexer werdende Welt zu verstehen? Eine Möglichkeit besteht darin, sie in immer kleinere Teile zu zerlegen, diese zu analysieren und ihren Aufbau zu verstehen. Die Idee dahinter ist jene, die Funktionsweise der einzelnen Teile zu verstehen, danach diese Einzelverständnisse zusammenzufügen und auf diese Art und Weise das Ganze zu verstehen. Dieses reduktionistisch[1] oder kartesianisch[2] genannte Denken ist seit geraumer Zeit weit verbreitet. Es führte zu einer übermäßigen Spezialisierung aller Wissenschaftsrichtungen und letztlich auch zu einem Zusammenbruch der Kommunikation zwischen diesen.

In komplexen Situationen, d.h. in Situationen mit vielen miteinander verbundenen Variablen, einer Intransparenz der Beziehungen zwischen diesen und einer dem System innewohnenden Dynamik, stößt diese Art von Denken an ihre Grenzen, da beim Auseinanderspalten in Teile die Zusammenhänge zwischen den Teilen verloren gehen. So kann man etwa durch ein simples Auseinanderteilen und einem auch noch so genauen Verständnis der Einzelteile niemals die Funktionsweise eines lebenden Wesens verstehen, da beim Auseinanderteilen das Zusammenspiel der einzelnen Körperteile und die übergeordnete Eigenschaft des Lebewesens – das Leben – verloren gehen.

Ein System kann nicht durch ein Verständnis seiner isolierten Komponenten erfasst werden. Vielmehr hängt das Verhalten eines Systems auch nicht davon ab, wie sich

[1] Reduktion: Zurückführung, Verringerung, Herabsetzung

[2] Benannt nach René Descartes, der dieses Methode des analytischen Denkens entwickelte. Komplexe Phänomene werden dabei in einzelne Teile zerlegt, damit man das Verhalten des Ganzen durch die Eigenschaften seiner Teile verstehen kann.

ein Systemteil verhält, sondern wie er mit den anderen Systemteilen interagiert. Darüber hinaus ist es auch notwendig zu verstehen, wie das untersuchte System mit dem stets vorhandenen übergeordneten System zusammenspielt, denn jedes System ist nur ein Subsystem[3] eines anderen. Erst die Zusammenhänge zwischen den Teilen machen also ein Verständnis des Ganzen möglich. Dasselbe ist auch bei allen anderen komplexen Systemen der Fall, da sie alle aus miteinander in Zusammenhang stehenden und voneinander abhängigen Teilen bestehen. Die Welt setzt sich nicht aus isolierten Einzelobjekten zusammen, deren Ursache und Wirkung für sich abläuft, sondern vielmehr aus miteinander vernetzten Systemen. Dies ist uns oftmals nicht bewusst und diese unsere Unkenntnis der bestehenden Verbindungen und Beziehungen wird uns beinahe jeden Tag vor Augen geführt. Perfekt geplante Projekte und Lösungsversuche enden mit einem Fehlschlag, von den besten Experten erstellte Unternehmensstrategien oder Hilfemaßnahmen führen trotz bester Absichten genau zum Gegenteil des gewünschten Ergebnisses, Probleme die wir meinen gelöst zu haben, tauchen ein paar Wochen später in verschärfter Form wieder auf.
Diese reduktionistische Sichtweise ist für die heutigen modernen komplexen Probleme nicht als Mittel zur Lösung geeignet. Um die Quelle von Problemen und vor allem effektive Lösungen in komplexen Systemen zu finden, verlangt es nach einer neuen, nicht linearen Denkweise, dem Systemdenken.

Das reduktionistische Denken sieht die Welt mit einem einfachen Ursache – Wirkungs – Denken (siehe Fig. 1.1.). Einer Ursache folgt genau eine Wirkung. Es besteht keine Verbindung zwischen mehreren Wirkungen.



Fig. 1.1. (nach Hitchins 2000, verändert)

Figur 1.2. zeigt eine modifizierte Form des Ursache – Wirkung Denkens, nämlich eine Wirkungskette. Wirkungen können selbst wieder als Ursache auftreten und andere Wirkungen nach sich ziehen. Auch diese Sichtweise ist weit vertreten. Die Ansicht dahinter besagt, dass wenn nur genügend Information vorhanden wäre, man alle Entwicklungen bis in das letzte Detail im Vorhinein berechnen könnte.

[3] Untergeordnete Systeme werden gemeinhin als „Subsysteme“ bezeichnet, übergeordnete als „Supersysteme“.



Fig. 1.2. (nach Hitchins 2000, verändert)

Figur 1.3. zeigt im Vergleich dazu eine Rückkoppelungsschleife, eine Ursache – Wirkungs – Kette also, welche auch auf sich selbst zurückwirkt. Dies stellt die systemische Sichtweise von Ursache und Wirkung dar. Eine Ursache kann auf sich selbst zurückwirken und sich so gesehen selbst beeinflussen. Die Grenzen zwischen Ursache und Wirkung beginnen sich zu verwischen, auch kann eine Ursache mehrere Wirkungen nach sich ziehen, genauso wie eine Wirkung die Folge vieler Ursachen sein kann. Eine Vorausberechnung zukünftiger Zustände kann nur zeitlich begrenzt erfolgen, da Rückkoppelungsschleifen eine Quelle für chaotisches und damit unvorhersehbares Verhalten darstellen können.

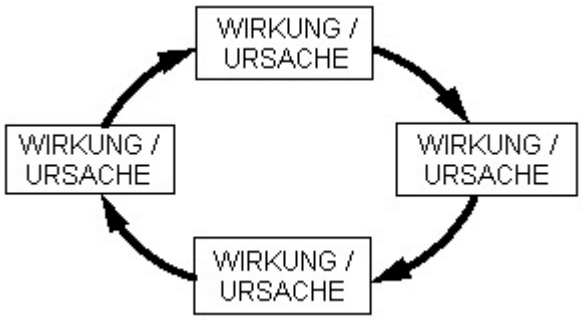


Fig. 1.3. (nach Hitchins 2000, verändert)

Die systemische Perspektive nimmt im Gegensatz zu traditionellen Formen der Analyse, welche alles zunehmend in Details zerlegen und isoliert sehen, immer mehr äußere Einflüsse und Wechselwirkungen mit in Betracht. Dadurch folgen aus der systemischen Sichtweise auch gänzlich andere Schlussfolgerungen im Vergleich zu den anderen Methoden, insbesondere wenn es sich bei den zu untersuchenden Systemen um dynamische[4] komplexe Systeme mit umfassenden internen oder externen Wechselwirkungen handelt.

An dieser Stelle ergibt sich die Frage, was man unter „Systemwissenschaft“[5], aus welcher ja die systemische Sichtweise folgert, versteht. Dazu ein Zitat:

> *„Systems science is that field of scientific inquiry whose objects of study are systems.*

[4] Alle Systeme welche ein zeitabhängiges Verhalten zeigen werden als dynamisch bezeichnet.

[5] Ob man den Überbegriff der systemischen Anschauung als Systemtheorie, Systemwissenschaft oder gar Kybernetik bezeichnet, ist weder theoretisch noch im Sprachgebrauch geklärt. Es werden daher in der Literatur alle drei Begriffe, und in dieser Ausarbeitung die beiden zuerst genannten, nebeneinander verwendet.

> *[…] To be made operational, this definition requires that some broad and generally acceptable characterization of the concept of a system be established."* (Klir 1991, S. 3 und 4).

Systemwissenschaft ist so gesehen ein interdisziplinärer wissenschaftlicher Ansatz, welcher sich mit allen Arten von Systemen auseinandersetzt. Unter System wird dabei ganz allgemein jede Ansammlung von unterschiedlichen Elementen verstanden, welche miteinander in Verbindung stehen, zueinander Verbindungen aufweisen und dadurch ein gemeinsames Ganzes bilden.[6] Diese allgemeine Sichtweise hat natürlich zur Folge, dass es zu der bereits oben angesprochenen Interdisziplinarität kommt. Die Systemwissenschaft versucht zweierlei: Zum Ersten das Verhalten von Systemen in der Zeit zu durchleuchten, ihre Funktionsmechanismen zu erkennen und zu verstehen sowie dadurch allgemein gültige und somit auch auf jede Wissenschaftsrichtung, wie etwa Physik, Biologie, Psychologie oder Sozialwissenschaften, anwendbare Gesetze für systemische Zusammenhänge zu finden. Zum Zweiten versucht sie aber auch für jene Arten von Systemen, in welche der Mensch bewusst oder unbewusst, steuernd oder korrigierend eingreift, Regeln für den Umgang mit dem System und die Gestaltung von Eingriffen zu finden. In einer immer komplexer werdenden Welt nimmt deshalb auch die Stellung der Systemwissenschaften eine immer wichtigere Rolle ein.

Ihren Ursprung findet die Systemwissenschaft (Systemtheorie) in diversen am Ende des 18. Jahrhunderts aufkommenden wissenschaftlichen Sichtweisen, welche erstmals das kartesianische Paradigma in Frage stellten. Aber erst durch die Veröffentlichungen von Ludwig von Bertalanffy, einem der Wegbereiter der Systemwissenschaften, in der Mitte des 20. Jahrhunderts, wurde das Systemdenken zu einer wissenschaftlichen Bewegung. Heute existieren systemwissenschaftliche Ansätze quer durch (beinahe) alle Wissenschafts-richtungen.

1.2. Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Ausarbeitung ist es, systemwissenschaftliche Grundkonzepte und Grundmuster zu vermitteln sowie den Forschungsstand in diesem Bereich zu skizzieren.

[6] Für eine genaue Definition von Systemen und eine ausführliche Einführung in den Begriff siehe Kapitel 2. Was ist ein System?.

Systeme finden sich in unserer Umwelt beinahe ohne Ende. Angefangen beim Menschen, der selbst ein System darstellt, über den alltäglichen Umgang mit Mitmenschen als soziales System, der Stadt, in welcher man lebt als materielles System, der Wirtschaft als ökonomischem System, bis hin zu unserer natürlichen Umwelt als riesiges Supersystem. All diesen Systemen ist gemeinsam, dass sie gewisse immer wieder auftretende und aufeinander übertragbare Strukturen und Funktionsarten aufweisen. Kenntnis und Verständnis dieser Mechanismen kann entscheidend zu einer Verbesserung des Umgangs mit Systemen und der Gestaltung von steuernden oder korrigierenden Eingriffen beitragen.
Auf diese Art und Weise sollen systemwissenschaftliche Grundprinzipien wie Rückkoppelungen, Dynamik, Stabilität, Chaos, Wachstum oder Zeitverzögerungen vermittelt werden. Es soll dadurch eine Sensibilisierung für den Umgang mit komplexen Systemen erreicht werden und darüber hinaus zu einem besseren Verständnis für systemische Abläufe und Mechanismen führen.
In der Literatur gibt es nur äußerst wenige Autoren, welche sich unabhängig von ihrer Wissenschaftsrichtung mit Grundmustern der Systemwissenschaften befassen. Beinahe jeder Autor beleuchtet sie nur aus dem Blickwinkel seiner wissenschaftlichen Richtung, ob es sich dabei nun um die Biologie, die Kognitionspsychologie oder das Management handelt. Eine Ausarbeitung in der vorliegenden Form ist dadurch bis auf wenige Ausnahmen kaum zu finden.
Darüber hinaus soll eine vor allem allgemein verständliche Vermittlung der Grundkonzepte der Systemwissenschaft erzielt werden.

1.3. Formaler Aufbau

Die Ausarbeitung gliedert sich in drei Teile: den Basisabschnitt mit einer Einführung in die Thematik und der Fragestellung, den Kernabschnitt als Hauptteil der Ausarbeitung und den Schlussabschnitt mit einer zusammenfassenden Endbetrachtung und einem Ausblick.
Eine Thematik wie jene der Grundkonzepte des Systemdenkens mit ihren überall auftretenden Verknüpfungen, Verbindungen und Zusammenhängen in einem linearen Text, d.h. in einem zeitlichem Hintereinander darzustellen, ist bisweilen schwierig. Genau genommen müsste man ständig auf andere Tatsachen und somit auf andere Kapitel verweisen. Ich habe versucht, dies in einem erträglichen Rahmen zu halten und im Interesse der Lesbarkeit insbesondere Vorwärtsverweise, d.h.

Verweise auf spätere Kapitel, zu vermeiden. An manchen wenigen Stellen war dies jedoch dennoch nicht vermeidbar.

Um der Vernetztheit des Themas gerecht zu werden, habe ich versucht den Aufbau so zu gestalten, dass man ab einem gewissen Grundstock bei jedem beliebigem Kapitel weiterlesen kann. Dieses Basiswissen ist nach dem Kapitel 4. „Darstellungsformen“ erreicht.

Der Kernabschnitt (Hauptteil) selbst lässt sich ebenso in zwei Teile gliedern. Der erste Teil (Kapitel 2 bis 9) befasst sich mit allgemeinen und theoretischen Grundkonzepten, der zweite Teil (Kapitel 10 und 11) befasst sich mit dem Umgang des Menschen mit Systemen.

II. Kernabschnitt

2. Was ist ein System?

2.1. Begriffsdefinition

Griech.: systema = „Zusammenstellung“ bzw. „das Zusammengestellte“

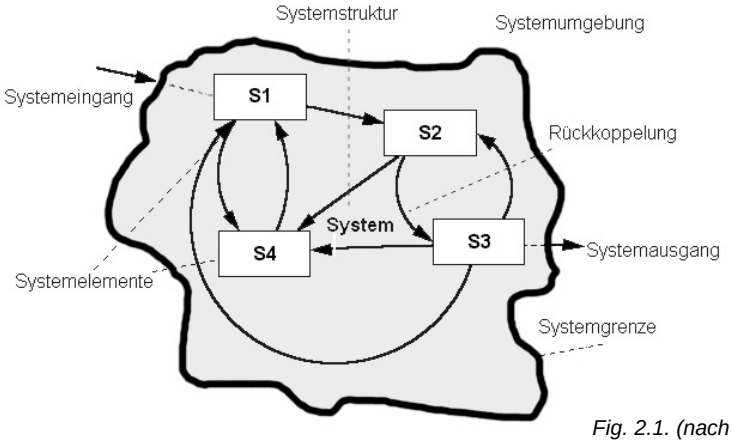


Fig. 2.1. (nach Ossimitz 2000a, verändert)

In unserem allgemeinen Sprachgebrauch verstehen wir unter einem System eine Einheit, welche als Ganzes existiert und funktioniert, indem ihre einzelnen Teile zusammenwirken. Diese Definition kommt der systemischen Sichtweise eines Systems schon sehr nahe.

Tatsächlich stößt man in der einschlägigen Literatur auf unzählige Definitionen und Auffassungen darüber, was genau nun ein System ist. Systemansätze gibt es in den verschiedensten Wissenschaften. In der Mathematik und Physik durch Newton, in der Biologie nach Maturana und Valera, in der Soziologie durch Luhmann, in der Ökonomie nach Keynes und Phillips, in der Psychologie durch Powers, in der Technik nach Watt und in der Kybernetik nach Wiener und Ashby. Des Weiteren existieren ein kommunikationstheoretischer Ansatz (Watzlawick), ein ökologischer Ansatz (Lotka, Volterra, Vester), ein konflikttheoretischer Ansatz (Schwarz), systemisches Management (Senge, Gomez, Probst) sowie natürlich die „System Dynamics“ nach Forrester und die „Allgemeine Systemtheorie“ nach Bertalanffy und Rapoport. Diese Vielfalt an unterschiedlichsten systemischen Ansätzen macht verständlich, dass es verschiedenste Auffassungen über Systeme und Systemdenken gibt. Ihnen ist gemeinsam, dass sie allesamt mehr oder weniger spezifische Definitionen liefern. Hier stellvertretend zwei Zitate:

> Ludwig von Bertalanffy definiert Systeme als *„[...] sets of elments standing in interaction [...]“* (Bertalanffy 1968, S. 38).

> *„Ein System ist eine relativ stabile, geordnete Gesamtheit von Elementen und Beziehungen, die durch die Existenz bestimmter Gesetze, d.h. allgemein-notwendiger und wesentlicher Zusammenhänge, charakterisiert ist."* (Hörz/Wessel 1983, S. 45).

Fasst man diese Ansätze zusammen, so bekommt man ein vages Bild was ein System ist. Prinzipiell beinhaltet jede Definition zwei Eckpfeiler: Es ist zum einen stets die Rede von einer Ansammlung von Objekten oder Elementen sowie deren Eigenschaften, zum anderen von einer Art von Beziehung oder einem ganzheitlichem Zusammenhang zwischen diesen. Ich möchte an dieser Stelle jedoch keine endgültige Definition formulieren, sondern vielmehr eine Art Liste von Charakteristika welche ein Gebilde gleich welcher Art (ob materiell oder immateriell) aufweisen muss, um als „System" bezeichnet zu werden:

a) Ein System besteht aus mehreren voneinander verschiedenen Systemelementen.
b) Die Elemente dürfen nicht wahllos nebeneinander liegen, sondern weisen bestimmte Beziehungen zueinander auf und sind miteinander vernetzt. (Organisation)
c) Es tritt eine Veränderung ein, wenn Teile entfernt oder hinzugefügt werden.
d) Ein System besitzt eine hervortretende Eigenschaft, welche nicht in ihren Teilen enthalten ist. Ein zerlegtes System verliert diese Eigenschaft.
e) Es besteht eine gewisse Systemgrenze nach außen. (Identität)
f) Das System erfüllt einen bestimmten Zweck. (Funktion, Zielgerichtetheit)
g) Es weist ein zeitliches Entwicklungsverhalten auf. (Dynamik)

2.1.1. System oder Nicht-System

Ein System besteht demnach aus unterschiedlichen Elementen, welche in unterschiedlichen Relationen zueinander stehen. Diese Vernetzung muss allerdings keinesfalls sichtbar sein, sie kann auch aus reinen Wirkungen bestehen. Die Kenntnis über das Vorhandensein solcher Beziehungen eines jeden Systemelements zu anderen ist eine nötige Grundtatsache, will man ein System verstehen oder gar in dieses eingreifen und es gestalten.
Aber was ist nun konkret ein Beispiel für ein System – ist ein Haufen Sand ein System? Betrachtet man einen Berg Sand, so sieht man, dass er aus vielen gleichen Körnern besteht und nicht aus unterschiedlichen Teilen. Weiters kann man eine beliebige Menge Sand hinzugeben oder entfernen, es bleibt ein simpler Haufen Sand. Bei einem System wäre dies nicht möglich – es würde in der Regel seinen

Charakter verändern oder kollabieren.[7] Ein Haufen Sand stellt demzufolge kein System dar.

Eine Pflanze hingegen ist ein System. Sie besteht aus vielen unterschiedlichen Teilen, es existieren Struktur, Ordnung und Organisation. Außerdem ist das Ganze mehr als die bloße Summe seiner Teile, es besteht eine hervortretende Eigenschaft – die Pflanze lebt. Weiters hat sie eine Grenze nach außen, eine Funktion, ein zeitliches Verhalten und es tritt eine Änderung ein, wenn man einen Teil der Pflanze entfernt. Auch ein Mensch ist ein System. Er ist mehr als eine simple Anhäufung von Knochen, Wasser und Gewebe – er lebt. All diese Charakteristika treffen auch auf Tiere, Atome, Unternehmen, Fabriken, Behörden, Lebensgemeinschaften und Fahrzeuge zu – die Liste ist beliebig erweiterbar.

> *„Beispiele sind ein Atom als System physikalischer Elementarpartikel, eine lebende Zelle als System sehr zahlreicher organischer Verbindungen oder enzymatischer Reaktionen, eine menschliche Gesellschaft als System vieler Individuen, die in den verschiedensten Beziehungen zueinander stehen."* (Ludwig von Bertalanffy in Kurzrock (Hrsg.) 1972, S. 18).

Wie beschrieben, kann man bei einfachen Anhäufungen von Dingen nicht von einem System sprechen. Aber auch eine Ansammlung von Systemen ergibt gesamt gesehen nicht unbedingt ein solches. So ist eine Ameise ein System. Mehrere Ameisen nebeneinander stellen aber nichts anderes als eine Menge oder eine Anhäufung von Ameisen dar. Ein Ameisenvolk jedoch ist ganz plötzlich wieder ein System.

Mehrere voneinander getrennte und unabhängige Systeme können also, treten sie miteinander in Beziehung, ein größeres, übergeordnetes System darstellen. Aus mehreren Menschen wird ein Team, aus mehreren Pflanzen und Tieren ein Ökosystem, aus vielen Fabriken ein wirtschaftlicher Ballungsraum und mehrere Staaten können einen Staatenbund bilden.

Umgekehrt kann man natürlich auch erkennen, dass oft die einzelnen Elemente eines Systems ebenfalls Systemcharakter einnehmen. Sie bilden Subsysteme, welche selbst wiederum aus vielen Untersystemen bestehen können. So ist eines der größten Systeme, die wir kennen, unser Heimatplanet. Die Erde ist als Ganzes ein System das aus unzähligen Subsystemen aufgebaut ist, welche selbst wiederum aus Subsystemen bestehen.

[7] Es bestehen jedoch durchaus Systeme welche kleine Veränderungen ohne merkbare Auswirkungen überstehen. So kann man etwa bei einem Baum einen Ast absägen ohne dass sich dies entscheidend bemerkbar macht.

2.2. Unterschiedliche Systemtypen

Der Terminus „System“ stellt wie bereits gesehen eine sehr allgemeine Bezeichnung dar, was wiederum unterschiedlichste Arten von Systemen bewirkt, technische, biologische, soziale, materielle, immaterielle Systeme etc. Es ist von großer Wichtigkeit zu wissen, dass die Bezeichnung „System“ in unterschiedlichen Zusammenhängen eben auch unterschiedliche Bedeutungen einnimmt (d.h. verschiedene Systemarten bestehen). Eine genaue Unterteilung aller Typen existiert nicht, es bestehen aber verschiedene Charakteristika. Zur Veranschaulichung und Sensibilisierung sollen in den folgenden Subkapiteln einige der wichtigsten Systemtypen kurz vorgestellt werden.

2.2.1. Technische Systeme

Genau genommen handelt es sich bei jeder Art von technischer Gerätschaft um ein System, egal ob man dabei von einem Auto, einem Flugzeug oder einem Rasenmäher spricht. Denn auch sie erfüllen die oben angeführten Bedingungen. In diesem Zusammenhang ist dann von technischen Systemen die Rede. Diese Kategorie von Systemen spielt jedoch im Laufe dieser Ausarbeitung nur eine sehr geringe Rolle, in erster Linie deshalb, da technische Systeme, im Gegensatz zu natürlichen Systemen wie Ökosystemen, in der Regel leichter durchschaubar sind. Es existieren exakte Konstruktionspläne und es ist bekannt, wie welche Komponente auf eine andere wirkt. Sie können zwar auch aus vielen miteinander verbundenen Elementen bestehen und viele interne Beziehungen aufweisen, d.h. eine gewisse Komplexität aufweisen, zum einen bleiben sie aber durchschaubar, zum anderen lassen sie sich (etwa im Unterschied zu einem Lebewesen) nach Belieben zerlegen und wieder zusammenbauen, ohne dass die übergeordnete Funktion dabei verloren geht.
Nichtsdestotrotz weisen technische Systeme Merkmale auf, welche sich auch in allen übrigen Systemtypen finden. Oft sind sie für eine erste Erklärung dieser Merkmale und Grundprinzipien durch ihre relative Einfachheit sogar viel anschaulicher.

2.2.2. Biologische Systeme

Lebende Systeme unterscheiden sich von nicht lebenden Systemen durch Autopoiese (griech. auto = selbst, poiein = machen; der Begriff der Autopoiese geht auf die beiden chilenischen Forscher Maturana und Varela zurück) und Selbstorganisation. Diese beiden Eigenschaften bezeichnen die Fähigkeit von

Systemen, sich selbst reproduzieren und ihre innere Ordnung ohne äußere Steuerung eigenständig entwickeln und aufrechtzuerhalten zu können. Damit geht auch die Fähigkeit lebender Systeme zu einem komplexen adaptiven Verhalten einher. Autopoietische Systeme bilden alle Komponenten aus denen sie bestehen selbst und sie sind neben vielen anderen Merkmalen und Eigenschaften auch dazu fähig, Selbstbezüglichkeiten herzustellen (vgl. Huber 2001). Das klassische Beispiel eines lebenden und damit autopoietischen Systems stellt der Mensch selbst dar.
Selbstorganisation findet sich jedoch auch in vielen Bereichen der unbelebten Natur, was bedeutet, dass es sich dabei um eine Art Brückenkonzept handelt, Phänomene der unbelebten und belebten Natur miteinander zu verbinden.

2.2.3. Soziale Systeme

Auch soziale Systeme (wie Ehe, Freundschaften, Kulturen, Zugehörigkeit zu einer Gemeinschaft, etc.) sind in gewissem Sinne lebenden Systemen ähnlich. Sie werden von diesen jedoch zusätzlich durch ein gewisses Operieren mit Sinn unterschieden. Soziale Systeme weisen dabei einige Charakteristika auf: Sie sind unsichtbar, im Allgemeinen subtil vernetzt und hochgradig rückgekoppelt, schwer zu durchschauen und mangels Ansatzpunkt auch nur sehr schwer zu steuern (soziale Systeme kann man nicht steuern wie eine Maschine). Sie besitzen eine starke Eigendynamik und ein starkes Eigenleben (so ist es kaum möglich gewisse soziale Systeme zu beseitigen, z.B. bleiben politische Bewegungen auch unter starkem Druck bestehen, wenn nötig im Untergrund).
Soziale Systeme können aber sogar autopoietisch sein. Das heißt, sie können sich selbst erhalten oder sogar vermehren (religiöse oder politische Vereinigungen, welche neue Mitglieder gewinnen).

2.2.4. Materielle Systeme

Jedes System kann, muss aber nicht, materielle (stoffliche) Komponenten haben. So können absolut materielle Systeme, wie jene aus dem Bereich der Technik, gänzlich immaterielle Systeme, wie soziale Systeme oder aber Mischformen bestehen. Eine Beispiel für eine Mischform wäre etwa das Gesamtsystem Mensch. Ein Mensch besteht zwar sichtbar nur aus seinem Körper, darüber hinaus besteht er aber auch aus seinem unsichtbaren Bewusstsein und seinem Geist.

2.2.5. Formale Systeme

Ein Beispiel für ein formales System wäre etwa ein beliebiges Gleichungssystem. Jedes mathematische Gleichungssystem erfüllt streng genommen die in 2.1.

angeführten Kriterien. Es besteht aus mehreren Teilen, die zueinander Beziehungen aufweisen, es besitzt eine hervortretende Eigenschaft (die Gesamtaussage der Gleichung), eine Grenze nach außen und es tritt eine Veränderung ein, wenn man einen Teil entfernt. Einzig ein gewisses zeitliches Entwicklungsverhalten ist schwer auszumachen. Nichtsdestotrotz werden auch Gleichungssysteme gemeinhin als „Systeme“ bezeichnet, was nur veranschaulichen soll, mit welcher Vielfalt an Begriffen und Begriffsmöglichkeiten man es zu tun hat, wenn man von einem „System“ spricht.

2.3. Systemkomponenten

2.3.1. Beziehungen zwischen den Systemelementen

Die Beziehungen zwischen den einzelnen Systemelementen sind essenziell notwendig für eine Systemhaftigkeit. Erst durch das Zusammenspiel seiner Teile existiert ein System. Ohne sie handelt es sich bloß um eine Ansammlung (mathematische Menge) von Teilen. Die Beziehungen bzw. die Art und Weise wie Systeme auf andere wirken, können entweder einfach oder komplex sein.[8] Es kann so zu einer dynamischen Komplexität im Inneren des Systems führen, was bedeutet, dass die Elemente auf viele verschiedene Weisen miteinander in Beziehung treten können und die einzelnen Teile auch mehrere verschiedene Zustände annehmen können, wodurch sie dann auch wieder anders auf übrige Elemente wirken. Dies bedingt das Entstehen von multikausalen Netzwerken im Inneren eines Systems, welche für den Menschen nur schwer zu durchschauen sind. Es ist dann unmöglich bei künstlichen Eingriffen in ein System nur eine bestimmte Einzelheit zu ändern – es verändern sich stets mehrere.

Eine andere Art von Komplexität betrifft die Anzahl der Systemelemente. Je mehr Elemente und verschiedene Teile etwas besitzt, umso unüberschaubarer und komplexer ist es für uns Menschen. Diese Komplexität des Details spielt aber gegenüber der zuvor genannten dynamischen Komplexität eine absolut untergeordnete Rolle. In erster Linie sind es die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten, die ein System komplex werden lassen.

Besitzt also ein System nur wenige Teile, welche noch dazu nur wenige Zustände annehmen können und nur einige Beziehungen zueinander aufweisen - wie viele

[8] Es wird im Laufe der weiteren Ausarbeitung noch oft von „komplexen“ Systemen die Rede sein. Darunter wird ein System mit einer Vielzahl an Elementen, einer starken Vernetzung und Wechselwirkung zwischen diesen, einer Intransparenz der Beziehungen und einer bestehenden Dynamik und Entwicklung verstanden.

technische Systeme – so ist dieses im Normalfall leicht überschaubar und – falls möglich – regelbar (es bestehen aber auch Ausnahmen, wie etwa das Dreikörperproblem der Himmelsmechanik). Komplexe Systeme hingegen – wie beinahe alle natürlichen Systeme – verfügen über viele Teile die verschiedenste Zustände aufweisen können welche sich auch je nach Zustand der anderen Teile verändern. Sie weisen sowohl eine hohe dynamische Komplexität auf als auch eine hohe Komplexität des Details. Eine Veränderung eines einzelnen Teils kann zu einem vollkommen anderen Systemzustand führen.

Beziehungen erschaffen unter diesem Blickwinkel betrachtet in einem System Dynamik. Es kann sich dabei um einfache Ursache – Wirkungsbeziehungen ohne Folgen handeln, aber auch um komplizierte Beziehungen mit eingebauten Rück-, Fern- und Wechselwirkungen. Diese Relationen können sowohl materieller als auch immaterieller Natur sein.

2.3.2. Systemgrenzen - geschlossene und offene Systeme

Ein jedes System besitzt Systemgrenzen. Sie unterscheiden es nach außen hin zur Umwelt und verleihen ihm seine Identität. Die Grenzen können dabei mehr oder weniger sichtbar und präsent sein. So besitzt das System Mensch mit der Hautoberfläche eine körperliche (räumliche) Grenze nach außen und zugleich mit dem begrenzten Lebensalter eine zeitliche und funktionelle Grenze.
Weitere Beispiele für funktionelle Grenzen sind etwa die Übertragungsqualität bei Telefonen, die maximale Kraft die ein Fahrzeug / Mensch oder Tier aufbringen kann, die maximale Belastung die ein Ökosystem verträgt ohne zu kollabieren, etc. Identitätsstiftende Systemgrenzen hingegen sind etwa die Grenzen einer Stadt, die äußere Begrenzung einer Maschine oder die Zugehörigkeit zu einer Organisation / Gruppe (soziale Grenzen) etc.
Nun stellt sich natürlich die Frage, wie dicht diese Systemgrenzen sind. Mit anderen Worten: Grenzen legen fest in wie weit Systeme nach außen hin offen oder geschlossen sind. Wir neigen durch unsere erlernte Art des Denkens dazu, alles was wir genau untersuchen, als abgeschlossene Einheit zu definieren und zu sehen. Diese Ansicht ist bei Systemen, insbesondere bei lebenden Systemen, jedoch grundlegend falsch.
Dass Systeme grundlegend offen sind und auch sein müssen, dies zeigt unter anderem schon der zweite Hauptsatz der Wärmelehre. Dieser besagt, dass ein abgeschlossenes System von alleine immer in Richtung Unordnung strebt – physikalisch gesehen seine Entropie also immer zunimmt. Bedingt durch die

zunehmende Unordnung müsste jedoch jedes System wieder zu einem Nicht-System werden. Damit nun die innere Ordnung eines Systems aufrechterhalten bleibt, muss seine Entropie absinken – was natürlich nur möglich ist, wenn die Entropie außerhalb des Systems, also auch die Unordnung, zunimmt. Es muss demnach zu einem Austausch von Ordnung und Unordnung zwischen einem System und seiner Umwelt kommen, damit ein System bestehen und überleben kann. Deshalb können auch nur offene Systeme dauerhaft existieren. Diese können zwar für eine Zeit lang durchaus geschlossen sein über längere Sicht können sie aber nur dann bestehen, wenn sie offen sind.
Ein offenes System besitzt naturgemäß Beziehungen zu seiner Systemumwelt. Es muss deshalb ein Systeminput aber auch ein Systemoutput bestehen, wobei sich verständlicherweise beide an der Systemgrenze abspielen müssen. Beispiele für solche offene Systeme sind schnell gefunden. Ob es sich um ein Auto handelt, welches Benzin aufnimmt und Fahrleistung, Wärme und Abgase abgibt, ob es sich um einen Menschen handelt, der im Informationsaustausch mit seiner Umwelt steht oder um eine Fabrik, welche Rohmaterialien angeliefert bekommt und fertige Produkte ausliefert.

Ein geschlossenes System müsste folgende Gegebenheiten aufweisen: Es dürfte keine Beziehung zur Systemaußenwelt bestehen, keinerlei Input und keinerlei Output. In der Realität ist dies auf Dauer nicht möglich. Alle biologischen Systeme nehmen Energie in Form von Sonnenstrahlung auf, alle technischen Systeme nehmen Kraftstoffe oder Energie gleich welcher Form auf und geben Leistung und Wärme ab, etc. Bei geschlossenen Systemen handelt es sich um künstliche Modellvorstellungen des Menschen, bei welchen man die Außenbeziehungen vernachlässigt und ignoriert und das System als vollkommen autark betrachtet. So gesehen kann man unser Sonnensystem, vernachlässigt man sämtliche interstellaren Beziehungen, als ein geschlossenes System sehen. Auch nationalökonomische Modelle ohne Außenwirtschaft, also jene ohne Importe und Exporte, kann man als geschlossenes System sehen. Was bleibt ist jedoch, dass es sich hierbei nur um Modellvorstellungen handelt, die nur im sehr begrenzten Rahmen eine gewisse Gültigkeit aufweisen. In Wirklichkeit ist jedes überlebende System ein offenes System, welches andere beeinflusst und selbst von anderen beeinflusst wird. Sie durchdringen sich gegenseitig und sind miteinander vernetzt. Das Verhalten eines Systems lässt sich dadurch als das Zusammenspiel seiner Subsysteme in Abhängigkeit von den Einflüssen der Außenwelt beschreiben.

2.3.3. Das System als Netz

Komplexe Systeme sind ineinander übergreifend und durch unzählige Beziehungen miteinander verbunden. In einem komplexen System ist es daher unmöglich nur eine Sache zu verändern. Es verändern sich stets andere Komponenten mit, sei es direkt oder indirekt, sei es sofort oder über den Umweg von Zeitverzögerungen. Man kann sich komplexe Systeme als eine Art großes Netz vorstellen. Übt man Druck darauf aus indem man eine Variable beeinflusst, verändern sich andere Dinge mit. Durch starke Verbindung auf dem Netz nahe befindliche Variablen verändern sich stark, weit entfernte kaum oder bleiben gänzlich unberührt. Das Netz kann aber auch elastisch sein und sich nur so lange verändern, so lange man darauf Druck ausübt. Verschwindet der Druck, schnellt das Netz dann an seine ursprüngliche Stelle zurück oder sogar in die Gegenrichtung darüber hinaus.
Diese Vorstellung von Vernetzung und dynamischer Komplexität macht deutlich, dass man bei einer Behandlung eines Missstandes niemals nur diesen selbst betrachten sollte, sondern auch das System, in welchem er sich befindet. Ansonsten ist eine grundlegende Lösung der Ursachen des Missstandes meist nicht erreichbar. Man kuriert nur die Symptome, übersieht unangenehme Neben- und Fernwirkungen des eigenen Handelns und erreicht damit oft das Gegenteil des gewünschten Ergebnisses.

2.3.4. Funktionen eines Systems

Jedes System erfüllt einen bestimmten Zweck, eine Funktion. Das Vorhandensein einer solchen ist auch zwingende Bedingung um überhaupt von einem System sprechen zu können. Für die meisten technischen Systeme ist diese Funktion, dieser Existenz- oder Sinngrund, offensichtlich. So bestehen etwa Funktionen eines Flugzeuges darin zu fliegen und Menschen oder Güter zu transportieren, und jene eines Radios darin, Radiosignale zu empfangen. Die Funktion von biologischen Systemen liegt hingegen in der Selbsterhaltung, in der Aufrechterhaltung ihres stabilen Zustandes und auch in der Fortpflanzung.
Zusammenfassend ergeben sich folgende Funktionen von Systemen (nach Ossimitz 2000a):

1. Aufrechterhaltung eines stabilen Zustandes (Homöostase) z.B.: Blutdruck
2. Selbsterhaltung (biologische Systeme); dazu zählen Grundbedürfnisse: Essen, Trinken, ...
3. Fortpflanzung und Vermehrung sind essentielle Funktionen von biologischen und sozialen Systemen

4. Sicherheit, Schutz
5. Herstellung von „Produkten“ z.B. eine Lebensmittelfabrik hat die Funktion Lebensmittel herzustellen
6. Systeme als „Dienstleister“ (Transport, Kommunikation)
7. Stiftung von „Sinn“

Zusammenschau

Der sehr allgemein gehaltene Systembegriff bezeichnet sämtliche materielle oder immaterielle Gebilde, welche aus vielen unterschiedlichen, miteinander in Wechselwirkung befindlichen Komponenten bestehen und eine Organisation, Identität, Dynamik und Funktion aufweisen, als ein „System“. Das auffälligste Merkmal von Systemen ist, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile, es somit Eigenschaften aufweist, welche keine der Komponenten besitzt. Es existieren unterschiedlichste Typen von Systemen, aus welchen generell die lebenden Systeme (durch die nur ihnen eigene Fähigkeit der Autopoiese und Selbstorganisation) herausstechen.
Systeme weisen Grenzen zur Systemumgebung auf, welche, damit das System auf Dauer bestehen bleiben kann, nicht vollkommen geschlossen sein können.

3. Was ist systemisches Denken?

Systemisches Denken, auch bezeichnet als Systemdenken, vernetztes Denken, komplexes Problemlösen oder Systemtheorie, findet sich heute in den unterschiedlichsten Bereichen. Es handelt sich dabei um einen Denkansatz, der sich mit der Gesamtheit einer Situation, mit all ihren Verbindungen und Querverweisen zu anderen Objekten befasst. Er steht damit im Gegensatz zum bereits erwähnten kartesianischen Paradigma. Das Systemdenken ist eine Sicht der Dinge, bei welcher es um Ganzheiten geht, weshalb es auch oft als „holistisch“ (griech. ganz, ganzheitlich) bezeichnet wird.

3.1. Die Entwicklung des systemischen Denkens

Lange Zeit war das Denken und Forschen der Menschen durch eine Suche des Details geprägt. Man sah die gesamte Welt als eine Art Maschine, welche man durch ein möglichst genaues Erforschen seiner Teile verstehen konnte. Erster Widerstand gegen dieses mechanistische[9] bzw. kartesianische Paradigma erhob sich im späten 18. und frühen 19. Jahrhundert. Die Bewegung der Romantik in Kunst, Literatur und Philosophie war mehr an einem qualitativen Verständnis der Welt interessiert. Und so sah etwa Immanuel Kant in Organismen nicht mehr Maschinen, sondern sich selbstreproduzierende und selbstorganisierende Wesen.
Erst im späten 19. Jahrhundert jedoch kamen die Strömungen des Vitalismus und Organizismus[10] auf, welche beide auf ihre Weise aussagten, dass sich das Verhalten eines lebenden Organismus nicht durch das Studium seiner Teile verstehen lässt. Bereits am Beginn des 20. Jahrhunderts wurden von der organismischen Schule die Begriffe System, Systemdenken und jener der „organisierten Komplexität“ geprägt. Unter Letzterem versteht man jenen Effekt, dass auf jeder Komplexitätsebene neue Eigenschaften auftreten, welche auf darunter liegenden Ebenen nicht vorhanden sind. Das Ganze besitzt demnach Eigenschaften, welche keiner seiner Teile besitzt.

[9] Der Mechanismus oder Mechanizismus war von der Vorstellung der Welt als einer Maschine geprägt. Er sagte aus, dass alles Naturgeschehen der Welt auf strengen mathematischen Gesetzen beruhte und alles nach dem strengen Kausalprinzip von Ursache und Wirkung funktionierte. Die wichtigsten Vertreter der mechanistischen Anschauung waren Galilei, Descartes und Newton.
[10] Vitalismus und Organizismus waren beiderseits Theorien zur Erklärung der Entstehung und des Wesens des Lebens. Sie waren dem mechanistischem Dogma gegengerichtet.

Dadurch entwickelte sich eine neue Denkweise – das “Systemdenken“ – welche sich mit Begriffen wie Zusammenhang, Beziehung und Kontext auseinandersetzt. Systeme waren von nun an integrierte Ganze, welche sich durch keine auch noch so genaue Detailanalyse verstehen lassen. Erst im Kontext des größeren Ganzen lassen sich die Eigenschaften von Teilen verstehen, der systemische Ansatz sagte also genau das Gegenteil des analytischen Ansatzes aus. Ein weitreichendes Umdenken quer durch alle Wissenschaftsrichtungen war die Folge, denn das übliche analytische reduktionistische Denken war an seine Grenzen gestoßen.

Die Hauptmerkmale des Systemdenkens entwickelten sich von nun an, d.h. ab den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts, gleichzeitig in den unterschiedlichen Wissenschaftsrichtungen. Trotzdem haben erst Ludwig von Bertalanffys Veröffentlichungen ab den vierziger Jahren bis zur Veröffentlichung seiner „General System Theory“ (Bertalanffy 1968) das Systemdenken zu einer wissenschaftlichen Bewegung gemacht. Er gilt als der Gründer der Systemtheorie.

Der Biologe Bertalanffy versuchte gemeinsame Gesetzmäßigkeiten der verschiedenen Wissenschaften durch Beobachtung allgemeiner Prinzipien herauszuarbeiten. Die Systemtheorie ist demnach eine Metatheorie, welche eine Zusammenführung von unterschiedlichen Wissensgebieten ermöglicht und weithin anwendbar ist.

Bertalanffy nahm sich aufgrund der breiten Anwendbarkeit systemischer Gesetze vor, die mechanistischen Grundlagen der Wissenschaft durch eine ganzheitliche Sicht zu ersetzen. Eine solch allgemeine Wissenschaft der Ganzheit wurde zwar bis heute nicht formuliert, doch es begann sich eine systemische Sicht über die Fachgrenzen hinaus zu verbreiten.

Versuche zur Konstruktion selbstregelnder und sich selbst steuernder Maschinen führten noch während des zweiten Weltkrieges zur Entstehung der sogenannten Kybernetik[11] – Bewegung. John von Neumann, einer der Gründer der Informatik und Norbert Wiener waren hierbei die zentralen Figuren. Während sich die allgemeine Systemtheorie vor allem mit der Systemstruktur befasste, widmete sich die Kybernetik mehr der Funktionsweise von Systemen, unabhängig davon um welche Art von System es sich handelt. Die Kybernetik hatte in der Folge wesentlichen Einfluss auf das Systemdenken und brachte Begriffe wie Selbstregelung, Selbstorganisation, Rückkoppelung und Homöostase hervor.

Ab den späten fünfziger Jahren wurde am MIT (Massachusetts Institute of Technology) eine neue Methode entwickelt, um das Verhalten und die Dynamik komplexer Systeme zu erforschen. Diese von Jay W. Forrester entwickelte Methode

[11] griech.: „Steuermann(skunst)“; die Kybernetik ist die Wissenschaft von den sich selbst steuernden und selbst regulierenden Systemen.

nennt sich „System Dynamics“, beschäftigt sich vor allem mit quantitativer Modellierung von Systemen und lieferte einen wesentlichen Beitrag zur Systemforschung.
Systemisches Denken drang in den folgenden Jahren und Jahrzehnten in eine Vielzahl von Bereichen vor. Man findet heute Einflüsse in Texten der Physik, der Kosmologie, der Evolutionsbiologie, der Medizin, des Managements, der Soziologie, der Ökonomie und vielen anderen Richtungen mehr.
Die Systemtheorie ist aber dadurch heute keine einheitliche Theorie mehr. Viele Wissenschaften haben heute eigene systemtheoretische Ansätze, die Systemtheorie ermöglicht aber eine Verständigung zwischen den unterschiedlichen Disziplinen.

3.2. Die Bedeutung von Systemdenken

Wie bereits mehrfach erwähnt, stellt die systemische Sichtweise und damit auch das systemische Denken eine Methodik dar, nicht nur die Elemente, sondern vor allem das Zusammenspiel der Elemente zu berücksichtigen. Darüber hinaus zieht es im Laufe der Betrachtung eine immer größer werdende Zahl von Verbindungen und Beziehungen auch zur Systemumwelt mit in Betracht. Es steht damit im Gegensatz zu den traditionellen Formen der Analyse, welche alles in einzelne abgeschlossene Teile zerteilen. In der Tat bedeutet das Wort „Analyse“ in seiner ursprünglichen Bedeutung „Zergliederung eines Ganzen in seine Teile“.
Beim systemischen Denken handelt es sich um einen ganzheitlichen Ansatz zur Erklärung von Prozessen in der Natur. Bei der systemischen Betrachtung eines Prozesses bzw. eines Sachverhaltes gilt es mehrere Dinge zu berücksichtigen:
Jedes System ist mit anderen unter- oder übergeordneten Systemen über rekursive Wirkungsschleifen verbunden. Es existieren somit nirgendwo isolierte Fakten oder Ereignisse. Erst der Kontext macht jedes System zu einem solchen.
Es gilt Fern-, Rück- und Nebenwirkungen von zufälligen Ereignissen oder eigenen Eingriffen zu berücksichtigen. Oft machen sich an vollkommen anderen und weit entfernten Stellen desselben Systems oder in anderen Systemen Auswirkungen von Veränderungen bemerkbar. Geschieht dies mit Zeitverzögerung, gelingt es oft nicht die neue Veränderung mit der alten überhaupt in Verbindung zu bringen. Systemisch denken heißt, auch solche Fernwirkungen zu berücksichtigen.
Systemisch denken heißt aber auch das zukünftige Eigenverhalten eines Systems unter Berücksichtigung der Eigendynamik, Schwingungen des Systemzustandes, Erreichen von Kapazitätsgrenzen oder Grenz- und Schwellenwerten vorherzusehen.

Jedes System weist nämlich eine Dynamik, ein gewisses Verhalten in der Zeit, auf. Diese zeitliche Verhaltenscharakteristik bei Überlegungen mit zu berücksichtigen, ermöglicht oft eine vollkommen andere Sicht der Dinge.
Weiters muss man sich darüber im klaren sein, dass jede Abbildung oder jedes Modell eines Phänomens, welches man zur Beurteilung einer Situation heranzieht, eben nur ein Abbild oder ein Modell ist und nicht mehr. Es handelt sich dabei nur um Vereinfachungen des tatsächlichen Sachverhaltes. So banal dies auch klingen mag, oft ist man sich dessen nicht bewusst. Man handelt gemäß der Berechnung in einem Modell und muss dann überrascht feststellen, dass in der Realität, das was im Modell noch so vorzüglich funktioniert hat, in der Realität gar keine oder eine nicht gewünschte Wirkung zeigt.
Systemisch Denken bedeutet auch, alles aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten. Verinnerlicht man sich wie eine Situation von einem andere Standpunkt aus aussieht oder wie ein Eingriff von einer anderen Position aus wirken mag, so sensibilisiert dies für die Mannigfaltigkeit und Komplexität realer Systeme.

3.3. Der Nutzen des Systemdenkens

Speziell wenn es sich bei den betroffenen Situationen oder Sachverhalten um dynamische, komplexe oder um stark mit sich selbst oder mit der Umwelt vernetzten Systemen handelt, führt systemisches Denken im Vergleich zu traditionellen Denkansätzen zu ungleich effektiveren Lösungsansätzen.
Beispiele für Bereiche in welchen Systemdenken von Nutzen ist, gibt es viele. Aber helfen kann es beispielsweise insbesondere bei Problemsituationen, welche keine offensichtliche (oft Schein-) Lösung aufweisen, bei immer wiederkehrenden Problemsituationen oder solchen welche sich durch Lösungsversuche in der Vergangenheit sogar noch verschlimmert haben, bei hochkomplexen unübersichtlichen Situationen wie ökologischen Systemen, oder aber auch bei Situationen mit hoher Eigendynamik zu einer Verbesserung beitragen. Systemdenken trug in den letzten Jahren und Jahrzehnten jedoch auch zur Erfindung selbststeuernder und selbstregelnder Maschinen bei, welche das Wirtschaftsleben entscheidend verändert haben. In der Forschung führte es zu neuen Erkenntnissen über das Verständnis des Lebens, es hatte nachhaltigen Einfluss auf Bereiche der Unternehmensführung und des Managements und führte zu einem besseren Verständnis der in der Natur vorkommenden Prozesse, was sich nicht zuletzt z.B. in der Entwicklungshilfe niederschlug. Diese Aufzählung ließe sich beliebig fortsetzen. Was bleibt, ist dass systemisches Denken sowohl im

persönlichen Bereich als auch in sämtlichen Bereichen des menschlichen Tun und Handelns von großem Nutzen ist.

Zur besseren Veranschaulichung des Unterschiedes zwischen traditionellem Ursache – Wirkungsdenken und Systemdenken sei an dieser Stelle noch ein einfaches Beispiel aus der Natur angeführt (nach Aronson 1996):
In einem Gemüsegarten ist eine größere Anzahl an Schädlingen vorhanden, welche das Gemüse befallen und es damit für den Menschen unbrauchbar machen. Die Bekämpfung der Schädlinge läuft dann oftmals wie folgt ab: Man besprüht das Gemüse mit Pestiziden um die Schädlinge zu töten. Man lasse nun einmal alle negativen Nebenwirkungen eines Pestizids beiseite, die Wasser- und Bodenverschmutzung und auch die Tatsache, dass viele Pestizide oft nicht sehr gut wirksam sind - man stelle sich ein gut wirkendes und ansonsten harmloses Pestizid vor. Die Versuchung ist groß, die Anwendung des Schädlingsbekämpfungsmittels als Lösung des Problems zu sehen. Die Schädlinge werden vernichtet und das Gemüse kann wieder gedeihen. Dies ist aber oft nicht der Fall. Es kann z.B. dazu kommen, dass schon nach kurzer Zeit wieder gleich viele der schädlichen Insekten vorhanden sind und eine neue Anwendung notwendig ist. Auf diese Art führt das Pestizid immer nur zu einer kurzfristigen Lösung, eine dauerhafte bleibt aus. In der Regel kommt es dann nach einigen Jahren sogar zu einer Immunisierung der Schädlinge gegen das Pestizid. Es zeigt nun keinerlei Wirkung mehr.
Was auch passieren kann, ist dass direkt nach der Anwendung die schädliche Insektenart zwar vernichtet wird, schon kurz nach der Anwendung eine neue schädliche Spezies die Ernte befällt. Der Grund dafür ist in der Regel darin zu suchen, dass die vernichtete Art mit der neuen in Konkurrenz gestanden ist oder sich auch von ihr ernährt hat. Durch die Vernichtung der ersten Art kann sich nun die zweite ungehemmt vermehren. Mit anderen Worten wird durch die „Lösung“ des Problems die Situation insgesamt sogar verschlimmert. Die kurzzeitige Lösung führt auf lange Sicht genau zum Gegenteil.
Man hat nun bereits ein erstes Bild des Systems vor sich. Eine systemische Lösung des Schädlingsproblems, eine Lösung die auch schon vielfach angewandt wurde und sich als sehr effektiv herausgestellt hat, wäre eine gezielte und geringe Vermehrung der natürlichen Feinde des Schädlings. Der Eingriff muss sehr sanft erfolgen, zeigt aber dann gehörige Effektivität.

> *“These methods have been proven effective in studies conducted by MIT, the National Academy of Sciences, and others, and they also avoid running the risk of soil and water pollution.”* (Aronson, 1996).

Neben der guten Wirksamkeit zeigt diese Methode außerdem angenehme Nebeneffekte. Es tritt keine Wasser- oder Bodenbelastung auf, auch das Zusammenspiel von Flora und Fauna wird nicht gestört und es wird eine langzeitige Lösung erzielt. Natürlich kann bei einer Überdosierung auch diese Methode zu Problemen führen, aber bei richtiger Anwendung werden diese in aller Regel vermieden.
Die systemische Lösung berücksichtigt die bestehenden Verbindungen und Beziehungen und greift sanft regulierend in ein normalerweise ja sich selbst regelndes aber im Moment gestörtes System ein.

Dass dieses Ursache – Wirkungsdenken lange Zeit verbreitet war, zeigt auch das Beispiel des Schädlingsbekämpfungsmittel DDT (Dichlordiphenyltrichloräthan). Es verhalf seinem Entdecker sogar zum Nobelpreis und wurde lange Zeit intensivst als Pestizid eingesetzt. Erst nach Jahren stellte sich heraus, dass es über die Nahrungskette sowohl im tierischen als auch menschlichen Körper angereichert wurde. DDT führte in der Folge zu einer Immunisierung der Insektenarten, was es nicht nur als Pestizid unwirksam machte, sondern auch zu unkontrollierten Vermehrung der dezimierten Insektenarten führte (vgl. O´Connor / McDermott 1998).

3.4. Systemisches Denken in der Literatur[12]

Ähnlich den Definitionen von Systemen gibt es auch bei den Definitionen des Systemdenkens unterschiedliche Auffassungen, je nach Wissenschaftsbereich des Verfassers. Die Autoren gehen dabei mehr oder weniger genau darauf ein, was sie unter Systemdenken verstehen. Manche widmen sich diesem Thema über mehrere Kapitel, andere schreiben mehrere Bücher ohne den Begriff Systemdenken zu definieren.
Ich werde in der Folge die Auffassungen nur einiger weniger Autoren (Senge 1998, Dörner 1999, Gomez / Probst 1987, Ossimitz 2000a, 2000b) exemplarisch und kurz vorstellen.

3.4.1. Senge

Peter Senge entwickelt in seinem Buch „Die fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation“ (Senge 1998) das Konzept einer lernenden Organisation,

[12] Eine sehr umfangreiche Aufarbeitung dieses Themas findet sich in Ossimitz, Entwicklung systemischen Denkens. (Ossimitz 2000b).

worunter er ein Unternehmen versteht, in welchem nicht die Einzelpersonen, sondern die Organisation als Ganzes lernt. Er sieht dafür fünf Disziplinen als absolut notwendig an: Personal Mastery, Mental Models, Building Shared Vision, Team Learning und Systems Thinking.
Das Systemdenken (die fünfte Disziplin) sieht er dabei als die umfassende, verbindende, vermittelnde und zentrale Disziplin. Er versteht darunter ein Erkennen der Ganzheiten, der Wechselbeziehungen und der Veränderungsmuster an Stelle von einzelnen unzusammenhängenden Bereichen, linearer Ursache – Wirkungs – Ketten und statischen Momentaufnahmen.

> *„Die Praxis des Systemdenkens beginnt mit dem Verständnis eines einfachen Konzepts, des sogenannten „Feedback“, das aufzeigt, wie Handlungen sich wechselseitig verstärken oder kompensieren (ausgleichen) können“* (Senge 1998, S. 94).

Senge sieht eine notwendige Vorraussetzung für systemisches Denken und auch für systemisches Handeln in einer Art „Metanoia“[13] – einem fundamentalen Umdenken. Damit meint er einen tiefgreifenden Sinneswandel und eine vollständige Abkehr von bisherigen Denkmustern (dem linearen Denken). Metanoia ist demnach tiefgreifender als eine bloße Erlernung neuer Prinzipien und damit eine Änderung der Meinung. Metanoia verlangt nach einer Änderung der Denkstruktur, hin zur systemischen Sicht der Dinge.

Senge arbeitet im selben Buch nicht nur mehrere Gesetze des systemischen Denkens aus, sondern stellt auch neun systemische Struktur - Typen, sogenannte „Systemarchetypen“, vor. Diese immer wiederkehrenden Archetypen sollen dabei helfen, den alltäglichen Umgang mit Systemen zu erleichtern. Sie sollen das Erkennen der unter der Oberfläche befindlichen Vorgänge und Abläufe und somit ein systemisches Handeln ermöglichen.
So sieht er beispielsweise in exzessiven Kursanstiegen und Crashs am Aktienmarkt und in Überangebots- und Verknappungszyklen in Produktions- und Vertriebssystemen dasselbe systemische Grundmuster, den selben Systemarchetyp „Gleichgewichtsprozess mit Verzögerung“ (siehe Kapitel 10.1.). Senge betrachtet das Verständnis der Systemarchetypen als ein entscheidendes Konzept zum Erlernen systemischen Denkens.

[13] Metanoia ist ein Begriff aus dem Griechischem. „Meta“ bedeutet ungefähr fundamental, grundsätzlich; „noia“ bedeutet denken, sinnen.

3.4.2. Dörner

Der Kognitionspsychologe Dietrich Dörner hat im Gegensatz dazu eine vollkommen andere Auffassung von systemischen Denken:

> *„Ich hoffe hinlänglich klargemacht zu haben, dass man das, was oftmals pauschal „vernetztes Denken“ oder „systemisches Denken“ genannt wird, nicht als eine Einheit, als eine bestimmte, isolierte Fähigkeit betrachten kann. Es ist ein Bündel von Fähigkeiten, und im wesentlichen ist es die Fähigkeit, sein ganz normales Denken, seinen „gesunden Menschenverstand“ auf die Umstände der jeweiligen Situation einzustellen“* (Dörner 1999, S. 308f).

Dörner reduziert demnach systemisches Denken weitestgehend auf den gesunden Menschenverstand, unter der Vorraussetzung, dass dieser alle systemischen Gegebenheiten stets berücksichtigt. Hierbei stellt sich natürlich die Frage, ob dieser tatsächlich alle bis heute bekannten Erkenntnisse der Systemwissenschaften von Haus aus umfasst.

3.4.3. Gomez / Probst

Die Auffassung von systemischem Denken von Peter Gomez und Gilbert Probst ist insbesondere, wie auch ihre Arbeiten, auf das Management ausgerichtet. Systemgerechtes Handeln in komplexen (Management-) Situationen und diese komplexen Situationen unter Benutzung systemischer Prinzipien und Gesetze zu lösen stellt das Grundmuster ihres vernetzten Denkens dar.
Gomez und Probst beschäftigen sich besonders mit der Bestimmung von systemischen Lenkungs- und Steuergrößen und stellen in ihrer Ausarbeitung (Gomez / Probst 1987) auch oft begangene Denkfehler im Umgang mit komplexen Situationen vor.

3.4.4. Ossimitz

Günther Ossimitz ist einer von nur wenigen Autoren, die eine konkrete Definition von Systemdenken liefern (Ossimitz 2000a, 2000b). Bei ihm umfasst systemisches Denken vier zentrale Dimensionen:

A) Vernetztes Denken: Denken in vernetzten Strukturen, Rückkoppelungskreisen
B) Dynamisches Denken: Denken in Zeitgestalten, Zeitabläufen
C) Denken in Modellen
D) Systemgerechtes Handeln: Steuerung von Systemen

Ad A) Der Autor versteht darunter ein Denken in Rückkoppelungskreisen an Stelle des einfachen Ursache – Wirkungsdenken. Nicht nur direkte, sondern auch indirekte Wirkungen sowie auch Rückwirkungen auf die Ursache zu erkennen und Netze von Wirkungsbeziehungen aufbauen und verstehen zu können sind dabei die zentralen Elemente. Das Wirkungsdiagramm ist dabei das notwendige Darstellungsmittel.

Ad B) Hierzu zählt das Erkennen und Berücksichtigen der Eigendynamik von Systemen, die Fähigkeit zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten zu identifizieren, das Erkennen der Bedeutung langfristiger Wirkungen, ein Erkennen und Beurteilen von charakteristischen systemischen Zeitgestalten (Verzögerungen, periodische Schwingungen, Wachstumstypen), das Verständnis des zeitgleichen Ablaufens mehrerer Vorgänge und die Fähigkeit Zeitgestalten adäquat darzustellen.

Ad C) Da sich jedes Denken ausschließlich in mentalen Modellen vollzieht, sollte man sich dieser Modellhaftigkeit des eigenen Denkens bewusst sein. In Modellen werden nämlich stets bestimmte Aspekte hervorgehoben, andere vernachlässigt. Unter systemisch Denken versteht der Autor in diesem Zusammenhang das Denken in *bewusst wahrgenommenen* Modellen. Das bedeutet, dass man jede Situation auch aus anderen Blickwinkeln, durch andere Modelle sehen kann. Kein Modell hat dabei einen höheren Gültigkeitsanspruch als ein anderes.

Ad D) Hierbei ist das konkrete Verhalten beim Steuern, Lenken und Weiterentwickeln von Systemen gemeint, welches systemgerecht und bewusst reflektiert erfolgen soll.

> *„Ein systemisches Denken ohne die Fähigkeit zu systemgerechtem Handeln erscheint mir wenig sinnvoll. Dabei geht es mir hier nicht um ein intuitives Steuern spezieller Systeme (wie etwa beim Autofahren), sondern um eine bewusst reflektierte Kompetenz mit einem breiteren Spektrum an Einsatzmöglichkeiten, also mit einer gewissen Transferierbarkeit“* (Ossimitz 2000b, S. 60).

Der Vorteil dieser Definition liegt darin, dass dabei nicht nur ein einzelner, sondern eine Vielzahl von Anwendungsaspekten berücksichtigt werden. Dies stellt eine Ausnahme zu anderen Autoren dar. Darüber hinaus handelt es sich um eine allgemeine Definition, welche nicht durch einen speziellen Blickwinkel einer anderen Wissenschaftsrichtung geprägt ist.

Zusammenschau

Das moderne Systemdenken wurzelt sowohl in den Veröffentlichungen von Ludwig von Bertalanffy, in der Kybernetikbewegung als auch in der modernen Umsetzung wissenschaftlicher Methodik auf praktische Problemlösungen. Es handelt sich dabei um eine ganzheitliche Sicht der Dinge, welche nichts als voneinander getrennt betrachtet. Insbesondere das Vorhandensein von Beziehungen zwischen den Elementen und jenes von Fern-, Rück- und Nebenwirkungen beim Umgang mit Systemen stellen einen wichtigen Aspekt dar. Aber auch weitere Eigenschaften wie etwa die Eigendynamik eines jeden Systems oder Einbindung in ein übergeordnetes System gilt es mit all seinen Konsequenzen zu berücksichtigen. Systemisches Denken ermöglicht einen leichteren und effektiveren Problemlösungsansatz in dynamischen und komplexen Situationen.

4. Darstellungsformen / Systemmodelle

Die Darstellung von Systemen spielt in den Systemwissenschaften eine entscheidende Rolle. Beim Umgang mit Systemen hat man es nämlich stets mit System – Modellen zu tun. Systemisches Denken lässt sich erst durch geeignete systemische Darstellungsformen sichtbar, kommunizierbar, vermittelbar und lernbar machen. So ist auch die Geschichte des systemischen Denkens bzw. der unterschiedlichen systemischen Ansätze unmittelbar mit den zur Verfügung stehenden Darstellungsmitteln verknüpft. Die jeweiligen Darstellungsformen beeinflussten die Ansätze und neue Mittel zur Darstellung machten neue systemische Sichtweisen möglich. Natürlich bedienten sich die unterschiedlichen Richtungen systemischen Denkens auch unterschiedlicher Mittel zur deren Darstellung. Viele der verwendeten Methoden haben ihren Ursprung in der Mathematik oder zeichnen sich zumindest durch einen gewissen mathematischen Charakter aus. Systemisches Denken zu lernen bedingt notwendigerweise das Lernen des Umgangs mit den entsprechenden Darstellungsformen. Theoretisch kann man systemisches Denken sogar als die Fähigkeit des aktiven Umgangs mit systemischen Darstellungsmethoden sehen.

Nach den von Ossimitz (2000b) erarbeiteten Grundarten systemischer Darstellung[14] lassen sich folgende Typen, mit zunehmenden Übergang vom qualitativen zum quantitativen Charakter, unterscheiden: Verbale Beschreibung, Wirkungsdiagramme (auch Ursache – Wirkungsdiagramme, Strukturdiagramme oder causal loop Diagramme genannt), Flussdiagramme[15] und Gleichungssysteme.

> *„Diese vier Typen von Systemmodellen weisen einen unterschiedlichen Grad an Formalisiertheit auf und stellen oft eine natürliche Abfolge bei der Entwicklung eines Simulationsmodells dar: Ausgehend von einer verbalen Beschreibung wird zunächst die qualitative Modellstruktur in einem Wirkungsdiagramm ergründet. Anschließend baut man um einige zentrale Bestandsgrößen ein Flussdiagramm auf. Im letzten Modellierschritt wird dann für jedes Element des Flussdiagramms die exakte Berechnungsvorschrift (in Form von Gleichungen bzw. Funktionen) spezifiziert“* (Ossimitz 2000b, S. 64).

[14] Ossimitz bezieht diese Grundarten systemischer Darstellung zwar sehr auf den Bereich des systemischen Modellierens, sie sind aber auch für einen allgemeine Übersicht sehr brauchbar.

[15] Gemeint sind hierbei Flussdiagramme im Sinne der Systemtheorie und System Dynamics, nicht im Sinne der Informatik.

4.1. Qualitative Darstellung

Eine qualitative Beschreibung von Systemen erlaubt wesentlich mehr Freiheiten und Flexibilität als eine entsprechende quantitative. Zusätzlich zu den in der Folge dargestellten Möglichkeiten einer verbalen Beschreibung und jener Möglichkeit der Darstellung mittels Wirkungsdiagrammen, spielt auch noch oft jene der Zeitgraphen eine wichtige Rolle. Zeitgraphen können nämlich sowohl qualitativ als auch quantitativ das zeitliche Verhalten einer oder mehrerer Systemgrößen darstellen.

4.1.1. Verbale Beschreibung

Eine verbale Beschreibung eines Systems ist zweifellos die formloseste, offenste und flexibelste Art ein dynamisches System darzustellen. Sie beinhaltet jedoch mehrere Nachteile. So sind Texte stets linear – sequentiell strukturiert. Worte und Sätze folgen einander, während Systeme in der Regel eine netzwerkartige Struktur mit äußerst vielen Verbindungen und gleichzeitigen Vorgängen aufweisen. Diese in eine lineare zeitlich aufeinander folgende Sequenz zu bringen, ist bisweilen schwierig. Auch Kreisläufe, bei denen die Ursache und die Wirkung nicht eindeutig voneinander unterscheidbar sind, müssen in eine aufeinanderfolgende Struktur gebracht werden und können so falsche Eindrücke hervorrufen. Des weiteren eignen sich verbale Beschreibungen auch nur sehr bedingt für die Darstellung quantitativer Zusammenhänge, sie sind primär qualitativ orientiert.
Diese Art der Modellbeschreibung ist demnach zwar nur eingeschränkt dazu geeignet dynamische Systeme darzustellen, sie ist aber dennoch ein äußerst dienliches, weil allgemein und ohne Vorwissen verständliches Mittel das Wesen von Systemen zu beschreiben.

4.1.2. Wirkungsdiagramme

Bei Wirkungsdiagrammen (Ursache – Wirkungsdiagramme, causal loop Diagramme) handelt es sich wie bei der verbalen Beschreibung um eine Darstellungsform, welche eher für qualitative Belange geeignet ist. Wirkungsdiagramme sind jedoch ein graphisches Darstellungsmittel und sie bestehen im Wesentlichen aus Knoten, welche Systemelemente darstellen und aus Pfeilen, welche kausale Wirkungen von einem Element auf ein anderes darstellen sollen.
Üblicherweise wird den Wirkungspfeilen ein positives „+“ oder negatives „-“ Vorzeichen hinzugefügt, um ihre Art der Wirkung zu veranschaulichen. So bedeutet ein positives Vorzeichen: je mehr von der Ursache, desto mehr von der Wirkung (in

Fig. 4.1.: je mehr körperliche Betätigung, desto mehr Ermüdung des Körpers; je weniger körperliche Betätigung, desto weniger Ermüdung). Ein negatives Vorzeichen bedeutet im Gegenzug: je mehr von der Ursache, desto weniger von der Wirkung bzw. je weniger von der Ursache, desto mehr von der Wirkung (in Fig. 4.2.: Je mehr Zeit für Erholung, desto weniger Stress; je weniger Zeit für Erholung, desto mehr Stress empfinden wir).

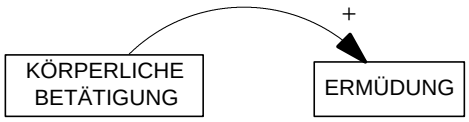


Fig. 4.1. (eigener Entwurf)

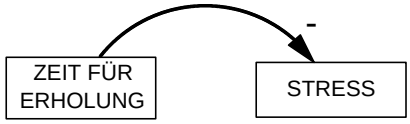


Fig. 4.2. (eigener Entwurf)

Normalerweise werden die unterschiedlichen Wirkungen auf diese Weise graphisch dargestellt, wobei sich dann entweder ein als Ganzes geschlossener Wirkungskreislauf, oder aber zumindest geschlossene Subkreisläufe ergeben. Diese können dann für sich entweder verstärkend d.h. eskalierend sein, oder aber ausgleichend d.h. stabilisierend sein. Eskalierende Kreisläufe werden in der Mitte der Abbildung in der Regel durch ein ⟳+ Symbol, stabilisierende Kreisläufe mit einem Symbol der Form ⟳- gekennzeichnet. Dies soll den Typ des Wirkungskreises veranschaulichen.

Wichtig an dieser Stelle ist die Möglichkeit der Umsetzung einer verbalen Beschreibung eines Systems in ein Wirkungsdiagramm. Man nehme etwa folgenden Text aus Ossimitz (2000b), welcher in mehreren umfangreichen Studien die systemischen Denk- und Darstellungskompetenzen von Schülern überprüfte (vgl. Ossimitz 1996a, 2000b):

Vom Leben der Hilus

Der afrikanische Stamm der Hilus lebt von der Rinderzucht. Sein Einkommen hängt davon ab, wie viele Rinder er pro Jahr verkauft; je größer die Herde ist, desto mehr Tiere werden verkauft. Da es in ihrem Weidegebiet selten regnet, legen die Hilus einen Tiefwasserbrunnen an und errichten eine Bewässerungsanlage. Zufrieden stellen sie fest, dass ihre Weidegebiete mit zunehmender Bewässerung immer fruchtbarer werden, und je fruchtbarer das Weideland ist, desto größer wird die Herde. So ist die Bewässerungsanlage kräftig in Betrieb, denn die Hilus wissen: Nimmt das Futterangebot ab, dann verkleinert sich ihre Herde wieder.

Die häufige Bewässerung hat jedoch einen unvorhergesehenen Nebeneffekt: Die in dieser Region beheimatete Tse-Tse-Fliege fängt an, sich stark zu vermehren, und je feuchter die Weidegebiete sind, desto stärker vermehrt sie sich. Die Hilus sind über diese Entwicklung ziemlich erschrocken; die Tse-Tse-Fliege ist nämlich die Überträgerin der gefürchteten, zumeist tödlich verlaufenden Rinderschlafkrankheit.

Fig. 4.3. (aus Ossimitz 2000b, S. 122)

Dieser Text könnte in Form eines Wirkungsdiagramms wie folgt aussehen:

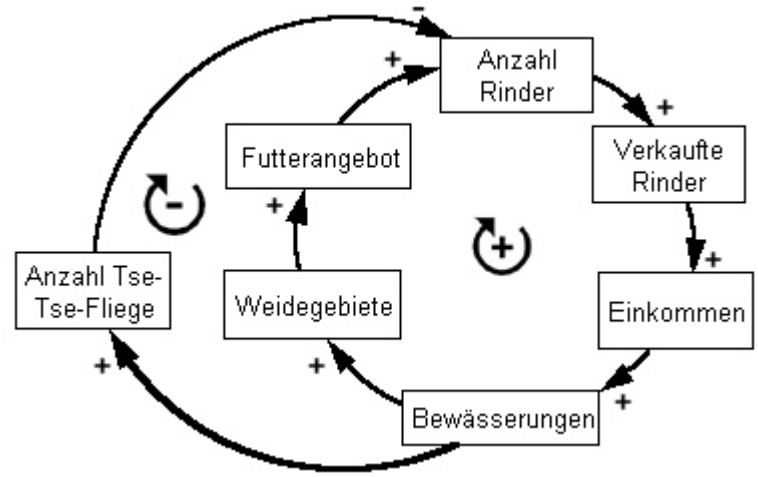


Fig. 4.4. (eigener Entwurf)

.

Durch die grafische Darstellung des Textes in Form eines Wirkungsdiagramms, welches nur einen sehr geringen Arbeitsaufwand bedeutet, sind mit einem Blick viele systemimmanente Wirkungen ersichtlich. Bei Wirkungsdiagrammen handelt es sich daher um eine sehr leistungsfähige Methode die Beziehungen zwischen den Systemelementen darzustellen. Ihre relative Einfachheit und hohe Anschaulichkeit sind dabei nur von Vorteil.

Der einzige Nachteil von Wirkungsdiagrammen als Darstellungsmittel ist die mangelnde Möglichkeit einer quantitativen Beschreibung. In qualitativer Hinsicht handelt es sich bei ihnen jedoch um die mit Abstand wichtigste und flexibelste Möglichkeit zur Darstellung von Systemen.

Wirkungen, Wirkungsdiagramme, Rückkoppelungen und Rückkoppelungskreisläufe werden ausführlich anhand von Beispielen in Kapitel 5. „Rückkoppelungen“ beschrieben.

4.2. Quantitative Darstellung

Während qualitative Darstellungsformen in der Regel von Hand ausgearbeitet werden, geschieht dies bei quantitativen Systemdarstellungen mit einer Simulationssoftware. Die Möglichkeit zur Darstellung von Systemen in Form von Flussdiagrammen wird jedoch im weiteren Verlauf dieser Ausarbeitung keine Rolle spielen, weshalb ich nur in äußerst kurzer Form und daher ohne Abbildungen, diese Möglichkeiten umreißen möchte.

4.2.1. Flussdiagramme

Bei Flussdiagrammen (auch stock and flow Diagramme, flow diagram oder structural diagram genannt) handelt es sich um die vermutlich wichtigste graphische Modelliermethode von quantitativen Systemen. Flussdiagramme sind Wirkungsdiagrammen zwar vom äußeren Erscheinungsbild bis zu einem gewissen Grad ähnlich, sie sind aber bei genauerer Betrachtung grundverschieden. Insbesondere wird bei Flussdiagrammen eine Unterscheidung in Bestands- und Flussgrößen getroffen (bei Bestandsgrößen handelt es sich um *zeitpunkt*bezogene Größen wie z.B. die Größe einer Bevölkerung zum Zeitpunkt X, während Flussgrößen *zeitintervall*abhängig sind – z.B. Geburten und Sterbefälle in der Bevölkerung im Laufe eines Jahres). Darüber hinaus haben auch vorkommende Pfeile nicht die Bedeutung einer Wirkung, sondern jene einer Eingangsgröße für die Berechnung jener Variable auf welche sie zeigen. Auch handelt es sich bei jedem vorkommenden Element um eine Zahl, wodurch eine quantitative Berechnung überhaupt erst möglich wird.

4.2.2. Gleichungssysteme, Tabellen und Grafiken

Gleichungssysteme als Darstellungsmittel von Systemen spielen insbesondere in der Kombination mit der Verwendung einer Simulationssoftware eine Rolle. Hierbei muss man teilweise Gleichungen von Hand für die jeweiligen Werte in die Modellierungssoftware eingeben. Neuere Programme bieten teilweise die Möglichkeit einer graphischen Eingabe der Struktur des Systems.

Gleichungssysteme bieten den Vorteil einer allgemeinen Aufzeichnung und Nachvollziehbarkeit der Berechnungsvorschriften von Systemgrößen (vgl. etwa das Wachstumsmodell in Kapitel 6.4.). Man erhält dabei den exakten quantitativen Wert der Variablen. Erstellt man aus der Berechnung eine beliebige Tabelle, so ist auch dies eine quantitative Darstellung eines Systems. Die Tabelle bietet den Vorteil der Aufzeichnung der Werte und die Möglichkeit einzelne Werte herauszusuchen (vgl. etwa Tab. 6.1. und 6.2. im Anhang).

Die Erzeugung einer Grafik mit skalierten Achsen aus einer Tabelle erlaubt das grafische Ablesen von quantitativen Werten. Man kann aus ihr Maxima und Minima sowie den zeitlichen Verlauf bestimmen.

5. Rückkoppelungen

5.1. Allgemeines

In der systemischen Betrachtungsweise beginnen die Grenzen zwischen Ursache und Wirkung zu verwischen. Ursache und Wirkung lassen sich oft nicht mehr klar voneinander trennen. Einzelne Systemteile wirken direkt oder indirekt auch wieder auf sich selbst zurück.
Diese Rückwirkung einer Wirkung auf ihre eigene Ursache nennt man Rückkoppelung (oder auch Rückkoppelungskreis, Wirkungskreis, causal loops, feedback loops).

Das Prinzip der Rückkoppelung geht auf Norbert Wieners Idee des Feedback zurück. Eine Rückkoppelungsschleife kann man sich als eine kreisförmige Anordnung kausal miteinander verbundener Elemente vorstellen. Eine Anfangsursache breitet sich entlang der Verbindungsglieder aus und jedes Element gibt eine Wirkung auf das nächste weiter, bis schließlich das erste Element selbst wieder beeinflusst wird. Eine Veränderung des ersten Elements wirkt also früher oder später wieder auf sich selbst zurück.

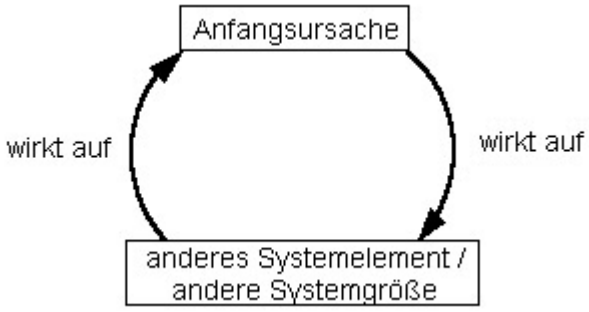


Fig. 5.1. (eigener Entwurf)

Primär lassen sich zwei Arten von Rückkoppelungen unterscheiden, wobei es noch zu einem Sonderfall kommen kann – indifferente Rückkoppelungen – welcher nur dann vorhanden ist, wenn die Wirkungsbeziehungen weder eindeutig positiv noch negativ sind:

- **Positive Rückkoppelungen (= eskalierend, verstärkend)**
- **Negative Rückkoppelungen (= stabilisierend, neutralisierend)**
- **Indifferente Rückkoppelungen**

An dieser Stelle sollen zwei Beispiele den Unterschied zwischen den beiden Grundarten von Rückkoppelungen veranschaulichen: Man stelle sich ein Ehepaar vor. Der Mann geht gerne und oft ins Gasthaus, der Frau gefällt das weniger und sie beginnt zu meckern, dass der Mann nie zu Hause sei. Dieser mag sich der Meckerei nicht aussetzen und löst das Problem indem er noch öfter ins Gasthaus geht. Die Frau allerdings versucht dann das Problem ihrerseits zu lösen, indem sie beginnt noch mehr zu meckern – mit dem einzigen Ergebnis, dass der Mann noch öfter ins Gasthaus geht (nach Watzlawick et al. 1990)
Des Weiteren stelle man sich ein beliebiges Hotel vor. Der Hotelinhaber versucht stets eine optimale Auslastung seiner Hotelzimmer und damit einen maximalen Profit zu haben. Ist die Nachfrage nach Betten gering, senkt er den Zimmerpreis um mehr Leute anzulocken. Ist die Nachfrage allerdings sehr groß, erhöht er den Preis pro Zimmer stark, um wiederum die Nachfrage auf ein Niveau zu senken bei welchem sein Hotel gerade noch ausgebucht ist und er maximal viel Geld verdienen kann. Das Ergebnis ist ein trotz stark schwankender Nachfrage äußerst gleichbleibender Auslastungsgrad seines Hotels.

Nun handelt es sich bei dem Beispiel des streitenden Ehepaares um den ersten Typus von Rückkoppelungen – der positiven oder verstärkenden Rückkoppelung. Die Geschichte des Hotelbesitzers ist ein Beispiel negativer oder stabilisierender Rückkoppelung. Betrachtet man die Auswirkungen der beiden Beispiele, so kann man schon jetzt ohne nähere Erklärung über das Wesen der beiden Rückkoppelungsarten sehen, dass man die Ausdrücke „positiv“ und „negativ“ hier nicht im Sinne von „wünschenswert“ und „unerwünscht“ auffassen darf. (Tatsächlich führt das Verhalten der beiden Ehepartner zu keiner guten Entwicklung. Die Frau meckert immer mehr, der Mann flüchtet immer mehr. Das Ergebnis ist eine eskalierende Situation mit einem untragbaren Zustand für beide. Auch kann man die Folgen des zweiten Beispieles nicht unbedingt als negativ sehen.) Die Bezeichnungen positiv / negativ sind aber dennoch üblich.

5.2. Positive Rückkoppelungen

Positive Rückkoppelung entsteht, wenn Wirkung und auch Rückwirkung gleichgerichtet sind. Sie verstärken sich gegenseitig. (Je mehr die Frau meckert, umso mehr geht der Mann ins Gasthaus. Je mehr der Mann ins Gasthaus geht, desto mehr meckert die Frau.) Die Eskalation kann aber natürlich auch in die andere Richtung laufen: Je weniger die Frau meckert, umso weniger zieht sich der Mann

zurück. Je weniger er sich zurückzieht, desto weniger meckert sie. Auf diese Art und Weise verstärkt sich sozusagen eine Variable auf direkte oder indirekte Weise selbst, wobei die Eskalation wie gesehen in zwei Richtungen laufen kann. Eine Vergrößerung führt zu ihrer weiteren Vergrößerung, ihre Verkleinerung zu ihrer weiteren Verkleinerung. Eine Veränderung in einem System fließt also so zurück, dass die ursprüngliche Veränderung auch noch verstärkt wird. Positive Rückkoppelungen werden aus diesem Grund auch eskalierend, verstärkend oder amplifizierend genannt.

Ein weiteres klassisches Beispiel für positive Rückkoppelung ist das sogenannte Wettrüsten zwischen den USA und der Sowjetunion in der Zeit des Kalten Krieges. Vierzig Jahre lang waren diese beiden Großmächte in einem sich selbst verstärkenden Prozess gefangen. Rüstete eine Seite auf, so sah sich die andere dadurch bedroht und darin auch die Notwendigkeit selbst aufzurüsten. Dadurch fühlte sich jedoch wieder die andere Seite bedroht und rüstete weiter auf. Kurzfristig erreichte die jeweilige Seite immer ihr Ziel. Letzten Endes führte es aber dazu, dass jede Seite atomare Waffen in einem Ausmaß besaß, die gesamte Erde nicht nur einmal, sondern unzählige Male zu zerstören – was in sich an Irrationalität kaum zu überbieten ist. Diesen ununterbrochenen Kreislauf der Aggression könnte man anhand eines Wirkungsdiagramms wie folgt darstellen (das Symbol in der Mitte der Figur soll veranschaulichen, dass es sich hierbei um einen positiven d.h. eskalierenden Rückkoppelungskreis handelt):

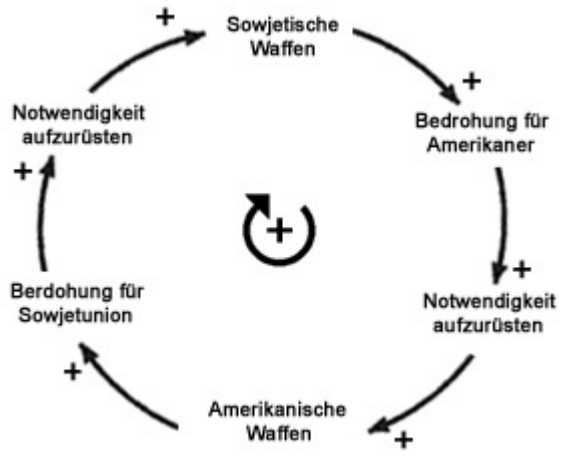


Fig. 5.2. (nach Senge 1996, verändert)

Dasselbe funktioniert jedoch auch in die andere Richtung: Wenn zum Beispiel der Kurs einer Aktie sinkt, werden viele Aktionäre ihre Aktien verkaufen. Dies führt jedoch dazu, dass die Aktie noch mehr an Wert verliert und noch mehr Aktionäre werden versuchen ihre Aktien loszuwerden. Der sinkende Aktienkurs verstärkt sich sozusagen selbst. (Gilt auch bei steigenden Kursen.)

Ebenso gültig ist dieses Prinzip im Geschäftsleben: Man stelle sich eine fiktive Firma vor, z.B. eine Werbefirma. Je weniger Aufträge sie bekommt umso geringer wird ihr Ansehen in der Branche. Das führt jedoch wieder dazu, dass die Auftragslage für sie noch schlechter wird und ihre Reputation weiter sinkt. Weniger Aufträge sind die Folge. Irgendwann wird sich die Firma massiven Konkursbedrohungen gegenüber sehen.

Dies alles führt zu einer immer stärkeren Aufschaukelung einer gleichgerichteten Wirkung. Aus diesem Grund sind positive Rückkoppelungen auch meist gefährlich für die Stabilität eines Systems. Ungebremstes Wachstum (siehe Krebszellen oder Bevölkerungsexplosion) oder auch ungebremste Verminderung führt im Normalfall zum Kollaps des Systems. In der Natur sind jedoch solchen Auf- und Abschaukelungen ein und derselben Entwicklung immer neutralisierende Kreisläufe (negative Rückkoppelungen) übergeordnet. Überträgt man etwa das Bevölkerungs – Geburten – Beispiel in das Tierreich, so könnte sein, dass durch die immer stärkere Vermehrung einer Spezies das einzelne Tier auf einmal zu wenig Nahrung vorfindet, um sich zu ernähren. Die Entwicklung wird gebremst. Ebenfalls könnte es dazu kommen – vorrausgesetzt die Spezies stellt selbst Nahrung für eine andere Raubtierart dar – dass durch das Überangebot sich plötzlich die Raubtierspezies stark vermehrt und auch dadurch der Vermehrung der ersten Tierart ein Riegel vorgeschoben wird.
Aber auch bei den weiteren Beispielen ist ein derartiges Ausbrechen aus der immer stärkeren gleichen Entwicklung möglich und wahrscheinlich: Viele Aktionäre werden ihre Aktien trotz sinkenden Kurses behalten, ja viele werden sogar dann in Hoffnung auf einen wieder steigenden Kurs in diese Aktie investieren.
Die erwähnte Werbefirma könnte auf einmal bei einem Auftrag einen Überraschungserfolg landen und damit schlagartig in der Branche sehr gefragt sein, usw. Die eskalierende und sich selbst verstärkende Entwicklung, welche ansonsten immer entweder gegen unendlich oder gegen null gehen würde, wird unterbrochen.

In unserem allgemeinen Sprachgebrauch ist dieser selbstverstärkende Mechanismus der positiven Rückkoppelung jedermann bekannt. Der „Teufelskreis“ („Circulus vitiosus“) bezeichnet eine Situation, welche sich durch einen kreisförmigen Ablauf der Ereignisse selbst immer mehr verschlimmert, der „Schneeballeffekt“ kann auch für eine neutrale oder positive Situation stehen.

Weitere Beispiele für positive Rückkoppelungen sind unter anderem Gerüchte, Bankschulden, Kettenbriefe, atomare Reaktionen, Epidemien und Seuchen etc.

5.2.1. Self – fulfilling prophecies

Einen Sonderfall von positiver Rückkoppelung stellen die sogenannten selbst erfüllenden Prophezeiungen (Self – fulfilling prophecies) dar. Diese sind auch als „Pygmalioneffekt“[16] bekannt. Im Normalfall ist es ja stets so, dass eine Ursache eine bestimmte Wirkung nach sich zieht. Sie folgen also zeitlich nacheinander. Die Ursache der Gegenwart führt zu einer Wirkung in der Zukunft. Was passiert aber nun, wenn eine noch nicht eingetretene Ursache in der Zukunft eine Wirkung in der Gegenwart auslöst? Die Zukunft also in die Gegenwart zurückgreift um diese zu beeinflussen?
Bei selbst erfüllenden Prophezeiungen ist genau dies der Fall. Sie entstehen durch unsere Fähigkeit, uns auf die noch nicht eingetretene Zukunft einzustellen.
Ein (eher nicht so gutes) Beispiel dafür wäre ein Sportler der von vornherein mit der fixen Überzeugung an den Start geht, dass er versagen wird. Es ist sehr viel wahrscheinlicher, dass er dann auch wirklich versagen wird als wenn er voller Optimismus antreten würde.
Ein bei weitem instruktiveres Beispiel spielt sich des öfteren an den Börsen ab: Es tauchen Gerüchte auf, dass eine bestimmte Aktie steigen wird. Obwohl die Aktie nach wie vor unverändert ist, zieht allein das Gerücht über eine noch nicht eingetretene Sache erste Käufer an. Der Kurs beginnt zu steigen und weitere Käufer die das Gerücht bestätigt sehen, erwerben die besagte Aktie. Der Kurs steigt weiter und eine sich selbstverstärkende Rückkopplung ist in vollem Gange. Irgendwann jedoch werden die ersten Käufer wieder versuchen ihre Aktien loszuwerden, um den Gewinn abzuschöpfen und auch die Tatsache, dass die Aktie überbewertet ist, wird ein Ende des Kursanstiegs, eine negative Rückkoppelung, hervorrufen. Die Aktie pendelt sich wieder auf ein ihr angemessenes Niveau ein. Was bleibt, ist ein Ereignis in der Zukunft, welches die Gegenwart so beeinflusst hat, dass es auch tatsächlich eingetreten ist. Ursache und Wirkung sind nicht mehr klar erkennbar.

Ähnliches passiert oft im Bankenwesen: Bestehen Gerüchte, dass eine Bank überschuldet sei, werden von einem Moment auf den anderen sämtliche Bankkunden versuchen ihre Ersparnisse abzuheben. Die Bank hat natürlich dann nicht genügend Geld vorrätig, muss selbst Geld von überall her abziehen und bricht zusammen. Die Prophezeiung bewahrheitet sich selbst.
Ein weiteres Beispiel (siehe dazu Fig.5.3.): Eine Meldung taucht auf, dass es auf Grund von Transportproblemen zu einem leichten Engpass eines Lebensmittels

[16] Pygmalion ist ein Bildhauer aus der griechischen und römischen Mythologie. Er glaubte derart stark an die Schönheit einer von ihm erschaffenen Statue, dass diese zu Leben erwachte.

kommen könnte. Daraufhin wird am nächsten Tag ein jeder versuchen, noch schnell genug von dem Lebensmittel zu kaufen, bevor es zu der Verknappung kommt. Ja viele werden sogar noch mehr als üblich kaufen, um über die Zeit der Verknappung hinwegzukommen. Dies führt dann letzten Endes dazu, dass es nicht nur zu einem eventuellen Engpass kommt, sondern innerhalb kürzester Zeit überhaupt nichts mehr vom Produkt erhältlich ist. (So geschehen schon des Öfteren bei Grundnahrungsmitteln und Treibstoff – man denke nur an die Ölkrise der 70er Jahre!)

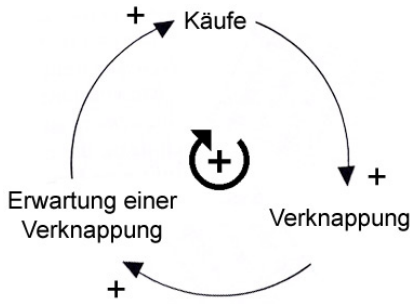


Fig. 5.3. (nach O´Connor / McDermott 1998, verändert)

5.3. Negative Rückkoppelungen

Negative (ausgleichende, stabilisierende) Rückkoppelungen stellen eine vollkommen andere Art von Rückwirkung dar. Sie sind das Grundkonzept für jegliche Gleichgewichtszustände in Systemen (Man erinnere sich an die Geschichte des Hotelbesitzers.). Auftretende Veränderungen werden stets gebremst und das gesamte System dadurch stabilisiert.

Eine negative Rückkoppelung besteht, wenn die Vergrößerung oder Verkleinerung einer Variable eine Wirkung verursacht, welche die ursprüngliche Veränderung hemmt oder ihr sogar entgegenwirkt, und somit zu einer Stabilisierung der Variable führt. (Die Nachfrage nach Betten steigt, woraufhin der Hotelbesitzer den Preis erhöht. Als Ergebnis davon wird das Interesse vieler Urlauber und damit die Nachfrage wieder zurückgehen.) Die Wirkung hemmt also die Ursache und die ursprüngliche Veränderung wird begrenzt oder eingeschränkt.
Vorausgesetzt die Bremswirkung ist im Vergleich zu den eskalierenden Rückkoppelungen nicht zu schwach, so tendieren Systeme mit einem negativen Rückkoppelungskreis dazu, einen bestimmten Gleichgewichtszustand aufrechtzuerhalten. (In unserem Beispiel erhält der Hotelbesitzer das Gleichgewicht künstlich aufrecht und ist dabei selbst der Ausführende der stabilisierenden Rückkoppelung.) Auch nach Störungen fällt das System (unter der Vorraussetzung,

dass die Störung unter einem bestimmten Grenzwert bleibt) nach einer gewissen Zeit immer wieder in diesen Gleichgewichtszustand zurück – es verhält sich homöostatisch.

Die Idee der Homöostase

Ein auf den Physiologen Walter Cannon zurückgehender Begriff. Unter Homöostase versteht man den bei negativen Rückkoppelungen vorliegenden Selbstregelungsmechanismus, der es Systemen ermöglicht, einen Zustand des dynamischen Gleichgewichts aufrechtzuerhalten, wobei im Normalfall deren Variablen innerhalb bestimmter Systemgrenzen schwanken dürfen. So darf beispielsweise bei lebenden Organismen die Körpertemperatur, die Hormonausschüttung, etc. innerhalb bestimmter Grenzen schwanken und der Organismus bleibt trotzdem am Leben. Etwaige Abweichungen verursachen meist selbst korrigierende Veränderungen, es kann jedoch auch zu von Subsystemen ausgelösten Aktivitäten kommen. (Vgl. Rapoport 1988)

Beispiele für negative Rückkoppelungen finden sich in der Natur unzählige. Allein der menschliche Körper beinhaltet Tausende von ausgleichenden Rückkoppelungen. Sie sorgen dafür, dass die Körpertemperatur konstant bleibt, Wunden heilen und wir das Gleichgewicht bewahren. In der Literatur findet jedoch ein Beispiel stets besondere Aufmerksamkeit, nämlich die Räuber – Beute – Beziehungen:

Man stelle sich eine Tierpopulation vor – die Beutepopulation – deren einziger Feind die Räuberpopulation ist, welche sich wiederum nur von der Beutepopulation ernährt. Nimmt nun aus irgendeinem Grund (etwa Nahrungsüberangebot etc.) die Größe der Beutepopulation zu, bestehen nun auf einmal sehr gute Vorraussetzungen für eine Zunahme der Räuberpopulation. Diese kann sich nun ohne Probleme immer mehr vermehren (es gibt ja Nahrung im Überfluss), bis es irgendwann zu viele Tiere gibt und es immer schwieriger wird, genug zu fressen zu finden. Die Beutepopulation hat abgenommen. Nun aber gibt es zu wenig Nahrung für die Räuber und die Räuberpopulation nimmt ab – was natürlich wieder dazu führt, dass gute Lebens- und Vermehrungsbedingungen für die Beutepopulation vorhanden sind. Die Beutepopulation nimmt wieder zu...

Dies kann nun dazu führen, dass sich an einem bestimmten Punkt ein stabiles Gleichgewicht zwischen den beiden Tierarten einstellt, oder aber es kann zu einem periodischen Schwanken führen (siehe Fig. 5.4. aus Briggs / Peat 1990 welche die

Räuber – Beute – Beziehung anhand von Hechten und Forellen darstellen). Beides kann in der Natur beobachtet werden.

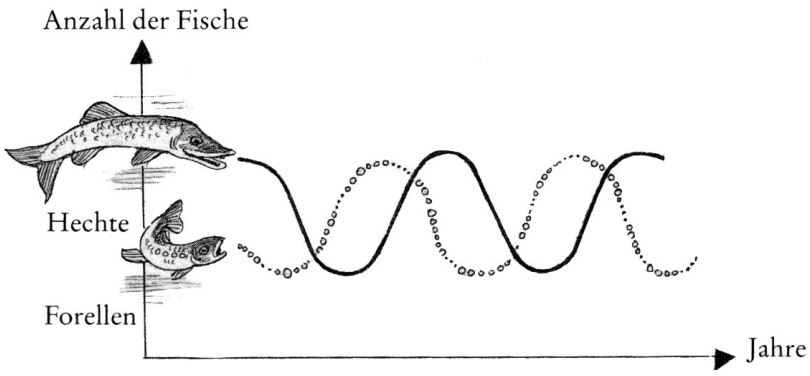


Fig. 5.4. (aus Briggs / Peat 1990)

Auch in der Technik findet sich eine Vielzahl negativer Rückkoppelungen. Erst durch sie ist es überhaupt möglich, dass Maschinen ohne ständige menschliche Überwachung arbeiten können. Ihre erste technische Anwendung fand sich im sogenannten Fliehkraftregler, dem Herzstück der von James Watt erfundenen Dampfmaschine. Dieser Fliehkraftregler (siehe Fig. 5.5. und 5.6.) ist für die Dampfzufuhr und somit für den Antrieb der Dampfmaschine zuständig. Je mehr Dampf die Maschine erreicht, umso schneller arbeitet sie und umso stärker wird auch der Fliehkraftregler angetrieben. Durch die Zentrifugalkraft werden jedoch die an den Enden des rotierenden Reglers befestigten Gewichte auseinandergetrieben und der Kolben, welcher die Dampfzufuhr eigentlich regelt, gehoben. Die Dampfzufuhr nimmt ab, die Maschine arbeitet langsamer, die Rotation des Reglers nimmt wieder ab, der Kolben senkt sich und wieder mehr Dampf erreicht die Maschine - die Rückkoppelungssequenz ist geschlossen.

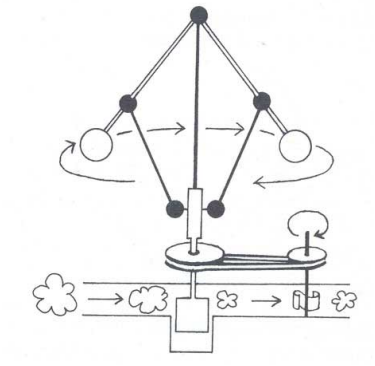


Fig. 5.5. (aus Capra 1999)

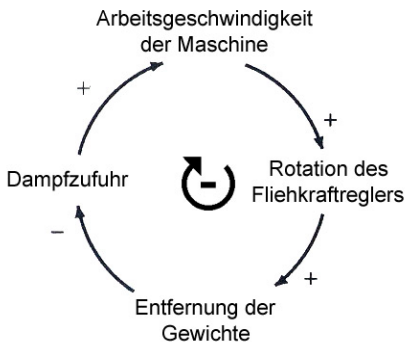


Fig. 5.6. (eigener Entwurf nach Capra 1999)

Die Dampfmaschine revolutionierte in weiterer Folge die Gesellschaft und veränderte global die Lebens- und Arbeitsweise der Menschen.

Aber auch jedes regelbare Heizungs- oder Kühlsystem (Klimaanlage, Kühlschrank, etc) stellt ein System mit negativer Rückkoppelung dar. Registriert zum Beispiel der Messfühler in einem Kühlschrank eine zu hohe Temperatur, aktiviert er das Kühlsystem, um den Innenraum auf die eingestellte Temperatur abzukühlen. Wird diese erreicht, stellt er das Kühlsystem ab – so lange bis die Temperatur wieder überschritten wird.
In der Theorie kann man solch einen technischen Regelkreis wie folgt beschreiben: Wird der Gleichgewichtszustand durch einen Störfaktor (Störgröße) verändert, so gibt der Regler, welcher die Veränderung über einen Messfühler misst, einen entsprechenden Befehl an ein Stellglied weiter, um der Veränderung entgegenzuwirken. Ist der gemessene Wert zu niedrig, so wird dieser erhöht. Ist er zu hoch, wird er verringert. So gesehen ist das System also mit sich selbst rückgekoppelt und bemüht ein stabiles Gleichgewicht zu erhalten. Solange eine Diskrepanz zwischen dem Ist- und dem Sollzustand des Systems besteht, wird der neutralisierende negative Kreislauf das System in Richtung des erstrebten Zustandes bewegen. Der Sollwert wird jedoch von außen vorgegeben und kann sogar selbst wieder von der Regelgröße eines ganz anderen Kreislaufes abhängen. Auf diese Art und Weise hängen dann viele verschiedene Systeme zusammen.

Negative Rückkoppelungen puffern demnach ein System und auftretende Störungen werden bis zu einer je nach System unterschiedlichen Stärke toleriert und ausgeglichen. Wird die Störung jedoch zu stark, so kollabiert das System, verändert grundlegend seinen Charakter, oder aber wird vollkommen zerstört. Insbesondere bei natürlichen Systemen ist diese Pufferung nur in bestimmtem Ausmaß möglich. Denn eine Rückkoppelung verbraucht in der Natur Energie oder Ressourcen und das betreffende natürliche System kann daher bei zu starken Eingriffen leicht zusammenbrechen. Wenn man z.B. einen Brunnen betrachtet, so kann es trotz übermäßiger Wasserentnahme dazu kommen, dass durch unterirdisches Zuströmen der Wasserstand stabil erscheint. Man glaubt man besitzt eine unerschöpfliche Ressource. Entnimmt man nun weiter in großen Mengen Wasser, wird irgendwann kein neues mehr nachfließen können – der Brunnen ist erschöpft und das ganze Grundwassersystem kann für lange Zeit zerstört sein.

Weitere Beispiele für negative Rückkoppelung: Angebot und Nachfrage in unserem Wirtschaftssystem, sämtliche Ökosysteme in der natürlichen Umwelt (Tiere, Pflanzen und einfache Organismen bilden ein kompliziertes System gegenseitiger Abhängigkeiten und neutralisierender Kreisläufe), Beibehaltung einer Fahrtrichtung beim Auto- oder Fahrradfahren, Konstanthaltung der Körpertemperatur, etc.

Zusammenschau: positive – negative Rückkoppelung

Alle Systeme, egal wie komplex und kompliziert sie auch sind, beinhalten lediglich die beiden erläuterten Arten von Rückwirkungen. Ob ein System insgesamt stabilisierend oder eskalierend wirkt, lässt sich wie folgt nachvollziehen: Entscheidend dabei ist nämlich stets die Anzahl der negativen Rückkoppelungen im gesamten Kreislauf. Ist diese eine gerade Anzahl (0, 2, 4, ...), so verhält sich gesamt gesehen der Rückkoppelungskreis gemäß einer positiven Rückkoppelungsschleife (er ist wie oben beschrieben gleichgerichtet, eskalierend und sich selbst verstärkend). Nur bei einer ungeraden Anzahl (1, 3, 5,...) negativer Beziehungen verhält sich das System stabilisierend. Ein System kann also durchaus negative Rückkoppelungen enthalten und trotzdem gesamt gesehen eskalierend sein. Zur Veranschaulichung betrachte man folgendes Beispiel eines Sportlers: Bei dieser stark vereinfachten Darstellung und Reduzierung auf nur wenige Komponenten, ist der Kreislauf trotz zweier negativer Beziehungen insgesamt sich selbst verstärkend. (Bei einer realistischen Darstellung mit mehr Komponenten muss der Kreislauf aber natürlich insgesamt negativ sein – kein Sportler kann nur rein durch Training seine Spielstärke gegen unendlich streben lassen.)



Fig. 5.7. (nach O´Connor / McDermott 1998, verändert)

Verstärkende Rückkoppelungen sind die Motoren des Wachstums. In jeder Wachstumssituation, auch bei negativem Wachstum (Schrumpfung), kann man sicher sein, dass ein positiver Rückkoppelungsprozess im Spiel ist. Diesen sich selbst verstärkenden Prozessen sind in der Natur stets negative Rückkoppelungen übergeordnet. In unserer Gesellschaft jedoch können solche Entwicklungen durchaus bestehen – siehe beispielsweise das Verhältnis von Kapital und Zinsen: je mehr Kapital, desto mehr Zinsen; je mehr Zinsen desto mehr Kapital. Dem Großen wird dann immer mehr gegeben, dem Kleinen immer mehr genommen; d.h. die Reichen werden reicher, den Armen wird auch das noch genommen, was sie haben.

5.4. Indifferente Rückkoppelungen

Bei indifferenten Rückkoppelungen handelt es sich um eine Kombination der beiden erläuterten Rückkoppelungstypen (eskalierende und stabilisierende), wobei im Laufe der Zeit sowohl eskalierende als auch stabilisierende Rückkoppelungen auftreten. Genau genommen handelt es sich hierbei also nicht um einen dritten Typ, sondern um einen zeitlichen Mix der beiden Grundtypen.

5.5. Zeitverzögerungen bei Rückkoppelungen

Oftmals kommt es zu zeitlichen Verzögerungen bevor das letzte Element des Wirkungskreislaufes wieder auf das erste zurückwirkt. Im Grunde bedingt sogar jeder Rückkoppelungsprozess eine Verzögerung. Aber meist ist diese zu kurz um als solche wahrgenommen zu werden, bleibt unbemerkt oder wird nicht richtig verstanden. Dies kann dazu führen, dass man über das Ziel hinausschießt, eine Instabilität oder sogar den Zusammenbruch eines Systems heraufbeschwört.
Zeitverzögerungen bei stabilisierenden Rückkoppelungen führen oft dazu, dass man zu aggressiv handelt und damit stärker als notwendig in das System eingreift. Der gewünschte Effekt stellt sich nicht ein, also verstärkt man seine Anstrengung. Durch diese Fehleinschätzung ergeben sich Oszillation und Instabilität des Systems als Folge. Hierzu ein Beispiel:
Man stelle sich ein Badezimmer mit stark veralteten Leitungen vor. Bei alten Leitungen kommt es oft zu dem Effekt, dass einige Sekunden zwischen dem Zeitpunkt des Betätigens des Wasserhahnes und der folgenden Veränderung vergehen. Man versucht eine heiße Dusche zu nehmen und dreht den Wasserhahn auf heiß. Aber nach wie vor kommt nur kaltes Wasser aus der Leitung – also dreht man den Heißwasserhahn noch weiter auf. Plötzlich merkt man, dass das Wasser heiß, wenig später zu heiß wird und man dreht mehr auf kalt, aber das Wasser wird noch heißer und man dreht den kalten Hahn noch weiter auf. Endlich wird das Wasser kühler und kühler aber es wird zu kühl. Also dreht man wieder den Heißwasserhahn weiter auf und kurz darauf verbrüht man sich fast wieder.
Ein ständiges Hin- und Herschwingen des Systems und ein erst allmähliches Einpendeln sind die Folge der nur geringen zeitlichen Verzögerung (siehe Fig. 5.8.), verursacht durch die ständige Überdosierung der Eingriffe.

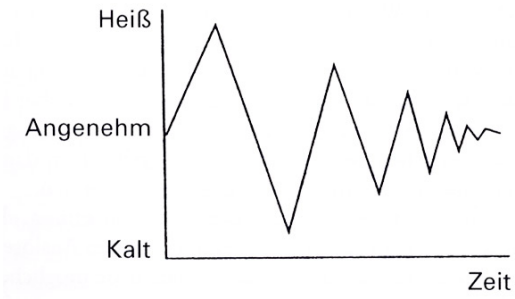


Fig. 5.8. (aus O´Connor / McDermott 1998)

Bei positiven (verstärkenden) Rückkoppelungsprozessen machen sich Verzögerungen auf eine andere Art bemerkbar. Hier führen sie oft dazu, dass der gesamte Prozess der Eskalation überhaupt erst stattfindet. Wie hoch wäre wohl der Anreiz für die USA gewesen aufzurüsten, hätte die Sowjetunion im selben Augenblick ebenso aufrüsten können? Erst durch die lange Verzögerung, bedingt durch Spionage und Entwicklung, glaubte jede Seite einen Vorteil für sich zu haben, wenn sie aufrüstet und so der Gegenseite voraus ist.
Zeitverzögerungen bei eskalierenden Prozessen können aber auch zu Unterschätzung einer vorherrschenden Entwicklung (z.B. Bevölkerungsexplosion, AIDS) führen. Positive Rückkoppelungen bewirken nämlich meist ein exponentielles Wachstum. Hierbei wird dann oftmals übersehen, dass neben der ständigen Geschwindigkeitszunahme der Eskalation sich auch eine Eigendynamik entwickelt, welche es immer mehr erschwert, die ständige Selbstverstärkung noch zu bremsen.

Allgemein geht man davon aus, dass äußerst kurze Verzögerungen keine Rolle spielen. Das Gefährliche ist jedoch, dass auch lange Verzögerungen oft scheinbar keine Rolle spielen – vorausgesetzt dass man kurzsichtig plant und nicht vorrausschauend denkt. Nach einiger Zeit machen sie sich dann jedoch mit voller Wucht bemerkbar. Die Bedeutung von Zeitverzögerungen im Zusammenhang mit Rückkoppelungsprozessen ist daher keinesfalls zu unterschätzen. (Siehe auch Kapitel 9. „Zeitverzögerungen“ über die Wirkung von Zeitverzögerungen in Systemen allgemein und den Umgang des Menschen mit diesen.)

6. Wachstum von Systemen

In jedem dynamischen System finden zu jeder Zeit Veränderungs- und Wachstumsvorgänge statt. Das gesamte System, Teile davon oder nur einzelne Variablen werden größer, nehmen ab, verstärken oder hemmen sich gegenseitig. Dieses Kapitel soll einen Überblick über die dabei auftretenden Wachstumsbeziehungen und Wachstumsarten geben.

6.1. Grundsätzliche Wachstumsformen

Eine der wichtigsten Unterscheidungsmöglichkeiten auftretender Wachstumsprozesse stellt die Unterteilung in *positives* und *negatives* Wachstum (Fig. 6.1. und 6.2.) dar, wobei es sich bei negativem Wachstum lediglich um eine Verminderung oder Schrumpfung handelt.

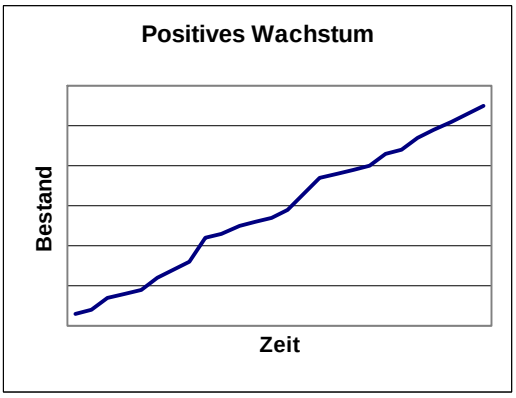


Fig. 6.1. (sämtliche Figuren in Kapitel 6. eigene Entwürfe)

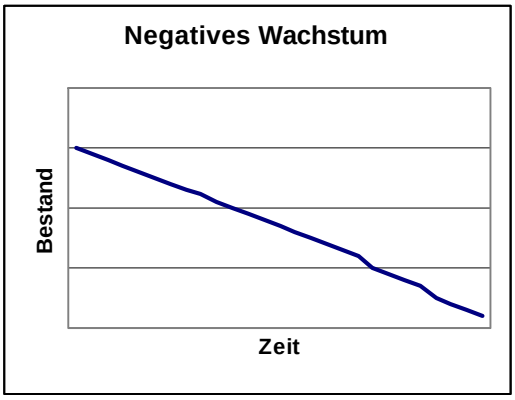


Fig. 6.2.

Ob das jeweilige Wachstum stark oder schwach verläuft, spielt hierbei keine Rolle, es ist zu einem gewissen Zeitpunkt entweder positiv oder negativ. In der Realität betrachten wir jedoch meist größere Zeiträume, weshalb Kombinationen aus diesen beiden Grundarten die Regel sind.

Weiters lassen sich *unbeschränktes* und *beschränktes* Wachstum (Fig. 6.3. und 6.4.) unterscheiden. Im Laufe dieser Arbeit wird jedoch noch ersichtlich werden, dass zumindest auf unserer räumlich begrenzten Erde über längere Sicht kein unbeschränktes Wachstum möglich ist. Jeder Prozess stößt früher oder später auf einen limitierenden Faktor. Ist man von der Kapazitätsgrenze jedoch sehr weit entfernt, kann man durchaus von einem unbeschränkten Wachstum sprechen.

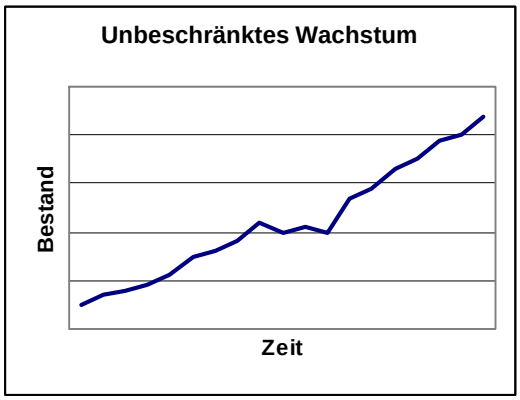


Fig. 6.3.

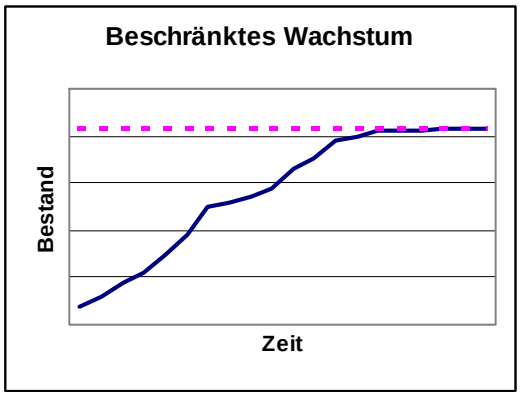


Fig. 6.4.

Auch sich *beschleunigende* und sich *verzögernde* Wachstumsprozesse (Fig. 6.5. und 6.6.) treten immer wieder auf. Entweder wird die Wirkung bei gleichmäßiger Steigerung der Ursache immer größer oder sie wird immer kleiner. Ersteres liegt zum Beispiel bei sämtlichen Strömungsprozessen in der Natur vor. Fließt eine bestimmte Menge von Wasser durch ein Abflussrohr, so kann durch ein doppelt so großes Rohr nicht etwa nur doppelt so viel Wasser fließen, sondern sechzehn mal so viel. Zweiteres liegt bei sämtlichen Wachstumsvorgängen mit einem Sättigungswert vor. So kann man etwa durch Betätigen des Gaspedals bei einem Auto eine Beschleunigung erzielen, irgendwann aber wird die zusätzliche Geschwindigkeitszunahme immer geringer und das Auto erreicht schließlich seine Höchstgeschwindigkeit.

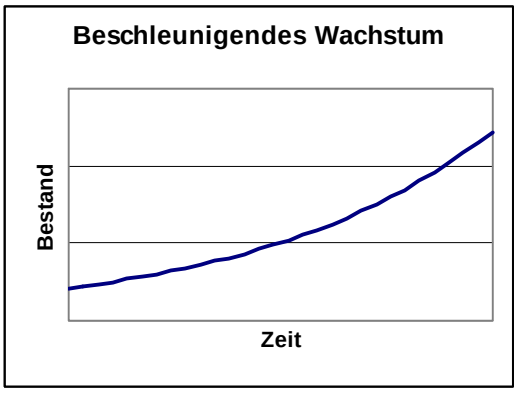


Fig. 6.5.

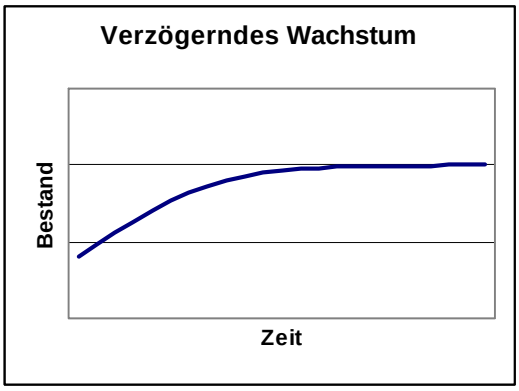


Fig. 6.6.

Die letzten Grundtypen stellen schließlich das *gleichmäßige* und das *zyklische* Wachstum dar (siehe Fig. 6.7. und 6.8.). Gleichmäßiges Wachstum kann man auch als „lineares“ Wachstum bezeichnen. Hierbei verändert sich die Wirkung stets im gleichen Maße wie die Ursache. Die meisten Beziehungen in der Natur und in sonstigen komplexen Systemen sind jedoch nicht linear und wenn sie es sind, dann meist nur innerhalb bestimmter Grenzwerte. Vester (1999) bringt hierzu das Beispiel

einer Federwaage: Hängt man ein Gewicht an eine Feder, so zieht dieses die Feder auf eine bestimmte Länge. Ein doppelt so schweres Gewicht dehnt die Feder doppelt so weit, ein dreimal so schweres dreimal so weit. Innerhalb des elastischen Bereiches ist diese Beziehung also linear. Stellt man lineares Wachstum graphisch dar, ergibt sich eine gerade Linie, wobei es egal ist, ob die Gerade steil oder flach ist oder ob sie nach oben oder unten (negatives Wachstum) verläuft.
Nichtlineares Wachstum liegt vor, wenn sich die Wirkung nicht im selben Maße wie die Ursache verändert. Dieser Typus stellt prinzipiell den Normalfall der in der Natur vorkommenden Wachstumsprozesse dar.

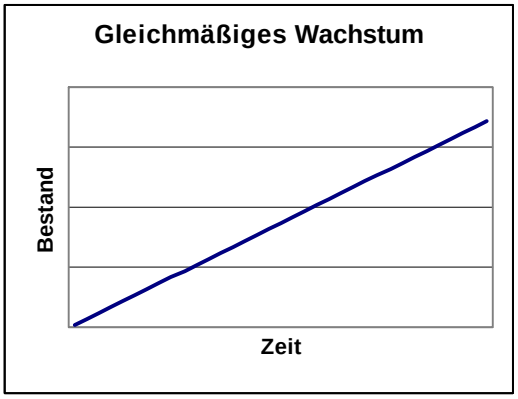


Fig. 6.7.

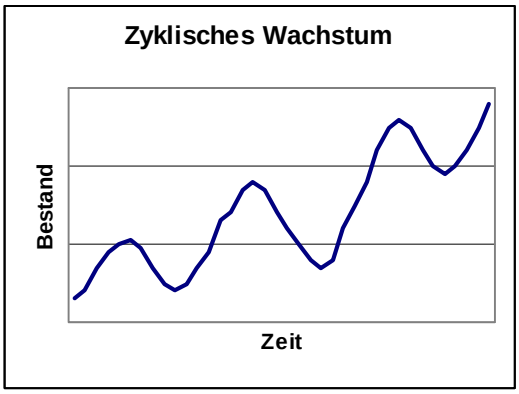


Fig. 6.8.

Beim zyklischen Wachstum kommt es zu einem zeitlichen Wechsel zwischen positivem und negativem Wachstum. Die betroffene Variable kann hierbei trotz des ständigen Schwankens insgesamt wachsen, wie es etwa beim Wirtschaftswachstum eines Landes der Fall ist. Konjunktur, Stagnation und Depression können eine ständige Schwingung mit sich bringen, über längere Zeit und gesamt gesehen wächst jedoch die Volkswirtschaft.
Die Variable kann aber auch um einen bestimmten Mittelwert schwanken, wie zum Beispiel bei Produktpreisen, welche durch Angebot und Nachfrage geregelt werden. (Auch hier kann bedingt durch Inflation der Absolutpreis über die Jahre immer höher werden, der inflationsbereinigte Preis schwankt jedoch um einen je nach Angebot und Nachfrage bestimmten Wert.)
Das Zustandekommen von zyklischem Wachstum kann aber ebenso durch Zeitverzögerungen erfolgen. Beim sogenannten „Schweinezyklus“ in der Landwirtschaft (vgl. Kapitel 9.1.) verursacht rein die zeitliche Verzögerung zwischen der Entscheidung mehr Ferkel aufzuzüchten und dem Schlachten der schließlich ausgewachsenen Schweine den ständig schwankenden Marktpreis und damit die Schwingung des gesamten Systems.

In komplexen Systemen finden sich meist in Zusammenhang mit bestimmten Grenz- und Schwellenwerten Kombinationen aus den angeführten Wachstums-beziehungen, aber natürlich auch bestimmte Sonderfälle (vgl. 6.3.). All diesen Wachstumsformen ist gemeinsam, dass sie Vertreter des quantitativ messbaren Wachstums sind, es kann in Systemen aber auch zu qualitativem Wachstum kommen:

6.2. Qualitatives Wachstum

Quantitatives Wachstum ist für Systeme wichtig, es kann aber nur begrenzt zu einer Verbesserung führen. Natürliche und evolutionäre Prozesse schwenken deshalb früher oder später auf ein qualitatives Wachstum um. Auch wir Menschen sind ein Produkt qualitativen Wachstums. Das Leben hat sich nicht in Form simpler Zellhaufen mengenmäßig über den Erdball verbreitet, sondern es hat begonnen sich zu differenzieren und zu strukturieren – qualitativ zu wachsen.
Ebenso entsteht eine der höchsten Funktionen, die wir kennen, Intelligenz, ja nicht etwa durch ein bloßes Vermehren von Gehirnzellen, sondern durch eine innerliche Strukturierung und Differenzierung.
Qualitatives Wachstum bleibt in unserer Gesellschaft weitgehend unberücksichtigt. Ein Fehler der noch schlimme Konsequenzen nach sich ziehen könnte. So ist etwa unsere Wirtschaft stets bestrebt quantitativ zu wachsen - zu expandieren, größer zu werden und den Gewinn zu steigern. Rohstoffe, die Energievorräte, saubere Luft und sauberes Wasser werden dabei meist als uneingeschränkt verfügbar betrachtet. Ein qualitatives Wachstum in Struktur und Gestalt wird nicht erreicht. Ein wachsendes System benötigt zur Beibehaltung seiner Stabilität und Überlebensfähigkeit kein rein mengenmäßiges Wachstum mit willkürlicher Vernetzung, es benötigt die Bildung von Subsystemen mit einer übergeordneten Struktur. Auch dies ist eine Form von Wachstum.

6.3. Sonderfälle

6.3.1. Exponentielles Wachstum

Das wohl wichtigste Merkmal des exponentiellen Wachstums (auch als natürliches Wachstum bekannt) ist, dass die absolute Zu- bzw. Abnahme in einem bestimmten Zeitintervall nicht konstant, sondern abhängig vom vorhandenen Bestand und zwar

proportional zum vorhandenen Bestand erfolgt. Deshalb wird die Zu- bzw. Abnahme meist in Prozentzahlen angegeben (z.B. Bevölkerungswachstum). Das absolute Wachstum erfolgt immer schneller, je länger der Wachstumsprozess schon andauert – es beschleunigt sich also selbst immer mehr.

Diese Tatsache zu berücksichtigen und bei eigenen Einschätzungen mit in Betracht zu ziehen, fällt den Menschen, wie schon viele Autoren bewiesen haben, äußerst schwer. Wie Dörner (1999, S. 161-170) schreibt, unterschätzen Menschen im Normalfall äußerst krass die Geschwindigkeit der Zunahme in exponentiellen Wachstumsprozessen. Dies liegt darin begründet, dass bei sehr geringen Größen es schwierig zu bemerken ist, dass es sich überhaupt um exponentielles und damit um ein immer stärker werdendes Wachstum handelt.

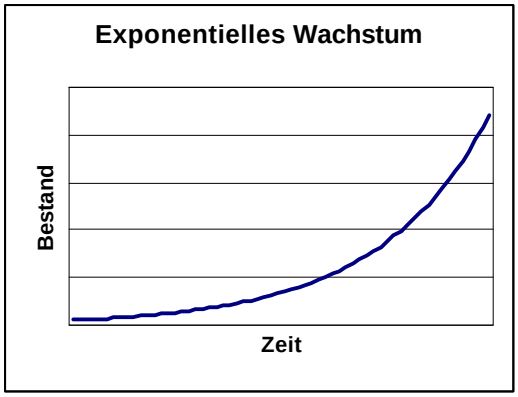


Fig. 6.9.

Dazu auch eine kleine Anekdote über den Erfinder des Schachspiels: Der Legende nach wurde das Schachspiel vor einigen Tausenden Jahren als Zeitvertreib für einen indischen König erfunden. Nachdem der Erfinder dem König das Spiel erklärt hatte, erlaubte dieser ihm sich eine beliebige Belohnung auszusuchen. Der Erfinder erbat sich als Belohnung vom König folgendes: Er wollte Reis, und zwar soviel wie auf einem Schachbrett Platz hatte, wenn man auf das erste Feld ein Reiskorn legte und sich die Anzahl der Reiskörner mit jedem Feld verdoppelte. Auf das zweite Feld also zwei Reiskörner, auf das dritte vier und immer so weiter bis zum 64. Feld. Der König willigte erfreut über die Bescheidenheit des Erfinders ein, schickte nach einer Schale Reis und ließ ein Feld nach dem anderen mit der gewünschten Anzahl Reiskörner belegen. Bald musste er jedoch zur Kenntnis nehmen, dass der gebrachte Reis und auch jener nach dem er zusätzlich geschickt hatte nicht ausreichte. Seine Diener waren noch weit von der Mitte des Schachbrettes entfernt, als der König bemerken musste, dass sein ganzes Land nicht über genügend Reis verfügte. Selbst auf der gesamten Welt war nicht ausreichend Reis vorhanden, um dem Wunsch des Erfinders nachzukommen. Der König musste beschämt seinen

Fehler einsehen. (Auch heute noch wäre eine Erfüllung des Wunsches unmöglich. Alleine auf das letzte Feld müsste man mehr Reis legen, als in den nächsten paar hundert Jahren weltweit geerntet wird!)

Das Wachstum von Seerosen führt uns ebenfalls sehr gut die Unterschätzung von exponentiellen Prozessen vor Auge. Man stelle sich einen Teich mit einer Seerose vor, welche jeden Tag die Anzahl ihrer Blätter verdoppelt. Am Anfang wächst sie sehr langsam, nach einigen Tagen ist nur ein kleiner Teil des Sees bedeckt. Nach einem Monat ist jedoch schon der halbe Teich mit Seerosen bedeckt. Wann wird also nun der ganze See von Seerosen zugewachsen sein? Nach zwei Monaten? Falsch, tatsächlich wird der See bereits am nächsten Tag zugewachsen sein.

Klassische Beispiele für exponentielle Abläufe stellen darüber hinaus auch das Bevölkerungswachstum und die Zinseszinsrechnung dar.

Ewiges Wachstum?

In einer endlichen Welt kann kein Wachstum unbegrenzt andauern, weder lineares noch exponentielles. Es bestehen lediglich zwei Möglichkeiten: Entweder führt das immer stärkere Wachstum zu einer für das System nicht mehr tragbaren Belastung und damit zum Zusammenbruch des Systems (z.B. Krebszellenwachstum) oder es wird irgendwann eine Grenze erreicht, die nicht überschritten werden kann. Meistens sind diese Grenzen äußere Umwelteinflüsse, wie ein begrenztes Nahrungs- oder Ausbreitungsangebot.
Langfristige Wachstumsvorgänge in der Natur verlaufen daher nur in der Anfangsphase oder über kürzere Zeiträume exponentiell, da auf lange Sicht das Anwachsen eben zunehmend behindert wird. Ist dem anwachsenden Bestand von Vornherein eine natürliche Grenze gesetzt (z.B. Ausbreitungsmöglichkeiten), so spricht man auch von dem oben erwähnten beschränkten Wachstum.
Auch das weltweite Bevölkerungswachstum wird also, auch wenn es derzeit exponentiell verläuft, irgendwann auf eine Grenze treffen (beschränkte Ernährungs- und Ausbreitungsmöglichkeiten auf der Erde) und in ein beschränktes Wachstum umschwenken. Diese Kombination aus exponentiellem und beschränktem Wachstum wird logistisches Wachstum genannt (siehe 6.3.2.). Dasselbe Schicksal wird auch dem Weltwirtschaftswachstum eines Tages ereilen, denn in einer beschränkten Welt kann auch die Wirtschaft nicht auf immer weiter wachsen.

6.3.2. Logistisches Wachstum

Beim sogenannten „logistischen“ Wachstum ist folgendes der Fall: Ein vorherrschender Wachstumsprozess vollzieht sich anfangs nur sehr langsam, dann allerdings verstärkt er sich selbst immer mehr und nimmt plötzlich überproportional zu – bis an einem gewissen Punkt das Wachstum in eine zunächst proportionale Beziehung umschwenkt und dann schließlich immer langsamer vor sich geht und letzten Endes gänzlich endet.
Das logistische Wachstum wird auch oft als organisches Wachstum bezeichnet da es sehr oft in der Natur zu finden ist. Seine Besonderheit liegt darin, dass es nur vorübergehend auftritt und den nächsten Wachstumsstopp schon in sich trägt.

Ein typisches Beispiel für logistisches Wachstum stellt z.B. die Vermehrung einer Bakterienkultur in einem streng begrenzten Ausbreitungsgebiet dar. Anfangs vermehren sich die Bakterien ungehemmt und exponentiell, etwa bis zum Erreichen der Hälfte der maximalen Anzahl der Bakterien. Von da an aber schwenkt das exponentielle Wachstum plötzlich in ein begrenztes über und die Bakterien vermehren sich von nun an langsamer. Die Wachstumsrate nimmt dann immer mehr ab, bis sie schließlich nahe der maximalen Populationsgröße gegen null strebt.
Auch das Wachstum des Menschen ist ein Beispiel logistischen Wachstums, auch wenn dabei die exponentielle Wachstumsphase nur sehr kurz andauert. Ein Mensch wächst in seinen ersten Lebenswochen geradezu exponentiell an und vergrößert seinen Körper innerhalb von nur 9 Monaten aus dem Nichts auf gut einen halben Meter. Nach dieser Vertausendfachung seiner Körpergröße innerhalb nur weniger Monate wird er innerhalb seiner nächsten gut 20 - 25 Lebensjahre seine Größe noch maximal vervierfachen. Das exponentielle Wachstum schwenkt also noch vor der Geburt in ein immer stärker abklingendes Wachstum um, bis dieses ungefähr zu Ende des Pubertätsalters gänzlich stoppt.

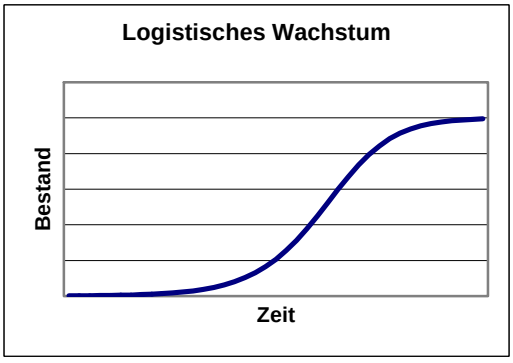


Fig. 6.10.

Figur 6.10. zeigt die typische S – Kurvenform eines logistischen Wachstums. Sie ist kennzeichnend für alle biologischen Wachstumsvorgänge (von Bakterien über Pflanzen bis zu den Tieren) mit Ausnahme der Vermehrung von Krebszellen. Dieses vollzieht sich undifferenziert, exponentiell und ohne Ende – bis das unaufhörliche Wachstum des Krebsgeschwürs letzten Endes zum Zusammenbruch des Systems Mensch, also dem Tod führt.

Ein weiteres Beispiel für logistisches Wachstum stellen sämtliche Verbesserungsbemühungen dar. Man kann kurzfristig übermäßig viel arbeiten, Müdigkeit und die starke Stressbelastung werden jedoch irgendwann wieder zu einer Verlangsamung und Verschlechterung der Arbeit führen. Ein Sportler kann durch Training seine Leistung und Ausdauer verbessern. Das ist anfangs leicht - bis es schließlich immer schwieriger wird durch zusätzliches Training die Leistung zusätzlich zu steigern. Man kann die Ertragfähigkeit eines Bodens mittels Kunstdünger verbessern, aber nicht gegen unendlich. Sie wird unter dem Einsatz derselben Menge von zusätzlichem Dünger immer weniger zusätzlichen Ertrag liefern (Prinzip des abnehmenden Grenznutzens in der Ökonomie).

Das Doping – Prinzip

Jedes logistische Wachstum stößt wie gesehen früher oder später auf eine Wachstumsgrenze. Versucht man nun eine Wachstumsgrenze zu umgehen oder zu beseitigen, stellt sich ein interessanter Effekt ein. Es ergibt sich eine neue Grenze. Diese Tatsche ist an und für sich noch nicht sonderlich wichtig. Handelte es sich jedoch bei der aufgehobenen Grenze um eine heikle Grenze für das System, so kann das durch die Beseitigung ermöglichte Wachstum in eine Katastrophe für das System führen.
So kann man ohne schwerwiegende Folgen den Ertrag von Boden durch Dünger steigern und irgendwo wird sich eine neue Wachstumsgrenze ergeben. Sei es die Verfügbarkeit an Wasser, das durch die Düngung geänderte und nun für die Pflanze weniger geeignete Ökosystem oder einfach der maximale Ertrag pro Pflanze.
Wenn allerdings beispielsweise ein Sportler versucht durch Doping seine natürliche Leistungsgrenze aufzuheben um eine Leistungssteigerung zu erzielen, so kann dies schwerere Folgen haben. Die neue Grenze liegt oft außerhalb des für den Körper verträglichen Maßes. Es ist also durch das Doping eine Belastung möglich, welche der Körper selbst nicht mehr verträgt und unter normalen Umständen verhindern würde. Genau dadurch kommt es immer wieder zu spontanen Todesfällen von

Leistungssportlern, von austrainierten Menschen also, von denen man eigentlich annehmen könnte, dass sie vor Gesundheit nur so strotzen. So schätzt man beispielsweise, dass bis zur Einführung strenger Dopingkontrollen im Radrennsport im Jahr 1968, bereits rund 1000 Radrennfahrer durch Doping den Tod gefunden hatten (vgl. Vester 1999, S. 75). Aber auch heute noch kommt es regelmäßig zu solchen, durch Doping bedingten und von der dadurch ermöglichten unmenschlichen Belastung verursachten, spontanen Todesfällen von Hochleistungssportlern.
Systemisch betrachtet fällt dieses Prinzip auch in den Bereich des sogenannten „Overshoot and collapse“ Verhaltens.

6.3.3. „Overshoot and collapse“

In manchen Systemen mit einer empfindlichen Stabilität kann bereits das kleine Überschreiten der dem System eigenen Kapazitätsgrenze zu viel sein und zum Zusammenbruch führen. Man spricht dann vom sogenannten „Overshoot and collapse“ – Verhalten (siehe Fig. 6.11.). Dabei handelt es sich um eines der wichtigsten Systemverhalten im Zusammenhang mit Wachstum, da es schwerwiegende Folgen für den Gesamtcharakter des Systems nach sich zieht.

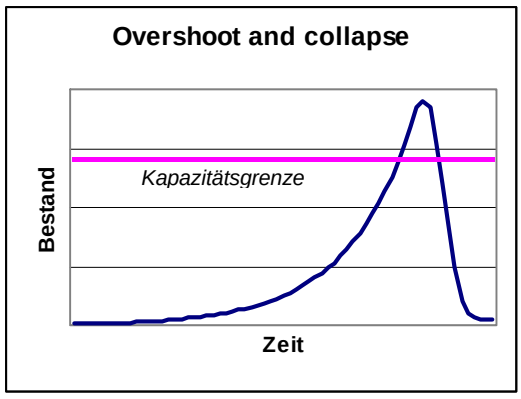


Fig. 6.11.

„Overshoot and collapse“ kann generell in zwei Bereichen beobachtet werden. Zum Ersten dort, wo Grenzwerte nach dem „Doping – Prinzip“ (siehe 6.3.2.) verschoben werden, zum Zweiten im Zusammenhang mit Zeitverzögerungen welche der Verursacher des Überschreitens von Grenzwerten sein können.

Ein Beispiel für ein System in welchem dieses Verhalten durch Zeitverzögerung in Kombination mit begrenzten Ressourcen verursacht wird, stellt eine Tierherde mit limitiertem Ausbreitungsgebiet dar: Man nehme eine fiktive kleine, auf ein bestimmtes Gebiet begrenzte Koalabär – Population, eine Tierart welche sich ja

bekanntlicherweise nur von Blättern der Gattung Eukalyptus ernährt. Nun handelt es sich bei den Koalas um eine vom Aussterben bedrohte Tierart, also sollte man auch darauf achten, dass die Koalas nicht völlig aussterben. Man wird also versuchen, eine Vermehrung der Herde in diesem begrenztem Gebiet zu erzielen, um die Koalas vor dem Aussterben zu bewahren. Gelingt dies tatsächlich, dann scheint es, als wäre eine große Tat vollbracht. Die Herde vermehrt sich mehr und mehr und den Koalas blüht wieder eine lange Zukunft. Bis eines Tages (Zeitverzögerung) zu viele Koalas für die bestehenden Nahrungsreserven vorhanden sind. Sie suchen nach Nahrung und fressen dabei alle Eukalyptusblätter, die sie nur finden können und plötzlich finden sie keine Nahrung mehr vor. Die Herde stirbt innerhalb kurzer Zeit aus oder wird auf ein paar wenige Exemplare reduziert. Ohne eine künstliche Vermehrung hätte die Herde vermutlich noch lange überleben können, so jedoch erreichte man trotz bester Absichten genau das Gegenteil des gewünschten Resultats.

Nun scheint dieses Beispiel trivial, es ist in dieser Form jedoch schon unzählige Male beobachtbar gewesen. Koalas sind bei dieser Art menschlicher Eingriffe allerdings nicht so stark gefährdet – sie vermehren sich dafür viel zu langsam. Jedoch wurde dieser Fehler schon oft in der Entwicklungshilfe (vgl. Dörner 1999, S. 12) begangen. So kam es zu einigen Fällen von Entwicklungshilfeprojekten in Dritte Welt Ländern, während deren die bestehenden Rinderherden in wenig fruchtbaren Gebieten künstlich vermehrt wurden um den Hunger der Bevölkerung zu bekämpfen. Bis eines Tages die Rinderherde zu groß wurde und die vorhandenen Weiden die Herde nicht mehr ernähren konnten. Oft auch bedingt durch ausbleibende Regenfälle konnten die Rinder plötzlich keine Nahrung mehr finden. Sie fraßen, bevor das Massensterben der gesamten Herde einsetzte, in ihrer verzweifelten Suche nach Nahrung sogar noch die Grasnarbe und vernichteten dadurch ihre eigene zukünftige Nahrung. Dann war nichts mehr übrig geblieben und die Tiere verhungerten. Auch eine Hungerkatastrophe für die Bevölkerung, welche ohne Eingriff vermutlich nie in diesem Maße stattgefunden hätte, war die Folge. Weniger Tiere hätten trotz des ausbleibenden Regens genügend Nahrung vorgefunden. Das System verkraftete den für die vorhandene Fläche zu großen Bestand also nicht und kollabierte.

In beiden Fällen hätte man die Herde vor Erreichen dieses Grenzwertes auf eine vernünftige und angebrachte Zahl dezimieren müssen.

Solche kritische Schwell- und Grenzwerte wie hier die Kapazitätsgrenze existieren ebenso bei ökologischen und sozialen Systemen. Ein Verständnis bzw. ein Wissen über das Vorhandensein dieser ist auch für ein allgemeines Verständnis der Abläufe

in vernetzten Systemen von entscheidender Bedeutung. Gefährlich an diesen Werten ist vor allem, dass es sich oft um irreversible Prozesse handelt - oberhalb des Grenzwertes ist eine Entwicklung nicht mehr rückgängig machbar.

6.4. Ein mathematisches Wachstumsmodell

Diese erläuterten einfachen mathematischen Wachstumsfunktionen lassen sich auch ebenso leicht modellieren und man erhält dabei ein sehr anschauliches und auch lehrreiches Wachstumsmodell. So kann man **exponentielles** Wachstum wie folgt formulieren: Der Zuwachs pro Zeiteinheit ist gleich dem Bestand multipliziert mit dem Wachstumsfaktor.

*Zuwachs = Bestand * Wachstumsfaktor*

Man kann nun diesen Zusammenhang über die Zeit modellieren, wobei sich nebenstehender Graph für den Bestand ergibt. Nehmen wir einen Anfangsbestand einer beliebigen Größe von 5 (etwa 5 Kaninchen welche auf einer sehr großen Insel ausgesetzt werden) und eine Wachstumsrate pro Jahr von 10% an. (Vgl. dazu Tabelle 6.1. im Anhang, welche die genauen Daten dieses Beispiels zeigt.)

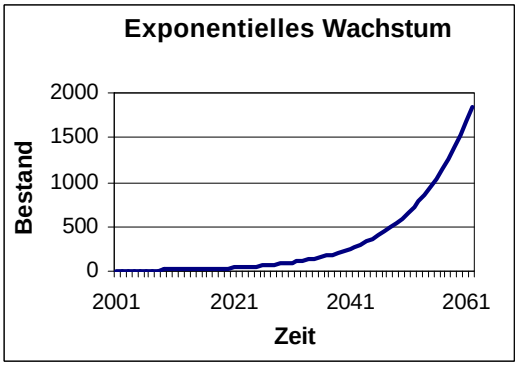


Fig. 6.12.

Will man eine **logistische** Funktion erhalten, muss man den exponentiellen Term um einen bremsenden Faktor, den Freiraum, erweitern.

*Zuwachs = Bestand * Wachstumsfaktor * Freiraum*

Der Freiraum ist eine Zahl zwischen 0 und 1 und ist abhängig vom momentanen Bestand. Zusätzlich benötigt man eine Kapazitätsgrenze (hier 1000). Ist der Bestand am Nullpunkt, so beträgt der Freiraum 1. Eine Multiplikation mit 1 bewirkt natürlich

keine Änderung, der Bestand kann also exponentiell wachsen. Mit zunehmendem Bestand nimmt der Freiraum jedoch Größen zwischen 0,99 bis nahe 0 an (in Tabelle 6.2. im Anhang, welche wiederum die genauen Werte zeigt, handelt es sich um Rundungswerte), das exponentielle Wachstum wird durch die Multiplikation um eben diesen Faktor gebremst bis schließlich an der Kapazitätsgrenze der Freiraum den Wert 0 annimmt und kein Wachstum mehr stattfinden kann.[17] Graphisch ergibt sich dabei für einen Ausgangsbestand von 5, einer Wachstumsrate von 0,5 und einer Kapazitätsgrenze von 1000 die bereits bekannte Funktion des logistischen Wachstums (Fig.6.13.).

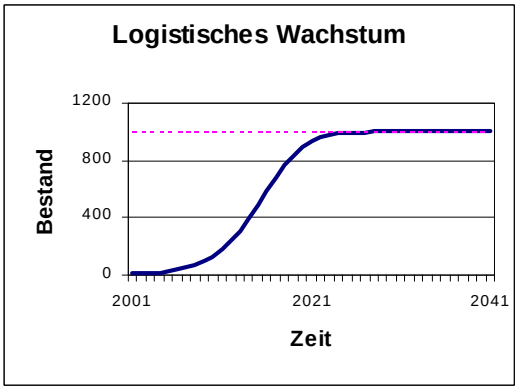


Fig. 6.13.

Interessant wird es nun, wenn man künstlich in dieses äußerst einfache System eingreift. Man kann dies etwa – wie es auch in der Realität oft passiert – durch eine Verstärkung des Wachstums bewerkstelligen. Durch Verbesserungen gleich welcher Art ist es plötzlich möglich, das Wachstum des Bestandes zu beschleunigen. Was passiert nun? Lassen wir also den Wachstumsfaktor etwas steigen. Handelt es sich nur um eine geringe Verstärkung des Wachstums, verläuft die Änderung relativ unspektakulär. So bewirkt eine Erhöhung des Wachstumsfaktors auf 0,8 nur ein schnelleres Anwachsen zu Beginn und ein abrupteres Abbrechen desselben an der Kapazitätsgrenze (siehe Fig. 6.14.). Auch bei einem Faktor von 1,0 verstärkt sich dieser Trend nur.

[17] Diese Gleichung des logistischen Wachstums geht P. F. Verhulst zurück, der sie 1845 entwickelte um die Entwicklung einer Population in einem abgeschlossenen Gebiet zu beschreiben. Mathematisch hat die Gleichung die Form $X_{n+1} = B.X_n (1-X_n)$ wobei X_n für die Größe der Population im Vorjahr steht und B für eine Kombination aus Wachstumsfaktor, Freiraum und Kapazitätsgrenze.

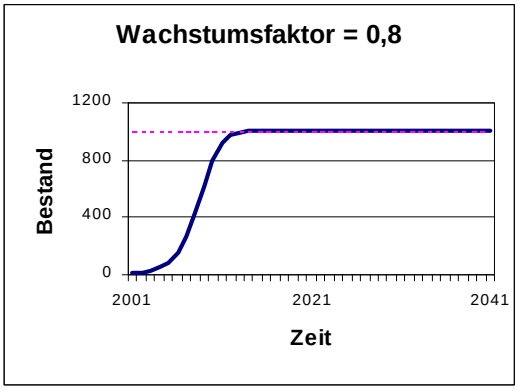


Fig. 6.14 .

Bei einer weiteren Erhöhung des Wachstums geschieht jedoch etwas das unter normalen Umständen nicht möglich ist: ein Bestand jenseits der Kapazitätsgrenze. So bewirkt ein Wachstumsfaktor von 1,8 (Fig. 6.15.), dass die Kapazitätsgrenze durchstoßen wird und sich der Bestand erst danach und allmählich an der Grenze wieder einpendelt. Ein weitere Vergrößerung (Fig. 6.16.) schließlich führt zu einem dauerhaften Umschwung des Systems vom ursprünglich logistischen Wachstum in ein zyklisches Wachstum (rein durch eine Beschleunigung des Wachstums!). Der Bestand beginnt wie immer stark exponentiell zu steigen, bis er schließlich die Kapazitätsgrenze erreicht, über sie hinausschießt und dadurch in die Gegenrichtung gelenkt wird. Dieser Trend verringert den Bestand unter die Kapazitätsgrenze und er kann nun wieder anwachsen. Neuerlich wird er aber über das Ziel hinausschießen. Der Bestand beginnt dadurch gleichmäßig und periodisch zu schwingen.

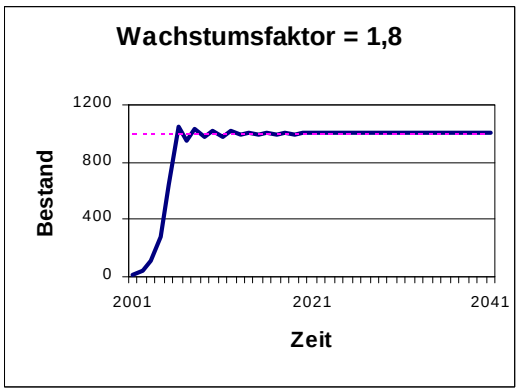


Fig. 6.15.

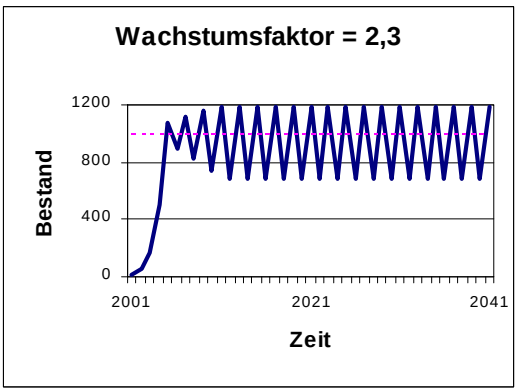


Fig. 6.16.

Sehen wir nun was geschieht, wenn das Wachstum noch stärker erhöht wird. Ein Wachstumsfaktor von 2,5 führt bereits zu einem immer intensiveren und auch komplizierteren Schwanken, ein Faktor von 2,6 ebenso. Ein Faktor von 2,8 aber führt das System in das sprichwörtliche Chaos. Man erreicht ein chaotisches, damit längerfristig unberechenbares und unvorhersehbares Wachstum (siehe Fig. 6.17.).

Man kann nicht mehr im Geringsten prognostizieren, wie sich das System über einen längeren Zeitraum entwickeln wird. (Siehe dazu auch Kapitel 8.4.)

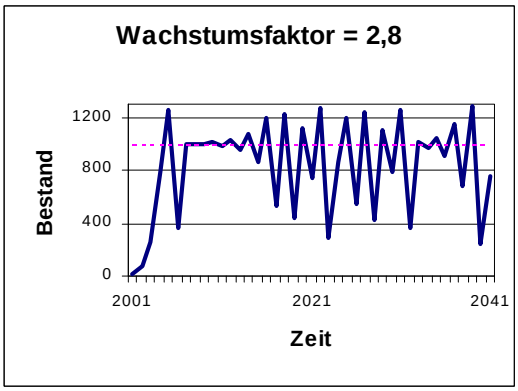


Fig. 6.17.

Bereits dieses einfache Modell führt uns also vor Augen, dass eine bloße künstliche Beschleunigung des Wachstums in natürlichen Systemen schwerwiegende Folgen nach sich ziehen kann. Selbstverständlich sind es in der Realität andere, weit kompliziertere Faktoren, welche zu einem logistischen Wachstum führen als ein einfach zu berechnender Term. Nichtsdestotrotz zeigt diese simple Modellierung was passieren kann, wenn man verstärkend in ein System eingreift.

Betrachtet man außerdem die Wachstumsrate, kann man beim logistischen Wachstum weitere Schlussfolgerungen etwa für Märkte mit einer Kapazitätsgrenze ziehen. Je stärker das Wachstum ist, umso früher wird auch der Höhepunkt des Wachstums (der Wendepunkt) erreicht. Der Boom hat ein Ende und ab diesem Punkt werden weniger Produktionskapazitäten benötigt. Dies kann man vom Prinzip her auch gut anhand des Mobilfunk- und Handymarktes nachvollziehen. Mit Beginn des Aufkommens von Mobiltelefonen Ende der 90er Jahre zeichnete es sich ab, dass es ein enormes Marktpotential gab. Gleichzeitig war es jedoch auch klar, dass ab einem gewissen Punkt, wenn einmal ein jeder ein Handy besitzt, der Markt gesättigt sein würde. Von da an würden vergleichsweise nur noch wenige Mobiltelefone einen Abnehmer finden.

Trotzdem wurde das Wachstum über intensive Werbekampagnen schnell in die Höhe getrieben. Eine große Nachfrage, eine Erhöhung der Produktion und eine schnelle Durchdringung des Marktes war die Folge. Ab Erreichen des Höhepunktes waren die vorhandenen Produktions- und Innovationskapazitäten überflüssig geworden, da sie sich nicht mehr rechneten. Es kam zu Massenentlassungen und wirtschaftlichen Einbrüchen der Firmen. Ohne Verstärkung des Wachstums hätten sowohl die Firmen, die betroffenen Angestellten und Arbeiter als auch die Wirtschaft mehr und länger von dem Boom profitiert.

Zusammenschau

In dynamischen Systemen finden zu jeder Zeit Wachstumsvorgänge statt. Eine Kenntnis des Wachstumstyps kann bei der Vorausberechnung der Entwicklung des Systems hilfreich sein. Es sollte auch klar sein, dass rein quantitatives Wachstum zum einen nur für begrenzte Dauer möglich ist, zum anderen nicht immer zu einer Verbesserung des Systemzustandes führt. Hierfür ist oftmals qualitatives Wachstum notwendig.

Ewiges Wachstum ist in keinem System möglich. Der Eingriff in den Wachstumsfaktor eines Systems kann dieses in ein anderes, unkontrollierbares oder sogar chaotisches Verhalten führen.

7. Stabilität und Dynamik von Systemen

7.1. Unterschiedliche Arten von Stabilität

Stabilität von Systemen ist ein vielseitig interpretierbarer Begriff und es gibt darüber unterschiedliche Auffassungen. Unter Stabilität kann man folgendes verstehen:

- Identitätsbeibehaltung und Wiedererkennbarkeit, eine Konstanz im Wandel gewissermaßen
- Eine möglichst gleichförmige oder vorhersagbare Entwicklung
- Wie gut ein System Belastungen verträgt

Was soll man nun unter Stabilität verstehen? In beinahe jeder Definition eines Systems ist von einer gewissen Beibehaltung der Identität und des Systemcharakters über die Zeit die Rede. Und tatsächlich kann man Systeme welche ihren Charakter insgesamt behalten, auch wenn man Elemente und Teile davon austauscht, als „stabil“ bezeichnen. So können bei einem Fußballklub durchaus sämtliche Spieler durch neue ersetzt werden, der Klub bleibt trotzdem der selbe. Ebenso bleiben beispielsweise Universitäten, Firmen oder das Rote Kreuz als sie selbst wiedererkennbar, auch wenn ständig personelle Änderungen auftreten.
Zweifellos ist auch der zweite Punkt zutreffend. Eine möglichst gleichförmige und vorhersagbare Entwicklung zeugt schon von dem was man generell als stabil bezeichnen kann. Das System bewahrt seine Entwicklungstendenz, gerät nicht aus den Fugen und bleibt überschau- und regelbar.
Die als dritte angeführte Auffassung von Stabilität stellt so gesehen eine Art Zusammenfassung der beiden anderen dar. Wenn ein System gut Belastungen verträgt, so bleibt es dasselbe. Es behält sowohl seine jeweilige Entwicklungstendenz und seinen Grad an Vorhersagbarkeit als auch seine Identität und Wiedererkennbarkeit bei. Auf diese Art hängt die Stabilität eines Systems mit dem Grad an Belastbarkeit zusammen, welchen es verträgt. Umgekehrt kann man dann jedoch Stabilität als die Größe des Widerstandes gegen eine Veränderung des Systemcharakters, der „Identität“, sehen. Je stabiler ein System ist, umso mehr widersetzt es sich einer Veränderung. Als Identität eines dynamischen Systems wird sein mittlerer Zustand – sein Gleichgewichtszustand angesehen. Er ist es, der einem System in der Zeit seinen Ausdruck, seine Wiedererkennbarkeit verleiht.

> *„[...] Verbreiteter ist es, Gleichgewichtszustände dynamischer Systeme und die Erkennung von Mustern als Mittel anzusehen, mit denen man die Identität eines Systems erhält, sein „Leben“ im buchstäblichen Sinne, falls*

> *das System ein Organismus ist; in einem verallgemeinerten oder metaphorischen Sinne, falls das System zu einem Organismus analog ist, zum Beispiel eine Institution, eine Organisation, eine Gesellschaft oder dergleichen.“* (Rapoport 1988, S. 97).

7.2. Störungen und Belastungen

Inwieweit Systeme Belastungen und Störungen ohne bleibende Folgen für den Gesamtzustand ertragen, hängt von mehreren Faktoren ab. Zum einen beeinflusst die Größe, die Anzahl und die Verschiedenartigkeit der Subsysteme – also die Komplexität - die Stabilität des Gesamtsystems. Theoretisch müssten Systeme mit zunehmender Komplexität stets instabiler werden, also mit zunehmender Größe und damit Vernetzung der einzelnen Elemente immer empfindlicher auf äußere Störungen reagieren. In der Realität jedoch sind komplexe Systeme im allgemeinen stabiler und weniger empfindlich gegenüber Störungen. Es geht nämlich oftmals weniger um die Anzahl der Vernetzungen als um die Art der Vernetzungen. So führt ein Wachstum eines natürlichen Systems nicht zu einem wilden mengenmäßigem Wachstum, sondern zu Bildung von Subsystemen mit einer gemeinsamen übergeordneten Struktur. Diese Subsysteme tragen zu einer erhöhten Stabilität bei, weshalb komplexere Systeme weniger empfindlich gegenüber Störungen sind. Diese Systeme mit Unterstrukturen und Subsystemen sind durch die größere Stabilität auch weitaus lebensfähiger als gleichförmige Systeme.

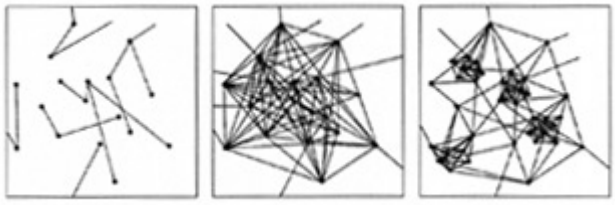


Fig. 7.1. (aus Vester 2000)

Wie Figur 7.1. zeigt, weist ein unvernetztes System keine Stabilität auf. Mit zunehmender Vernetzung steigt die Stabilität zwar zunächst an, ab einem gewissen Grad jedoch, wenn das System zu groß wird, wird es wieder zunehmend instabiler. Bilden sich jedoch Unterstrukturen, wie in der Figur ganz rechts, bleibt das System auch bei hoher Komplexität und hohem Vernetzungsgrad stabil.

Dies ist damit erklärbar, dass Störungen in komplexen Systemen meist nur ein Subsystem betreffen. So kann ein Mensch etwa durchaus gesundheitliche Probleme mit einem Körperteil haben, insgesamt aber trotzdem gut zurechtkommen. Freund-

und Partnerschaften bleiben bestehen, auch wenn es einmal zu einem Streit oder einer Meinungsverschiedenheit kommt.
Dieses Prinzip machen sich mehr oder weniger bewusst heutzutage auch so gut wie alle multinationalen Konzerne von Nutzen. Die Führungsetagen wissen, dass nur dann ein stabiles Verhalten des gesamten Konzerns möglich ist, wenn die einzelnen Subkonzerne weitestgehend autark arbeiten und nicht bei jeder Entscheidung in der Hauptzentrale rückfragen müssen. Die Überstruktur wird zwar schon von der Hauptzentrale geprägt, dennoch ist ein eigenverantwortliches und untereinander vernetztes Handeln der Subunternehmen erwünscht.

Zum anderen sind für die Stabilität eines Gesamtsystems auch die bereits erwähnten Grenzwerte wichtig. Setzt man ein System lange genug (wenn auch nur mit geringer Dosis) unter Druck, kann es irgendwann plötzlich kollabieren. Es ist dann wie der letzte Tropfen, der das Fass zum Überlaufen bringt. Überschreitet man die Grenze, verändert sich das System plötzlich und bricht zusammen. In natürlichen Systemen ist hierbei auch oft von dem sogenannten „Umkippeffekt“ wie zum Beispiel bei der Verschmutzung von Gewässern oder bei der Auflösung von Inversionswetterlagen die Rede.

Aber auch bei kurzzeitigen und dafür starken Störungen gibt es Grenzen für die Stabilität. In diesem Zusammenhang war bereits vom Prinzip der Homöostasie die Rede (siehe 5.3.). Dieses besagt, dass Variablen, die den Zustand eines Systems bestimmen, durchaus innerhalb bestimmter Grenzwerte jeden Wert annehmen (schwingen) können. Trotzdem behält das System an sich seinen allgemeinen Gleichgewichtszustand bei - solange der Grenzwert nicht überschritten wird. Dabei kann sogar das gesamte System in Schwingung geraten.
Erst wenn ein Grenzwert überschritten wird, kommt es dazu, dass das System unter der Störung leidet. Es kann dann sowohl einen anderen Zustand auf einem anderen Niveau annehmen als auch vollkommen zerstört werden.
Figur 7.2. soll dies veranschaulichen: Die abgebildete Kugel symbolisiert hier ein System, die Hügellandschaft den möglichen Zustandsraum des Systems. Die Lage der Kugel in einer Mulde soll den stabilen Gleichgewichtszustand, in welchem sie sich befindet, verbildlichen. Nun können, wie dies bei realen Systemen der Fall ist, Störungen unterschiedlicher Art auftreten. Bei geringen Störungen von außen kommt es immer wieder dazu, dass die Kugel nach einem leichten Schwanken in ihren alten und stabilen Gleichgewichtszustand zurückfällt. Erst wenn die Störung zu groß ist und den kritischen Grenzwert überschreitet – hier ab Erreichen eines Hügels – rollt die Kugel in eine andere Mulde, einen anderen Zustand sozusagen,

über und das System nimmt schlagartig ganz einen anderen Gleichgewichtszustand ein. Dieser kann nun genauso stabil sein wie der alte, muss es aber keineswegs. Die unterschiedliche Höhe der Hügel soll die unterschiedliche Empfindlichkeit eines jeden Systems auf die verschiedenen Arten von Störungen andeuten. Der Grenzwert gegenüber einer Störung ist natürlich nicht bei jedem Typ Störung derselbe. So kann ein System durchaus starke Störungen einer Art ertragen, während es äußerst empfindlich auf bereits geringe Störungen einer anderen Art reagiert.

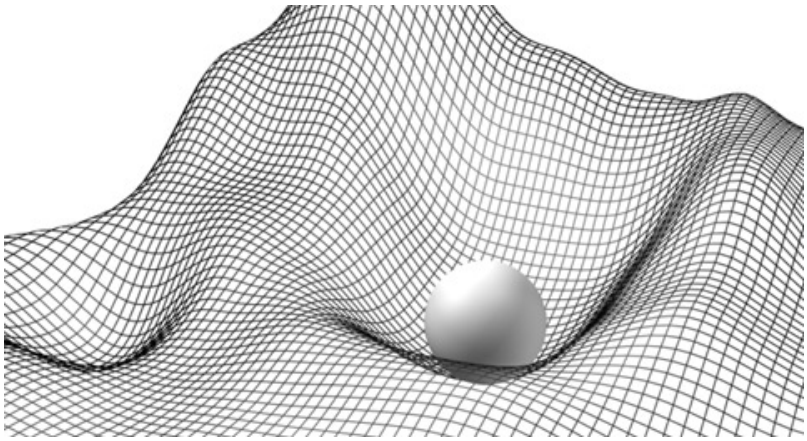


Fig. 7.2. (eigener Entwurf)

Der Abgrund am hinteren Ende des Zustandraumes hat ebenfalls eine Bedeutung. Er stellt die Möglichkeit eines Systemzusammenbruchs grafisch dar. Tritt eine Störung in diese Richtung auf und überschreitet ihren Grenzwert, so kollabiert das System.
Ein System ist also stabil, solange seine essentiellen Variablen innerhalb gewisser Grenzen bleiben. Der Gesundheitszustand des Menschen ist dafür wiederum ein gutes Beispiel. Angenommen, ein Mensch hat einen Unfall: Leichte Schrammen führen nur zu einer geringen Beeinträchtigung und damit zu einem schnellen Wiedererreichen des Gleichgewichtszustandes, schwerere Verletzungen mit bleibenden gesundheitlichen Schäden stellen jedoch eine starke Störung dar, welche das System in einen anderen Zustand (Gesundheitszustand) überführen. Letale Verletzungen stellen eine zu starke Störung dar und führen zum Zusammenbruch des Systems, dem Tod des Menschen.

Zusammenfassend kann man jene Systeme als stabil bezeichnen, welche äußere Störungen sowohl kurzfristiger als auch langfristiger Natur ohne eine bleibende Veränderung in Identität, Wiedererkennbarkeit und zukünftiger Entwicklung gut überstehen. Kurzzeitige Änderungen direkt nach dem Auftreten der Störung können dabei jedoch durchaus auftreten.

7.3. Das Verhalten in der Zeit – die Dynamik von Systemen

Systeme besitzen eine gewisse Verhaltenscharakteristik in der Zeit, eine Eigendynamik. Erst wenn man diese versteht kann man auch in das System erfolgreich eingreifen. Man kann zwar viel vom augenblicklichen Zustand und vergangenen Ereignissen über das allgemeine Systemverhalten lernen, systemisch denken heißt jedoch auch, das zukünftige Verhalten ohne Eingriffe unter Berücksichtigung der Eigendynamik, Zeitverzögerungen, Schwingungen, Kapazitätsgrenzen und dergleichen vorherzusehen.
Dörner (1999, S. 200-213) führt in einer seiner empirischen Untersuchungen aus, dass bereits das Konstanthalten der Temperatur eines simulierten Kühlhauses einigen Versuchspersonen große Schwierigkeiten bereitet, da sie nicht erkennen, dass eine Veränderung der Einstellung für die gewünschte Temperatur erst mit einiger zeitlicher Verzögerung Wirkung zeigt. Bemisst man sein Handeln nur nach dem augenblicklichen Zustand, also hier der momentanen Temperatur, so führt dies zu teilweise extremen Übersteuerungen.
Eine große Hilfe beim Erkennen der Eigendynamik eines Systems stellen die von Peter Senge identifizierten Systemarchetypen (siehe Kapitel 10.) dar. Diese Archetypen systemischen Verhaltens treten alleine oder auch zusammen immer wieder in fast allen Systemen auf und besitzen ein bestimmtes zeitliches Verlaufsmuster. Erkennt man das Muster, so tut man sich beträchtlich leichter die zukünftigen Zustände des Systems zu erahnen und vor allem eventuelle eigene Eingriffe in das System in richtiger Art und Stärke zu gestalten.

Generell lassen sich folgende Arten von Dynamik unterscheiden:

- **Fließende vs. katastrophale Dynamik**
  Während es sich bei fließender Dynamik um die Dynamik eines bereits im Laufe befindlichen Prozesses handelt, spricht man von katastrophaler Dynamik immer dann, wenn ein Übergang in einen komplett anderen Systemzustand stattfindet. Ein Luftballon platzt, ein fallender Gegenstand trifft plötzlich auf den Boden, ein Schiff sinkt oder ein Kind verlässt den Mutterleib. All diese abrupten Ereignisse und Übergänge in andere Systemzustände sind Katastrophen im Sinne der Katastrophentheorie. Dies bedeutet aber keinesfalls, dass es sich bei den Übergängen um negative Ereignisse handeln muss.
  Diese katastrophale Dynamik wird auch oft durch Grenz- und Schwellwerte hervorgerufen, welche dann wieder abrupte und unwiderrufliche Veränderungen des Systemcharakters verursachen. Eine gleichförmige Entwicklung kann ganz

plötzlich – oft durch Mitspielen von Zeitverzögerungen – in eine gänzlich andere Richtung umschlagen. Wird in eine ursprünglich sinnvolle Richtung übersteuert, wie etwa beim Beispiel der Rinderherden aus Kapitel 6.4., so erreicht man sehr leicht derartige Grenzwerte.

- **Deterministische vs. chaotische Dynamik**

  Deterministische Dynamik ist eine Bezeichnung dafür, dass das dynamische Verhalten gewissermaßen berechenbar und längerfristig vorhersagbar ist. So kann man beispielsweise die Bewegung der Himmelskörper auch langfristig streng deterministisch prognostizieren. Bei chaotischer Dynamik anderseits besteht diese Möglichkeit einer exakten deterministischen Prognose nicht. Bereits der allergeringste Messfehler oder die Nichtberücksichtigung einer noch so kleinen Komponente in der Ausgangssituation führt zu massiven Unterschieden in der Berechnung des langfristigen Verhaltens. Deshalb ist es auch nicht möglich, das Wetter eines bestimmten Ortes längerfristig vorherzusagen. Der Zustand der Atmosphäre müsste dafür zu einem bestimmten Zeitpunkt global in jeder Einzelheit bekannt sein und auch alle der beinahe unendlich vielen beeinflussenden Faktoren müssten mit ihrem exaktem Zustand in die Berechnung miteinfließen.

  Ein sogenanntes Galtonbrett (ein vertikales Brett in welches in mehreren Reihen Nägel eingeschlagen sind) ist eine Mischform zwischen deterministischer und chaotischer Dynamik. Eine nach unten laufende Kugel wird an den unterschiedlichen Nägeln entweder nach links oder rechts abgelenkt und kommt je nachdem an einem anderen Punkt am Ende des Brettes zum Stillstand. An und für sich ist der Verlauf der Kugel am Brett durch physikalische Gesetze von Anfang an determiniert. Andererseits kann man den Verlauf der Kugel nicht mit absoluter Exaktheit messen und so ergibt sich für eine einzelne Kugel lediglich ein zufälliges chaotisches Verhalten, welches man nur mit einer bestimmten statistischen Wahrscheinlichkeit beschreiben kann. Es ergibt sich bei wiederholtem Versuch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung darüber, wo genau eine Kugel zu liegen kommt.

Das Vorraussehen zukünftiger Entwicklungsszenarien ist von fundamentaler Bedeutung, will man erfolgreich in ein System eingreifen. Eine Simulation von Systemen ist dabei sehr gut dazu geeignet, das Wesen der Eigendynamik besser zu verstehen. Mittels Simulation in Modellen kann man zeitlich ansonsten sehr langsam ablaufende Prozesse langfristig simulieren, verschiedene Szenarien und mögliche

Eingriffe miteinander vergleichen und dabei auch neue Verhaltensstrategien ausarbeiten.
Dabei muss man sich auch stets über die langfristigen Auswirkungen des eigenen Handelns bewusst sein. Oft treten nämlich erst weit in der Zukunft nachteilige Wirkungen des eigenen Handelns zu Tage (vgl. auch Kapitel 9. Zeitverzögerungen). Dies ist vor allem deshalb schwierig, da die langfristige Wirkung durchaus häufig der kurzfristigen entgegengerichtet ist. So kann kurzfristig sinnvolles Handeln langfristig schädlich bis katastrophal sein. Aber auch das Gegenteil kann der Fall sein – langfristig sinnvolles Verhalten kann ein kurzfristig schädliches, negatives oder paradoxes Verhalten erfordern.

7.4. Wandel von Systemen nach Watzlawick

Paul Watzlawick unterscheidet zwei Arten systemischen Wandels. Unter einem Wandel erster Ordnung versteht er eine Lösung nach dem Prinzip „Mehr desselben – oder wenn die Lösung selbst zum Problem wird“ (Watzlawick et al. 1988). Diese Art der Lösung fällt wiederum nach Senge in die Kategorie Problemverschiebung oder „shifting the burden“.
Watzlawick bringt hierzu das Beispiel des streitenden Ehepaares (vgl. Kapitel 5.1.): Der Mann geht gerne und oft ins Gasthaus, die Frau nörgelt aber deshalb, woraufhin der Mann die „Flucht“ ergreift und noch mehr ins Gasthaus geht. Die Frau sieht die einzig mögliche Lösung darin, noch mehr zu nörgeln. Dies ist nach Watzlawick ein perfektes Exempel für einen Wandel erster Ordnung. Man verschiebt das Problem, verstärkt die Situation noch obendrein und damit das Problem.
Beide Ehepartner versuchen das Problem zwar zu lösen, da sie dabei aber kurzfristig denken, erschaffen sie einen langfristig eskalierenden Rückkoppelungskreis. Erst die kurzfristige Lösung schafft hier das langfristige Problem.
Das kurzfristig sinnvolle Verhalten ist hier also langfristig schädlich und fatal. Im Gegenzug jedoch erfordert eine langfristig sinnvolle Lösung des Problems ein kurzfristig widersinniges oder sogar paradoxes Handeln. So könnten die Ehepartner über eine eigentlich nicht verständliche Handlung (die Frau nörgelt einmal nicht, obwohl der Mann wieder außer Haus ist oder der Mann geht beispielsweise als Reaktion einmal nicht ins Gasthaus) eine Lösung erzielen. Diese Art von Lösung führt zu einem grundsätzlichem Wandel der Situation. Watzlawick bezeichnet sie als einen Wandel zweiter Ordnung.

Während also ein Wandel erster Ordnung nur kurzfristig gut ist (zum Beispiel wenn man gegen Zahnschmerzen als Lösung Schmerzmittel nimmt) und langfristig oft sogar die Situation noch verschlimmert (die Schmerzen werden größer), erzeugt ein Wandel zweiter Ordnung (man geht zum Zahnarzt) eine grundsätzliche Änderung und Lösung.

7.5. Stabilität vs. Dynamik

Stabilität und Dynamik sind in einem System notwendige Gegenpole. Die zeitliche Verhaltenscharakteristik steht oftmals im Widersinn zur Identitätsbeibehaltung und einer gleichförmigen Entwicklung. Während man so Stabilität als die Größe des Widerstandes gegen eine Veränderung im System sehen kann, führt Dynamik geradezu zwangsläufig zu Veränderungen. Andererseits kann es wiederum durch eine durch die Dynamik bedingte Veränderung im Systemcharakter zu einer Steigerung der Stabilität kommen.
Stabilität und Dynamik stehen zueinander in einer aporetischen[18] Wechselbeziehung. Sie sind einander zwar entgegengerichtet, aber brauchen auch einander. Ohne Stabilität würde das System zusammenbrechen und auch die Dynamik ginge verloren. Ohne Dynamik wiederum, d.h. ohne eine bestimmte Verhaltenscharakteristik in der Zeit, kann man auch nicht von Stabilität sprechen, da Stabilität ja erst durch eine Beibehaltung eines bestimmten Systemcharakters in der Zeit erzeugt wird.

[18] Aporie ist ein Konflikt mit folgenden Eigenschaften: Zwei Sachverhalte / Personen stehen zueinander in einer widersprechenden oder entgegengesetzten Position, beide Standpunkte sind jedoch berechtigt oder wahr und beide Personen oder Sachverhalte brauchen einander. (Beispiel: Interessen von Arbeitnehmern und Arbeitgebern: beide haben entgegengesetzte Interessen hinsichtlich Bezahlung oder Arbeitsaufwand, beide Standpunkte sind berechtigt und beide brauchen einander.)

8. Chaos

8.1. Allgemeines

(griech.: eigentlich „klaffende Leere (des Weltraums)“)
Die Chaostheorie oder Chaosforschung beschäftigt sich mit dem Verhalten von komplexen, dynamischen, nichtlinearen Systemen. Eine allgemein gültige Definition von Chaos, welche auch für alle betroffenen Fälle zutreffend wäre, existiert jedoch nicht. Man kann aber sagen, dass Chaos als Gegenteil von Ordnung einen Zustand darstellt, in welchem über lange Sicht das Systemverhalten nicht prognostizierbar ist. Chaos bedeutet für ein System auch, dass sein Verhalten in der Zeit irregulär ist. Es verhält sich weder stationär, periodisch noch mehrfach periodisch.

Die Grundeigenschaft von Chaos ist extrem vereinfacht folgende: kleine Ursache – große Wirkung. Das soll heißen, dass ein System chaotisch ist, wenn zwei sehr knapp nebeneinanderliegende Zustände, zwei sehr sehr ähnliche Zustände also, im Laufe der Zeit weit auseinandergeraten, nach einer gewissen Zeit also vollkommen unterschiedlich sind. Eine kleine Veränderung im Ausgangszustand, oder auch eine sehr kleine Beeinflussung, hat so eine massive Änderung im Zustand nach einer gewissen Zeit zur Folge.
Hierzu zwei Beispiele: Ein langsam fließender Fluss besitzt eine gleichmäßige, in Schichten fließende Strömung. Eine solche Strömung wird als „laminar“ bezeichnet. Wasserteilchen, welche nahe beieinander liegen, bleiben auch im Laufe der Strömung nahe beieinander. Tritt jedoch irgendwo eine Verwirbelung (Turbulenz) auf (turbulente oder „nichtlaminare“ Strömung), dann geraten ursprünglich eng beieinander liegende Teilchen weit auseinander und umgekehrt ursprünglich weit entfernte ganz nahe zusammen. Dies ist typisch für chaotisches Verhalten.
Oder man stelle sich einen Trichter mit Lottokugeln vor. Solange die Kugeln sich in Ruhelage befinden, herrscht kein Chaos. Kugeln, welche zu einem Zeitpunkt X nebeneinander liegen, liegen auch etwas später noch nebeneinander. Wird jedoch nun das Gebläse eingeschaltet und die Kugeln eine Weile wild herumgewirbelt, entsteht Chaos: Kugeln, die zu Beginn nebeneinander lagen, kommen irgendwo zu liegen. Auf diese Art und Weise kann auch bei mechanischen Lottotrichtern, welche bei der Ziehung die Kugeln immer an der exakt gleichen Stelle entnehmen, nicht vorhergesagt werden, welche Kugel sich nach dem Durcheinanderwirbeln an dieser Stelle befindet.

Chaos - Theorie

Ihren Ursprung hat die Chaostheorie in Berechnungen der Wetterprognose am Massachusetts Institute of Technology durch Edward Lorenz in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts. Er stieß beim Versuch Wetterprognosen am Computer zu erzeugen auf das Phänomen, dass bereits verschwindend kleine Veränderungen in den Anfangsbedingungen in einem System von drei nichtlinearen Differentialgleichungen zu absolut unterschiedlichen Ergebnissen der Berechnung, welche den Zustand des Wetters zu einem späteren Zeitpunkt beschrieb, führten.
Die Computersimulation zeigte, dass in komplexen Systemen wie jenem des Wetters bereits eine kleine anfängliche Änderung sich über die Zeit ausdehnt und zu einem völlig anderen zukünftigen Zustand führt. Dies ist auch der Grund, weshalb Wettervorhersagen gewöhnlich nur für einen sehr kurzen Zeitraum richtig sind. Über diesen Zeitraum von nur ein oder zwei Tagen hinaus werden die Vorhersagen immer unverlässlicher und ungenauer. (vgl. auch „Deterministische vs. chaotische Dynamik“ in Kapitel 7.3.).

„Unschärfe“ in den Messungen und Berechnungen

Der Grund für dieses Verhalten liegt darin, dass der exakte Anfangszustand (in der Modellierung komplexer Systeme auch oft Randbedingung genannt) unbestimmbar bleibt (Unschärfe). Durch innere Rückkoppelungen steigern sich nun anfangs verschwindend kleine Ungenauigkeiten in der Messung oder auftretende Störungen ins Unermessliche und führen zu einem völlig anderen Systemzustand als jenem, welchen man berechnet. Als Beispiel hierzu wurde der sogenannte Schmetterlingseffekt, ebenfalls von Edward Lorenz, populär. So kann theoretisch ein Flügelschlag eines Schmetterlings in einem Teil der Welt (als minimale Änderung der Randbedingung) über die dem System innewohnenden Rückkoppelungen einen Hurrikan in einem vollkommen anderen Teil der Welt verursachen (dies ist aber nur für mathematische Berechnungsmodelle gültig und in dieser Form nicht auf die Realität übertragbar). Veränderung und Auswirkung stehen also in einem unglaublichen Größenverhältnis zueinander. Dies ist wiederum dadurch begründet, dass es sich bei komplexen Systemen um nichtlineare Systeme handelt. In linearen Systemen bewirken kleine Änderungen kleine Auswirkungen. Große Auswirkungen können entweder durch große Veränderungen oder durch viele kleine Veränderungen entstehen. In nichtlinearen Systemen aber können auch unendlich kleine Veränderungen durch Iteration[19] (Wiederholung durch

[19] Unter Iteration versteht man die wiederholte Anwendung eines Rechenschrittes, wobei das Ergebnis der Rechnung wieder als Ausgangswert für die neue Rechnung gilt (vgl.

Rückkoppelung) zu großen Auswirkungen führen. Unendlich kleine Unterschiede sind jedoch für Menschen weder wahrnehmbar noch messbar, weshalb es bereits bei der Festlegung jeder Randbedingung zu einem kleinen Fehler kommt. Über sehr kurze Zeiträume bleibt dann das System vorhersagbar, über einen längeren keinesfalls. Die Chaostheorie hat dadurch die Naturwissenschaften mit der Tatsache konfrontiert, dass viele auftretende Phänomene trotz einer strengen deterministischen Modellierung nicht langfristig prognostizierbar sind.

Merkmale von Chaos kommen bei fast allen komplexen Systemen mit hohem Vernetzungsgrad, welche in der Natur den Regelfall darstellen, vor.

> *„In der Physik findet es sich zum Beispiel bei der Schwingung von Doppelpendeln, bei verschiedenen Strömungen, bei Planetenbahnen in Doppelsternsystemen oder sogar bei einem tropfenden Wasserhahn. In der Biologie ist es vor allem bei der Entwicklung von Populationen vertreten, deren Schwankungen teilweise recht chaotisch sind. Sogar in der Kriegsforschung wird mit Modellen aus der Chaosforschung gearbeitet und die Medizin findet das Chaos in EKGs von Patienten mit Herzflimmern."* (Rondot, 1997)

Die moderne Auffassung von Chaos sind sich irregulär und hoch komplex verhaltende Zeit- und Raumstrukturen, welche deterministischen (lat.: berechenbar, bestimmbar) Gesetzen und Ausdrücken folgen (vgl. Mayer-Kress 1995). Deshalb wird heute Chaos auch häufig als „Deterministisches Chaos" bezeichnet.

8.2. Deterministisches Chaos

Beim deterministischen Chaos handelt es sich eigentlich um eine Sonderform chaotischen Verhaltens. Es liegt im Bereich zwischen absolut zufälligem (stochastischem) Verhalten und linearem, vorhersagbarem Verhalten. Beim deterministischem chaotischem Verhalten folgt die zeitliche Entwicklung einerseits strengen deterministischen Gleichungen, anderseits aber auch dem chaotischem Verhalten (am deutlichsten erkennbar in iterierten Funktionen). So kommt es in Modellen von dynamischen Systemen wie beispielsweise Zirkulationssystemen in der Atmosphäre, Klimamodellen, Ökosystemen oder oszillierenden chemischen Reaktionen trotz streng deterministischer Modellbildung, bedingt durch nichtlineare

---

Reinartz 1999). So gesehen handelt es sich um eine sich immer wiederholende Rückkoppelung.

Rückkoppelungen, dazu, dass bereits eine kleine Störung zu einem völlig unberechenbaren Verhalten führt (vgl. das Beispiel der Wetterprognose in 8.1.).
Deterministisches Chaos ist keinesfalls mit zufälligem (stochastischem) Verhalten gleichzusetzen. Es erfolgt nach festen Regeln ohne stochastische Elemente. Das zukünftige Verhalten ist exakt durch das vergangene vorherbestimmt, es werden aber kleinste Fehler (in den Messwerten) und Änderungen (Störungen) extrem verstärkt. Deshalb sind deterministisch chaotische Systeme zwar für kurze Zeit vorhersagbar, auf lange Zeit jedoch ist eine Vorhersagbarkeit unmöglich.

Chaos und Zufall

Chaos und Zufall weisen zwar gewisse Gemeinsamkeiten auf, besitzen aber auch einige fundamentale Unterschiede, welche sich gut anhand des Roulettespiels illustrieren lassen: Wiederholt man das Roulettespiel viele Male hintereinander, so stellt man fest, dass das Auftreten der einzelnen Zahlen vollkommen zufällig erfolgt. Normalerweise ist ein Roulettespiel nämlich so gebaut, dass bei oftmaliger Wiederholung jede Zahl mit der selben Wahrscheinlichkeit gewinnt. Wenn man nun aber die Beschaffenheit der Kugel und die Mechanik des Roulettespiels sehr genau kennt und noch dazu die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel, so ändert sich diese Wahrscheinlichkeit und man ist in der Lage eine Vorhersage darüber zu treffen, wo die Kugel zu liegen kommt. Diese Gegebenheit kann man als deterministisches Chaos bezeichnen. Leider ist man auch hier erneut nur in der Lage eine kurzzeitige Vorhersage über das Verhaltens der Kugel zu treffen, begründet durch die Unschärfe der Messungen. Man kann zwar äußerst genau die Beschaffenheit des Roulettespiels sowie der Kugel messen und bestimmen, aber niemals die Anfangsgeschwindigkeit und den Richtungsimpuls mit welchen der Croupier die Kugel beim nächsten Mal ins Spiel bringt.
Chaos folgt also äußerst strengen Regeln und ist auch kurzzeitig prognostizierbar, scheint über einen längerfristigen Zeitraum dem Zufall ähnlich, dies aber nur durch die Unkenntnis des exakten Anfangszustandes und auftretender Einflüsse.

8.3. Seltsame Attraktoren und Selbstähnlichkeit

Die Chaostheorie hat aber auch darüber hinaus noch vieles mehr zu bieten und führte zu mehreren wichtigen Erkenntnissen und Entdeckungen. So brachte die Chaostheorie Begriffe wie Attraktoren oder jenen der Fraktalität hervor. Unter Attraktoren oder Attraktorzuständen versteht man vereinfacht alles worauf sich der

Zustand eines Systems bevorzugt zubewegt oder wovon dieses angezogen wird. Man unterscheidet Punktattraktoren, welche Systemen entsprechen, die ein stabiles Gleichgewicht erreichen, periodische Attraktoren, welche periodisch schwankenden Systemen und „seltsame“ Attraktoren, welche chaotischen Systemen entsprechen. Bei Iterierung ist ein Punktattraktor demnach ein Wert, welcher sich auch bei erneuter Wiederholung des Rechenschrittes nicht weiter ändert, die Werte eines periodischen Attraktors schwanken innerhalb zweier Grenzen und die Werte eines chaotischen Attraktors verhalten sich völlig ziel- und regellos.
Der Mathematiker Benoît B. Mandelbrot entwickelte in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts die sogenannte fraktale Geometrie, eine Mathematik um die komplexen Formen der Natur zu beschreiben und zu analysieren. Er entdeckte die Eigenschaft einer Fraktalität oder „Selbstähnlichkeit“ in unterschiedlichen Größenordnungen vieler natürlich vorkommender Objekte. So ist etwa eine Küstenlinie aus großer Höhe auch bei geringerer Entfernung wieder sich selbst ähnlich. Steht man schließlich direkt am Wasser und sieht zu seinen Füßen, erkennt man von neuem dasselbe Muster. Diese Selbstähnlichkeit lässt sich in der Folge über sehr viele verschiedene Auflösungsgrade beobachten. Ebenso ähnelt ein Stück eines Blumenkohls einem ganzen Blumenkohl. Nimmt man davon wiederum ein Stück heraus, ähnelt auch dieses einem ganzen Kohl. In der Natur gibt es zahlreiche weitere Beispiele für Selbstähnlichkeiten und nicht zuletzt stellen die oben erwähnten seltsamen Attraktoren selbst ausgezeichnete Beispiele für Fraktale dar.

8.4. Bifurkation

Eine Art Vorform des Chaos ist in der sogenannten „Bifurkation“ zu sehen. Als Bifurkation wird die Entscheidung gesehen, ob an einem Punkt mit mehreren Möglichkeiten der eine oder der andere Weg gegangen wird. Diese Entscheidung mag bewusst oder instinktiv getroffen werden, wie das ein lebendes Wesen tut, oder aber kann auch zufällig wie bei nicht lebender Materie erfolgen.
Befindet sich beispielsweise in einem Fluss eine kleine Insel, so wird jeder einzelne Wassertropfen entweder links oder rechts an ihr vorbeifließen. Jeder Wassertropfen muss sich sozusagen „entscheiden“, wie er sich verhält. Dadurch entsteht direkt vor der Insel eine Situation, in welcher nahe beieinander liegende Teichen weit auseinander gerissen werden. Beim Zusammenströmen des Wassers nach dem Passieren der Insel entstehen in der Regel Verwirbelungen. Diese Verwirbelungen

sind, wie schon in 8.1. gesehen, typisch für chaotisches Verhalten. Nahe beieinander liegende Teichen geraten weit auseinander und davor weit voneinander entfernte Teilchen können nahe aneinander kommen.
Aber auch das Leben eines Menschen ist ein gutes Beispiel für chaotisches Verhalten. Eine kleine Veränderung, ein kleines Ereignis, kann schon dazu führen, dass das gesamte Leben eines Menschen in eine andere Richtung verläuft. Solche Ereignisse geschehen jedem lebenden Wesen jeden Tag. Begegnungen, Ereignisse und Zwischenfälle führen ununterbrochen mehr oder weniger offensichtlich dazu, dass sich unser Leben in die eine oder andere Richtung entwickelt. So gesehen kann man jedes Ereignis und jede Entscheidung im Leben als eine Art Bifurkationspunkt sehen.

Das Bifurkations- oder Feigenbaumdiagramm

Das Feigenbaumdiagramm geht auf den amerikanischen Physiker Mitchell J. Feigenbaum zurück, der dieses Mitte der siebziger Jahre entdeckte. Es wird dabei die Annäherung eines Bestandes (z.B. der Bestand einer Insektenpopulation) während eines unendlich langen Zeitraumes betrachtet. Wie im Feigenbaumdiagramm (vgl. Fig. 8.9.) zu sehen ist, gibt es während dieses Zeitraumes anfangs weniger, dann immer mehr, Bifurkationspunkte. Diese erhält man, wenn man beim logistischen Wachstum einen variierenden Steuerparameter (beispielsweise den Wachstumsfaktor) fortlaufend erhöht:
Nehmen wir das Wachstumsmodell aus 6.4. und wenden es auf einen Insektenbestand an. Es möge sich um eine Insektenart handeln, welche im Sommer lebt und im Herbst, bevor sie stirbt, ihre Eier ablegt. Die Anzahl der Nachkommen des nächsten Jahres hängt damit direkt davon ab, wie viele Insekten es im Vorjahr gab. Der Bestand ist dadurch mit sich selbst rückgekoppelt, es handelt sich um eine Iteration. Man geht wieder von einem bestimmten Anfangsbestand aus und erhält eine logistische Funktion.[20]
Unter der Geburtenrate verstehen wir die Anzahl der geschlüpften Insekten gemessen an der Anzahl der Vorjahresinsekten. Für Geburtenraten unter 1 stirbt jede auch noch so große Population aus, da weniger Eier im Folgejahr vorhanden sind als zuvor Insekten. Dies setzt sich über Jahre hinweg fort, bis die Population irgendwann ausstirbt (vgl. Fig. 8.1.). (Es wird hierbei mit relativen Zahlen gerechnet, wobei Populationsgröße = 1 die größtmögliche Population darstellt, also 100%.)

[20] Mathematisch gesehen handelt es sich wie in Kapitel 6.4. um die Verhulst – Gleichung zur Beschreibung einer logistischen Wachstums und zwar in der Form: f(x) = a*x*(1-x) wobei a für den Wachstumsfaktor, d.h. die Geburtenrate steht, und x für den Bestand.

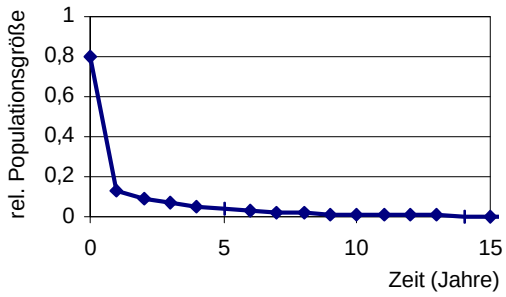


Fig. 8.1. (sämtliche Figuren in Kapitel 8. eigene Entwürfe)

Auf welchen Wert sich der Insektenbestand bei einer positiven Geburtenrate einpendelt, hängt rein von der Höhe der Geburtenrate ab. So erreicht eine sehr kleine Anfangspopulation bei einer Geburtenrate von 2,3 (siehe Fig. 8.2.) eine Populationsgröße von 0,57, d.h. 57% der maximal möglichen Populationsgröße.

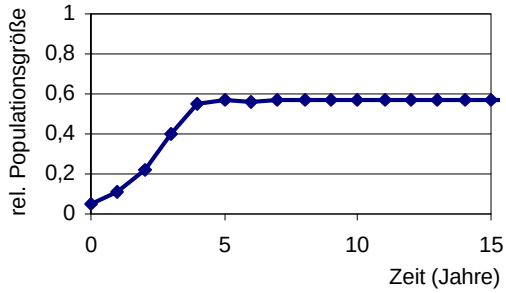


Fig. 8.2.

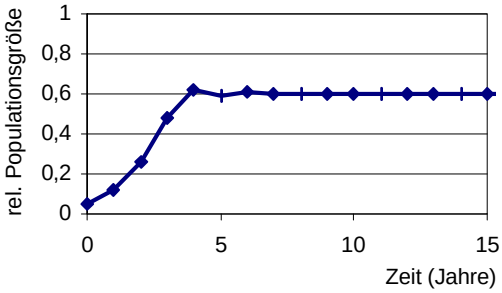


Fig. 8.3.

Eine Geburtenrate von 2,5 liefert bei der Populationsgröße ein gewisses Schwingungsverhalten, bevor sie sich letzten Endes auf 0,6 d.h. 60% einpendelt (siehe Fig. 8.3.).

Dieses Experiment lässt sich so lange, bis die Geburtenrate den kritischen Wert 3 erreicht, fortsetzen. Bei einer Geburtenrate von 2,8 erreicht die Population 64%, bei 2,99 erreicht sie 66,6%. Für jede Geburtenrate zwischen 1 und <3 findet sich genau eine Populationsgröße, auf welche sich der Insektenbestand einpendelt, d.h. das logistische Wachstum hat bis dahin nur einen Grenzwert, einen Fixpunktattraktor. Trägt man nun die Populationsgröße und die Geburtenrate gegeneinander auf, so erhält man folgende Figur[21]:

[21] [Die Figuren 8.4., 8.6., 8.8., 8.9. und 8.10. wurden mit dem Programm Feigenbaum 4.1., Copyright Ulrich Schwebinghaus erstellt. www.fraktalwelt.de]

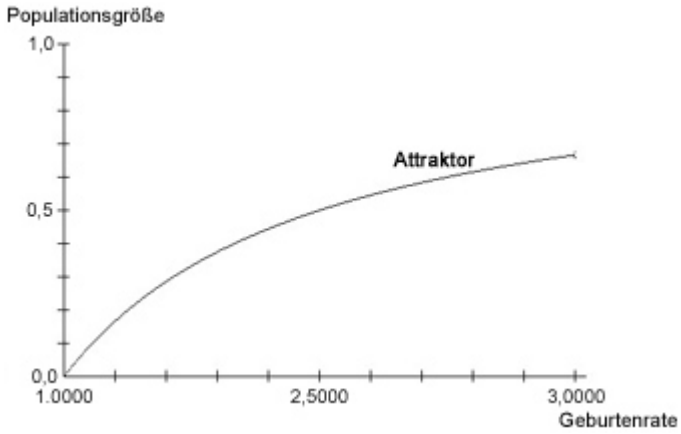


Fig. 8.4.

Bei Überschreitung des Grenzwertes für die Geburtenrate von 3,0 wird dieser Fixpunktattraktor plötzlich instabil und spaltet sich in zwei. Nun nähert sich die Insektenpopulation nicht mehr einem bestimmten Wert an, sondern schwankt zwischen zwei stabilen Werten hin und her (siehe Fig. 8.5.). Man erhält plötzlich zwei Grenzwerte (man nennt dies einen periodischen Attraktor der Periode 2). In Wirklichkeit bedeutet dies ganz einfach nur, dass die Insektenpopulation sich vermehrt und viele Eier für das nächste Jahr zurücklässt. Im Jahr darauf ist das Gebiet überbevölkert und viele Insekten sterben, wodurch weniger Eier hinterlassen werden. Im Folgejahr kann sich die Population wieder wie wild vermehren und hinterlässt wieder viele Eier. Die Gesamtzahl der Population schwankt also zwischen zwei Werten immer hin und her.

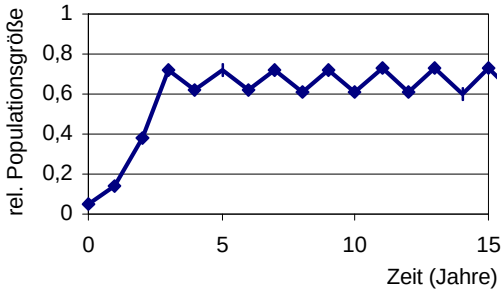


Fig. 8.5.

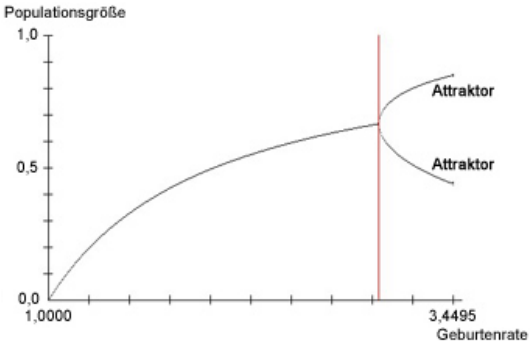


Fig. 8.6.

Diese Tatsache bleibt bis zu einer Wachstumsrate von 3,4495 erhalten, ab Erreichen dieser Geburtenrate werden die beiden festen Werte wiederum instabil und spalten sich auf. Es ergibt sich eine Population, welche einen immer wiederkehrenden Vierjahreszyklus aufweist. (Es handelt sich um einen periodischen Attraktor der Periode 4.)

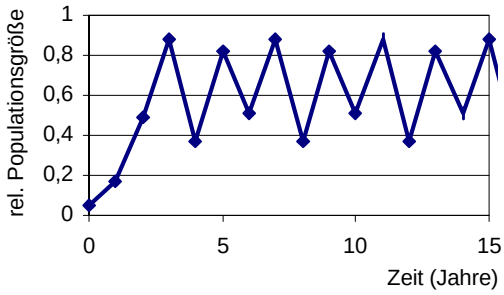


Fig. 8.7.

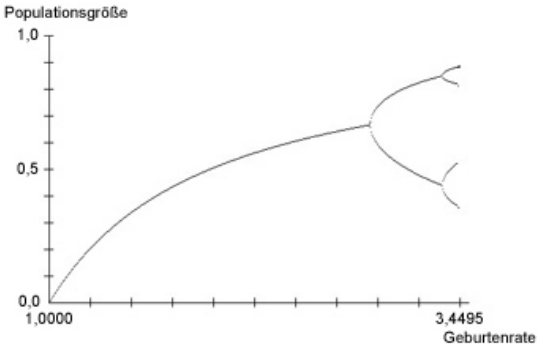


Fig. 8.8.

Bei weiterer Vergrößerung der Wachstumsrate und Überschreitung des Wertes von 3,56 werden auch diese Werte wieder instabil und ergeben eine Bifurkation in acht Punkte. Die Population hat nun ein zyklisches immer wiederkehrendes Achtjahreswachstum. (Periodischer Attraktor der Periode 8.)

Bei einer Wachstumsrate von 3,569 ergibt sich ein Attraktor der Periode 16 und bei erneuter Vergrößerung immer so weiter, jeweils mit einer Verdoppelung der Grenzwerte. Bei Erreichen einer Wachstumsrate von 3,56999 kann aber schließlich kein neues periodisches Wachstum mehr gefunden werden, die Anzahl der Attraktoren wird unendlich groß und es bricht Chaos aus. Von nun an schwankt das System (die Anzahl der Insekten) unregelmäßig zwischen den unterschiedlichsten Zuständen hin und her. Von Jahr zu Jahr springt die Größe der Population auf einen nur kurzzeitig vorausberechenbaren Wert.

Trägt man nun die jeweiligen Grenzwerte der Populationsgröße für eine steigende Geburtenrate in ein Diagramm ein, so erhält man das Feigenbaum – Diagramm (Fig. 8.9.):

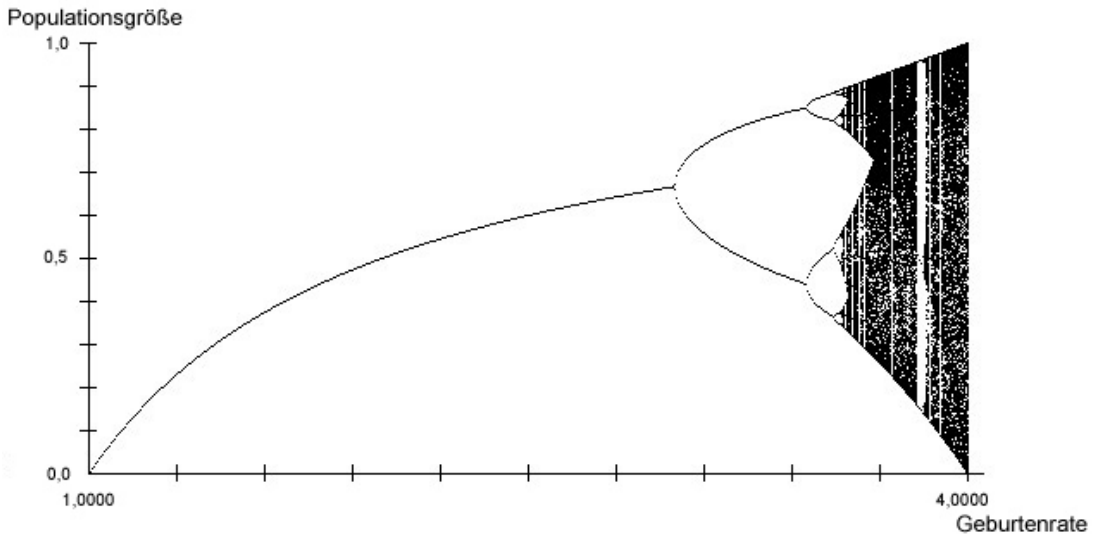


Fig. 8.9.

Zur besseren Veranschaulichung zeigt Figur 8.10. einen vergrößerten Bereich (Geburtenrate zwischen 3,3 und 4) des Feigenbaumdiagramms:

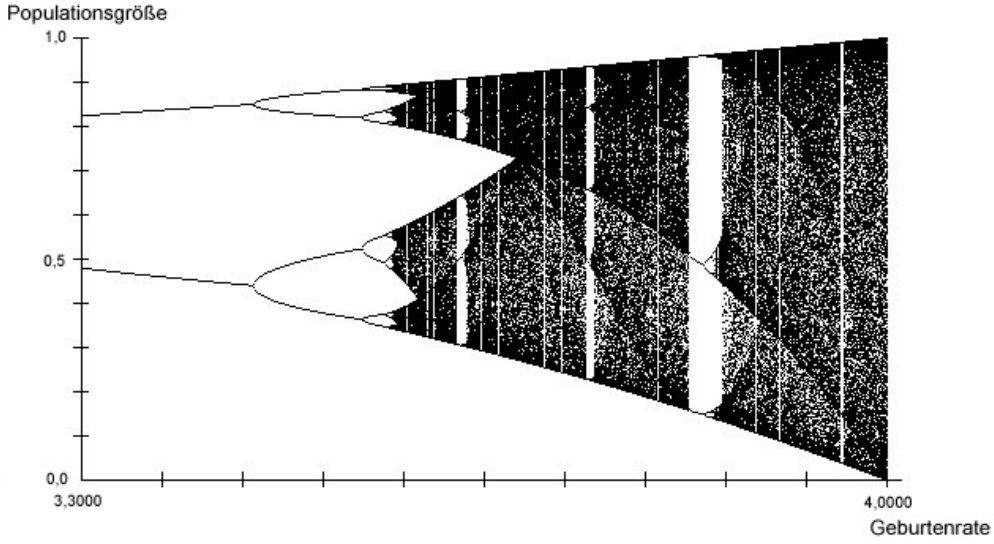


Fig. 8.10.

Wie im Feigenbaumdiagramm jedoch ersichtlich, kann bei einer Geburtenrate von 3,8 oder 3,9 die Population noch nicht alle möglichen Werte annehmen. Erst ab einer Rate von 4,0 wird der gesamte Phasenraum ausgefüllt, wodurch das System nun wirklich jeden Wert zwischen sehr niedrig (nahe 0) und extrem hoch (nahe 1) einnehmen kann.

Auffällig sind nun mehrere Dinge:

- Die Art und Weise auf welche mit zunehmender Wachstumsrate der Phasenraum von links nach rechts allmählich gefüllt wird, sich die mögliche Zustände geradezu auffächern, zeigt, dass es sich bei Chaos um einen seltsam geordneten Prozess handelt.

- Die Vorhersagbarkeit des Systems geht mit zunehmender Geburtenrate natürlich verloren. Zwar kann man immer eine kurzzeitige Vorhersage für das Folgejahr machen, eine langfristige ist aber von neuem unmöglich.

- Des weiteren sind im Feigenbaumdiagramm dunklere und weniger dunklere Bereiche zu sehen. In den dunklen Bereichen ist das System mit einer höheren Wahrscheinlichkeitsrate anzutreffen, man könnte sie also als „Wahrscheinlichkeitsbänder“ bezeichnen. Dadurch ist es wieder möglich, eine bedingte Vorhersage über den zukünftigen Systemzustand zu treffen.

- In der Grafik sind immer wieder weiße senkrechte Flächen erkennbar. In diesen Flächen wird das System für kurze Zeit wieder stabil, d.h. es weist wieder ein Verhalten mit einer festen Periodenlänge auf. Diese „periodischen Fenster“ oder „Inseln der Ordnung“ führen nach einer gewissen Zeit aber wiederum von neuem in das Chaos. Vergrößert man ein periodisches Fenster, so weißt dieses eine verblüffende Ähnlichkeit mit dem gesamten Diagramm auf, d.h. die Struktur des Feigenbaumdiagramms ist fraktal.

Eine Beeinflussung der Geburtenrate einer Spezies ist natürlich direkt nicht möglich. Indirekt aber, etwa über die zur Verfügung stehende Nahrungsmenge, ist das in der Natur ständig der Fall, wobei in der Natur der Grad der Komplexität ein bei weitem höherer ist, da ja auch die Anzahl der natürlichen Feinde und klimatische Gegebenheiten eine entscheidende Rolle spielen. Dadurch ist natürlichen Systemen stets ein gewisses chaotisches Verhalten eigen.

8.5. Chaotische Zustände vs. chaotische Dynamik

Ist ein chaotischer Zustand in einem System vorhanden, charakterisiert sich dieser unter anderem durch eine extreme Empfindlichkeit gegenüber weiteren Beeinflussungen des Systems. Die Systemvariablen reagieren scheinbar vollkommen regellos und gehorchen, ebenfalls scheinbar, keinerlei Gesetzmäßigkeit. Das System verliert dadurch natürlich seine Vorhersagbarkeit wie dies bereits in dem Wachstumsmodell in 6.4. und 8.4. zu sehen war. Durch das übermäßige Wachstum geriet das Modell außer Kontrolle und wies chaotisches Verhalten auf.

Dies ist klarerweise auch auf unsere Umwelt anwendbar. So kann etwa der anthropogen verursachte Treibhauseffekt durchaus zu einer Veränderung der sensiblen Größen des Klimasystems führen. Die stabile Dynamik des Klimasystems könnte dadurch verloren gehen, das System Klima könnte in diesem Fall immer stärkere Schwankungen hervorbringen. Die nichtlinearen Verbindungen der einzelnen Systemparameter und die mangelnde Kenntnis dieser führt dazu, dass wir heute Folgen von Umweltbelastungen nicht sicher abschätzen können. Auch sollte durch diese Ausführungen verständlich sein, dass die Menschheit keinesfalls einen lenkenden Einfluss auf solch komplexe Systeme wie beispielsweise das Klimasystem ausüben kann. Ist ein System einmal aus den Fugen geraten, kann

man durch irgendwelche Änderungen im Verhalten gemäß dem deterministischem Chaos nicht unbedingt damit rechnen, dass sich das System wieder normalisiert. Diese Änderung könnte nämlich selbst wieder über Rückkoppelungen zu einem gänzlich anderen Systemzustand führen.

Zusammenschau

Merkmale von Chaos lassen sich bei fast allen komplexen Systemen beobachten. Chaotische Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie bedingt durch Unschärfe bei Messwerten und Unkenntnis auftretender Einflüsse trotz exakter deterministischer Gleichungen nicht langfristig prognostizierbar sind. Geringste Eingriffe können zu riesigen Veränderungen führen (kleine Ursache – große Wirkung), was sich der Mensch im Umgang mit solchen Systemen vor Augen halten sollte. Die Chaostheorie hilft für chaotische Systeme Beschreibungen und gewisse Metastrukturen, wie beispielsweise statistische Verteilungen zu finden.
Aufgrund dieser zahlreichen Ergebnisse und neuartigen Einsichten konnte die Chaostheorie in der Wissenschaft seit etwa 1980 sicher Fuß fassen.

9. Zeitverzögerung in Systemen

Zeitverzögerungen finden sich in Systemen ständig und überall. Genau genommen besteht stets zwischen jeder Ursache und Wirkung eine zeitliche Verzögerung. Meist ist diese jedoch so kurz, dass sie unbemerkt bleibt oder ohnehin keine Rolle spielt. Oft jedoch sind sie offensichtlich und bleiben dennoch unbemerkt oder zumindest unberücksichtigt. Wenn aber Zeitverzögerungen, vor allem lange Zeitverzögerungen nicht beachtet werden, kann dies zu Instabilitäten oder sogar zum Zusammenbruch eines Systems führen (siehe 6.3.3. „Overshoot and collapse“). Das macht Zeitverzögerungen zu einem äußerst wichtigen Detail in der systemischen Betrachtungsweise.

9.1. Der „Schweinezyklus“

Beim sogenannten Schweinezyklus handelt es sich um eine oft verwendete Metapher für jene Phänomene in Systemen, welche durch das Vorhandensein von zeitlichen Verzögerungen hervorgerufen werden. Schweinezyklen gibt es in unterschiedlichsten Erscheinungen, aber zunächst soll er anhand seiner ursprünglichen Bedeutung erklärt werden:

Der Schweinezyklus ist ein Phänomen der Landwirtschaft, es geht dabei um den Handel mit Schweinefleisch: Man stelle sich ein beliebiges ländliches Dorf X vor. In diesem lebt eine handvoll Bauern, welche unterschiedliche landwirtschaftliche Produkte erzeugen. Unter anderem züchten sie auch Ferkel und produzieren also Schweinefleisch. Es geht den Bauern gut, aber es könnte auch besser sein. Eines Tages steigt der Marktpreis für Schweinefleisch. Die Bauern denken sich nun verständlicherweise, dass sie mehr Profit aus ihrer Arbeit schlagen könnten, wenn sie nur mehr Ferkel aufzüchten würden. Sie beschließen daher an Stelle irgendeines anderen landwirtschaftlichen Produktes mehr Ferkel aufzuzüchten, um dann später beim Verkauf mehr Profit zu erreichen.
Kommen dann nach einigen Monaten die Ferkel schließlich ins schlachtreife Alter, müssen die Bauern des Dorfes jedoch überrascht und bedrückt feststellen, dass nicht nur sie diese Idee hatten, sondern auch viele andere Bauern. Denn auch diese Bauern und Züchter sahen die Möglichkeit mehr Geld zu verdienen und beschlossen verstärkt Ferkel aufzuziehen. Ein Überangebot an Schweinefleisch ist dadurch vorhanden und der Marktpreis am Boden. Daraufhin beschließen unsere

Bauern, dass sie doch wieder auf eine anderes Produkt wechseln, eines das sich besser rentiert. Sie und natürlich auch viele andere Bauern, reduzieren ihre Schweinezucht und nach einiger Zeit ist wieder weniger Schweinefleisch am Markt. Der Preis steigt und die damit auch wieder die Attraktivität der Schweinezucht. Die Bauern vergrößern wieder ihre Zucht... .

Es entsteht dabei ein ständiges Auf und Ab in dieser Sparte der Landwirtschaft (und nebenbei besteht dieses Phänomen nicht nur im Bereich der Schweinezucht, sondern betrifft eine Vielzahl landwirtschaftlicher Produkte). Betrachtet man das System von außen, beispielsweise die Entwicklung des Marktpreises im Laufe der Zeit, so kann man sehr gut den Schwingungscharakter des Systems beobachten (siehe Fig. 9.1.).

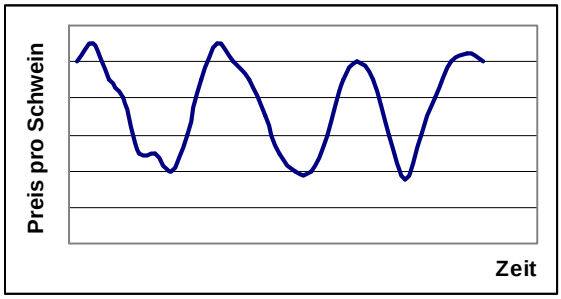


Fig. 9.1. (eigener Entwurf)

Entscheidend verantwortlich für dieses Verhalten ist die dem System innewohnende Zeitverzögerung zwischen Entscheidung zur Aufzucht zusätzlicher Ferkel und dem letztendlichen Verkauf. Würden die Ferkel extrem schnell wachsen und wären schon nach ein paar Tagen schlachtreif, wäre also die Zeitverzögerung wesentlich geringer, dann würde es wohl kaum zu einem Schwanken des Marktpreises in diesem Ausmaß kommen. Auf solche Art können demnach zeitliche Verzögerungen zu einem schwingenden Systemzustand führen.
Im System herrscht dabei der klassische negative Rückkoppelungskreis zwischen Angebot, Preis und Produktion. Er lässt sich wie folgt darstellen:

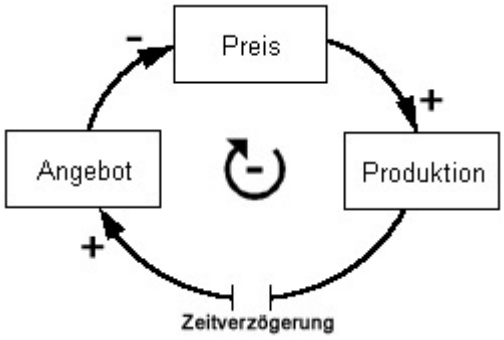


Fig. 9.2. (eigener Entwurf)

Heutzutage ist der Schweinezyklus im landwirtschaftlichen Bereich aber nicht mehr sehr stark ausgeprägt. Mit zunehmender Globalisierung sanken auch Transportkosten und so bewirken ausländische Produkte eine ausgleichende Rückkoppelung auf jeden Binnenmarkt. Darüber hinaus führte das Wissen um dieses Phänomen zu der einzig möglichen richtigen Verhaltensweise vieler Bauern. Sie verhalten sich antizyklisch, d.h. sie vermehren ihre Aufzucht, wenn der Marktpreis am Boden ist und vermindern sie, wenn der Marktpreis hoch ist.

Das Prinzip des Schweinezyklus findet sich noch in vielen anderen Bereichen, so z.B. in der Wahl der Berufsausbildung oder des Studiums. Viele Menschen richten ihre Wahl des Studiums nach der Situation am Arbeitsmarkt. Dadurch kommt es dazu, dass viele jenes Studium wählen, nach dessen Abschluss gute Aussichten bestehen einen Job zu finden. Zu Studienbeginn ist noch alles unverändert, aber während der mehrjährigen Ausbildung kann sich die Lage ändern. Wird dann ein erster „Schub“ an Studenten einmal mit dem Studium fertig, kann die Lage sogar so sein, dass ein Überschuss an Ausgebildeten besteht. Dafür besteht aber dann in einem anderen Sektor ein Mangel an Absolventen. Woraufhin sich viele der Schulabsolventen für dieses andere Studium entscheiden...
Ebenso tritt das Muster des Schweinezyklus in der Wirtschaft zu Tage. Illustriert im sogenannten „Beer – Game“[22], am Beispiel des Brauereiwesens, wurde es bereits in den 60er Jahren der Öffentlichkeit anschaulich gemacht. In kurzen Worten führt dabei die Zeitverzögerung zwischen Nachfrage an Bier und der Herstellung neuen Biers bzw. der räumlichen Verteilung des neuen Biers dazu, dass gerade dann, wenn die Spitze der Nachfrage schon längst vorüber ist, die Lager der Nahverkäufer und Zwischenhändler übergehen, d.h. das meiste Bier am Markt ist.

9.2. Die Rolle von Zeitverzögerungen in Systemen

Welche Bedeutung Zeitverzögerungen im Zusammenhang mit Rückkoppelungen besitzen, wurde bereits in 5.5. ausgeführt und soll an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber nochmals erwähnt werden. Zeitverzögerungen bei negativen d.h. ausgleichenden Rückkoppelungen führen oftmals zu einer Überreaktion des Handelnden. Die „Todzeit“ zwischen Ausführung der Handlung und offensichtlicher Reaktion des Systems führt zu einer Intensivierung der Bemühungen in dieser Zeit.

[22] Das „Beer Game“ ist eine vom Massachussetts Institute of Technology (MIT) in den 60er Jahren entwickelte Simulation eines einfachen Produktions – Distributionssystems. Es zählt zu den bekanntesten Unternehmensplanspielen weltweit. Siehe beispielweise Senge 1998, Seite 39ff.

Zeitverzögerungen bei positiven d.h. eskalierenden Rückkoppelungen führen hingegen zu Scheinlösungen, zu Unterschätzung einer Entwicklung oder dazu, dass Prozesse wie jener der Eskalation überhaupt erst stattfinden (vgl. 5.5.).

9.2.1. Schwingungen

Wie bereits beim Schweinezyklus gesehen, können Zeitverzögerungen in Systemen dazu führen, dass das gesamte System in eine Art Schwingung gerät. Es schwingt sozusagen zwischen Extremzuständen hin und her. Dasselbe ist auch oft der Fall wenn der Mensch mit zeitlich auch nur leicht verzögerten Systemen in Berührung kommt. Viele Autoren haben bereits in ihren Untersuchungen die massiven Probleme des Menschen bei dem Umgang mit verzögerten Reaktionen aufgezeigt. Beste Beispiele stellen das Wasserleitungsbeispiel aus 5.5. oder das empirische Kühlhausexperiment Dörners (Dörner 1999) dar. Dörner stellte dabei Versuchspersonen vor die Aufgabe, ein simuliertes Kühlhaus mittels eines Stellrades auf eine bestimmte Temperatur zu bringen. Nur die wenigsten Versuchspersonen waren in der Lage die verständlicherweise vorhandene Verzögerung zwischen Betätigung des Stellrades und Temperaturänderung im Inneren zu berücksichtigen. Viele bewerkstelligten dies nicht und scheiterten an der Aufgabenstellung.
Ein weiteres, aus der Natur entnommenes Beispiel stellt die schon mehrmals erwähnte Räuber – Beutetier – Beziehung dar. Auch dabei entsteht eine Schwingung im Systemzustand, also in der Größe der Räuber- und der Beutetierpopulation.

9.2.2. Der Mensch und Verzögerungen

Der Umgang mit Zeitverzögerungen ist für den Menschen mit zahlreichen Problemen gekennzeichnet. Jeder Mensch verfügt nämlich über einen bestimmten räumlichen und zeitlichen Rahmen, in welchem er sein eigenes Handeln bewertet. Hat er es nun mit einem verzögerten System zu tun, in welchem sich Auswirkungen erst viel später und vielleicht noch dazu an gänzlich anderer Stelle zeigen, so tut er sich nicht leicht, diese Auswirkungen auch tatsächlich mit dem eigenen Handeln in Verbindung zu bringen. Würde etwa das Kettenrauchen von Zigaretten bereits nach einigen Monaten Krebs verursachen, hätte die ganze Menschheit vermutlich schon längst aufgehört zu rauchen. So aber verursacht es aber erst nach vielen Jahren Krebs und das auch nicht bei jedem, was dazu führt, dass man in der Gegenwart gerne raucht, da sich die Folgen erst in vielen Jahren zeigen. So gesehen können Verzögerungen auch dazu führen, dass man die möglicherweise fatalen Folgen

einer Ursache erst zu spät erkennt. Das System kann in der Zwischenzeit bereits einen kritischen Zustand erreicht haben.

Bei Eingriffen in Systemen ist es ebenfalls wichtig Zeitverzögerungen zu berücksichtigen. Tut man dies nicht, bewertet man den Erfolg der eigenen Handlungsweise verfrüht und falsch. Eigentlich dürfte man nämlich erst dann eine Bewertung des eigenen Handelns durchführen, wenn die Konsequenzen sichtbar werden, wobei es dann aber auch oft schon zu spät sein kann. So waren sich etwa jene Hersteller, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Treibmittel einsetzten bestimmt sicher, ein optimales Treibgas für ihre Produkte gefunden zu haben. Dass jedes FCKW – Molekül aber rund 15 Jahre später zur Zerstörung der für jeden Menschen schützenden Ozonschicht beiträgt, war damals noch nicht bekannt. Wäre es bekannt gewesen, ist es wohl fraglich, ob die Entdeckung der FCKWs als Treibmittel als so positiv gesehen worden wäre. Zeitverzögerungen können also auch zu falscher Bewertung eines Eingriffes führen. Wenn sich zum Beispiel bei einer Erfindung keine negativen Nebeneffekte zeigen, so kann das zum einen daran liegen, dass es keine gibt, zum anderen aber auch daran, dass sie noch nicht genügend Zeit hatten, sich durch das System zu arbeiten.

Oft aber schreibt der Mensch viel später auftretende Konsequenzen des eigenen Handelns ganz einfach anderen Ursachen zu. Insbesondere bei Umweltfragen (z. B. massiven Umweltverschmutzungen) ist und war das der Fall. Die Verbindungen sowie Rück- und Auswirkungen wurden (oft vollkommen bewusst) nicht erkannt und Umweltprobleme einfach äußeren Vorraussetzungen und Gegebenheiten zugeschrieben. Dabei ist es speziell im Umweltbereich wichtig, die zeitliche Verzögerung zu beachten: Die heutigen Handlungen zeigen ihre Wirkung in der Zukunft. Meist ist das eigene zurückliegende Handeln der Menschen für Wirkungen in der Gegenwart verantwortlich. Das gilt sowohl für die gesamte menschliche Bevölkerung als Ganzes als auch für den Einzelnen.

Die Zeitverzögerung die keine ist

Im Umgang mit Systemen ist der Mensch oft dazu verleitet, falsche Verbindungen zwischen zwei Variablen zu sehen oder eigene Handlungen als Ursache für etwas anderes betrachten, auch wenn tatsächlich keine Verbindung zwischen den beiden Variablen besteht. So kann man eine Sache A verändern und immer dann wenn B geschieht, egal ob nach Tagen, Monaten oder Jahren, dies als eine Auswirkung von A und als Beweis einer Verbindung der beiden sehen. Dabei wird die zeitliche Verzögerung zwischen beiden Ereignissen als selbstverständlich gesehen. Dies

kann man übertrieben auch selbst „ausprobieren“: Man tätigt eine Handlung und immer dann, wenn eine bestimmte andere Sache geschieht, sieht man das als Wirkung des eigenen Handelns. Auf diese Art und Weise können Zeitverzögerungen auch zu Fehleinschätzungen der Zusammenhänge und Fehlinterpretationen führen, auch wenn sie in der Realität in dem betreffenden Fall gar nicht vorhanden sind. Dies klingt ein wenig trivial, kommt aber tatsächlich des öfteren vor. So ist etwa die Auffassung verbreitet, mittels finanzieller Prämien die Kreativität und die Leistung der Angestellten in einer Firma steigern zu können. Mehrere Untersuchungen widerlegten dies weitestgehend. Trotzdem sehen viele Vorgesetzte nach dem Ausschreiben einer Prämie in jeder guten Leistung ihrer Untergebenen eine Bestätigung für den Zusammenhang zwischen Prämie und Leistung (Vgl. O´Connor / McDermott 1998, S. 94f).

Zeitverzögerungen können sich auch noch auf andere Art und Weise bemerkbar machen. Sie können nämlich ein System zu chaotischem Verhalten führen. Betrachtet man beispielsweise das mathematische Wachstumsmodell aus 6.4., so kann auch durch eine Erhöhung der Schrittweite (und damit die Vergrößerung der Zeitverzögerung) das logistische Wachstumsmodell ins Chaos führen. Dabei ist aber eine Verlängerung des Betrachtungszeitraumes im Modell notwendig. Das chaotische Verhalten entsteht dann durch den längeren Zeitraum zwischen zwei Berechnungen. In diesem Zeitraum wird mangels Korrekturen das System ständig übersteuert und es ergibt sich nach einiger Zeit ein unberechenbares und damit chaotisches Verhalten. Figur 9.3. zeigt das Wachstumsmodell aus Kapitel 6.4. mit einem Wachstumsfaktor von 1,4 und der normalen Schrittweite von 1,0. Figur 9.4. daneben zeigt dasselbe Modell mit einer verdoppelten Schrittweite (2,0 statt 1,0):

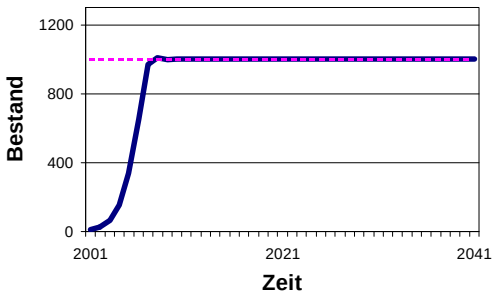


Fig. 9.3. (eigener Entwurf)

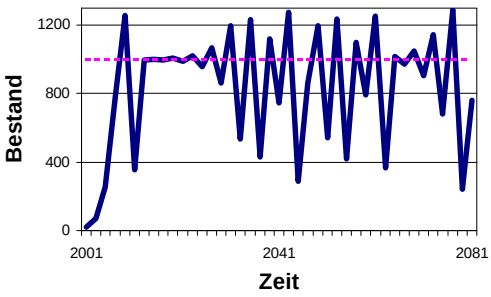


Fig. 9.4. (eigener Entwurf)

Zusammenschau

Zeitliche Verzögerungen nehmen in Systemen eine ganz besonders wichtige Rolle ein. Sie können zu einer Oszillation, d.h. einer Schwingung des Gesamtsystems, zu

Fehleinschätzungen, zu Überreaktionen, zu Instabilitäten, oder aber auch ins Chaos, im Extremfall zu einem Systemzusammenbruch führen.

Jeder Mensch besitzt nur einen bestimmten zeitlichen (und räumlichen) Wahrnehmungsrahmen. Dadurch gestaltet es sich für Menschen schwierig aus Fehlern in zeitverzögerten Systemen zu lernen. Oft zeigt auch das eigene Profitdenken, wie beim Schweinezyklus oder auch bei Umweltverschmutzungen (illegale Entsorgung ist billiger als legale) seine Auswirkungen. Bei Ersterem führt es zu einer Schwingung, bei Zweiterem zu einer Gefährdung des Systems („Overshoot and collapse“).

10. Systemarchetypen (nach Senge)

Definition Systemarchetyp: Unter einem Systemarchetyp versteht man ein identifiziertes, immer wiederkehrendes Strukturmuster in Systemen.
Systemarchetypen stellen für ein richtiges Vorgehen im Umgang mit Systemen ein äußerst brauchbares und wichtiges Hilfsmittel dar. Sie dienen als Werkzeug zur Diagnose der den Systemen zugrunde liegenden Strukturen. Diese Archetypen systemischen Verhaltens treten interdisziplinär in den unterschiedlichsten Bereichen immer wieder auf und erleichtern die Vorausberechnung der Entwicklung eines Systems und die Gestaltung von Eingriffen in dieses beträchtlich. Sie helfen unbeabsichtigte Auswirkungen des eigenen Handelns zu vermeiden und die Eigendynamik eines Systems besser zu verstehen.
Unterschiedliche Forscher konnten bis dato ungefähr ein Dutzend dieser Archetypen identifizieren. Systemisch dargestellt, bestehen sie alle aus denselben Komponenten: Verstärkung, Kompensation und zeitlicher Verzögerung.

In seinem eigentlich auf den Bereich des Managements ausgelegten Buch „Die fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation“ (Senge 1998) erarbeitet Peter Senge neun dieser grundlegenden, immer wiederkehrende Verlaufsmuster systemischen Verhaltens. Die für das vorliegende Thema wichtigsten davon sollen in der Folge vorgestellt werden.[23]

10.1. Gleichgewichtsprozess mit Verzögerung

In jedem System mit einem negativen Rückkoppelungskreis und innewohnenden zeitlichen Verzögerung ist dieser Archetyp beobachtbar. Er wurde bereits in Kapitel 5.5. angesprochen.
Tätigt man in einem System eine gewisse Handlung kommt es oftmals dazu, dass dieses nur sehr träge reagiert und die Auswirkungen sich dadurch erst nach einer bestimmten zeitlichen Verzögerung beobachten lassen. Diese zeitliche Verzögerung hat dann jedoch sehr häufig eine Verstärkung der Bemühungen des Handelnden während dieser „Wartezeit“ zur Folge. Sie führt zu einem ungeduldigen aggressiveren Handeln, wodurch der Eingriff insgesamt zu stark ausfällt. Man übersteuert den Eingriff und oftmals ist bei der darauf folgenden und auch nötigen

[23] Die folgenden Ausführungen beziehen in erster Linie auf Senge (1998) aber auch auf weitere Autoren wie u.a. Ossimitz (2000a) oder Braun (2002).

Korrektur des Eingriffes in die Gegenrichtung wieder dasselbe der Fall. Die zeitliche Verzögerung ruft eine neuerliche Übersteuerung hervor.

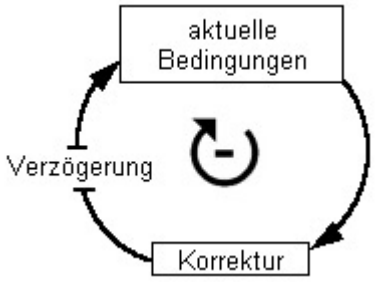


Fig. 10.1. (nach Senge 1996, verändert)

Ein schwankender Systemzustand, wie etwa beim „Schweinezyklus“ (vgl. 9.1.) oder ein sich allmählich auf das Gleichgewicht einpendelnder Systemzustand, wie etwa bei dem Beispiel der Heißwasserdusche aus 5.5., ist die Folge.

10.2. Eskalation

Beim Archetyp der Eskalation handelt es sich eigentlich um einen positiven Rückkoppelungskreis. Prototyp dafür stellt das Wettrüsten im Kalten Krieg zwischen den USA und der UDSSR dar (vgl. 5.2.). Zwei Parteien wollen der jeweilig anderen immer ein Stück voraus sein. Immer wenn einer Partei dies gelingt, fühlt sich die andere dadurch bedroht und versucht sich selbst durch aggressiveres, verstärktes Handeln zu verbessern. Dadurch fühlt sich wiederum die andere Seite bedroht und erhöht ihrerseits ihre Anstrengungen. Oftmals sehen sich die jeweiligen handelnden Parteien als die Guten, die nur aus Verteidigung heraus auf die Aggressivität des anderen handeln. Diese Abwehr bewirkt aber nur ein immer stärkeres Aufschaukeln der Situation.

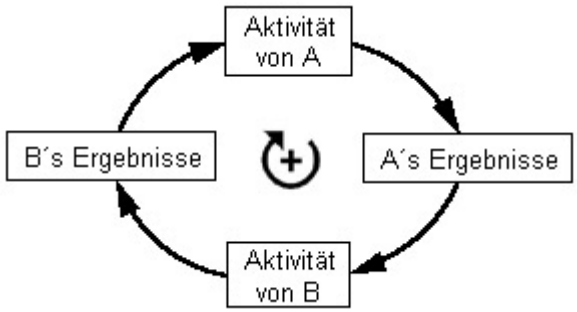


Fig. 10.2. (eigener Entwurf)

Eine gänzlich anderes Beispiel für diesen Archetyp stellt das streitende Ehepaar aus Kapitel 5.1. dar: Der Ehemann geht ins Gasthaus, weil seine Frau immer so viel meckert und nörgelt, die Frau meckert aber deshalb nur umso mehr, mit der

einzigen Folge, dass der Mann noch mehr ins Gasthaus geht. Hier wollen die beiden Parteien also keineswegs der anderen voraus sein, sie versuchen nur die Problemsituation auf ihre Art und Weise zu lösen. Die jeweilige Lösung führt jedoch nur zu einer Verschlimmerung der gesamten Situation. Das systemische Prinzip ist jedoch bei beiden Beispielen dasselbe (vgl. Fig. 10.2.).

Weiteres Beispiel:

- Zwei Marktführer, die sich durch Preissenkungen gegenseitig unterbieten wollen, um einen größeren Marktanteil zu gewinnen.

10.3. Grenzen des Wachstums

Auch dieser Archetyp wurde im Laufe dieser Ausarbeitung bereits angesprochen. Jeder Wachstumsprozess, gleich welcher Art, kann nur für eine begrenzte Zeit stattfinden.
Meadows et al. (1972) haben in ihrem Buch „Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit“ Pionierarbeit geleistet und dieses Grundmuster in allen begrenzten Lebensräumen erkannt. Das Buch handelt im Wesentlichen von den größten Problemen der Menschheit – Bevölkerungs-explosion, Ausbeutung natürlicher Ressourcen und Umweltverschmutzung. Die auf den vorliegenden Belang zutreffende Aussage des Buches ist folgende: Für jeden Wachstumsprozess ist eine äußere Schranke vorhanden, welche diesen stoppt.
Zu Beginn kann sich dies durch eine bloße Verlangsamung des Wachstums bemerkbar machen, bis das Wachstum schließlich immer mehr abnimmt und ab einem gewissen Zeitpunkt gänzlich aufhört. Dies ist insbesondere für sich selbst verstärkende Prozesse, wie jene des exponentiellen Wachstums gültig. So kann sich etwa keine Tier- oder Pflanzenart unbegrenzt vermehren. Irgendwann treten limitierende Faktoren, wie begrenztes Nahrungsangebot oder begrenzter Lebensraum auf und stoppen das Wachstum. Bei einem „overshoot and collapse“ - Verhalten (vgl. 6.3.3.) kann dann der Bestand sogar zusammenbrechen.
Auch kann beispielsweise keine Firma und kein Unternehmen unbegrenzt wachsen. Kein Produkt lässt sich unbegrenzt verkaufen. So kann man mit einem neuen Produkt zwar anfangs sehr gute Verkaufszahlen erzielen und dies auch extrem steigern, aber letzten Endes wird der Markt irgendwann immer mehr gesättigt sein. Sinkende Verkaufszahlen sind dann unausweichlich. Mit denselben Verkaufsanstrengungen kann man dann immer weniger Produkte absetzen.

In der Sprache der Systemwissenschaften lässt sich dieser Archetyp wie folgt beschreiben: Ein durch eine verstärkende Feedbackschleife im Gang befindlicher Wachstumsprozess wird ab dem Erreichen einer Grenze durch einen ausgleichenden Feedbackprozess gebremst.

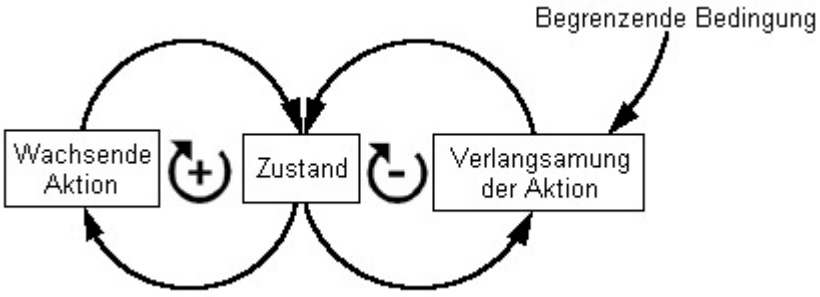


Fig. 10.3. (nach Senge 1996, verändert)

Die Art der Bremsung kann hierbei jedoch auf unterschiedliche Art erfolgen. Zum einen ist ein ruckartiges Ende des Wachstumsprozesses möglich (beispielsweise beim Verkauf einer begrenzten Anzahl eines Produktes in einem Supermarkt. Von einem Moment auf den anderen ist keines mehr erhältlich.), zum anderen eine allmähliche Verlangsamung des Wachstums (allmähliche Marktsättigung, Verkaufszahlen gehen zurück) und schließlich aber auch ein überzogenes Wachstum gemäß dem „overshoot and collapse“ Typ (eine Tierart vermehrt sich übermäßig, frisst ihren Lebensbereich kahl und wird dadurch dezimiert).

10.4. Die Problemverschiebung

Beim Archetyp der Problemverschiebung (auch die englische Bezeichnung „shifting the burden“ ist in der Literatur gebräuchlich) handelt es sich um den ersten von mehreren Systemarchetypen, die den Zwiespalt zwischen einfachen symptomatischen, nur kurzzeitig effektiven Lösungen und grundsätzlichen aufwendigeren, aber dauerhaften Lösungen als Antwort auf bestehende Probleme behandeln.

Bei diesem Archetyp wendet der Handelnde als „Lösung“ auf ein Problem eine schnelle kurzfristige Scheinmaßnahme an, während er eine langfristig wirksame aber vielleicht aufwendigere Korrekturmaßnahme vermeidet. Das Problem wird zwar kurzzeitig beseitigt, tritt aber schon bald (und meist in verschärfter Form) wieder auf. Beispiele hierfür sind:

- die Einnahme von Schmerzmitteln bei anhaltenden körperlichen Beschwerden an Stelle eines Arztbesuches

- die Finanzierung der monatlichen Ausgaben über Sparguthaben an Stelle des Besorgens entsprechender monatlicher Einnahmen
- Eröffnung neuer Mülldeponien statt Einführung von Recyclingkonzepten

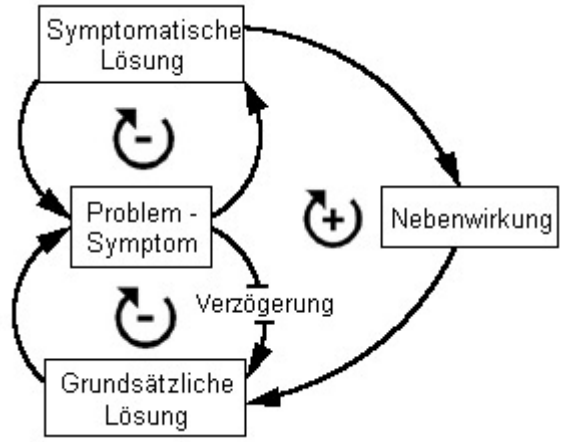


Fig. 10.4. (nach Senge 1996, verändert)

10.4.1. Die Verschiebung des Problems auf den Intervenierenden

Dies stellt einen durchaus häufigen Sonderfall der Problemverschiebung dar. Ein außenstehender Intervenierender versucht bei einer Schwierigkeit zu helfen, tut dies aber so erfolgreich, dass die eigentlich verantwortlichen Menschen innerhalb des Systems nicht lernen selbst mit den Problemen umzugehen und sie zu lösen:

- Staatliche Hilfen mit denen beabsichtigt wird, akute Probleme zu lösen, welche aber nur in eine noch stärkere Abhängigkeit von Hilfsmaßnahmen führen. So bewirken z.B. gratis Lebensmittellieferungen an Entwicklungsländer oft einen Zusammenbruch der lokalen Lebensmittelproduktion und nur eine noch stärkere Abhängigkeit.
- Eltern übertreiben ihre Fürsorge und helfen ihrem Kind bei jedem Problem aus der Patsche. Das Kind lernt nie selbst mit seinen Schwierigkeiten fertig zu werden.

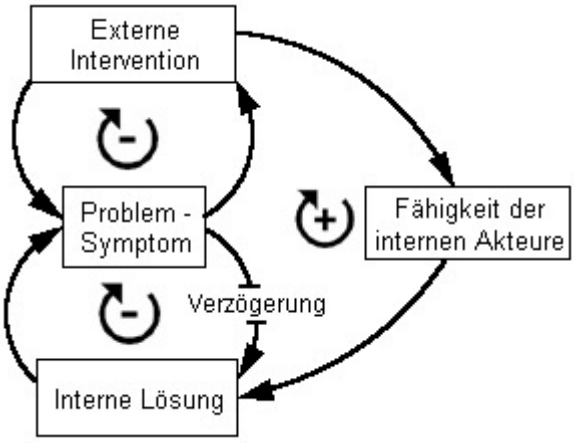


Fig. 10.5. (nach Senge 1996, verändert)

10.5. Erodierende Ziele

Von der Struktur her ist dieser Archetyp jenem der Problemverschiebung sehr ähnlich, auch hier geht es vor allem um den Zwiespalt zwischen einer symptomatischen und einer grundlegenden Lösung für ein Problem.
Durch eine Abschwächung des Zieles (symptomatische Lösung) wird eine Erfüllung und ein Erreichen des Zieles sichergestellt. Das langfristige, grundlegende Ziel wird heruntergeschraubt und das Problem scheinbar gelöst. In der Vergangenheit aufgestellte Ziele für die Zukunft werden also in der Gegenwart abgeschwächt um leichter an das Ziel zu kommen.
Ausgangssituation dafür ist normalerweise eine Situation in der ein Spalt zwischen der derzeitigen Entwicklung und dem zu erreichenden Ziel als zu groß erscheint. Man verfügt dann über zwei Möglichkeiten: entweder man verstärkt seine Bemühung, um das Ziel zu erreichen, oder aber man schraubt das Ziel herunter. Es mag durchaus legitime Gründe für Letzteres geben (neue äußere Umstände; war das Ziel in der vorgegebenen Zeitspanne überhaupt erreichbar?), dennoch sollte man eine Abschwächung eines Zieles nur mit Vorsicht genießen.
Beispiele:

- Anhebung der Grenzwerte von zulässigen Schadstoffbelastungen statt die Belastungen zu vermindern.
- Die österreichische Lösung zur Erfüllung der Maastricht – Kriterien zur Euroteilnahme: Hunderte Milliarden ATS wurden an eine vollkommen in Staatsbesitz befindliche Aktiengesellschaft ausgegliedert. Die Schulden schienen so nicht mehr als Staatsschulden auf und Österreich erfüllte plötzlich die Kriterien.
- Menschen die ihre persönlichen Ziele herunterschrauben, um öfter Erfolgserlebnisse zu haben.

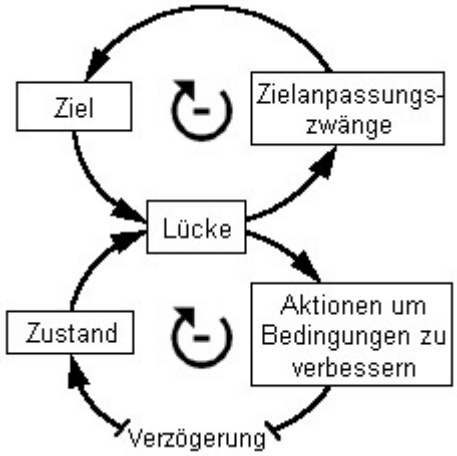


Fig. 10.6. (nach Senge 1996, verändert)

10.6. Erfolg den Erfolgreichen

Wenn zwei Parteien um eine begrenzte Ressource konkurrieren, dann tritt oft das Phänomen ein, dass die von vornherein erfolgreichere Partei mehr von dieser Ressource bekommt als die weniger erfolgreiche. Ersterer wird es dadurch noch leichter gemacht ihre Vormachtstellung auszubauen, während es für die zweitere in Zukunft noch schwieriger wird.
Man belohnt sozusagen eine gute Leistung mit mehr Ressourcen, in der simplen Hoffnung, dass die Leistung noch besser wird. Der Vater des Gedankens ist jener, dass sich die erfolgreichere Partei (Produkt, Mensch, Abteilung, etc.) in der Vergangenheit durch die bessere Leistung die bevorzugte Behandlung verdient hat.

Trägt ein Mensch die Aufgabe, über die Vergabe der begrenzten Ressource zu entscheiden (z.B. Vergabe von begrenzten Geld- und Fördermitteln), so sollte er sich überlegen, ob die bessere Leistung der einen Partei tatsächlich eine solche ist, oder ob diese Partei nicht durch bevorzugte Behandlung in der Vergangenheit bessere Vorraussetzungen gehabt hat. Nur wenn es sich in der Tat um eine bessere Leistung unter gleichen Vorraussetzungen handelt, sollte er auch die erfolgreichere Partei bevorzugen.
In der freien Marktwirtschaft, in welcher nicht eine einzelne Person über die Vergabe der Mittel entscheidet, führt dieses Prinzip dazu, dass große Firmen immer größer werden und kleinere Konkurrenten aufkaufen. Auch erfolgreiche Produkte werden „von selbst“ immer erfolgreicher, Konkurrenzprodukte haben es dann in der Regel schwierig gegen diese Vormachtstellung anzukämpfen (z.B. hat sich Microsoft Windows durch anfänglichen Erfolg immer mehr verbreitet, alternative Betriebssysteme haben es heute sehr schwer).
Erfolg den Erfolgreichen belohnt die Gewinner und gibt ihnen die Möglichkeit in Zukunft noch leichter zu gewinnen, während es der Verlierer zunehmend schwieriger hat.

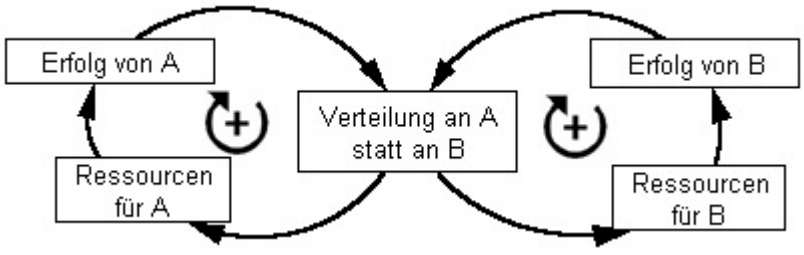


Fig. 10.7. (nach Senge 1996, verändert)

Beispiele für diesen Archetyp:

- Ein Unternehmen hat zwei Abteilungen, welche jeweils ein Produkt herstellen, besitzt aber nur begrenzte Geldmittel für Werbung und Weiterentwicklung der Produkte. Man entscheidet sich zur Förderung der erfolgreicheren Abteilung, wodurch es dieser erleichtert wird in Zukunft den Erfolgsunterschied zur anderen Abteilung zu steigern.
- Ein Kind mit Lernschwäche erweckt durch sein Verhalten zu Schulbeginn den Eindruck faul oder unbegabt zu sein. Es erhält dadurch weniger Aufmerksamkeit und Zuwendung, wodurch das Kind es in Zukunft noch schwieriger gegenüber seinen Mitschülern hat.

10.7. Die Tragödie der Gemeingüter

Dieser Systemarchetyp (das Prinzip dieses Archetyps wird auch in der Situation des Gefangenendilemmas[24] der Spieltheorie behandelt) ist eines der anschaulichsten Mittel zur Darstellung menschlichen Verhaltens im Umgang mit komplexen Systemen. Im Prinzip geht es darum: Einzelpersonen nutzen eine allgemein zugängliche, freie, aber begrenzte Ressource und handeln dabei rein nach ihren eigenen Interessen. Das Fatale daran ist, dass wenn alle gemäß der Maximierung des eigenen Nutzens handeln, dies das schlechteste für die begrenzte Ressource ist. Nach einiger Zeit ist die Ressource erschöpft und keine Möglichkeit einer Nutzung durch gleich welche Einzelperson ist mehr möglich.

Paradebeispiel hierfür ist wohl die Nutzung der natürlichen Ressourcen der Erde. Leider bedeutet es für jeden einen Vorteil, scheinbar ohne Folgen, wenn er die Ressourcen ausbeutet. So kommt es dazu, dass Fischer die Weltmeere leer fischen, Einzelpersonen ihren Müll in der Wildnis entsorgen und einzelne Staaten Unmengen an Schadstoffen in die Luft emittieren etc. Jeder Handelnde hat dabei einen kurzzeitigen Vorteil für sich. Erst mit einiger zeitlicher Verzögerung machen sich die Auswirkungen der Handlungen bemerkbar, die einzelnen Umweltbereiche leiden unter den Belastungen und jeder hat weniger Nutzen.

Prinzipiell bestehen drei Lösungen für dieses Problem. Zum Einen existiert die Möglichkeit einer strengen Reglementierung der Nutzung der Ressource mit

[24] Beim „Gefangenendilemma" haben zwei Spieler jeweils die Optionen "kooperieren" oder "verraten". Wenn jeder kooperiert, haben sie beide einen gewissen Gewinn. Wenn sich beide gegenseitig verraten, ist der Gewinn geringer als bei Kooperation, aber es ist nicht ganz schlecht. Kooperiert aber nur einer von beiden, während der andere ihn verrät, zieht der Verräter maximalen Gewinn aus der Situation, während der Kooperateur das schlechtest mögliche Ergebnis erzielt.

Sanktionen bei Fehlverhalten. Dazu wäre aber natürlich auch eine ständige Überwachung nötig, was zum einen oftmals nicht möglich ist, zum anderen wohl auch kaum wünschenswert. Zum Zweiten ist es möglich jene zu belohnen, welche sich an gewisse Absprachen halten, wodurch eine Überwachung zwar überflüssig wird, die finanziellen Mittel für die Belohnungen müssen aber erst bereitgestellt werden. Deshalb kann als dritte Lösung nur ein Kompromiss aus Reglementierung, Sanktionierung, Belohnung und Bewusstsein für nachhaltiges[25] Verhalten (zumindest im Umweltbereich) zu einer Lösung führen.

Systemisch betrachtet handelt es sich bei der Struktur dieses Archetyps um eine positive Rückkoppelung (je mehr man von der Ressource nutzt, umso stärker wird sie belastet / umso weniger ist von ihr für eine gleichwertige Nutzung noch übrig) mit starker zeitlicher Verzögerung (mehrere Jahre bis Generationen). Erkennt man dieses Muster und sieht noch dazu ein, dass man von niemanden das Recht zu einem „Nach mir die Sintflut – Denken“ bekommen hat, so kann systemisches Denken auf diese Art auch durchaus zu einer nachhaltigeren Entwicklung und Nutzung der Erdressourcen beitragen.

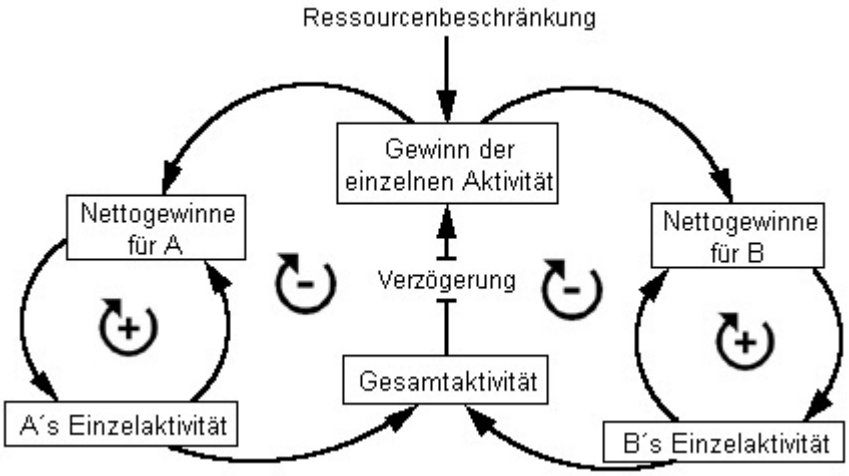


Fig. 10.8. (nach Senge 1996, verändert)

10.8. Fehlkorrekturen

Der Archetyp der Fehlkorrekturen (engl. „Fixes that fail“) (Fig. 10.9.) ist eng mit jenem der Problemverschiebung verbunden. Wieder einmal geht es auch hierbei um die Bevorzugung einer einfachen Scheinlösung gegenüber einer grundsätzlichen Lösung. Dieser Typus bewirkt eine sich ständig verschlechternde Situation, wobei

[25] Unter dem Prinzip der Nachhaltigkeit versteht man ein Handeln im Umgang mit begrenzten Ressourcen auf eine solche Art und Weise, welche den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen weder einzuschränken noch zu gefährden.

sich das ursprüngliche Problem durch die angewandte Lösung noch verschlimmert. Während Fehlkorrekturen jedoch direkt als Verstärkung des Problems wirken, gaukelt die Problemverschiebung immer wieder von neuem eine Beseitigung des Problems durch erneute Anwendung der Scheinlösung vor.

Beispiele:

- Um Kosten für eine Neuanschaffung zu sparen, versucht ein Unternehmen ihre fehlerhaften Produktionsanlagen immer wieder zu reparieren. Die durch die fehlerhaften Anlagen bedingten auftretenden Produktionsfehler führen aber dazu, dass das Unternehmen Marktanteile verliert und Verluste schreibt.
- Menschen, die Kredite für die Bezahlung der Zinsen anderer Kredite aufnehmen, was nur zu einer noch größeren Schuldenlast und regelmäßigen Zinseslast führt.

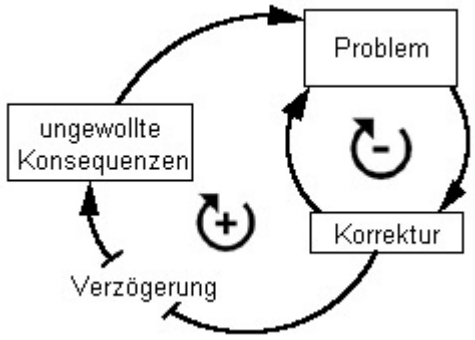


Fig. 10.9. (nach Senge 1996, verändert)

Zusammenschau

Die unterschiedlichen Systemarchetypen sind immer wieder auftretende, den Systemen zu Grunde liegende Strukturen. Sie treten insbesondere beim Umgang mit Systemen auf und können bei ihrer Kenntnis Fehleinschätzungen und Handlungsfehler verhindern. Sie können in diagnostischer Art und Weise zur Analyse der Systemstruktur benutzt werden, oder aber in antizipatorischer Hinsicht, um die zukünftige Entwicklung eines Systems vorherzusehen.

Zusammen mit den übrigen systemischen Denkstrukturen und Anwendungen können die Systemarchetypen zu einem besseren, geübteren und langfristig effektiveren Umgang mit vielen Arten von Systemen führen.

11. Systemisches Handeln / Steuerung von Systemen

Systemisches Denken ist untrennbar mit systemgerechtem Handeln, gewissermaßen dem Steuern von Systemen und der adäquaten Gestaltung von Lenkungseingriffen verbunden. Zu Beginn dieses letzten, im Vergleich zu den anderen auch etwas größeren Kapitels, stelle ich eine Methode zur Erkennung der für einen Eingriff optimal geeigneten Variablen eines Systems vor. Danach folgen unterschiedliche, mehr oder weniger allgemeine und von unterschiedlichen Autoren erarbeiteten Systemgesetze, Systemregeln und Denkfehler des Menschen im Umgang mit Systemen.

11.1. Erkennen relevanter Steuergrößen

Wenn man ein gegebenes System beeinflussen möchte, stellt sich die Frage, welche Steuerungshebel im System vorhanden sind. Die Beeinflussung falscher Komponenten könnte das Gesamtsystem gefährden, die Beeinflussung anderer Bestandteile bewirkt wiederum nur sehr wenig und ähnelt einer Symptombehandlung. Darüber hinaus kann es auch dazu kommen, dass der Lenkungseingriff, auch wenn er starker Natur ist, plötzlich im System verpufft, er also von bestimmten Komponenten ausgeglichen und abgefangen wird. Keine dieser Möglichkeiten ist wünschenswert.

Um ein System steuern zu können, ist es hilfreich zu wissen, wo man „anpacken“ muss und es leicht beeinflussen kann. Mehrere Autoren wie Vester (2000) oder Gomez / Probst (1987) beschreiben dazu eine Methodik, mit welcher sich die Vernetzung eines Systems und die innersystemischen Zusammenhänge modellieren und analysieren lassen. Die Stärke dieser Methodik, welche 1970 von Vester selbst entwickelt wurde, besteht darin, dass man sie bei Kenntnis der Systemvariablen ohne Probleme und sogar ohne Computer anwenden kann, was ihr auch die Bezeichnung „Papiercomputer“ einbrachte.

Im Mittelpunkt dieser Methode steht das Erstellen einer Einflussmatrix, in welcher einerseits sowohl die Dominanz, die Beeinflussbarkeit der Variablen, als auch deren Rolle im Gesamtgeschehen abgeschätzt wird. Die Rolle einer Variable lässt sich nämlich im Systemzusammenhang niemals aus ihr selbst erkennen, vielmehr muss man ihre Einflüsse und die Stärke der Einflüsse auf alle anderen Variabeln abschätzen und wenn möglich quantifizieren. Der erste Schritt hierfür ist die Erstellung eines Wirkungsdiagramms, wodurch man die einzelnen Systemelemente

erhält. Ausgehend von diesem einfachen Wirkungsdiagramm, kann man bei Bedarf schrittweise zusätzliche Elemente hinzufügen, wobei man auch versuchen sollte, die Situation aus unterschiedlichen Sichtweisen zu sehen. Als nächsten Schritt ermittelt man die positiven und negativen Rückkoppelungskreise in dem Wirkungsdiagramm und versucht die zeitlichen Verzögerungen der Beziehungen zu analysieren. Durch die Kenntnis, ob sich eine Beziehung kurzfristig, mittelfristig oder langfristig als Auswirkung auf eine andere Variable bemerkbar macht, kann man bereits Rückschlüsse auf die allgemeine Dynamik des Systems ziehen.
Nun werden die ermittelten Systemelemente in eine Matrix von oben nach unten und noch einmal in der selben Reihenfolge von links nach rechts eingetragen. Als nächstes werden die Wirkungsbeziehungen zwischen allen Variablen abgeschätzt, und als eine der folgenden vier Klassifikationen in die Matrix eingetragen:

- 3 = starke, überproportionale Beziehung: Eine kleine Veränderung bei A bewirkt eine starke Veränderung bei B.
- 2 = mittlere, ungefähr proportionale Beziehung: Einer Veränderung von A folgt eine in etwa gleich starke Veränderung von B.
- 1 = schwache Beziehung: Eine starke Veränderung von Element A verändert B nur schwach
- 0 = keine direkte Beziehung: Eine Veränderung von A wirkt auf B gar nicht bis äußerst schwach.

Somit ergibt sich eine Matrix wie sie beispielsweise Figur 11.1. darstellt:

Wirkung von ↓ auf →	Verkaufsauflage	Leserreichweite	Anzeigenvolumen	Redaktionelles Angebot	Verkaufspreis	Aktivsumme AS	Quotient (AS.PS.100)
Verkaufsauflage	-	3	3	1	2	9	128
Leserreichweite	0	-	3	2	0	5	56
Anzeigenvolumen	1	1	-	2	2	6	75
Redaktionelles Angebot	3	3	1	-	2	9	150
Verkaufspreis	3	2	1	1	-	7	116
Passivsumme PS	7	9	8	6	6		
Produkt P (AS.PS)	63	45	48	54	42		

Fig. 11.1. (aus Gomez / Probst 1987)

Die dargestellte Figur (starke Vereinfachung) stammt aus der Publikation von Gomez / Probst (1987), welche den Papiercomputer anhand des Beispiels eines Zeitschriftenverlages erklären. Durch die Bildung der Zeilen- und Spaltensummen erhält man für jedes Element eine sogenannte Aktiv- und eine Passivsumme. Die Aktivsumme (AS) gibt eine Aussage darüber, wie stark eine Veränderung dieses Elements das Gesamtsystem beeinflusst, die Passivsumme (PS) darüber, wie stark dieses Element vom Rest des Systems beeinflusst wird.

An dieser Stelle ergeben sich nun zwei Möglichkeiten die Matrix auszuwerten. Zum einen nummerisch, zum anderen graphisch.

A) Bei der nummerischen Methode ermittelt man nun den Quotienten Q (Q=AS/PS) und das Produkt P (P=AS.PS) aus Aktiv- und Passivsumme. Der Quotient spiegelt den aktiven bzw. passiven (reaktiven) Charakter einer Variable wider, das Produkt den kritischen bzw. trägen (puffernden) Charakter. Nun kann man sämtliche Systemelemente in vier Gruppen unterteilen:

- Aktive Größen (sehr hoher Q – Wert): Beeinflussen andere Elemente stark, werden selbst aber nur sehr wenig beeinflusst.
- Passive Größen[26] (sehr kleiner Q – Wert): Werden von anderen Elementen stark beeinflusst, haben selbst aber nur geringen Einfluss.
- Kritische Größen (sehr hoher P – Wert): Beeinflussen andere Elemente stark, werden aber auch selbst von anderen stark beeinflusst.
- Träge Größen[27] (sehr kleiner P – Wert): Beeinflussen andere Elemente schwach, werden auch selbst von anderen nur schwach beeinflusst.

Auf diese Weise kann man den Variablen nun eine Charakteristik verleihen. Sie können, mit allen Zwischenstadien, als träge (puffernd), kritisch, passiv (reaktiv) oder aktiv bezeichnet werden. Wie gut nun eine Variable zum steuernden Eingriff geeignet ist und welche Rolle sie im Gesamtsystem spielt, zeigen ihr P – Wert und ihr Q – Wert.
Dadurch ist es möglich die vernetzten Wirkungen der Systemelemente aufeinander und die Stellung der Variablen im Gesamtsystem auszuarbeiten. Die Rolle der Variablen im System wird sichtbar und dadurch auch der Gesamtcharakter des Systems. Denn die berücksichtigten Wirkungen bestehen ja nicht nur zum Zeitpunkt ihrer Modellierung, sondern vielmehr handelt es sich um ständig vorhandene Wirkungen. Man könnte von einer Durchleuchtung des Systems sprechen.

[26] Passive Größen werden von manchen Autoren auch „reaktive“ Größen genannt.
[27] Auch „puffernde“ Größen genannt.

B) Die graphische Methode ist der nummerischen eigentlich ziemlich ähnlich. Sie ergänzen sich gewissermaßen. Der Unterschied besteht darin, dass man weder den Quotienten Q noch das Produkt P berechnen muss, sondern man direkt die Aktivsumme und die Passivsumme auf den Achsen eines zweidimensionalen Diagramms gegeneinander aufträgt. In der Folge verzeichnet man die einzelnen Systemelemente gemäß ihrer Aktiv- und Passivsumme als Punkt im Diagramm (siehe Fig. 11.2.).

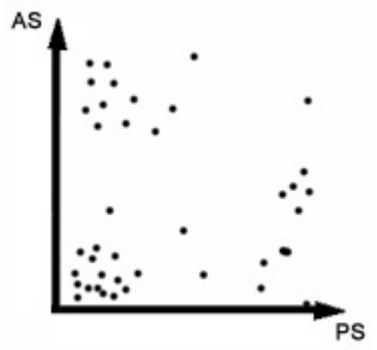


Fig. 11.2. (eigener Entwurf)

Auch bei dieser Methode teilt man die Variablen in die oben ausgeführten vier Gruppen von aktiven, passiven, kritischen und trägen Elementen ein.
Die trägen Elemente befinden sich demnach in jener Ecke des Diagramms, in welcher sowohl AS als auch PS niedrig sind, die kritischen Elemente in jener, in der beide hoch sind. Die passiven (reaktiven) Elemente befinden sich dort, wo PS niedrig ist und AS hoch, die aktiven Elmente diagonal gegenüber.
Diese grafische Aufbereitung der vier Grundtypen ermöglicht mit einem Blick zu erkennen, welche Eigenschaften ein Element besitzt. Auch der Gesamtcharakter wird schnell ersichtlich, ob er nun insgesamt sehr träge oder aber vielleicht sehr instabil (kritisch) ist. (So handelt es sich in der Figur um ein sehr träges System mit vielen passiven Elementen und nur wenigen aktiven.)

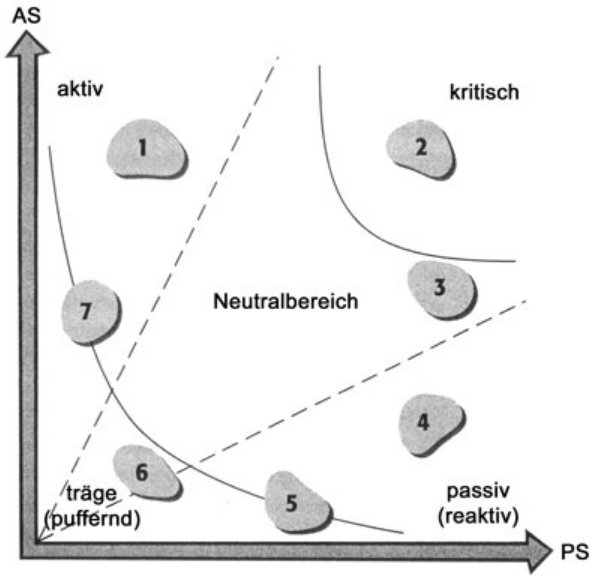
11.1.1. Die Bedeutung von aktiv, passiv, kritisch und träge für eine Intervention

Die Unterscheidung in diese vier Grundtypen soll bei der Entscheidung über den Ansatzpunkt einer Systemintervention helfen. Dies ist nicht an allen Stellen des Systems gleich sinnvoll oder zielführend. Will man effizient in das System eingreifen, so kann man dies eigentlich nur mit aktiven Größen tun. Kritische Größen eignen sich zwar auch bedingt, man sollte dabei aber sehr vorsichtig sein, da auch sie selbst wieder von den veränderten Größen beeinflusst werden. Passive Größen kommen für ein „Monitoring“ des Systemverhaltens in Betracht. Träge

Größen schließlich sind für Systemeingriffe nicht sonderlich geeignet. Interveniert man trotzdem an diesen Stellen, muss man zum einen überdimensional viel Aufwand betreiben um eine Änderung zu bewirken, zum anderen kann das Systemverhalten bei Überschreitung von Grenz- und Schwellenwerten sich ganz schlagartig ändern.

Bedeutend ist es aber an dieser Stelle, auch die Mischungsformen der Variablen zu berücksichtigen. Denn es bedeutet einen großen Unterschied, ob ein aktives Element gleichzeitig zu den trägen oder zu den kritischen Elementen zählt. Eine Veränderung der Variable bedeutet im ersten Fall einen kontrollierten Einfluss, im zweiten Fall dürfte ein Eingriff destabilisierend wirken.

Vester (2000) stellt zur Klassifizierung und Auswertung der Lage der einzelnen Variablen im Diagramm eine Computerauswertung vor, in welcher er das Diagramm in fünfzig verschiedene Felder unterteilt. Vereinfacht kann man die Unterteilung wie in Figur 11.3. sehen.



Neutralbereich: Hier kommen Mischformen aus aktiven, passiven, puffernden und kritischen Variablen zu liegen. Eine Steuerung durch sie ist eher schlecht möglich, sie sind jedoch gut für die Selbstregulation geeignet.

1. *In diesem Bereich befinden sich wirksame Steuerungshebel; nach dem Eingriff bleibt das System stabil.*
2. *Hier finden sich Beschleuniger und Katalysatoren; sie sind notwendig um Dinge überhaupt in Gang zu bringen; unkontrolliertes Verhalten und Instabilität sind dabei möglich.*
3. *Liegen zusammenhängende Bündel von Variablen in diesem kritisch – reaktiven Bereich sind Eingriffe in das System schwierig.*
4. *Die hier liegenden Größen eignen sich als Indikatoren; ein Eingriff an dieser Stelle wirkt nur als Symptombehandlung.*

5. *Träge, puffernde Indikatoren; eignen sich zum Experimentieren.*
6. *Puffernde Größen; Eingriffe sind nicht zielführend und unnütz; bei Überschreitung von Grenz- und Schwellenwerten kann das System schlagartig kippen.*
7. *Hier befinden sich schwache Schalthebel mit wenig Nebenwirkungen.*

Fig. 11.3. (nach Vester 2000, verändert)

Durch diese graphische Methode der Ermittlung der relevanten Steuergrößen eines Systems, ist es möglich das System an der richtigen Stelle zu beeinflussen. Die Position der einzelnen Variable ist zwar nur eine Charakterisierung eben dieser, ihre Lage kommt aber nur unter der Berücksichtigung aller anderen Variablen zustande. So gesehen handelt es sich bei der Position einer jeden Variable um eine Aussage über das gesamte System. Die Verteilung aller Elemente im Diagramm führt zu einem schnellen Erfassen des Systemscharakters und zu einer besseren Information über die Lenkungsmöglichkeiten.

11.1.2. Stärken und Schwächen

Eine verständliche Fehlerquelle bei dieser Berechnung findet sich natürlich in der anfangs erforderlichen Einteilung der Stärke des Einflusses einer jeden Variable auf sämtliche anderen. Es kann an dieser Stelle deshalb hilfreich sein, die ja dem eigenen Ermessen entsprechende Bewertung noch einmal einer Prüfung zu unterziehen. Auch ein Ausbau des Systems durch das Hinzufügen weiterer Systemgrößen kann die schlussendliche Aussagekraft des Modells verbessern. Bei Eingriffen in komplexe Systeme kann insbesondere eine Bewertung interdisziplinärer Teams, in welchen jeder Beteiligte das gleiche Mitspracherecht hat und bemüht ist, die Verhältnisse objektiv zu beurteilen, zu einer Verbesserung des Ergebnisses führen.

Die Stärke dieses Ansatzes liegt nicht in der Möglichkeit einer genauen Vorhersage der Entwicklungstendenzen des Systems, sondern vielmehr darin, Möglichkeiten und Ansatzpunkte aufzuspüren, durch welche man das untersuchte System gestalten und handhaben kann. Der Papiercomputer zeigt auch verschiedene Wechselwirkungen auf und führt zum Erkennen immer weiterer Faktoren, welche das System beeinflussen, auch wenn diese zuerst gar nicht unbedingt als Teil des Systems gesehen werden. Er zeigt die tatsächliche Größe der überall vorhandenen Vernetzung auf.

11.2. Denkfehler, Regeln und Gesetze

Komplexe Handlungssituationen, wie sie meist in der Realität auftreten, führen oft zu Denkfehlern und Fehlverhalten des Menschen. Solche Situationen sind durch ihre vielen miteinander vernetzten und in Beziehung stehenden Variablen sowie einer dadurch bedingten Intransparenz und auch einer gewissen Dynamik gekennzeichnet. Um in solchen Situationen besser zu bestehen, haben unterschiedliche Autoren versucht, die Denkfehler des Menschen sowie Regeln für systemisches Verhalten oder allgemeine Systemgesetze auszuarbeiten.

11.2.1. Denkfehler im Umgang mit komplexen Systemen nach Gomez / Probst

Peter Gomez und Gilbert Probst beschreiben in ihrer Publikation (Gomez / Probst 1987) sieben Denkfehler des Menschen im Umgang mit komplexen Situationen. Die Situationen beziehen sich zwar in erster Linie auf komplexe Situationen des Managements, sind jedoch weitestgehend auch allgemein gültig. Sie stellen den Denkfehlern jeweils einen „Schritt des ganzheitlichen Problemlösens“ gegenüber, welche sie auch in konkreten Fallbeispielen auf die Unternehmenspraxis anwenden.

1. **Schritt: Abgrenzung des Problems**

Denkfehler: *„Probleme sind objektiv gegeben und müssen nur noch klar formuliert werden.“*

Dies soll bedeuten, dass es keine feststehenden Fakten, sondern nur Meinungen darüber gibt. Jeder Problemlöser hat eine unterschiedliche Wahrnehmung und berücksichtigt unterschiedliche Aspekte. Jeder grenzt demnach selbst ein Problem ab und definiert es.

Lösung: Die Situation aus unterschiedlichen Blickwinkeln sehen, verschiedene Standpunkte und Meinungen zu einer ganzheitlichen Abgrenzung des Problems führen, die Situation auch im Laufe der Zeit immer wieder überdenken.

2. **Schritt: Ermittlung der Vernetzung**

Denkfehler: *„Jedes Problem ist die direkte Konsequenz einer einzigen Ursache.“*

Wir neigen dazu, in einfachen kausalen Ursache- Wirkungsketten zu denken. In der Realität haben wir es aber mit komplexen, vernetzten Situationen zu tun, in welchen eine Vielzahl an Beziehungen und Wechselwirkungen zu Nebenwirkungen, Schwellenübergängen und Aufschaukelungen führen.

Normalerweise ist es unmöglich in einem komplexen System nur *eine* Sache zu ändern.

Lösung: Netzwerke mit all ihren Eigenschaften verstehen und sie als Ganzheit sehen, die Wechselwirkungen der Elemente der Problemsituation, ihre Beziehungen, Interaktionen und Kreisläufe erfassen.

3. Schritt: Erfassung der Dynamik

Denkfehler: *„Um eine Situation zu verstehen, genügt eine «Photographie» des Ist-Zustandes."*

Der Mensch ist verleitet, vom augenblicklichen Zustand einer Situation auszugehen und dabei ihre Dynamik nicht zu berücksichtigen. Erst durch den Zeitaspekt wird die Art der Wechselwirkungen überhaupt erst deutlich.

Lösung: Erfassung der zeitlichen Aspekte der einzelnen Beziehungen und jene der Gesamtsituation; Stärke, Bedeutung und qualitative Eigenschaften der Beziehungen analysieren.

4. Schritt: Interpretation der Verhaltensmöglichkeiten

Denkfehler: *„Verhalten ist prognostizierbar; notwendig ist nur eine ausreichende Informationsbasis."*

Zukunft wird oft als etwas Vorbestimmte, Unabänderliches gesehen, die mit den richtigen Informationen vorhergesehen werden kann. In komplexen Systemen herrscht jedoch chaotisches Verhalten und exakte Prognosen für die Zukunft sind daher nicht möglich. Jede Veränderung wirkt sich in vielen Systemteilen aus, kann auf sich selbst zurückwirken und führt zu einem gänzlich unterschiedlichen zukünftigen Systemzustand.

Lösung: Mögliche zukünftige Entwicklungen erarbeiten und hinsichtlich Stärken, Schwächen, Gefahren und Chancen analysieren.

5. Schritt: Bestimmung der Lenkungsmöglichkeiten

Denkfehler: *„Problemsituationen lassen sich «beherrschen», es ist lediglich eine Frage des Aufwandes."*

Problemsituationen in komplexen Systemen sind keine Maschinen welche sich vollkommen kontrollieren lassen. Die starke Vernetzung der Komponenten bewirkt, dass komplexe Systeme niemals vollkommen durchschaut oder beherrscht werden können. Es lassen sich nur Regeln ermitteln, die eine Ordnung bewirken und kritische Größen für Stabilität und Ordnung erfassen.

Lösung: Lenkbare und nicht lenkbare Indikatorgrößen eruieren, um situationsgerecht und wirksam eingreifen zu können.

6. Schritt: Gestaltung der Lenkungseingriffe

Denkfehler: „Ein «Macher» kann jede Problemlösung in die Praxis umsetzen."

Dass immer eine Lösung durch einen konsequenten Eingriff erzielt werden kann, ist eng mit dem linearen Ursache – Wirkungsdenken verbunden. Tatsächlich führt ein Vorgehen gegen das System, um eine Lösung durchzusetzen, oft nur zur Symptombehandlung der Probleme. Die Struktur der Situation bleibt vorhanden und nur die Symptome werden behandelt. Eine grundsätzliche Lösung ist oft nur über Umwege und Ausnutzung vorhandener Tendenzen möglich.

Lösung: Die Gesetzmäßigkeiten des Systems berücksichtigen und dessen Kräfte und Eigenschaften für den eigenen Eingriff nutzen: situationsgerecht und zur richtigen Zeit eingreifen.

Für die Gestaltung von Lenkungseingriffen geben Gomez / Probst hierzu sieben Regeln zur Beurteilung an:

1. *Passe deine Lenkungseingriffe der Komplexität der Problemsituation an.*
2. *Richte deine Maßnahmen auf die aktiven und kritischen Einflussgrößen aus.*
3. *Vermeide unkontrollierte Entwicklungen mit Hilfe stabilisierender Rückkoppelungen.*
4. *Nütze die Eigendynamik und die Synergien der Problemsituation.*
5. *Finde ein harmonisches Gleichgewicht zwischen Bewahrung und Wandel.*
6. *Fördere die Autonomie der kleinsten Einheit.*
7. *Erhöhe mit jeder Problemlösung die Lern- und Entwicklungsfähigkeiten.*

(vgl. Gomez / Probst 1987, S. 30f)

7. Schritt: Weiterentwicklung der Problemlösung

Denkfehler: *„Mit der Einführung einer Lösung kann das Problem endgültig ad acta gelegt werden."*

Eingriffe in komplexe Systeme führen selbst zu Veränderungen und können damit neue Probleme verursachen. Problemlösungen müssen laufend überprüft und neu angepasst werden. Neue Probleme dürfen auch nicht als vom eigenen Handeln unabhängig gesehen werden.

Lösung: Lernfähige flexible Lösungen anwenden, sensitiv für Anzeichen neuer Probleme sein, die Entwicklung der Situation überwachen.

Die von Gomez und Probst angeführten Denkfehler und umgekehrt die Schritte zu einer systemischen Problemlösung stellen ein sehr leistungsfähiges Konzept zur Einführung der Anwendung des systemischen Denkens auf reale Problemsituationen dar. Die unter Punkt 6 aufgeführten Regeln sind zwar betont auf Probleme des Managements ausgerichtet, aber größtenteils auch für sonstige Situationen in welchen es der Mensch mit komplexen Situationen zu tun hat, anwendbar.

11.2.2. Komplexes Problemlösen nach Dörner

Auch der Kognitionspsychologe Dietrich Dörner befasst sich in mehreren Untersuchungen intensiv mit systemischem Handeln. Genauer befasst er sich mit empirischen Untersuchungen zur Fähigkeit des Problemlösens in sehr komplexen Situationen (Dörner 1999, Dörner / Reither 1978). Anhand computersimulierter Szenarien untersuchte er, wie Versuchspersonen Probleme in komplexen Situationen mit vielen zusammenhängenden Variablen zu lösen versuchen. Ein Beispielsszenario dafür stellt das System „Tanaland“ dar, eine fiktive afrikanische Landschaft, in welche die Probanden als Entwicklungshelfer (mit diktatorischer Vollmacht) mit der Aufgabe versetzt wurden, die dort herrschenden Bevölkerungs- und Wirtschaftssituation zu verbessern.
Das System enthielt eine Vielzahl an miteinander vernetzten Variablen und Größen. Insgesamt ergab sich dadurch ein stabiles Gefüge, welches der Realität ähnlich war. Der Zustand des Systems war nicht optimal, die Bevölkerung konnte gerade so überleben, mit hoher Sterblichkeit und hoher Geburtenrate.

> *„Es zeigte sich in den Ergebnissen, dass die Probanden fast ausnahmslos das ursprünglich stabile Gefüge der Variablen des simulierten Landes zerstörten und dadurch häufig katastrophale Zustände schufen“* (Dörner / Reither 1978, S. 527).

Die Hauptursachen dafür sehen die Autoren zum einen in einer Konzentrierung und Fixierung auf gewisse mehr oder weniger wichtige Aufgabenpunkte, einer Verkapselung in einem Teilbereich des Systems. In der Hoffnung wenigstens eine Aufgabe erfolgreich zu lösen, fixierten sich die Probanden auf diese und ignorierten die wirklich wichtigen Probleme. Zum anderen in einer Unfähigkeit, den dynamischen Charakter des Systems und dabei insbesondere exponentielle

Entwicklungsverläufe richtig einzuschätzen. Und zum Dritten schließlich in einer Nichtberücksichtigung der Vernetztheit der Variablen, der Aus-, Fern und Nebenwirkungen von Handlungen auf andere Variablen also und einem Denken in linearen Ursache – Wirkungs – Ketten.
Die Autoren kommen jedoch auch zu dem Schluss, bedingt durch Teilergebnisse, welche eine steigende Berücksichtigung interner Vorgänge und der Eigendynamik des Systems durch die Versuchspersonen anzeigten, dass systemisches Handeln und somit der erfolgreiche Umgang mit komplexen Systemen erlernt werden kann.

Dörner (1999) fasst die Fehler der Versuchspersonen wie folgt zusammen und sieht darin offenkundige Parallelen zu realen Ereignissen:

- *„Handeln ohne vorherige Situationsanalyse,*
- *Nichtberücksichtigung von Fern- und Nebenwirkungen,*
- *Nichtberücksichtigung der Ablaufgestalt von Prozessen,*
- *Methodismus: man glaubt, über die richtigen Maßnahmen zu verfügen, weil sich keine negativen Effekte zeigen,*
- *Flucht in die Projektmacherei,*
- *Entwicklung von zynischen Reaktionen“* (Dörner 1999, S. 32).

Dörner untersuchte in der Folge diese Ergebnisse anhand weiterer empirischer Experimente. So wurden etwa im Projekt „Lohhausen“ (Dörner 1999) die Versuchspersonen zu mit allen Vollmachten ausgestatteten Bürgermeistern einer Kleinstadt gemacht, wiederum mit der Aufgabe für ein größeres allgemeines Wohlergehen zu sorgen. Die Ergebnisse waren weitestgehend dieselben. Für systemisches Handeln gibt Dörner (1999) jedoch im Unterschied zu anderen Autoren keine allgemeinen Denk- und Handlungsregeln an. Vielmehr sieht er in systemischem Handeln ein situationsgerechtes Handeln unter Einbeziehung des allgemeinen Menschenverstandes. Mal mit genauer, mal mit grober Planung, mal mit Analyse des Details und mal mit einer ganzheitlichen Ansicht.

> *„Alles zu seiner Zeit, jeweils unter Beachtung der Umstände. Es gibt nicht die eine, allgemeine, immer anwendbare Regel, den Zauberstab, um mit allen Situationen und all den verschiedenartigen Realitätsstrukturen fertig zu werden“* (Dörner 1999, S. 299).

Systemisches Denken und systemisches Handeln auf den gesunden Menschverstand zu reduzieren scheint wenig sinnvoll. Zum einen beinhaltet der gesunde Hausverstand durch unsere von der Gesellschaft geprägte Neigung zum Ursache – Wirkungs – Denken wohl kaum alle Grundprinzipien der Systemwissenschaften, zum anderen ist es ja das Wesen systemischer Prinzipien,

dass diese allgemein gültig und auf alle Systeme übertragbar sind. So gesehen können sehr wohl allgemein gültige Richtregeln existieren. Wie diese genau auszusehen haben, möchte ich nicht behaupten zu wissen. Der Hausverstand spielt im Umgang mit komplexen Situationen natürlich immer eine wichtige Rolle, aber bestimmt nicht die alleinige.

11.2.3. Kybernetische Grundregeln nach Vester

Frederic Vester formulierte acht sogenannte „kybernetische Grundregeln“, deren Befolgung grobe Planungsfehler bei Problemlösungen vermeiden helfen soll (Vester 1985, 2000). Es handelt sich dabei um eine Mischung aus von der Natur abgeschauten Naturgesetzen und Checkliste für erfolgreiche Systemintervention:

1. **Regel:** *Negative Rückkoppelung muss über positive Rückkoppelung dominieren*

   Eine negative Rückkoppelung bedeutet gleichzeitig eine Selbststeuerung durch einen Kreisprozess. Eine ungehemmte Selbstverstärkung, wie eine Raubtierart die sich zunehmend vermehrt, dabei seine eigene Beute vernichtet und dann nichts mehr zu fressen findet, führt zur Selbstvernichtung. Vester sieht darin die wichtigste aller Regeln.

2. **Regel:** *Die Systemfunktion muss vom quantitativen Wachstum unabhängig sein*

   Da ein permanentes Wachstum für kein System möglich ist, muss die Funktion eines Systems von quantitativen Wachstum unabhängig und auch in einer Gleichgewichtsphase gewährleistet sein. Es darf nicht auf ein quantitatives Wachstum angewiesen sein. Oft führt auch ein qualitatives Wachstum zu einer wichtigen Weiterentwicklung.

3. **Regel:** *Das System muss funktionsorientiert und nicht produktorientiert arbeiten*

   Diese Regel ergibt sich nach Vester als Folge von den ersten beiden. Ein System muss funktionsorientiert arbeiten und nicht an die Herstellung eines gewissen Produktes gebunden sein. Dieses würde sich sonst unendlich vermehren.

4. **Regel:** *Nutzung vorhandener Kräfte nach dem Jiu – Jitsu – Prinzip, statt Bekämpfung nach der Boxermethode*

Es gilt vorhandene, wenn auch störende Kräfte durch Umlenkung für den eigenen Gebrauch zu nutzen. Der eigene Kraftaufwand beschränkt sich dabei auf die Steuerung der vorhandenen Energie. Damit profitiert man von vorliegenden Konstellationen und fördert die Selbstregulation. Man kann dem System innewohnende Kräfte und Dynamiken (wie ein Jiu – Jitsu Kämpfer, der die Angriffsenergie des Gegners für das eigene Ziel benutzt) nutzen, anstatt mit externem Kraftaufwand (wie ein Boxer) versuchen, an das Ziel zu kommen. So ist es etwa sinnvoller, die bestehende Selbstreinigungskraft von Gewässern zu fördern, als mittels großer Anstrengung Kläranlagen zu bauen.

5. **Regel:** *Mehrfachnutzung von Produkten, Funktionen und Organisationsstrukturen*

Eine Mehrfachnutzung erhöht den Vernetzungsgrad, erzeugt Multistabilität und verringert den Energie-, Material- und Informationsaufwand. Kein Produkt oder Verfahren sollte isoliert eingesetzt werden, sondern mit anderen ein ineinander verschachteltes System bilden.

6. **Regel:** *Recycling: Nutzung von Kreisprozessen zur Abfall- und Abwasserverwertung*

Abfallprodukte sollen selbst wieder Ausgangsstoffe für neue Produkte werden. Damit ergibt sich ein Kreisprozess, welcher sowohl Knappheit als auch Überschüsse dämpft. Auch in der Natur gibt es kein endgültiges Abfallprodukt – für alles das anfällt, ist bereits ein Enzym für dessen Abbau vorhanden. Abfallprodukte sind eine Erfindung der Menschheit.

7. **Regel:** *Symbiose: Gegenseitige Nutzung von Verschiedenartigkeit durch Kopplung und Austausch*

Symbiose führt zu kleinen Abläufen und kurzen Transportwegen, ist aber nur bei kleinräumiger Diversität und Verbund möglich. Sie verringert den Energieaufwand und externe Abhängigkeit. Monostrukturen können nicht von Symbiose profitieren.

8. **Regel:** *Biologisches Design von Produkten, Verfahren und Organisationsformen durch Feedback – Planung*

Jedes Produkt, jede Funktion und Organisation muss mit der Natur vereinbar sein und der Struktur überlebensfähiger Systeme entsprechen. Vester meint damit eine Feedbackplanung mit der Umwelt, eine Vereinbarkeit mit der Natur und biologischen Strukturen.

Vester sieht diese acht Regeln als allgemein gültig für überlebensfähige Systeme an. Eine Anwendung dieser Regeln auf von Menschen geschaffene Produkte, Verfahrensweisen und Organisationsformen könne zu energie- und rohstoffsparenden kybernetischen Lösungen führen, welche sowohl Umwelt als auch Volkswirtschaft entlasten.

> *„Ihre Nichtbefolgung kann lange Zeit gut gehen, erfordert jedoch einen mehr oder weniger hohen Aufwand an Versorgung, Entsorgung, Schutz und Kontrolle, je nachdem, an welcher Stelle auf der Skala zwischen dem technokratischen und dem kybernetischen Ende man sich in seinem Planen und Handeln bewegt“* (Vester 2000, S. 142).

Es muss jedoch erwähnt werden, dass eine konkrete Anwendung und Überführung dieser Regeln auf den persönlichen Bedarf nicht immer leicht durchzuführen scheint. Man kann zwar nicht widerlegen, dass die Regeln in sich schlüssig und sinnvoll sind, eine Umsetzung bleibt dennoch schwierig. Dies mag daran liegen, dass die Regeln nicht auf die Gestaltung von systemischem Handeln ausgerichtet sind, sondern eher auf die Art und Weise der Gestaltung der Produktion eines Produktes oder des Aufbaus einer Organisation, damit diese optimal und „kybernetisch“ in die Umwelt integriert werden. Dabei nach den erklärten Regeln vorzugehen, dürfte in einzelnen Fällen schwierig sein. Die acht Vester´schen kybernetischen Grundregeln können einzeln aber sehr gut für ein systemisches Handeln sensibilisieren und auf diese Weise jedenfalls zu positiven Auswirkungen führen.

11.2.4. Die Gesetze der fünften Disziplin

Auch Peter Senge stellt in seinem Buch „Die fünfte Disziplin“ (Senge 1998) mehrere Systemgesetze vor. Er bezieht diese direkt auf Systeminterventionen und versucht bei diesen immer wieder auftretende Fehler aufzuzeigen:

1. Die «Lösungen» von gestern sind die Probleme von heute

Dies soll bedeuten, dass in vielen Fällen von unsachgemäßem Umgang mit Problemen, dasselbe oder neue Probleme wieder auftreten. Bei Symptombehandlung oder Problemverschiebung (vgl. 10.4.) kommt es zum Wiederkehren desselben Problems, meist jedoch in verstärkter Form.

Oft werden jedoch auch Nebenwirkungen der Problemlösung nicht erkannt, was zum Auftreten neuer Schwierigkeiten an anderen Stellen führt. In großen Systemen oder in Systemen mit großer zeitlicher Verzögerung werden dann diese neuen Probleme nicht mit den alten in Verbindung gebracht.

2. Je mehr man sich anstrengt, desto schlimmer wird es

Dieses Gesetz ist dem oben erwähntem sehr ähnlich. Es betrifft Situationen, in welchen man durch eigenes Handeln alles noch verschlimmert. Man betrachtet nur die oberflächliche kurzfristige Lösung und denkt nicht an eine dauerhafte Art von Lösung. So scheiterten etwa viele Maßnahmen zur Bekämpfung des Hungers in Entwicklungsländern daran, dass die Nahrungslieferungen zwar den Hunger der Bevölkerung stillten, dies jedoch in der Folge dazu führte, dass sich die Bevölkerung stärker als zuvor vermehrte. Einige Jahre später resultierten daraus neue und nun noch viel stärkere Hungerkatastrophen.

3. Das Verhalten verbessert sich, bevor es sich verschlechtert

Auch dieses Gesetz befasst sich erneut mit der Symptombehandlung. Symptomatische Lösungen haben nun einmal den Vorteil, dass sie auf einfache Art und Weise einen schnellen, aber nur kurz andauernden Vorteil bringen. Nach einiger Zeit macht sich jedoch bemerkbar, dass sich dadurch auf Dauer nichts bessert. Auch hier ist also wieder die Zeitverzögerung der wichtige Faktor.
Das Gesetz gilt jedoch auch umgekehrt: Bei grundsätzlichen Lösungen kann sich kurzfristig das Verhalten verschlechtern, bevor es besser wird.

4. Der bequeme Ausweg erweist sich zumeist als Drehtür

Oft ist es am bequemsten, altbewährte Lösungen anzuwenden, anstatt sich einen für die Situation angebrachten neuen Lösungsweg zu überlegen. Das altbewährte Mittel hat doch in der Vergangenheit funktioniert, wieso sollte sie jetzt nicht funktionieren?
Das Festhalten an solchen Patentlösungen kann ebenfalls, wenn die Probleme in der Zwischenzeit andauern, eine insgesamte Verschlechterung zur Folge haben.

5. Die Therapie kann schlimmer sein als die Krankheit

Manchmal kommt es vor, dass eine gewohnte Lösung nicht nur wirkungslos ist, sondern sogar suchterzeugend. Dies ist z.B. der Fall, wenn man zum Ausgleich zu Stressbelastung und um Abschalten zu können, Alkohol konsumiert. Anfangs funktioniert es, dann braucht man immer mehr davon und langsam, aber sicher beginnt die Therapie Alkohol schlimmer zu werden als der ursprüngliche auslösende Faktor. Er schafft neue Probleme und verschlimmert nebenbei die alten.
Systemisch gesehen fällt dieses immer wieder auftretende Muster unter den Archetyp „Problemverschiebung auf den Intervenierenden“ (vgl. 10.4.1.). Dies ist auch bei vielen staatlichen Interventionen, Organisationen zur Bekämpfung des Hungers oder bei Wohlfahrtsprogrammen der Fall. Einem System wird Hilfe

geleistet, dieses bleibt aber nach Beendigung der Hilfe geschwächt und hilfsbedürftiger als zuvor zurück, anstatt dass die Hilfe bewirkt hätte, dem System eine Eigenständigkeit zu ermöglichen.

6. Schneller ist langsamer

In komplexen Systemen heißt schnell nicht unbedingt auch gut. Das ist sowohl bei Wachstumsraten der Fall als auch bei der Schnelligkeit eines Eingriffs. Die maximal mögliche Wachstumsrate anzustreben, ist im Normalfall nicht optimal. Vielmehr verfügen alle Arten von Systemen, ob Ökosystem oder Wirtschaftsunternehmen, über eine eigene optimale Wachstumsrate. So ist es für Wirtschaftsunternehmen etwa viel geschickter, ein gleichmäßiges konstantes Wachstum zu haben als ein kurzes exzessives mit anschließendem Leerlauf. Auch übereilte Eingriffe ohne vorheriger Abschätzung sind im Umgang mit Systemen keineswegs erstrebenswert.

7. Ursache und Wirkung liegen räumlich und zeitlich nicht nahe beieinander

In komplexen Systemen bewirkt eine Ursache oft eine räumlich oder zeitlich weit entfernte Wirkung. Diese Tatsache ist in aller Regel sogar typisch für komplexe Systeme. Der Mensch neigt jedoch in dieser Weise falsch über die Realität zu denken. So können etwa heutige Umweltverschmutzungen große Wirkungen erst irgendwann in der Zukunft haben. Oder aber ein Mensch bekommt durch berufliche Überbelastung gesundheitliche Probleme. Ein Arzt kann diese zwar diagnostizieren und behandeln, das Problem bleibt aber bestehen.

8. Kleine Veränderungen können eine Riesenwirkung haben – aber die Maßnahmen mit der stärksten Hebelwirkung sind häufig zugleich die unauffälligsten.

An der richtigen Stelle und zur richtigen Zeit getätigte Handlungen können, auch wenn sie nur sehr gering dosiert sind, große und weitreichende Ergebnisse und Verbesserungen erzielen. Man muss dazu aber wissen, wo der Hebel anzusetzen ist. In komplexen Systemen liegen die Maßnahmen mit der größten Hebelwirkung aber nicht unbedingt in räumlicher oder zeitlicher Nähe zum Problemsymptom. Es gilt die Maßnahmen mit Hebelwirkung, unter den anderen herauszufiltern.

Ein Beispiel aus der Technik: Schiffe steuern die Fahrtrichtung über ein Ruder, wobei große Schiffe auch sehr große Ruder benötigen. Die umströmenden großen Wassermassen machen dann aber eine Steuerung schwierig. Deshalb gibt es in solchen Fällen vor dem Ruder ein weiteres kleines Ruder, das sogenannte Trimmruder. Dieses kleine unscheinbare Ruder, dessen Steuerung durch seine geringe Größe sehr leicht fällt, hilft entscheidend das große Ruder und damit das

gesamte Schiff zu bewegen. Will man also das Schiff steuern, so ist ein Versuch am offensichtlichen Punkt, nämlich dem Ruder, in der Regel wirkungslos. Zuviel Kraft ist dafür notwendig. Den Punkt mit der größten Hebelwirkung und dem geringsten dafür notwendigen Aufwand stellt das kleine Trimmruder dar.

9. Sie können den Kuchen essen oder behalten – nur nicht beides gleichzeitig

Oft muss man sich für eine Sache entscheiden und die andere für eine Zeit ad acta legen. Normalerweise muss man auch tatsächlich zwischen zwei einander ausschließenden Dingen wählen.

Senge meint dazu aber, dass in vielen Situationen über einen längeren Zeitraum beides möglich ist, wenn man sich nur in der Gegenwart auf eine Sache konzentriert. Insbesondere in Wirtschaftssituationen kann dies der Fall sein. Senge bringt dabei das Beispiel von Produzenten, welche denken, dass es unabänderlich sei, dass Produkte mit höherer Qualität auch teurer in der Herstellung seien. Man müsse sich für eines entscheiden. Eine grundsätzliche Verbesserung, etwa Innovationen für die Produktionsmaschinen, könne aber über kurz oder lang zum Erreichen sowohl von hoher Qualität als auch geringen Herstellungskosten führen.

10. Wer einen Elefanten in zwei Hälften teilt, bekommt nicht zwei kleine Elefanten

Mit diesem Gesetz ist das Prinzip der Notwendigkeit die Gesamtheit eines Systems zu erkennen gemeint. Die einfache Betrachtung von Teilaspekten ist nicht zielführend. Es kommt auf die Beziehungen an, das verhält sich bei künstlichen komplexen Systemen ähnlich wie bei lebenden. Auch ein Lebewesen kann man nicht in zwei funktionstüchtige Hälften teilen.

11. Niemand ist schuld

Einen Schuldigen für einen Missstand zu suchen ist geradezu klassisch menschlich. Wir neigen dazu, die Schuld auf äußere Umstände oder jemanden anderes zu schieben. Systemisch gesehen sind aber wir und unsere Probleme Teile desselben Systems. So gesehen hilft es wenig einen Schuldigen außerhalb des Systems zu suchen, es gilt vielmehr die Situation in ihrer Vielschichtigkeit zu erfassen und eine adäquate Lösung zu finden.

Die Systemgesetze von Senge sind in hohem Maße auf die praktische Anwendung von Eingriffen in bestehende komplexe Systeme ausgerichtet. Diese Systemgesetze

sind größtenteils auch eng mit den von ihm ausführlich behandelten Grundstrukturen in systemischen Wirkungsbeziehungen, den Systemarchetypen, verbunden. Sie stellen eine brauchbare Unterstützung bei Interventionen in Systemen dar, sind aber teilweise ein wenig zu sehr auf den Bereich des Managements ausgerichtet.

Zusammenschau

Systemisches Handeln bezieht sich meist darauf, auf eine Art und Weise mit Systemen umzugehen, welche auf unterschiedliche Typen von Systemen transferierbar ist und an sich bewusst nach Berücksichtigung der bekannten systemischen Gesetzmäßigkeiten erfolgt. Zu Beginn bedarf es stets einer genauen Situationsanalyse, da die Unkenntnis der Systemeigenschaften oder falsche Annahmen in aller Regel zu Fehlverhalten in Handlungssituationen führen. Unter Berücksichtigung der zuvor bereits dargestellten Grundprinzipien aller Systeme und der bekannten Handlungsfehler und Systemgesetze, kann man eine bessere Lösung von Problemen, einen besseren Umgang und eine nachhaltigere Entwicklung in vielen komplexen Handlungssituationen erzielen.
Gleich mehrere Autoren stellen in ihren Publikationen diese Denkfehler des Menschen beim Umgang mit Systemen, Regeln für systemisches Verhalten oder allgemeine Systemgesetze vor. Diese sind von unterschiedlichem Gebrauchswert. Insgesamt kann man jedoch sagen, dass sie zusammen genommen hervorragend zu einem besseren systemischen Handeln beitragen können.

III. Schlussabschnitt

12. Zusammenfassung

Die erst wenige Jahrzehnte alte Disziplin der Systemwissenschaften hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Der systemische Ansatz soll dabei zu einer neuen Perspektive der Wissenschaft beitragen, welche komplementär zu jener der traditionellen ist. Systemisches Denken kann nicht vollkommen an Stelle des analytischen Denkens treten, die beiden Typen des Denkens können aber zusammengenommen neue Lösungsansätze für die immer größer und alltäglicher werdenden Probleme unserer immer komplexer werdenden Welt bieten.

In Systemen zu denken bietet enorme Vorteile, denn erst dadurch wird man sich der mannigfaltigen Rück-, Fern- und Wechselwirkungen, welche ständig und überall auftreten, bewusst. Ein Verständnis dieser Rückkoppelungen ist der erste Schritt zu einem systemischen Denken. Der analytische reduktionistische Ansatz sieht alles stets als isolierte Teile, welche man ohne Berücksichtigung der Außenwelt in sich analysieren kann. In der Realität spielt jedoch auch der Rest der Welt oft eine wichtige Rolle. Wir sind heute in eine enorme Vielzahl von Systemen eingebettet, welche ineinander greifen und sich gegenseitig mehr oder weniger beeinflussen. Die Wechselwirkungen zu kennen oder zumindest in einem ersten Schritt das Wissen um das Vorhandensein von Wechselwirkungen, hilft besser agieren bzw. reagieren zu können. Auch ein systemisches Denken kann, da man in Modellen denkt, natürlich niemals alle Wechselwirkungen berücksichtigen, es kann aber zu einem besseren Verständnis der in der Realität ablaufenden Prozesse führen.

Kein quantitatives Wachstum kann ewig anhalten. Diese Tatsache ist schon lange bekannt, aber dennoch ist bis heute in kaum einem Bereich unseres Lebens ein Anzeichen eines Umschwunges auf ein qualitatives Wachstum erkennbar. Dabei ist aber gerade qualitatives Wachstum oft die viel wichtigere und zielführendere Art zu wachsen. Das kurzzeitige Profitdenken des Menschen bedingt aber quantitatives Wachstum und bewirkt im Zusammenhang mit Zeitverzögerungen oft fatale Folgen. Denn Zeitverzögerungen fällt in Systemen eine äußerst wichtige Rolle zu. Insbesondere im Umgang des Menschen mit Systemen führen sie zu schweren Folgen. Die sogenannten Systemarchetypen sollen helfen, den Umgang des Menschen mit Systemen zu erleichtern.

Die Tatsache, dass jedes System nur innerhalb eines gewissen Rahmens stabil bleibt, sollte den Menschen besonders im Umgang mit natürlichen Systemen sensibilisieren. Zu leicht kann ein natürliches System aus den Fugen geraten,

und tritt dieser Fall einmal ein, so kann man nicht unbedingt damit rechen, dass es sich nach einiger Zeit wieder dem ursprünglich stabilen Zustand nähert.

Eine Kenntnis der wichtigsten systemischen Grundkonzepte führt durch deren allgemeine Übertragbarkeit innerhalb von Systemen und damit innerhalb der unterschiedlichsten Wissenschaftsbereichen zu einem interdisziplinären Verständnis der Wirklichkeit. Fächerübergreifende Probleme benötigen auch ein fächerübergreifendes Verständnis. Die Systemwissenschaft ist genau darum bemüht.

Was habe ich gelernt?

An diesem Punkt stellt sich natürlich auch die Frage, was ich selbst im Laufe dieser Arbeit gelernt habe. Abgesehen von den vielen Fakten, welche im Zuge der Recherche und der Ausarbeitung neu für mich waren, habe ich vor allem die wesentlichen Schritte einer wissenschaftlichen Ausarbeitung gelernt. Man muss zwar auch während des Studiums des Öfteren größere Arbeiten verfassen und eigentlich stellt dies sogar einen wesentlichen Teil der Ausbildung an der Universität dar, mit einer Diplomarbeit in diesem Ausmaß sind diese aber in mehrfacher Hinsicht nicht zu vergleichen. Erst dabei merkt man was es heißt, wissenschaftlich zu arbeiten.
Nebenbei war auch der Zugang zur Thematik mit diversen Schwierigkeiten für mich verbunden, zum einen vor allem deshalb, da die systemwissenschaftliche Ausbildung im Studienplan der Umweltsystemwissenschaften meiner Meinung nach unterrepräsentiert ist, zum anderen deshalb, weil ich über weite Teile selbst etwas „Neues“ kreieren musste. Denn wie eingangs erwähnt, lassen sich nur sehr wenige Ausarbeitungen, welche der vorliegenden ähneln, finden. Ich musste daher aus den unterschiedlichsten Bereichen das Wissen der Autoren zusammentragen. Dieses Vorgehen erinnerte mich manchmal an das Zusammensuchen von Puzzleteilen um diese zu einem neuen Ganzen zusammenzufügen.
Ich hoffe dabei das angeführte Ziel einer Sensibilisierung für den Umgang mit komplexen Systemen und eine Erhöhung des Verständnisses für systemische Abläufe und Mechanismen erreicht zu haben. Weiters hoffe ich an manchen Stellen das Interesse des Lesers für die systemische Sicht der Dinge geweckt zu haben.

Literaturverzeichnis

A) Bücher und Zeitschriften

BERTALANFFY, Ludwig von (1968): General System Theory. Foundations, Development, Applications. New York: George Braziller.

BRIGGS, John / PEAT F. David (1990): Die Entdeckung des Chaos. Eine Reise durch die Chaos – Theorie. München, Wien: Carl Hanser Verlag.

CAPRA, Fritjof (1999): Lebensnetz. Ein neues Verständnis der lebendigen Welt. München: Droemersche Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf.

DÖRNER, Dietrich (1999): Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

DÖRNER, Dietrich / REITHER, Franz (1978): Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 25, Heft 4, S 527 – 551.

GOMEZ, Peter / PROBST, Gilbert (1987): Vernetztes Denken im Management. Eine Methodik des ganzheitlichen Problemlösens. (Die Orientierung Nr. 89) Bern: Schweizerische Volksbank.

HÖRZ, Herbert / WESSEL, Karl-Friedrich (1983): Philosophische Entwicklungstheorie. Weltanschauliche, erkenntnistheoretische und methodologische Probleme der Naturwissenschaften. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

HUBER, Anton (2001): Systeme & Komplexität 2. Selbstorganisierende Systeme, Autopoietische Systeme, Konstruktivismus: ein erweitertes Naturkonzept. Skriptum zur Vorlesung. Universität Graz.

KLIR, George J. (Hrsg.) (1991): Facets of Systems Science. New York: Plenum Press.

KRIEGER, David J. (1996): Einführung in die allgemeine Systemtheorie. München: Wilhelm Fink Verlag.

KURZROCK, Ruprecht (Hrsg.) (1972): Systemtheorie. Forschung und Information. Berlin: Colloquium Verlag Otto H. Hess.

MEADOWS, Dennis / MEADOWS, Donella / ZAHN, Erich / MILLING, Peter (1972): Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: DVA.

OSSIMITZ, Günther (2000a): Einführung in die Systemwissenschaften. Vorlesungsskriptum, Universität Graz.
URL: http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/pap.htm

OSSIMITZ, Günther (2000b): Entwicklung systemischen Denkens. Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen. München, Wien: Profil.

O´CONNOR, Joseph / MCDERMOTT, Ian (1998): Die Lösung lauert überall. Systemisches Denken verstehen und nutzen. Kirchzarten bei Freiburg: VAK Verlags GmbH.

RAPOPORT, Anatol (1988): Allgemeine Systemtheorie. Wesentliche Begriffe und Anwendungen. Darmstadt: Verlag Darmstädter Blätter.

RICHARDSON, George P. (1991): Feedback Thought in Social Science and Systems Theory. Philadelphia: University of Pensylvania Press.

RICHARDSON, George P. (1986): Problems with causal-loop diagrams. System Dynamics Review 2 (no. 2, Summer 1986). System Dynamics Society. S 158 – 170. URL: http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/sd/D-3312-2.pdf

SENGE, Peter M. / KLEINER, Art / SMITH, Brian / et al. (1996): Das Fieldbook zur Fünften Disziplin. Stuttgart: Klett-Cotta.

SENGE, Peter M. (1998): Die Fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation. Stuttgart: Klett-Cotta.

VESTER, Frederic (1985): Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. München: DTV.

VESTER, Frederic (1999): Unsere Welt – ein vernetztes System. München: DTV.

VESTER, Frederic (2000): Die Kunst, vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Stuttgart: DVA.

WATZLAWICK, Paul / BEAVIN, Janet H. / JACKSON, Don D. (1990): Menschliche Kommunikation: Formen, Störungen, Paradoxien. Bern: Huber.

WATZLAWICK, Paul / WEAKLAND, John H. / FISCH, Richard (1988): Lösungen. Zur Theorie und Praxis menschlichen Wandels. Bern: Huber.

B) Internet - Quellen

ARONSON, Daniel (1998): Introduction to Systems Thinking.
URL = http://www.thinking.net/Systems_Thinking/Intro_to_ST/intro_to_st.html 2002-09-01

BELLINGER, Gene: Systems.
URL = http://www.outsights.com/systems/welcome.htm 2002-10-03

BRAUN, William (2002): The System Archetypes.
URL = www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/sd/wb_sysarch.pdf 2002-10-03

EICHBERGER, Stefan et. al. (2000): Der Schweinezyklus.
URL = http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/lv/usw00/w/g4/Schweinzyklus.html 2002-09-05

EULER, Manfred / BELL, Thorsten: Selbstorganisation und komplexe Systeme.
URL = http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/ipnblatt/ip100/ip100r01.htm 2002-09-11

von GOLDAMMER, Eberhard (1991): Kybernetik und Systemtheorie.
URL = http://www.vordenker.de/ics/icsziel.htm 2002-10-03

GRUBER, Elmar R. (Hrsg.): Begriffserläuterung. Systemdenken.
URL = http://www.usm.de/mysteria/x/x1771.htm 2002-10-03

GYSEL, U.: Quantitatives oder qualitatives Wachstum?
URL = www.zhwin.ch/~gys/MTUf/SkriptWachstum.pdf 2002-09-06

HITCHINS, Derek K. (2000): System Thinking.
URL = http://www.hitchins.co.uk/SysThink.html 2002-10-03

HÖFLING, Wolfgang: Die Methode des Vernetzten Denkens als Teil einer partizipativen Schwachstellenanalyse.
URL = www.entwicklung-training.de/veroeffe/vernetzt.doc 2002-09-11

KAMPF, Jens (2002): Deterministisches Chaos.
URL = http://www.bestklick.de/html/chaos.html 2002-10-03

KLIPPSTEIN, Björn 1999: Organisationsentwicklung.
URL = http://kaufwas.com/bk/wissen/oe_berat/index.htm 2002-09-03

LAZLO, Ervin: Visionen qualitativen Wachstums aus Sicht der Systemtheorie: Wie kann man verantwortbares Wachstum definieren?
URL = www.gcn.de/Kempfenhausen/Zyklus1/downloads/laszlo.pdf 2002-08-08

MAYER-KRESS, Gottfried: Messy Futures and Global Brains.
URL = http://www.santafe.edu/~gmk/MFGB/MFGB.html 2002-09-11

OSSIMITZ, Günther (1996a): Das Projekt “Entwicklung vernetzten Denkens“.
URL = www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/ossimitz1996c.PDF 2002-09-08

OSSIMITZ, Günther (1996b): Stand und Perspektiven der Forschung zum systemischen Denken.
URL = http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/symp94b.pdf 2002-09-11

OSSIMITZ, Günther (2000c): Systemisches Denken braucht systemische Darstellungsmittel.
URL = http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/sysdd.pdf 2002-09-01

REINARTZ, Eckhard (1999): Logistische Wachstumsdynamik und Chaos. Düsseldorf.
URL = http://jan-wellem.rz.uni-duesseldorf.de/leibniz-gymn/chaos/chaos_e.htm 2002-09-06

RONDOT, René (1997): Chaos und Fraktale.
URL = http://rene.rondot.de/facharbeit/facharbeit-Title.html 2002-09-23

SCHAUB, Harald: Systemtheorie.
URL = http://www.uni-bamberg.de/~ba2dp1/lehre/lehre.hs/sys-ws96.htm 2002-08-08

SCHMID, Johannes (1997): Das Magnet- und Drehpendel als Beispiele für die Chaosphysik.
URL = http://home.in.tum.de/~schmid/extras/chaos/noframes.html 2002-09-11

SCHWEBINGHAUS, Ulrich: Die Entdeckung des Chaos.
URL = http://www.fraktalwelt.de/upraxis/chaos.htm 2002-10-03

STERN, Hermann: Diplomarbeit. Die Ermittlung von Schlüsselfaktoren für Unternehmensnetzwerke.
URL = http://www.stern.ch/hermann/publications/diplomapaper/index.html 2002-09-11

STRUNK, Guido: Seminararbeit zum Papiercomputer nach F. Vester.
URL = www.wu-wien.ac.at/inst/ivm/BeispielHausarbeit.PDF 2002-10-03

WASER, André (2000): Autopoietische Systeme und die reduktionistische Physik.
URL = www.aw-verlag.ch/Documents/ Autopoietische%20Systeme.PDF 2002-09-23

WENZEL, Joachim (a): Einführung in die Systemtheorie.
URL = http://www.systemische-beratung.de/systemtheorie/theorie.htm 2002-10-03

WENZEL, Joachim (b): Selbstreferentielle Systeme.
URL = http://www.systemische-beratung.de/selbstreferentiell.htm 2002-10-03

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie: Bange machen gilt nicht: Gegen eine kurzsichtige Studienwahl.
URL = http://www.zvei.org/bb/ingenieurberufe/schweinezyklus.htm 2002-08-08

Anhang

Tabelle 6.1. Exponentielles Wachstum:

Exponentielles Wachstum			
Beginnzeit	2001		
Bestand-Beginn	5		
Wachstumsf.	10% (0,1)		
Schrittweite	1		
Zeit	**Bestand Beg.**	**Wachstum**	**Bestand Ende**
2001	5,00	0,50	5,50
2002	5,50	0,55	6,05
2003	6,05	0,61	6,66
2004	6,66	0,67	7,32
2005	7,32	0,73	8,05
2006	8,05	0,81	8,86
2007	8,86	0,89	9,74
2008	9,74	0,97	10,72
2009	10,72	1,07	11,79
2010	11,79	1,18	12,97
2011	12,97	1,30	14,27
2012	14,27	1,43	15,69
2013	15,69	1,57	17,26
2014	17,26	1,73	18,99
2015	18,99	1,90	20,89
2016	20,89	2,09	22,97
2017	22,97	2,30	25,27
2018	25,27	2,53	27,80
2019	27,80	2,78	30,58
2020	30,58	3,06	33,64
2021	33,64	3,36	37,00
2022	37,00	3,70	40,70
2023	40,70	4,07	44,77
2024	44,77	4,48	49,25
2025	49,25	4,92	54,17
2026	54,17	5,42	59,59
2027	59,59	5,96	65,55
2028	65,55	6,55	72,10
2029	72,10	7,21	79,32
2030	79,32	7,93	87,25
2031	87,25	8,72	95,97
2032	95,97	9,60	105,57
2033	105,57	10,56	116,13
2034	116,13	11,61	127,74
2035	127,74	12,77	140,51
2036	140,51	14,05	154,56
2037	154,56	15,46	170,02
2038	170,02	17,00	187,02
2039	187,02	18,70	205,72
2040	205,72	20,57	226,30
2041	226,30	22,63	248,93

2042	248,93	24,89	273,82
2043	273,82	27,38	301,20
2044	301,20	30,12	331,32
2045	331,32	33,13	364,45
2046	364,45	36,45	400,90
2047	400,90	40,09	440,99
2048	440,99	44,10	485,09
2049	485,09	48,51	533,59
2050	533,59	53,36	586,95
2051	586,95	58,70	645,65
2052	645,65	64,56	710,21
2053	710,21	71,02	781,24
2054	781,24	78,12	859,36
2055	859,36	85,94	945,30
2056	945,30	94,53	1039,83
2057	1039,83	103,98	1143,81
2058	1143,81	114,38	1258,19
2059	1258,19	125,82	1384,01
2060	1384,01	138,40	1522,41
2061	1522,41	152,24	1674,65

Tabelle 6.2. Logistisches Wachstum:

Logistisches Wachstum

Beginnzeit	*2001*
Bestand-Beginn	*5*
Wachstumsf.	*0,5*
Schrittweite	*1*
Kapazitätsgrenze	*1000*

Zeit	Bestand Beg.	Freiraum	Wachstum	Bestand Ende
2001	5,00	1,00	2,49	7,49
2002	7,49	0,99	3,72	11,20
2003	11,20	0,99	5,54	16,74
2004	16,74	0,98	8,23	24,97
2005	24,97	0,98	12,17	37,15
2006	37,15	0,96	17,88	55,03
2007	55,03	0,94	26,00	81,03
2008	81,03	0,92	37,23	118,27
2009	118,27	0,88	52,14	170,41
2010	170,41	0,83	70,68	241,09
2011	241,09	0,76	91,48	332,57
2012	332,57	0,67	110,98	443,56
2013	443,56	0,56	123,41	566,96
2014	566,96	0,43	122,76	689,72
2015	689,72	0,31	107,00	796,72
2016	796,72	0,20	80,98	877,70
2017	877,70	0,12	53,67	931,37
2018	931,37	0,07	31,96	963,33
2019	963,33	0,04	17,66	980,99
2020	980,99	0,02	9,32	990,32
2021	990,32	0,01	4,80	995,11

2022	995,11	0,00	2,43	997,54
2023	997,54	0,00	1,23	998,77
2024	998,77	0,00	0,61	999,38
2025	999,38	0,00	0,31	999,69
2026	999,69	0,00	0,15	999,85
2027	999,85	0,00	0,08	999,92
2028	999,92	0,00	0,04	999,96
2029	999,96	0,00	0,02	999,98
2030	999,98	0,00	0,01	999,99
2031	999,99	0,00	0,00	1000,00
2032	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2033	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2034	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2035	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2036	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2037	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2038	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2039	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2040	1000,00	0,00	0,00	1000,00
2041	1000,00	0,00	0,00	1000,00