

SCHNITTSTELLEN VON CHAOS UND ORDNUNG

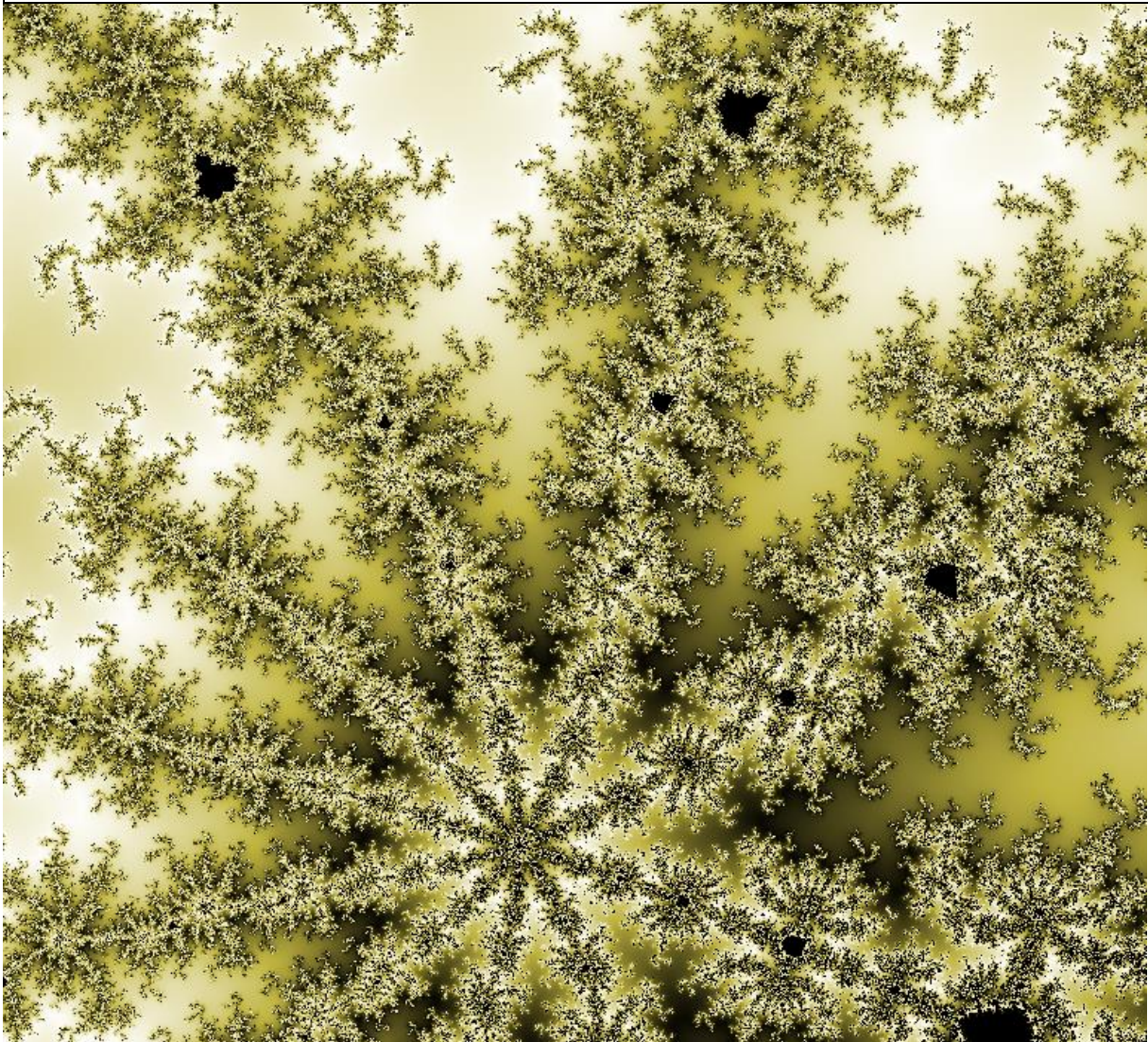
von

Silvan Mühlemann, Bern

im Fach Physik
Campus Muristalden
vorgelegte Maturarbeit

Begleitperson: M. Olgiati

16. 10. 2001



> Zunächst einmal (...) muss man sich darüber klar werden, dass parallele Universen nicht parallel sind. Des Weiteren sollte man sich darüber klar werden, dass sie streng genommen auch keine Universen sind, aber darüber wird man sich besser noch nicht zu diesem Zeitpunkt klar, sondern etwas später, nachdem man sich darüber klar geworden ist, dass alles, worüber man sich klar geworden ist, nicht stimmt.

Universen sind sie aus dem einfachen Grund nicht, dass jedes vorgegebene Universum genauso genommen kein *Gegenstand* ist, sondern lediglich eine von vielen möglichen Betrachtungsweisen dessen, was man allgemein als (...) Vollständige Ansammlung Sämtlichen Allgemeinen Mischmaschs bezeichnet. Wobei natürlich auch die Vollständige Ansammlung Sämtlichen Allgemeinen Mischmaschs nicht tatsächlich existiert, sondern lediglich die Summe darstellt, die sich aus allen unterschiedlichen Betrachtungsweisen ihrer selbst ergäbe, wenn sie existierte. Und parallel sind sie aus dem gleichen Grund nicht wie auch das Meer nicht parallel ist. Das bedeutet überhaupt nichts. Man kann die Vollständige Ansammlung Sämtlichen Allgemeinen Mischmaschs durchschneiden wo man will, und wird dabei grundsätzlich etwas erhalten, das irgendwer als sein Zuhause bezeichnet. Und jetzt dürfen Sie wirklich gerne durchdrehen.¹

> Zwei Gefahren bedrohen die Welt: Ordnung und Unordnung.²

> Wolken sind nicht kugelförmig, Berge nicht kegelförmig, Küstenlinien sind keine Kreise und Rinde ist nicht glatt, und auch der Blitz folgt keiner geraden Linie³

> Sobald in etwas so irrwitzig Kompliziertem wie dem Universum irgend etwas wirklich geschieht, weiss Kevin allein, was dabei herauskommen wird- wobei „Kevin“ jedes willkürliche Wesen ist, das wirklich von nichts eine Ahnung hat.⁴

> Dienstagabend ordne ich meine Plattensammlung neu. Es gibt Menschen, die das für eine ziemlich blöde Art halten, seinen Abend zu verbringen, aber ich zähle nicht zu ihnen (...) Ich ziehe die Platten aus den Regalen, stapel sie überall im Wohnzimmer auf dem Boden, suche *Revolver* und fange an, und als ich fertig bin, durchströmt mich ein ganz neues Selbstgefühl, denn das ist schliesslich das, was mich ausmacht (...)

Aber was mir wirklich gefällt, ist das Gefühl der Sicherheit, das ich durch mein neues Ordnungssystem gewinne. Ich habe mich komplizierter gemacht, als ich eigentlich bin. Ich habe ein paar tausend Schallplatten, und man müsste schon ich selbst oder mindestens Doktor der Flemingologie sein, um irgendeine wieder zu finden. Wenn ich, sagen wir *Blue* von Joni Mitchell spielen möchten, muss ich mich daran erinnern, dass ich sie im Herbst 1983 für jemanden gekauft habe und es mir dann (...) anders überlegte.

Tja, ihr wisst von all dem nichts und wärt aufgeschmissen, nicht wahr? Ihr müsstet mich bitten, sie für euch auszugraben, und aus irgendeinem Grund finde ich das ungeheuer beruhigend.⁵

> Ich sage euch:
man muss noch Chaos in sich haben,
um einen tanzenden Stern gebären zu können.

Ich sage euch:
Ihr habt noch Chaos in euch.⁶

¹ Adams D. 1992; Einmal Rupert und zurück; S. 46-47

² Paul Valéry

³ B. Mandelbrot 1987; S. 13

⁴ Adams D. 1992; Einmal Rupert und zurück; S. 48

⁵ Hornby, N. 1995; High Fidelity; S. 62

⁶ Friedrich Nietzsche

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1 Einleitung

1.1 Was ist Gegenstand der Chaostheorie?

1.1.1 Prinzip Chaos

1.1.2 Das Chaos der Chaostheorie

1.2 Historie des Chaos

1.2.1 Chaos im Mythos

1.3 Gegenstand meiner Arbeit

2 Einführung in die Chaostheorie

2.1 Lineare Systeme – Nichtlineare Systeme

2.2 Der Weg ins Chaos

2.2.1 Phasenraum und Attraktoren

2.2.2 Der Seltsame Attraktor

2.2.3 Der Weg ins Chaos am Beispiel der Fortpfl...

VERSUCH: Turbulenz in Fließgewässern

2.3 Rückkopplung

2.3.1 Rückkopplung phänomenologisch

2.3.2 Rückkopplung mathematisch

VERSUCH: Video-Rückkopplung

3 Zwischen Chaos und Ordnung

3.1 Fraktale

3.1.1 Wie entsteht ein Fraktal

3.1.2 Von Küstenlinien und Landesgrenzen

3.1.3 Die fraktale Dimension

3.1.4 Mandelbrot-Menge

3.2 Chaos und Zwischen-Ordnung

4 Selbstorganisation

4.1 Selbstorganisation

4.1.1 Ordnung aus dem Chaos

4.1.2 Zweimal Chaos

4.1.3 Bénard-Instabilität

4.1.4 Beispiele der Selbstorganisation

4.2 Emergenz

4.2.1 Holismus und Reduktionismus

4.2.2 Radikal neue Eigenschaften

5 Rundblick

6 Anhang

Chaos im Rollenspiel

Literaturverzeichnis

Vorwort

dies ist ein vorWort. ich halte dies fest, um sicher zu gehen.

denn erstens stecke ich mittendrin und zweitens sollte ich schon am ende sein.
also, was stand wohl am anfang? der urKnall?

vielleicht ein bisschen zu unpersönlich. wahrscheinlich war es das Chaos in meinem innern, das mich davon überzeugte diese arbeit zu schreiben.
natürlich habe ich auch einige bücher gelesen, die die Chaostheorie am rande streiften. das Chaos ist ein faszinierendes studienobjekt. man kann es sich jedoch nicht zu eigen machen, das Umgekehrte ist eher der fall. mein zimmer sagt da mehr als tausend worte. obwohl es nicht besonders unordentlich ist, was auch immer das heissen mag.

hinweise auf Chaos lassen sich fast überall finden, in jeder schublade, in jeder kognitiven nische aber auch in jeder staatsreligion, in jedem verwaltungsrat. wie auch das Chaos eine unzahl an Ordnungen bereithält. sollte sich alles irgendwie ausgleichen, tut es aber nicht immer.

die Chaostheorie beklagt sich nicht darüber, sie versucht zu verstehen.

da sie eine naturwissenschaftliche grenzdisziplin ist, stehen Naturwissenschaftliche Phänomene im vordergrund. damit sind die grenzen keineswegs eng gesetzt. die tiefe der Chaostheorie liegt in ihrer breite. es wäre vermessen für eine Arbeit, die sich damit beschäftigt, einen anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. dies zu tun hat meine arbeit keine chance.

zu hoffen bleibt, dass die nun folgenden seiten einen hinweis liefern auf die Gesamtheit der theorie und der davon Betroffenen Gebiete- so wie ein teil eines hologramms ausreicht, um das Ganze bild wiederzugeben:

wie teile eines selbstähnliches Fraktals, die ein abbild des Ganzen sind.

Danksagung

mein **Dank** geht an **Marco Olgiati**, für unsere im grossen und Ganzen Konstruktiven gespräche und den damit verbundenen Anregungen
(auch für die die ich nicht umgesetzt habe)

mein **Dank** geht an **Meine Lieben Eltern**,
für ihre Geduldige hilfsbereitschaft und Tatkräftige unterstützung

Dank auch an meine **Freunde, Bekannten, Nachbarn, Verwandten**, die, wenn nicht aktiv mitwirkend, zumindest passiv mir ein Gutes gelingen Gewünscht haben
(sollten)

Dank besonders auch an die **Kollegen meines Bruders**, die Mindestens eine woche darauf verzichten konnten, in unserer mansarde zu nächtigen, wo diese Arbeit entstand

Mein **Dank** geht Nicht an meinen **Computer** und den damit verbundenen **Bildschirm**, deren eigene interpretation von Chaos mir das vorwärts kommen bei der Schriftlichen Formulierung trotz besseren Wissens entscheidend erschwerten

1 EINLEITUNG



Was ist Gegenstand der Chaostheorie?

Naheliegenderweise ist **Chaos** Gegenstand der danach benannten Theorie.

Bloss, was ist unter diesem abstrakten Begriff im Allgemeinen und im Rahmen der **Chaostheorie** zu verstehen?

1.1.1 Prinzip Chaos (allgemein)

*Wörterbuchchaos*⁷

Der Duden kennt den Chaoten „der die bestehende Gesellschaftsordnung durch Gewaltaktionen zu zerstören versucht“, die Chaotik (chaotische Art und Weise), das Adjektiv „chaotisch“ im Sinne von „völlig verworren, nicht geordnet, wüst.“ Als sinn- und sachverwandte Wörter nennt der Duden für „Chaos“: die Begriffe „Anarchie“ und „Verwirrung“, für „Chaot“: „Choleriker“ und „Demonstrant“, sowie für „chaotisch“: „anarchistisch“ und „durcheinander“. Das Stilwörterbuch nennt an typischen Wendungen beispielsweise „ein wildes, heilloses, rettungsloses Chaos“. Hinzu kommt der Teufel, der als „Diabolos“ ein „Durcheinanderwerfer“ ist und Chaos herstellt.

Chaos im Alltag

VERKEHRSCHAOS – MÜLLCHAOS – ÖKOLOGISCHES CHAOS – CHAOS AUF DEM SCHREIBTISCH – CHAOS IM KINDERZIMMER – BEZIEHUNGSCHAOS – MEDIENCHAOS – INNERES CHAOS – CHAOS DER GEFÜHLE – POLITISCHES CHAOS – CHAOS ONLINE

In der heutigen Alltagssprache wird das Wort Chaos im Sinne eines „Grossen Durcheinanders“ verstanden, als Symbolbegriff für nicht überschaubare und nicht handhabbare Situationen, für Zustände, die scheinbar keiner Gesetzmässigkeit unterliegen, also letztlich als Gegenbegriff zu „Ordnung“, „regelmässig“, „gesetzmässig“.

(Ob es etwas geben kann, was Regeln und (Natur-)Gesetzen widerspricht, die ja den Anspruch haben, allgemeingültig zu sein, das ist eine heikle Frage. Das Chaos wurde in der Wissenschaft lange Zeit ausgeklammert, vielleicht gerade weil befürchtet wurde, man würde auf Phänomene dieser Art stossen. Geht man aber davon aus, dass es so etwas wie Gesetze überhaupt gibt, wird ein „Fehler“ eher bei unseren Annahmen und Verallgemeinerungen zu suchen sein, oder bei der Methode, mit der ein Forschungsgegenstand untersucht wird.)

In der Chaostheorie jedenfalls wird das Chaos nicht ausgeklammert.)

Und, was schon aus den Wörterbuchdefinitionen hervorging: Chaos besitzt ein weitgehend negatives Bedeutungsfeld- darauf kommen wir später zurück. Gehen wir zunächst näher auf das Gegensatzpaar Ordnung-Chaos ein. Denn dieses „hat es in sich“...

„Chaos bedeutet gemeinhin die Abwesenheit von Ordnung und ruft auch heute noch eher negative Assoziationen hervor. Jede mühsam errichtete Ordnung ist vom Chaos bedroht. Chaos bringt das empfindliche Gleichgewicht zum Kippen und zerstört die Stabilität. Chaos ist der unordentliche und wirre Zustand, der vor der Errichtung einer Ordnung steht; der finstere Abgrund der Unwägbarkeiten, das gefürchtete Durcheinander, in das fast jede Ordnung auch wieder abstürzen kann“ (so beschreibt Grein-Gamra⁸).

⁷ Definitionen des Dudens 1985-1991; übernommen aus: Kiessling K. 1997; S. 1

⁸ Grein Gamra U. 1999; S. 13

Der Begriff „Chaos“ ist anscheinend mit dem Begriff „Ordnung“ eng verbunden. Doch was dem einen als „Chaos“ erscheint, mag für den anderen „Ordnung“ sein:

„Offenbar gelangt man im allgemeinen zu verschiedenen Ordnungen, wenn man verschiedene Regeln zugrunde legt. Für die Putzfrau ist das Zimmer ordentlich, wenn keine bizarren Konfigurationen vorkommen, die das Säubern erschweren (...)

Wenige Papierstapel sind leichter zu handhaben (...) als viele. Ganz anders für den Bewohner, der absichtlich viele Papierstapel in dem Zimmer entstehen liess, nach dem Prinzip, dass verschiedene Stapel zu verschiedenen Themen gehören.

Die Putzfrau wird behaupten, das Zimmer sei unordentlich, der Bewohner das Gegenteil.“⁹

1.1.2 Das Chaos der Chaostheorie

Das Chaos, von dem in dieser Arbeit die Rede sein soll, ist ein anderes, hat aber viel mit den oben genannten Spielarten des Chaos zu tun: Betrachten wir das Chaos für einmal als „neutral“ und schauen wir, was die Chaostheorie dem Begriff für eine Bedeutung gibt:

„In der Mathematik hat Chaos in den letzten Jahrzehnten eine weitere Bedeutung erhalten: als chaotisch gelten nichtlineare, dynamische Systeme, die sich zwar deterministisch verhalten, deren Entwicklung aber prinzipiell nicht vorhersagbar ist, weil sie empfindlich von den Anfangs- und Randbedingungen abhängt und weil auch Zufälle eine Rolle spielen beim Verhalten des Systems. Mathematisch gesehen scheint die Welt um uns herum mehr aus „Chaos“ als aus „Ordnung“ bestehen. Das tägliche Wetter, das Klima der Welt, die Börsenkurse, historische Ereignisse, individuelle Lebensläufe, kleine und grosse Ökosysteme, der Verkehr, die Politik, das Konsumentenverhalten: Die meisten der uns umgebenden Systeme entziehen sich von Natur aus einer längerfristigen Vorhersage. Sie stecken voller Zufälle und verhalten sich scheinbar regellos. Chaos ist ganz offensichtlich der Normalfall, während Linearität die Ausnahme bildet.“¹⁰

Die Chaosforschung hat es sich nun zur Aufgabe gemacht, komplexe Systeme in einem mehr oder wenig chaotischen Zustand zu untersuchen und ihr zukünftiges Verhalten ansatzweise vorherzusagen. Sie versucht Regeln zu suchen, wo scheinbar Regellosigkeit vorherrscht.

„Mehr als dass- solche Wissenschaftler zeigen uns, welche seltsamen Gesetze des Chaos hinter vielen, wenn nicht den meisten Dingen stehen, die wir in unserer Welt bemerkenswert finden: der menschliche Herzschlag und menschliches Denken, Wolken, Gewitter, die Struktur der Galaxien, das Entstehen eines Gedichts, das Auf und Ab der Population der Raupen des Grossen Schwammspinners, die Ausbreitung eines Waldbrandes, eine gewundene Küstenlinie, sogar Ursprung und Evolution des Lebens selbst.“¹¹

Chaos soll sich überall verstecken? Nun gut, es ist eben das Chaos der Chaostheorie. Deshalb ist dies keine schlechte Nachricht. Die Chaostheorie ist ein Mittel, das uns hilft das von ihr definierte, weit verbreitete „Chaos“ zu verstehen.

Woran erkennt man nun ein chaotisches System? Vereinfacht gesagt:

⁹ an der Heiden U. 1996; S. 102

¹⁰ Grein Gamra U. 1999; S. 13

¹¹ Briggs J., Peats F. D. 1989; S. 15

Ein System ist chaotisch, wenn eine beliebig kleine Änderung der Anfangsbedingungen zu qualitativ völlig anderen Ergebnissen führt.

Dazu ein Zahlenbeispiel:

Eine Zahl wird mehrere Male verdoppelt, und zwar werden die Stellen vor dem Komma jeweils gestrichen. Nehmen wir als erstes die Zahl 0.436

0.436 >0.872 >0.744 >0.488 >0.976 >0.952 >0.904 >0.808 >0.616 >0.232

Nehmen wir bei der letzten Kommastelle unserer „Versuchszahl“ eine kleine Änderung vor:

0.435 >0.87 >0.74 >0.48 >0.96 >0.92 >0.84 >0.68 >0.36 >0.72

Nach zehn Verdoppelungen weichen die anfangs nahe beieinander liegenden Werte gravierend von einander ab. Dies lässt sich auf manche Messungen an wirklichen Systemen übertragen. Unser symbolisches Streichen der Stellen vor dem Komma kann für eine Eigenschaft eines Systems stehen, deren Messung etwas Vergleichbares abverlangt. Der Verdoppelungsprozess stellt die (erwartete) Zukunft/ Entwicklung des Systems dar.

Kleine Ursache- Grosse Wirkung: Dieses Sprichwort, oft im Zusammenhang mit menschlichem Versagen zitiert, gilt also tatsächlich für chaotische Systeme!

Bekannt ist der so genannte Schmetterlings-Effekt: der Flügelschlag eines einzigen Schmetterlings kann letztlich einen Orkan auslösen (den es sonst nicht gegeben hätte).

Deshalb treffen mittelfristige Wettervorhersagen häufig nicht ein.

Ist das Chaos der Chaosforscher eine rein destruktive Kraft? Mit der Chaostheorie verwandte Theorien (Synergetik, Systemtheorie) untersuchen die „schöpferische“ Seite des Chaos. Paradoxerweise werden aus dem Chaos nur zu häufig neue Ordnungen geboren.

„Erst in jüngster Zeit haben Wissenschaftler verstehen gelernt, wie aus Gestaltlosigkeit und Chaos Komplexität und Ordnung entstehen können. Forschungen auf so unterschiedlichen Gebieten wie der Turbulenz von Flüssigkeiten, dem Kristallwachstum und der Ausbildung von Nervensystemen zeigen, dass physikalische Systeme eine ausgeprägte Tendenz haben, spontan neue Ordnungen hervorzubringen. Offenkundig gibt es in allen Zweigen der Wissenschaft Prozesse der Selbstorganisation.“¹²

Auch die Selbstorganisation wird uns noch beschäftigen. Zunächst wollen wir uns aber einen Überblick über den Ursprung des Begriffs Chaos verschaffen. (Eigentlich hätte ich am liebsten eine ganze Chaos-Geschichte geschrieben, doch das sprengt wohl den Rahmen dieser Arbeit.)

¹² Davies P. 1988



1.2

Historie des Chaos

Historie des Chaos

1.2.1 Das Chaos im Mythos

Am Anfang vieler, wenn nicht der meisten Schöpfungsmythen steht das Chaos.

Ein undifferenzierter, gestaltloser Urstoff, aus dem Kosmos und Urprinzipien entstehen, göttliche Entitäten und irdische Substanz. Hierzu das Paradebeispiel: ein Auszug aus dem Schöpfungsmythos der griechischen Sagen. (Das griechische Wort „Chaos“ ist übrigens mit „gähnen“ und „Kluft“ verwandt¹³...)

>Zu Beginn der Dinge war der grenzenlose Weltraum, den die Dichter des Altertums Chaos nennen. Ohne Mass, ohne Anfang und Ende war es; *gähnend* tat es sich ins Unermessliche auf. Seine Urkluft war noch mit finsterem Nebel ausgefüllt. Trotzdem barg das Chaos schon die Grundbestandteile allen Wesens: Erde, Wasser, Luft und Feuer.

Aus der ungeformten Leere gingen Gaia, die Erde, und der dunkle Tartaros, der *Abgrund* unter der Erde, hervor; neben diesen beiden aber erwuchs Eros, die im ewigen Weltall wirkende Liebe. Gaia, die Erde, erzeugte Meer und Himmel, welche die Alten Pontos und Uranos nennen(...) ¹⁴



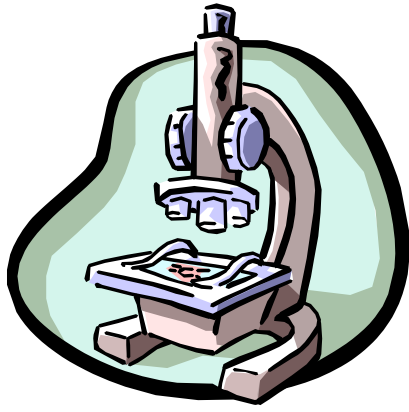
Hier wird das Chaos mehrdeutig, ja widersprüchlich dargestellt: Mit „finsterem Nebel“ ausgefüllt birgt es dennoch „die Grundbestandteile allen Wesens“.

Man mag das so interpretieren: der „finstere Nebel“ stellt ein uns unverständlicher System-Zustand dar (es herrscht metaphorische Finsternis- ein Mangel an Klarheit und Übersichtlichkeit), der dennoch ein gewaltiges kreatives Potential birgt.

Aus dem Chaos wird der Kosmos geboren: Die Weltordnung, die später immer wieder vom Chaos bedroht wird. Gerade diese Mehrdeutigkeit könnte sich als wesentliches Merkmal des Chaos entpuppen, deshalb wollen wir uns hier nicht an eine Chaos-Definition heranwagen. Die Chaostheorie jedenfalls (vergleiche Kapitel 1.1.2) behandelt ihr „Chaos“ –zumindest moralisch gesehen- als neutral.

¹³ „xaiw“ (chairo): klaffen, gähnen, sich auftun

¹⁴ Carstensen R. 1978: *Griechische Sagen. Nacherzählt von Richard Carstensen*
Deutscher Taschenbuchverlag GmbH & Co. KG, München 1996



1. 3

Gegenstand
Gegenstand
 meiner Arbeit
meiner Arbeit

Ich bin mir bewusst, dass ich mit dieser Arbeit keine neuen Kenntnisse zu Tage fördern werde, es sei denn beim Leser. Die Chaostheorie könnte sehr wohl auf verschiedenste kleine Gebiete angewandt werden, die bisher noch davon „verschont“ wurden. Aber ich entschied mich dafür dem Leser und nicht zuletzt mir selbst die Chaostheorie (und verwandte Theorien) auf eine anschauliche Art zu erklären und zu zeigen, dass sie wirklich fast alles betrifft. Ich habe mich denn auch, was für eine naturwissenschaftliche Arbeit eher unüblich ist, mehr mit Quellen als mit Versuchen beschäftigt.

1.3.1 Leitfragen und Inhalte

Fragestellung	Beschreibung	Inhalte
- Was ist Gegenstand der Chaostheorie?	<i>Die Arbeit soll Überblicke verschaffen über die wissenschaftlichen Theorien, die sich mit Chaos, chaotischen Zuständen, komplexen Systemen, Nichtlinearität, Fraktalen, sowie dem Phänomen der Selbstorganisation auseinandersetzen.</i>	Kapitel 1 - Chaos allgemein und in der Chaostheorie Kapitel 2 - Einführung in die Chaostheorie Kapitel 3 - Fraktale
- Was ist ein chaotischer Systemzustand?	<i>Welche Systeme in Natur & Alltag tendieren zu Chaos? Was versteht man unter einem chaotischen bzw. geordneten Systemzustand? Wie lässt sich Chaos beschreiben/ festhalten? Was passiert beim Übergang von Ordnung zu Chaos?</i>	Kapitel 2 - Von der Ordnung zum Chaos Versuche - Turbulenz in Fließgewässern
- Wie kann aus Chaos Ordnung entstehen?	<i>Was passiert beim Übergang vom Chaos zur Ordnung? Wo liegt der Unterschied zwischen Chaos und Ordnung? Welche Systeme in Natur & Alltag tendieren zu Selbstorganisation? Was sind emergente Qualitäten?</i>	Kapitel 4 - Selbstorganisation - Emergenz Versuche - Video-Rückkopplung
- Was nützt uns die Chaostheorie?	<i>Worauf kann man die Prinzipien der Chaostheorie anwenden? Was lässt sich aus den Feststellungen der Chaostheorie lernen? Was für einen Stellenwert hat die Chaostheorie in der Wissenschaft?</i>	Kapitel 1-4 - (Verschiedenes) Kapitel 5 - Philosophischer Rundblick

2

EINFÜHRUNG IN DIE CHAOSTHEORIE



2. 1

Lineare Systeme- Nichtlineare Systeme

Lineare Systeme- Nichtlineare Systeme

Die klassische Physik beschäftigte sich bis anhin vor allem mit linearen Systemen, deren zukünftiges Verhalten sich langfristig vorhersagen lässt, wenn man nur genügend Informationen über sie hat. Die entsprechenden Informationen können mit den richtigen Messinstrumenten genau genug und ohne übermäßigen Aufwand erfasst werden.

Beispiel für ein lineares System:

Der Zustand (Ort und Geschwindigkeit) einer Kugel von bekannter Beschaffenheit, die in einem ebenfalls genau bekannten Raum von einem bestimmten Punkt aus fallen gelassen wird, lässt sich für jeden beliebigen Zeitpunkt vorhersagen.¹⁵

Nichtlineare Systeme entsprechen diesem Schema nicht. Sie sind grundsätzlich nicht vorhersagbar und werden dadurch sowohl komplizierter zu untersuchen, als auch faszinierender für die Wissenschaft. Was aber lässt sich denn herausfinden über solche „widerspenstigen Systeme“?

G. Gamra¹⁶ zufolge liegt ihr Verhalten im Bereich bestimmter Möglichkeiten: „so wie aus der Keimzelle für einen Birnbaum auf jeden Fall ein Birnbaum wachsen wird und niemals ein Walfisch.“ Wie der Birnbaum einst aussehen wird, lässt sich aber nicht genau vorhersagen

Beispiele für solche nichtlinearen Systeme sind: Evolution, Populationsdynamik, Gesellschaft, Wetter, Klima, Ökonomie, Geschichte, Turbulenzen in Strömungen, Topologie...

Es folgt eine Liste der Unterschiede zwischen linearen und nichtlinearen Systemen.

Die meisten der aufgelisteten Punkte auf der rechten Seite werden in den folgenden Kapiteln behandelt. Spannung ergibt sich, wenn man sie mit den Merkmalen von linearen Systemen vergleicht, die bisher als Normalfall galten. Um die Faszination der Chaostheorie zu verstehen, muss man sich diese Spannung stets vor Augen halten.

Beschaffenheit von linearen Systemen	Beschaffenheit von nichtlinearen Systemen
Logische Ketten (Kausalketten)	Wirkungsgefüge (Kausalgewebe) ¹⁷
Ein- bis mehrdimensional	Fast immer vieldimensional
Kausalität	Komplexität
Lineare Gestalt (streng geometrisch)	Fraktale ¹⁸ Gestalt
Lineare quantitative Entwicklung	Progression (exponentielle Entwicklung)
Ähnliche Ausgangslage führt zu ähnlichem Endzustand	Anfangswertempfindlichkeit (ähnliche Ausgangslage führt zu unterschiedlichem Endzustand.)
Aus einfachen Grundgesetzen folgen einfache, überschaubare Lösungen	Einfache Grundgesetze erzeugen hochkomplexe, dynamische Systeme

¹⁹

¹⁵ Grein-Gamra U. 1999, S. 50

¹⁶ Grein-Gamra U. 1999, S. 51

¹⁷ vergleiche Kapitel 2.3

¹⁸ vergleiche Kapitel 3.1



Der Weg ins Chaos

Für viele Systeme, die zunächst geordnet scheinen, entsteht eine Hintertür ins Chaos, sobald bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Wenn das Chaos eingebrochen ist, wird das Systemverhalten um einiges komplexer, vielfältiger und ist kaum mehr vorhersagbar.

Phasenraum und Attraktoren sind Modelle, mit denen man den Werdegang eines solchen Systems nachzuvollziehen versucht.

2.2.1 Phasenraum und Attraktoren

„Nehmen wir an, ein Forscher interessiert sich für die Bewegungsänderungen eines von New York nach Washington fahrenden Autos, d.h. für das Anhalten, Bremsen und Beschleunigen.

Man könnte natürlich einfach für jeden Zeitpunkt den Ort des Autos angeben. Wissenschaftler ziehen aber oft eine andere Darstellung vor, in der zu jedem Ort die Geschwindigkeit gezeigt wird. Den durch diese „Karte“ dargestellten Phantasieraum, in dem die Bewegung des Autos stattfindet, nennt man den **Phasenraum** des Systems. Der Phasenraum hat so viele Dimensionen (oder Variablen), wie sie der Wissenschaftler braucht, um die Bewegungen des Systems zu beschreiben (...)¹⁹

Anders ausgedrückt: Der Phasenraum ist ein mathematisches Kontinuum, das für jede Systemvariable, die uns interessiert, eine Dimension besitzt.

(Grafisch lässt sich dies durch Achsen in einem Koordinatensystem darstellen - bei 3 oder weniger Variablen bzw. Dimensionen.)

Ein darin enthaltener **Attraktor** („Anzieher“) beschreibt eine Bandbreite von Systemzuständen (Menge von Koordinaten), von denen das System früher oder später einen einnehmen wird. Ein einfaches Beispiel für einen „einfachen“ Attraktor ist der Endpunkt, in dem ein Pendel auf jeden Fall zur Ruhe kommen wird.²¹

Dies nennt man einen punktförmigen Attraktor, der lineares Systemverhalten generiert.

Würde man das Pendel jedoch in regelmässigen Intervallen anstossen, so dass Reibung und Luftwiderstand genau ausgeglichen würden, bliebe die Schwingung immer gleich.

Um das erwartete Systemverhalten - in diesem Fall den ganzen Schwingungsvorgang - zu erfassen bedient man sich eines **Grenzykelattraktors**, der im Phasenraum die Gestalt einer kreisförmigen Bahn hat²².

Im dreidimensionalen Phasenraum gibt es Attraktoren, die durch die Oberfläche eines **Torus** (ringförmiger Körper) repräsentiert werden. Diese stehen für komplizierteres, aber dennoch lineares (vorhersagbares) Systemverhalten.

¹⁹ Grein-Gamra U. 1999, S. 52

²⁰ Briggs J., Peats F. D. 1989; S. 42

²¹ nach Briggs J., Peats F. D. 1989; S. 48

²² nach Briggs J., Peats F. D. 1989; S. 51

2.2.2. Turbulenz in Fließgewässer

Die laminare (gleichmässige, nicht-turbulente) Strömung von Wasser bei kleinen Geschwindigkeiten fließt glatt dahin und gleicht Störungen schnell aus. Der Attraktor ist der Punkt der konstanten Wassergeschwindigkeit. Beim rascheren Fließen treten hinter Felsen und anderen Objekten im Wasser (Unregelmässigkeiten) stabile (ortsgebundene) Wirbel auf. Durch die die sog. Hopf-Instabilität (E.Hopf 1948) geschieht ein Umschlagen zu Grenzzyklen und bei weiterem Geschwindigkeitsanstieg wird der Attraktor ein Torus. Es wurde erkannt, dass bei einer noch grösseren Geschwindigkeit der Torus plötzlich "zerspringt". Es entsteht ein "seltsamer" Attraktor. Das bedeutet: es entsteht eine turbulente Strömung- unberechenbare Wirbel tauchen (teilweise weit entfernt von der Störung auf und verschwinden wieder.²³

2.2.3. Der Seltsame Attraktor

Der **Seltsame Attraktor** ist verwandt mit den oben genannten Attraktortypen.

Auch er repräsentiert eine Bandbreite von möglichem Systemverhalten.

Was ihn aber von anderen Attraktoren unterscheidet ist seine „seltsame“, chaosversprechende Gestalt. Es sind kaum Bahnen auszumachen- der seltsame Attraktor liegt versplittert im ganzen Phasenraum. Dementsprechend beschreibt er einen Systemzustand in Gleichgewichtsferne: Das System hat einen **kritischen Punkt** überschritten und **Chaos** ist eingebrochen.²⁴ (Das mögliche Systemverhalten kann jetzt so verschieden sein, dass eine Aussage darüber keinen Sinn mehr macht.)

2.2.4. Der Weg ins Chaos am Beispiel der Fortpflanzungsdynamik

Damit von einem „Weg ins Chaos“ gesprochen werden kann, muss natürlich am Anfang des Weges eine überschaubare, einfache Ordnung stehen- die **Ausgangsbedingungen** des zu untersuchenden Prozesses müssen hinreichend bekannt sein.

Hierzu ein Beispiel aus der Fortpflanzungsdynamik. Es ist mathematisch anspruchsvoll, aber recht anschaulich (wenn man es einmal begriffen hat.)

„Nehmen wir an eine bestimmte Art habe einmal im Jahr eine(...) Fortpflanzungszeit.

Bezeichnen wir die Population im Jahr y mit N_y . Bei unbeschränkter Fortpflanzung wäre die Population im nächsten Jahr, dem Jahr $y + 1$, proportional zu der im Jahr y , so dass wir schreiben könnten: $N_{y+1} = aN_y$, wobei a eine Konstante ist, die von der Fortpflanzungstüchtigkeit dieser Art abhängt. Die Lösung dieser Gleichung erhält man leicht: es ist das erwartete exponentielle Wachstum.“²⁵

ALSO : $y = \text{JAHR} / N = \text{POPULATIONSGRÖSSE} / a = \text{FORTPFLANZUNGSRATE}$

„In Wirklichkeit ist das Populationswachstum durch das Nahrungsangebot und andere Konkurrenzfaktoren beschränkt, und so werden wir die obige Gleichung um ein Glied erweitern müssen, in dem das Sterben Berücksichtigung findet, das die Fortpflanzungsrate senkt. Eine gute Näherung dürfte in der Annahme bestehen, dass die Sterbewahrscheinlichkeit für jedes Individuum der ganzen Population N_y proportional ist. Die Sterbeziffer für die Population insgesamt wird demnach proportional zu N_y^2 sein- nennen wir sie bN_y^2 .“²⁶

Wir kommen somit (...) zur Gleichung > nächste Seite

²³ nach ><http://www.thur.de/home/annette/asattr.htm><

²⁴ nach Briggs J., Peats F. D. 1989

²⁵ Davies P. 1988; S. 58

²⁶ Davies P. 1988; S. 58

$$N_{y+1} = N_y(a - bN_y)$$

(wobei b = Sterberate)

a , b , und N sind Parameter (Variablen, die bekannt sein müssen, um die Gleichung zu lösen), von denen wir annehmen, wir würden ihren Wert im Jahr $y=0$ kennen. Um die Gleichung zu vereinfachen, kann man für „ $a \cdot N/b$ “ „ x “ einsetzen. $X_y = 1$ soll die *Maximalgröße* der Population darstellen (X kann also Werte zwischen 0 und 1 annehmen, die die *relative Größe* der Population repräsentieren). Man erhält dann (über Zwischenschritte):²⁷

$$X_{v+1} = ax_v(1-x_v) \quad (x = \text{Populationsgröße} \cdot \text{Fortpflanzungsrate} / \text{Sterberate})$$

Mitchell J. Feigenbaum erforschte solche Gleichungen und fand Erstaunliches heraus.

Die folgenden Grafiken zeigen nun jeweils die Werte für X_{n+1} in Abhängigkeit von X_n .

Dabei ergibt sich eine Parabel, deren Steigung von der Fortpflanzungstüchtigkeit a abhängt.

Deshalb benötigen wir für verschiedene Werte von a verschiedene Grafiken. (Ich entschuldige mich für die schlechte Druckqualität.)

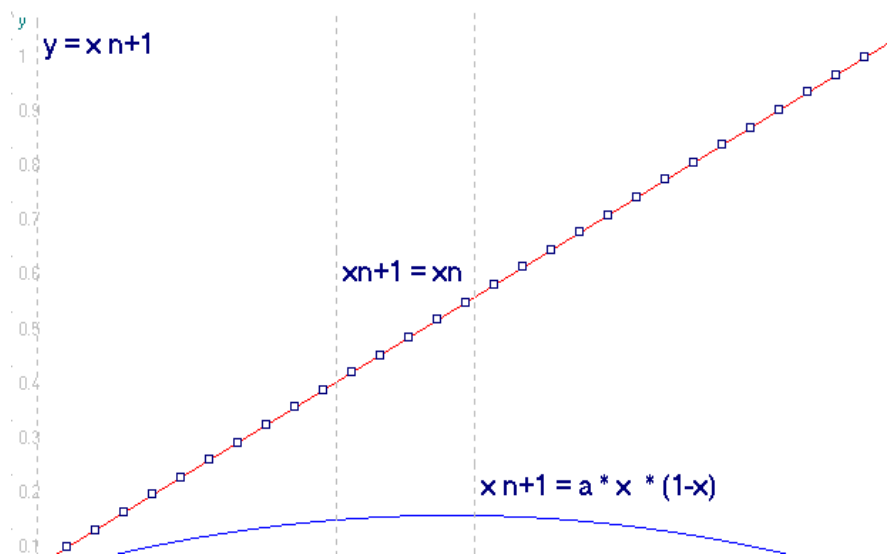
(Als Vorbild dienten mir die Funktionsgrafiken von Davies²⁸, in meiner Arbeit verwende ich selbst berechnete Grafiken.)

Um mit diesen Grafiken das Schicksal einer Population zu ermitteln, bestimmt man auf der Skala der y-Achse eine Anfangsgröße X_0 , und geht waagrecht hinüber bis zur Diagonalen.

Vom Punkt auf der Kurve (Parabel), der genau senkrecht darüber oder darunter liegt geht man waagrecht nach links und liest auf der Skala den Wert für X_{n+1} ab. Das ist unser Wert X_1 für das kommende Jahr und unser neuer Wert X_n , mit dem wir (mit dem gleichen Verfahren) einen neuen Wert X_{n+1} für das Jahr X_2 ermitteln, usw.

(Diese Werte kann man in einer Tabelle festhalten, um eine Jahr für Jahr-Folge der Populationsgrößen bei bekannten Ausgangsbedingungen zu erhalten.)

a) Wenn a kleiner als 1 ist, konvergiert die Folge gegen 0 (egal welche Ausgangsgröße X_0 Man wählt). Dies entspricht einer Population, die wegen unzureichender Nahrungsquellen dem Untergang geweiht ist²⁹: Der Attraktor (vergleiche Kapitel 3.3.1) ist also punktförmig.



$a = 0.5$ Die x-Achse entspricht x , die y-Achse x_{n+1} (Grafik berechnet mit GraphSight V. 1.0.3.)

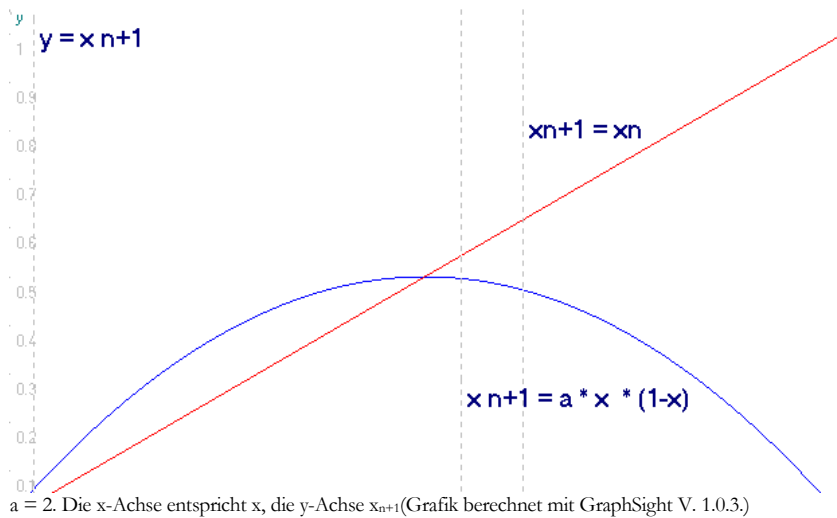
b) Wenn a zwischen 1 und 3 liegt (besseres Nahrungsangebot), ändert sich die Population

²⁷ Davies P. 1988; S 58-60

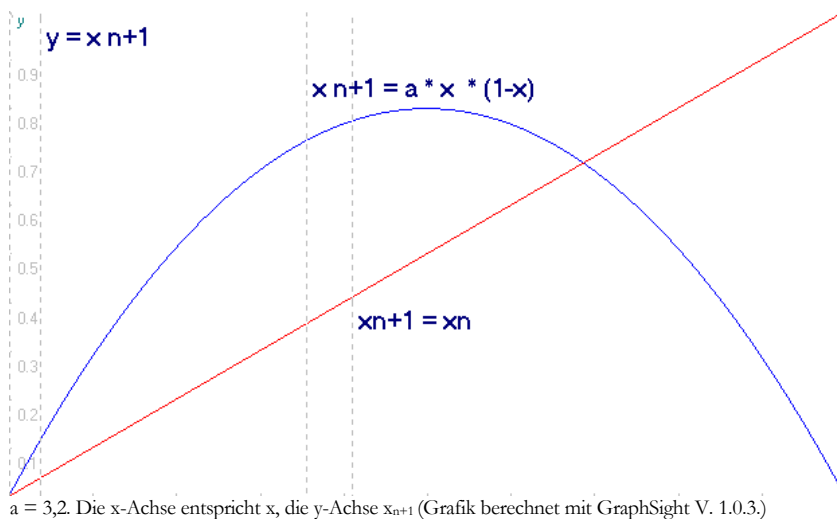
²⁸ Davies P. 1988; S 58-60

²⁹ Davies P. 1988; S 59

laufend, bis sie sich bei dem Gleichgewichtswert $1 - 1/a$ stabilisiert³⁰ (wiederum ein punktförmiger Attraktor.)



c) Sind die Werte von a grösser als 3 (noch grösseres Nahrungsangebot), so wird die Parabel steiler. Eine kleine Anfangspopulation nimmt zunächst stetig zu, aber dann beginnt sie mit einer Periode von zwei Jahren zwischen zwei festen Werten hin- und her zu springen³¹ (was einem einfachen Grenzzykelattraktor entspricht).

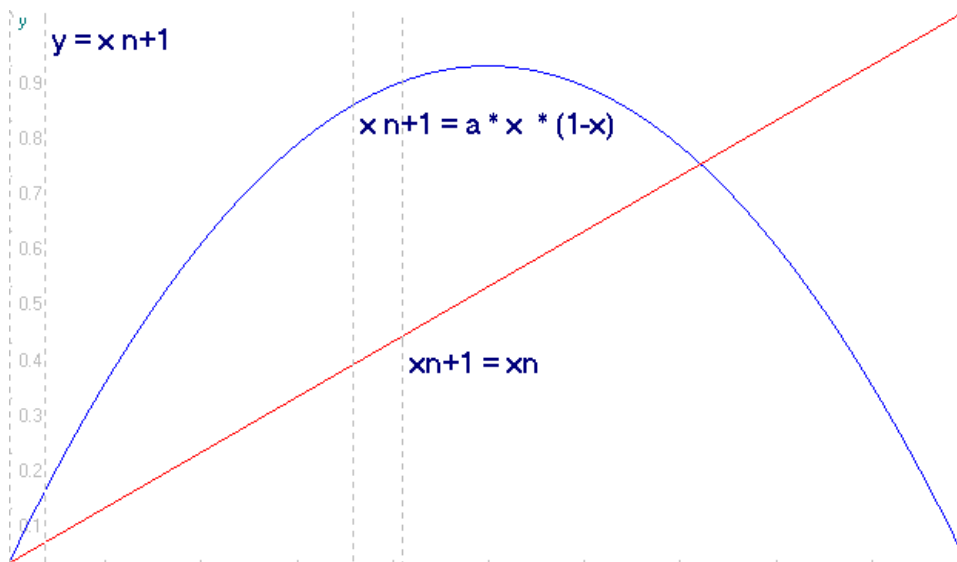


d) Wird die Insel oder der Teich noch weiter vergrössert (a über 3,45), so kommt es zu Schwankungen zwischen vier festen Werten mit einer Periodizität von vier Jahren.³²
>nächste Seite

³⁰ Davies P. 1988; S. 60

³¹ Davies P. 1988; S. 60

³² Davies P. 1988; S. 60-61

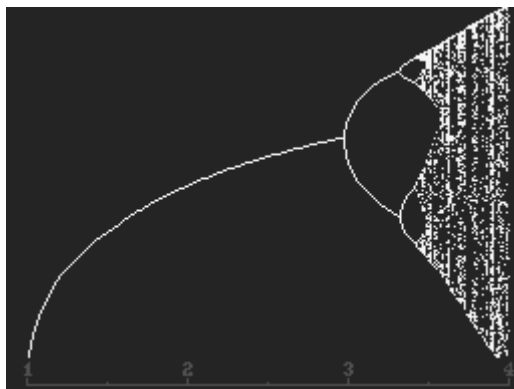


a = 3,2. Die x-Achse entspricht x, die y-Achse x_{n+1} . (Grafik berechnet mit GraphSight V. 1.0.3)

Wird der Wert von **a** fortlaufend gesteigert, so verdoppelt sich die Periode wieder und wieder, immer rascher, bis die Population bei einem kritischen Wert (ca. 3,6) auf eine komplexe und völlig regellose Weise zu schwanken beginnt.³³

Dieses Phänomen bezeichnet man als Periodenverdoppelung³⁴

„Im Bereich jenseits des kritischen Wertes zeigt X (und damit N) ein ganz sonderbares Verhalten. Es springt in strenger Reihenfolge zwischen mehreren Bändern zulässiger Werte hin und her, aber die genaue Position, die es innerhalb des angesprungenen Bandes einnimmt, wirkt ganz und gar zufällig. Wird **a** noch weiter erhöht, so fallen die Bänder paarweise zusammen, und damit wächst der Wertebereich, in dem N regellos hin- und her springt, bis schliesslich ein Kontinuum entsteht.“¹⁸



Grafische Darstellung der Werte, gegen die die Gleichung in Abhängigkeit von **a** (x-Achse) konvergiert.³⁵

Quelle: http://www.ostium.ch/i_fraktale.html

„Mit steigendem Wert von **a** dehnt sich dieses Kontinuum aus. Für **a** = 4 umfasst das Kontinuum alle Werte von **x**.“³⁶ Die Änderungen von X sind vollkommen chaotisch und entsprechen nun dem seltsamen Attraktor. Wenn der Fall **a** = 4 bei einer wirklichen Population eintritt (das kommt u. A. bei bestimmten Vogel- und Insektenarten vor) kann man ihr weiteres Wachstum also nicht vorhersagen!

³³ Davies P. 1988; S. 61

³⁴ Davies P. 1988; S. 83

³⁵ Die Darstellung weist übrigens Selbstähnlichkeit auf (vergleiche Kapitel 3).

³⁶ Davies P. 1988; S. 61



2.3

Rückkopplung

Wie in Kapitel 2.1 angesprochen, gibt es bei komplexen nichtlinearen Systemen häufig Wirkungsgefüge statt Kausalketten. Dies bedeutet, dass nicht mehr klar zwischen Ursache und Wirkung unterschieden werden kann, denn eine Wirkung nimmt Einfluss auf das, was ihre eigene Ursache war. So wird ein Effekt zyklisch verstärkt, abgeschwächt oder ausgeglichen.

2.3.1 Rückkopplung, phänomenologisch

Ein bekanntes Beispiel für Rückkopplung ist die Regelung der Hausheizung. Sinkt die Temperatur unter den ersten Wert, der auf dem Thermostaat eingestellt wurde, so schaltet der Thermostaat den Brenner ein, und es wird wärmer im Zimmer. Steigt die Temperatur jedoch über den zweiten auf dem Thermostaat eingestellten Wert, so meldet dieser dem Brenner, dass er abschalten muss. Was der Thermostaat tut, beeinflusst den Brenner, aber genauso beeinflusst das, was der Brenner tut, den Thermostaaten. Dies nennt man eine negative Rückkopplung. Durch eine solche Rückkopplung wird ein System stabilisiert und äussere Einflüsse können ausgeglichen werden.

Das ohrenbetäubende Pfeifen einer öffentlichen Lautsprecheranlage ist ein Beispiel für positive Rückkopplung. Das Pfeifen setzt ein, wenn das Mikrofon zu nahe an den Lautsprecher kommt. Das Mikrofon fängt ein Geräusch aus dem Lautsprecher (Bei halbem Abstand quadriert sich die Frequenz) auf und schickt es zurück an den Verstärker, der es wiederum über die Lautsprecher ausgibt. Das Ausgangssignal einer Stufe wird zum Endsignal einer anderen Stufe. Da hier ein Effekt verstärkt wird, nennt sich der Vorgang positive Rückkopplung. *Wenn eine positive Rückkopplung nicht durch einen anderen Effekt gebremst wird, führt sie zum Chaos.*³⁷

Chemische Rückkopplung: Ein Katalysator ist eine Substanz, die eine chemische Reaktion beschleunigt. Autokatalyse findet statt, wenn das Vorhandensein einer Substanz die weitere Erzeugung dieser Substanz fördert. Dies sind Beispiele für positive Rückkopplung (nach Davies).³⁸

2.3.2 Rückkopplung, mathematisch

In nichtlinearen, iterativen Gleichungen gibt es Terme, die (wiederholt) mit sich selbst multipliziert werden. Von solcher Art waren die Wachstumsgleichungen aus Kapitel 3.3.

$$N_{y+1} = N_y(a - bN_y)$$

(wobei b = Sterberate)

$$X_{y+1} = ax_y(1 - x_y)$$

(x = Populationsgrösse * Fortpflanzungsrate / Sterberate)

Diese Gleichungen beinhalten die *mathematische Interpretation einer negativen Rückkopplung*. Das Glied $(1 - x_y)$ schwächt den Effekt des Gliedes (ax_y) ab, und umgekehrt. Wie wir gesehen haben, wird damit das Wachstum in gewissen Grenzen gehalten.

³⁷ Briggs J., Peats F. D. 1989 ; S. 31

³⁸ Davies P. 1988; S.125

Doch ob das System stabil ist, hängt stark von der Grösse \mathbf{a} ab. Diese Ausgangsvariablen-sensibilität ist ein weiteres Kennzeichen nichtlinearer Gleichungen.

Eine positive Rückkopplung wäre beispielsweise:

$$X_{v+1} = a x_v (x_v - 1)$$

Schon nach wenigen Iterationsschritten steigt die Population (in den meisten Fällen) sehr stark an.

VERSUCH: VIDEO-RÜCKKOPPLUNG

Hierzu gehört das Filmmaterial „Video-Rückkopplung“

Dies ist ein Versuch, der einerseits das Phänomen der positiven Rückkopplung illustrieren soll. Andererseits soll er das Chaos zeigen, das daraus entstehen kann. Die Rückkopplung kommt hier durch einen Kreis der Signalübermittlung zu Stande. Die Kamera filmt einen Fernsehbildschirm, dies wird wiederum auf dem Monitor ausgegeben, usw.

Die Versuchsanleitung, nach Davies³⁹:

Praktisch kann man ganz leicht und rasch eine Video-Rückkopplung herstellen. In einem abgedunkelten Raum stellt man eine Kamera etwa einen Meter vor dem Bildschirm auf. Es steht im Belieben des Experimentators, wie er die Brennweite, den Zoom, die Helligkeit, die Entfernung und die Ausrichtung der Kamera wählt, das alles wirkt sich auf das entstehende Bild aus. Er kann nun zum Beispiel das Licht einschalten und eine Hand vor der Kamera schwenken. Über dem Bildschirm beginnen Bilder zu tanzen, und nach einigem Probieren wird man kohärente Muster erhalten.

Meine Versuchsanordnung:

Für die Aufnahme verwende ich einen Sony Digital Handy-Camcorder der neusten Generation, für die Ausgabe einen 40x30cm Sony Farbfernseher. Die Kamera stelle ich mit einem Abstand von einem Meter parallel (Objektiv) zum Bildschirm auf. Ich verbinde die Geräte mit einem analogen Kabel.

Durchführung:

Ich beginne aufzunehmen (mit den Voreinstellungen Weitwinkel und Autofokus, bei mittlerer Helligkeit). Zuerst macht sich der Tunnel-Effekt bemerkbar, in der Mitte ist ein weisses Loch. Ich zoome näher ran. Eine flächige blaue Struktur taucht rhythmisch auf und verschwindet wieder. Ich zoome noch näher. Der Bildschirm gibt pulsierende Streifen-Muster aus. Bei maximalem Zoom wird der ganze Bildschirm weiss.

Fazit:

Die in der Versuchsanleitung beschriebenen Phänomene konnte auch ich beobachten (und festhalten).

³⁹ Davies P. 1988; S.102

VERSUCH: TURBULENZ IN FLIESENDEM GEWÄSSER

Hierzu gehört das Filmmaterial „Turbulenz in fließendem Gewässer“

Materialien: DV-Camcorder, Brett, Brett mit Löchern, Ballon, diverse Gegenstände mit unterschiedlichen Profilen,

Ziel: Untersuchung der Wirbelbildung (durch ins Wasser gestellte bzw. bereits vorhandene Gegenstände) bei verschiedenen Fließgeschwindigkeiten.
Festhaltung auf DV-Videoband.

Ort und Zeit der Durchführung : Glasbrunnen (Bremgartenwald), Bern, 12.8.2001,
15.30-17.00 h

Durchführung

Erste Versuche fanden an einer seichten Stelle des Glasbaches statt, wo die Tendenz zur Wirbelbildung gering war. Wir erhöhten die Fließgeschwindigkeit mit einer Verengung des Bachbetts. Versuche mit verschiedenen Profilen. Von bloßem Auge sind gut Veränderungen auszumachen, die jedoch für die Kamera zu subtil wirken.

Wir änderten den Standort und begannen in unmittelbarer Nähe zum Glasbrunnen eine neue Versuchsreihe. Das Wasser ist hier klarer; der Zulauf vom Brunnen hat eine relativ hohe Fließgeschwindigkeit: Die Kamera richteten wir auf die Mündung. Weiter oben tauchten wir das Lächerbrett, bzw. herumliegende Steine und Werkzeuge ins Wasser.

Für die dritte Versuchsreihe suchten wir uns das Brunnenbecken selbst aus.

Diesmal beobachteten wir das Verhalten von Flaschen und einem Ballon, die wir unter dem Wasserstrahl (viele Wirbel!) platzierten.

Anschließend filmten wir noch einen Stein in der Mündung des Zulaufs, hinter dem sich je nach Fließgeschwindigkeit verschieden häufig und an anderen Orten Turbulenzen bildeten.

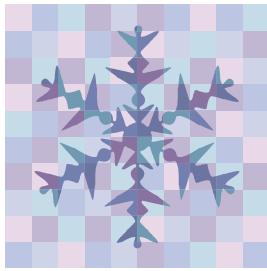
Ergebnis

Das Phänomen der Wirbelbildung ist, wie alle chaotischen Phänomene, schwer quantitativ zu erfassen. Unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten wirkten sich auch bei mir aus, allerdings fand ich nicht heraus, zu welchem Zeitpunkt den nun das totale Chaos (in Form des seltsamen Attraktors) eintritt.

Zusatzversuch: Das Verhalten einer Flasche unter einem Wasserstrahl kann durch eine kleine Störung (Ortsveränderung) stark beeinflusst werden, wie ich beobachtete.

3

ZWISCHEN CHAOS UND ORDNUNG



3.1

Fraktale

„Im Allgemeinen sind Fraktale durch unendlichen Detailreichtum charakterisiert, durch unendliche Länge, durch das Fehlen einer Steigung oder Ableitung“⁴⁰

Fraktale sind Gebilde, die durch mathematische Experimente am Computer entdeckt wurden.

Es sind keine Kurven, Flächen oder Körper im herkömmlichen Sinn, sondern Gebilde mit gebrochener Dimension- das Produkt nichtlinearer Iterationsgleichungen.

Einige Fraktale sind zugleich Näherungen, mit denen man die natürliche Ausgestaltung unserer räumlichen Umgebung nachzuvollziehen versucht.

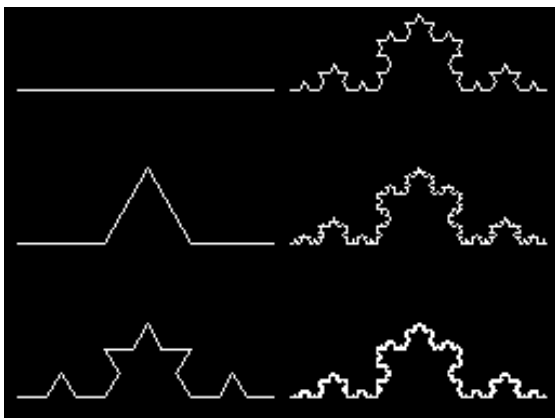
3.1.1 Wie entsteht ein Fraktal?

Um verständlich zu machen, was ein Fraktal ist, werde ich hier die Entstehung der so genannten „Kochschen Kurve“ schildern (nach Behr⁴¹):

Gegeben ist eine Strecke. Sie wird gedrittelt und über dem mittleren Drittel ein gleichschenkliges Dreieck errichtet. Das mittlere Drittel wird dann gelöscht.



So entstehen vier gleich lange Strecken, mit denen jeweils dasselbe gemacht wird, wie mit der Ausgangsstrecke.



Koch-Kurve, Quelle: http://www.ostium.ch/i_fraktale.htm

Mit allen nun entstandenen Strecken macht man wieder dasselbe, usw. Es wird also eine Art Iteration vorgenommen. Die Zeichnung kann das nur unvollständig wiedergeben.

⁴⁰ Briggs J., Peat F. D. 1989; S. 138

⁴¹ Behr R., 1991; S. 46

Beginnt man statt mit einer Strecke schon mit einem gleichseitigen Dreieck, so entsteht ein schneeflockenähnliches Gebilde, weshalb die Kurve auch als Schneeflockenkurve bezeichnet wird.

Die Koch-Kurve hat auffällige Eigenschaften. Sie ist unendlich lang, obwohl sie als geschlossene Kurve, also vom gleichseitigen Dreieck ausgehend, eine endliche Fläche umschließt. An diesem schönen Beispiel wird deutlich, *dass mit einfachsten Mitteln Komplexität erzeugt werden kann*. Das sich etwas im kleineren Massstab immer wiederholt (hier: die dreieckige Form), nennt man **Selbstähnlichkeit** und ist ein wesentliches Merkmal vieler Fraktale Gebilde. Selbstähnlichkeit kommt auch in der Natur vor, beispielsweise bei Farnblättern.

3.1.2 Von Küstenlinien und Landesgrenzen

„Eine (...) Bombe platzte, als Giuseppe Peano etwas entdeckte, was man eine „Raumfüllende Kurve“ nennt. Eine Kurve ist ja nichts anderes als eine Linie die gekrümmt ist, (...) also eindimensional. Mathematiker hielten es für eine Selbstverständlichkeit, dass eine Kurve eindimensional sein muss- ganz unabhängig davon, wie sehr sie sich krümmt“⁴²

Abbildung

„Nichtsdestoweniger hatte Peano eine Kurve konstruiert, die sich auf so komplexe Weise hin- und her wand, dass sie tatsächlich die ganze Ebene des Papiers ausfüllte, auf dem man sie gezeichnet hatte. Es gab keinen Punkt in der Ebene, der nicht in Peanos Kurvenlinie enthalten wäre. (...) Die Zweidimensionalität der Ebene ist durch die Menge ihrer Punkte definiert. Was sollte es heissen, wenn alle diese Punkte auf einer eindimensionalen Linie lagen?“⁴³

Man könnte dies als mathematisches Hirngespinnst abtun. Es wurde jedoch festgestellt, das ähnlich komplexe Kurven auch bei Landschaften vorkommen:

„Natürlich wollen Länder gern die Länge ihrer Küsten und Grenzlinien wissen.(...)“

Auf den ersten Blick scheint dies ein leicht lösbares Problem zu sein (...)- man muss es ja nur messen. Tatsächlich aber geben Zeitungen und geographische Lehrbücher ganz verschiedene Kilometerzahlen für dieselbe Küstenlinie oder Grenzlinie an. Warum ist das so? (...) Man möge sich vorstellen, die Frage nach der Länge der britischen Küste wäre zu klären, in dem man eine gute Landkarte nimmt, ein Stückchen Schnur die ganze Küste entlang legt und dann einfach das Ergebnis abliest, indem man die Schnur an den am Kartenrand gedruckten Massstab hält. Eine kleine Überlegung macht jedoch klar, dass die Landkarte eine Menge feiner Details (Buchten, Flussmündungen) glättet oder einfach weglässt. Die Antwort erfordert also offenbar eine Karte in anderem Massstab, der mehr Details erkennen lässt. Dann müssen wir die Schnur in viel mehr Kurven legen, und dies bedeutet, dass die Länge der Küstenlinie grösser wird. (...)

Warum nicht in Intervallen von 50 Metern vermessen- oder sogar 10 Metern? Jedes Mal wird mehr und mehr Detail eingeschlossen, und die Schnur wird sich in immer komplexerer Weise legen lassen (...) Die wahre Küstenlinie muss unendlich lang werden! (...)

Da nun mathematisch gesehen alle Küstenlinien (...) unendlich lang sein müssen, stellt sich Die Frage, ob derartige Figuren sich überhaupt miteinander vergleichen lassen...“⁴⁴

Die Antwort lautet Ja.

⁴² Briggs J., Peat F. D. 1989; S. 132

⁴³ Briggs J., Peat F. D. 1989; S. 133

⁴⁴ Briggs J., Peat F. D. 1989; S. 135-136

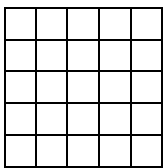
Es geht um eine neue Art von qualitativer Messung, in der ebenfalls Skalen eine Rolle spielen: Komplexität wird gemessen an der *fraktalen Dimension* oder *Hausdorff-Dimension*.

3.1.3 Die fraktale Dimension

Der allgemeine Dimensionsbegriff spiegelt wieder, wie viele aufeinander stehende senkrechte Strecken- maximal- in dem betreffenden Gebilde möglich sind.

Der hier folgende Dimensionsbegriff ist eine Annäherung an die erwähnte *fraktale Dimension*, deren Definition ziemlich kompliziert ist. Die *Selbstähnlichkeitsdimension* entspricht der *fraktalen Dimension* bei selbstähnlichen Mengen (nach Behr⁴⁵).

Nun zur Definition: Gegeben sei ein Quadrat. Dieses sei in lauter kleinere, aber gleiche Quadrate zerlegt:



Man kann nun sagen, eines der kleineren Quadrate sei eine Verkleinerung des Grossen im Massstab 1:5. Bei einem Würfel, der in 125 kleinere, aber gleiche Teilwürfel zerlegt wird, ist ein kleiner Würfel ebenfalls eine Verkleinerung des Anfangsgebildes im Massstab 1:5.

$$5^2 = 25 ; 5^3 = 125$$

Die Dimension ist offenbar der Exponent (hier **2** bzw. **3**)

Allgemein: Wird ein Gebilde im Massstab $1 : n$ verkleinert und passen nun k von den kleineren Gebilden in das ursprüngliche Gebilde, so ist die *Selbstähnlichkeitsdimension* des Gebildes die Zahl d , für die gilt:

$$n^d = k \quad \text{Selbstähnlichkeitsdimension (nach Behr⁴⁶)}$$

Dies lässt sich nun auf Gebilde wie die Koch-Kurve anwenden:

Bei einer Massstabverkleinerung 1:3 entstehen immer vier kleinere Gebilde, die die Gestalt des Ausgangsgebildes haben.

Also: $3^d = 4$.

Über eine Logarithmierung erhalten wir schliesslich: $d = 1,26186$ (gerundet)

Die Kochkurve hat also eine *gebrochene Dimension* über 1.

Gleiches lässt sich über Küstenlinien sagen und sie können mit Hilfe dieses Dimensions-Begriffs verglichen werden (um exakt zu sein: Mit der *Hausdorff-Dimension*).

Peanos Kurve kann in diesem Sinne als zweidimensional bezeichnet werden.

Somit hätten wir eine Menge Probleme gelöst und stehen da mit einem äusserst seltsamen Dimensionsbegriff (der kaum fassbar und vielleicht deswegen so faszinierend ist- genau wie das Chaos).

⁴⁵ Behr, Reinhart 1991; S. 50

⁴⁶ Behr, R 1991.; S. 51

3.1.4 Mandelbrot-Menge

„Wolken sind nicht kugelförmig, Berge nicht kegelförmig, Küstenlinien sind keine Kreise und Rinde ist nicht glatt, und auch der Blitz folgt keiner geraden Linie“⁴⁷

Dieser Satz stammt vom „Erfinder“ der *Fraktale*, Benoit Mandelbrot. Er beschreibt in seinem Buch „Die fraktale Geometrie der Natur“ all das, was in diesem Kapitel steht, und noch viel mehr. Doch was ihn berühmt machte ist das nun folgende Fraktal:

Die nach ihm benannte *Mandelbrotmenge*. Ich erwähne diese hier, a) weil sie ein Beispiel für ein sehr komplexes Fraktal und b) mein Titelblatt zierte.

Die Mandelbrotmenge wird mit dem Algorithmus

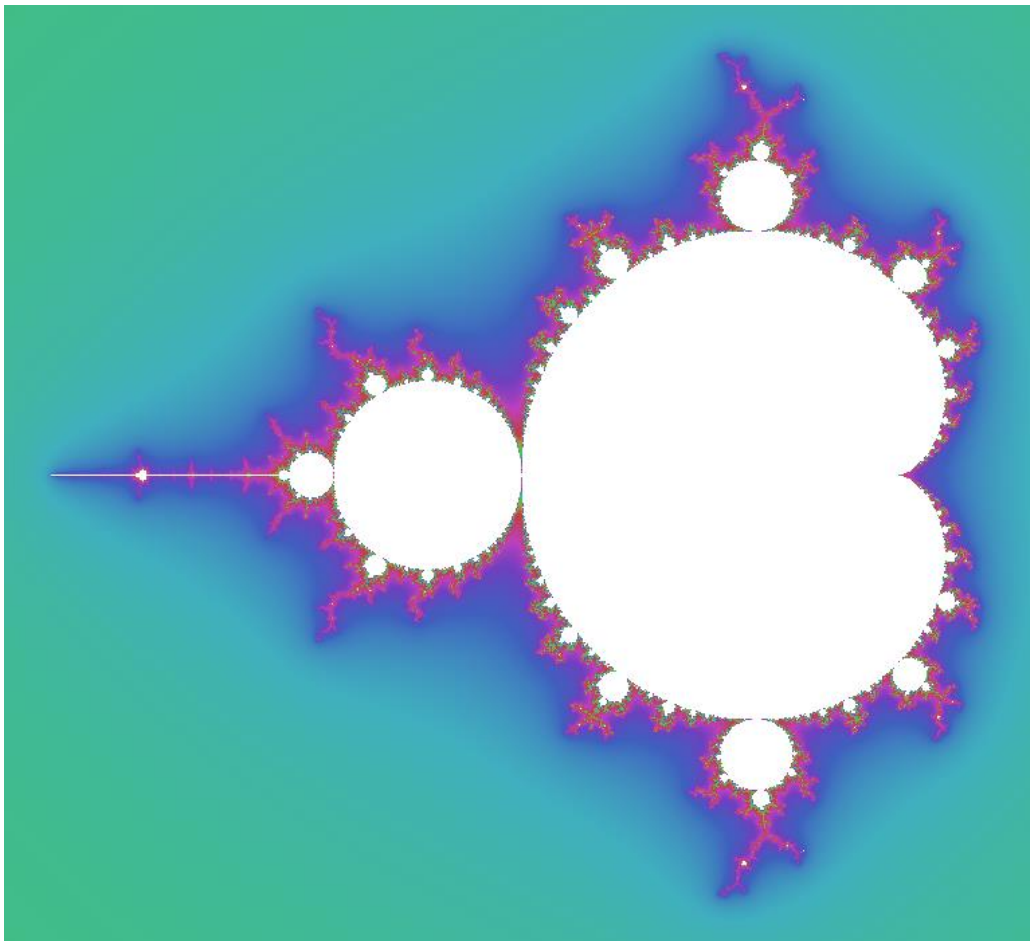
$$Z_{n+1} = z^2 + c$$

berechnet. **C** ist eine **komplexe Zahl**, bezeichnet also einen Punkt auf der Zahlenebene.

Um herauszufinden, ob dieser Punkt zur Mandelbrotmenge gehört, beginnt man das Iterationsverfahren mit dem gewählten Wert **c**, wobei am Anfang **z=0** gilt.

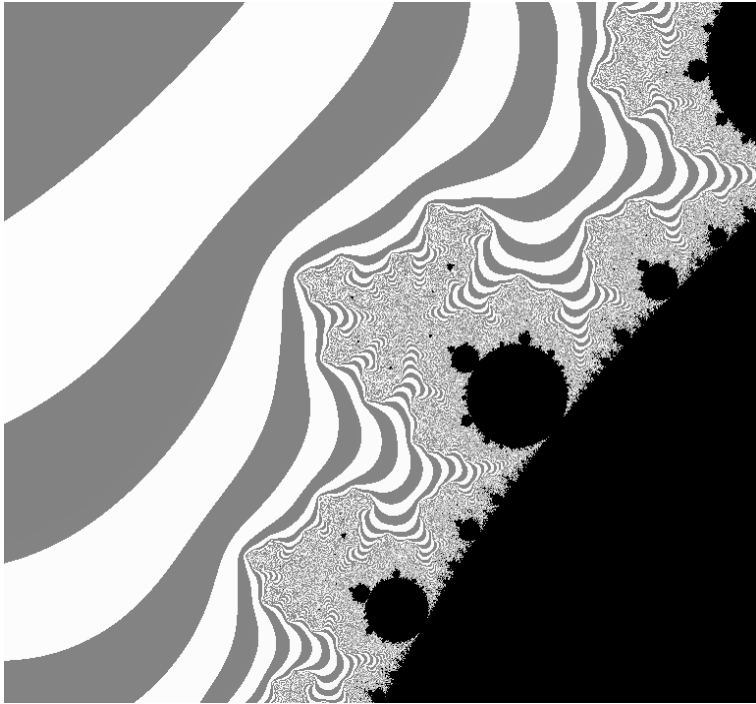
Nach einigen hundert Iterationsschritten (bitte nicht im Kopf nachrechnen), überprüft man ob der Wert **z** ins Unendliche strebt, oder einen Grenzwert erreicht (dann gehört der Punkt zur Mandelbrotmenge).⁴⁸

Die Mandelbrotmenge besitzt, wie auch andere Fraktale, viele Selbstähnlichkeiten, (wohlgemerkt gibt es mehr formähnliche als identische Strukturen).



⁴⁷ B. Mandelbrot 1987; S. 13

⁴⁸ freie Schilderung. Quellenbeispiel: Behr R. 1991; S. 54



Fraktal: Ausschnitt oben links Mandelbrotmenge (berechnet mit FractalForge)

4

SELBSTORGANISATION UND EMERGENZ



„Mit dem Begriff Selbstorganisation bezeichnet man heute die spontane Entstehung von Ordnung, ohne dass externe Anweisungen oder interne Programme diese Ordnung bestimmen.“⁴⁹

4.1.1 Ordnung aus dem Chaos

Dass die Entstehung von Ordnung, so Küppers⁵⁰, zu einem Forschungsproblem wurde, liege an der konzeptionellen Neuausrichtung der neuzeitlichen Wissenschaft:

Zur Erklärung von Naturphänomenen werden nicht mehr Zweck (ein Zweck wäre beispielsweise die Verwirklichung eines „göttlichen Plans“), sondern nur noch natürliche Ursachen herangezogen.

Newton war der erste, der diesen Ansatz, mit seiner „klassischen Mechanik“, verwirklichte.

Neben der Frage nach der universellen Anwendbarkeit (optische, elektrische, chemische Phänomenbereiche), sieht Küppers bei Newton ein qualitatives Problem:

„Können die mechanischen Gesetze, die die geordnete Bewegung der Planetenumläufe am Himmel richtig beschreiben, auch die *Entstehung dieser Ordnung* erklären? (...)

Kann eine Theorie der Wechselwirkung der Materie zugleich eine Theorie der Bildung Von Ordnung, Struktur und zweckmässiger Organisation sein?“⁵¹

Diese Frage wird im Abschnitt 4.2 erörtert.

Selbstorganisation bezeichnet einen Prozess der Neuordnung aus dem Chaos (bzw. aus dem „Nichts“) also scheinbar das Gegenteil dessen, was wir bisher betrachteten. Man könnte aber auch sagen, es sei die zweite Seite ein- und desselben Phänomens. Denn: Was war zuerst- Chaos oder Ordnung?

Diese Frage ist meiner Ansicht nach genauso paradox wie die Frage, ob das Huhn oder das Ei als erstes die Welt mit ihrem Dasein bereicherten. Schlimmer noch: Chaos und eben auch Ordnung sind subjektive Begriffe und unter Umständen sogar vertauschbar. Die Chaostheorie untersucht das Chaos jenseits vom thermodynamischen Gleichgewicht.⁵² Das thermodynamische Gleichgewicht ist jedoch für viele Physiker der Inbegriff des Chaos. Dieser Faden wird in 4.1.2 aufgenommen.

4.1.2 Zweimal Chaos- Wo bleibt die Ordnung?⁵³

Der zweite thermodynamische Hauptsatz besagt, dass sich das Universum abnutzt und schliesslich dem „Wärmetod“ durch Entropievermehrung erliegen wird. (Entropie bezeichnet den Übergang von „höheren“ Energieformen in „unnützliche“, im Raum verteilte Wärme, der fast überall stattfindet.) Thermodynamisch läuft alles nur in eine Richtung, die Zeit ist irreversibel. Für den amerikanischen Chaosforscher **Prigogine** gibt es zwei Arten von Chaos:

Einmal ist da das passive Chaos des Gleichgewichts und der maximalen Entropie, wo alle Elemente so intim vermischt sind, dass keine Organisation existiert.

Die zweite Art von Chaos aber ist aktiv, heiss und energiereich- das „turbulente Chaos“, dem diese Arbeit gewidmet ist. Prigogine war einer derjenigen, die entdeckten, welche seltsame Dinge in

⁴⁹ Küppers G. 1996; S. 122

⁵⁰ Küppers G. 1996, S. 122

⁵¹ Küppers G. 1996; S. 123

⁵² Briggs J., Peat F.D. 1989; S. 203

⁵³ ganzer Abschnitt nach Briggs J., Peat F.D. 1989; S. 198-203

diesem weit vom Gleichgewicht entfernten Chaos geschehen können. Systeme gehen hier nicht nur unter, sondern es werden auch neue geboren.

4.1.3 Bénard-Konvektion (nach Küppers⁵⁴)

Prigogine befasste sich unter anderem mit der nach ihrem Entdecker benannten *Bénard-Konvektion* (oder *Bénard-Instabilität*).

„Erhitzt man eine horizontal ausgedehnte Flüssigkeitsschicht einer bestimmten Dicke von unten und kühlt sie von oben, so dass sich eine Temperaturunterschiede zwischen den beiden horizontalen Oberflächen einstellt, beobachtet man ab einer bestimmten Stärke dieses Temperaturunterschieds ein wohlgeordnetes Strömungsmuster.“⁵⁵

Wieso verursacht ein vertikaler Temperaturunterschied in einer Flüssigkeitsschicht eine Strömung? Die Temperatur nimmt von oben nach unten zu, somit nimmt die Dichte von unten nach oben zu. Nehmen wir an, eine kleine Störung führt zu einer Verschiebung eines Flüssigkeitsteilchens der untersten Schicht nach oben. Das dichtere Umfeld macht es leichter, es steigt immer weiter nach oben (diese Aufwärtsbewegung verläuft schneller als ein Temperaturengleich mit der Umgebung). Das Umgekehrte geschieht mit Teilchen, die durch eine Störung von oben nach unten verschoben werden. Die mikroskopische Verschiebung von mehreren benachbarten Teilchen führt zu einer makroskopischen Strömung. Die Bewegung setzt urplötzlich ein, und zwar muss der Temperaturunterschied zwischen den Bereichen der Flüssigkeit gross genug sein, um Teilchen die Überwindung der Reibung (und damit des Zusammenhalts der Teilchen) zu ermöglichen.

„Die Selbstverstärkung kleinster Abweichungen ist der Mechanismus, der zur Entstehung einer Strömung in einer von unten erhitzten Flüssigkeit führt. Dieser Mechanismus erklärt jedoch nicht, warum diese Strömung so geordnet verläuft und die einzelnen Flüssigkeitsteilchen sich nicht wirt durcheinander bewegen. Zwei weitere Mechanismen kommen hinzu: Die Ausbildung bestimmter Grundformen einer kollektiven Strömung aufgrund der Geometrie der Flüssigkeit (Schicht, Kugel, (...)) und eine Selektion zwischen ihnen (...) *Die endgültige Form wird von den Bewegungsgesetzen (...) bestimmt. Wegen deren Nicht-Linearität sind immer mehrerer Muster möglich (...)*.

Diese Ordnung ist weder ein Ergebnis spezifischer Vorgaben aus der Umwelt- die Form des Gefässes-, noch eine Folge interner Anweisungen, die z.B. in der Struktur der Flüssigkeitsmoleküle codiert sind. Weder bestimmt die Umwelt, noch reguliert ein internes Programm die Entstehung von Ordnung. Ordnung ist ausschliesslich ein Produkt der in der Flüssigkeit ablaufenden Prozesse.“⁵⁶

4.1.3 Beispiele der Selbstorganisation

„Stellen wir uns ein Rohr vor, aus dem in einer Industrieanlage Öl in ein grosses Becken fliesst. Das Öl fliesst gleichmässig und hinterlässt dort, wo es die Oberfläche des Öls im Becken trifft, eine Delle. Lassen wir nun jemanden einen Hahn drehen, so dass mehr Öl durch das Rohr fliesst. Die erste Wirkung des neuen Schwungs Öl wird verstärkte Turbulenz sein.

Die damit verbundenen Schwankungen wachsen zufällig an und folgen dabei einem Weg ins totale Chaos (...) An einer kritischen Verzweigungsstelle wird eine der vielen zufälligen Schwankungen verstärkt, breitet sich aus und beeinflusst und beherrscht das ganze System.

⁵⁴ Küppers G. 1996; S. 126-132

⁵⁵ Küppers G. 1996; S. 126-127

⁵⁶ Küppers G. 1996; S.

Ein Muster von Wirbeln bildet sich. Ordnung ist dem Chaos entsprungen. Diese Wirbel bleiben stabil, solange die Strömung aus dem Rohr aufrechterhalten wird. Selbst wenn die Strömung ein wenig zunimmt oder nachlässt, bleibt die Stabilität des Wirbelmusters erhalten. Zuviel Veränderung, gleich in welche Richtung, wird allerdings eine neue chaotische Situation und neue Ordnungsmuster schaffen.⁵⁷

„Ein bekanntes Beispiel für effektive Selbstorganisation sind Strassenkreisel zur Regelung des Verkehrs an Kreuzungen. Strassenkreisel funktionieren besser und reibungsloser als jede noch so perfekt gesteuerte Signalanlage. Sie sind deshalb so wirkungsvoll, weil sich die Verkehrsteilnehmer innerhalb gewisser Rahmenbedingungen selbst organisieren können. Die Fremdsteuerung durch Ampeln wird durch Selbststeuerung mit einfachen Vortrittsregeln ersetzt.“⁵⁸

„Insekten wie Bienen, Wespen oder Ameisen können sehr kooperative soziale Strukturen bilden. Tausende, manchmal gar Millionen von Individuen, verbringen zusammen Leistungen, welche die Fähigkeiten des Einzelnen weit übertreffen. Dadurch entstehen biologische Einheiten höherer Ordnung, die man in der Fachsprache <Superorganismen> nennt.“⁵⁹

Selbstorganisation- das geordnete Chaos- ist anscheinend effektiver als eine von oben aufgezwungene Ordnung:

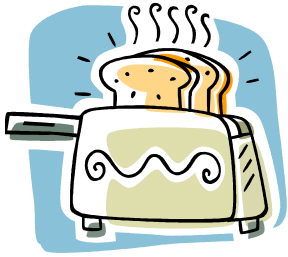
„Komplexe Systeme sind nur dann anpassungs- und entwicklungsfähig, wenn eine ausgewogene Balance zwischen Ordnung und Chaos vorhanden ist. Systeme, in denen grössere Schwankungen nicht zugelassen werden, sind nicht überlebensfähig.“⁶⁰

⁵⁷ Briggs J., Peat F.D. 1989; S. 202

⁵⁸ Gerber, Gruber 1999; S. 15

⁵⁹ Gerber, Gruber 1999; S. 15

⁶⁰ Mittelstaedt W. 1997; S. 124



4.2

Emergenz

*Das ist, ähm...
Die, ähm, erkannte Qual liegt, fährt
Seltsam, derart Traktor:
Der Glanz frisst Meer; als sie Sonnenschein erteile-
Auf dem Rücken des Gecko doppelt komplett
Ich es tät!
Das ist, ähm...*

4.2.1 Holismus und Reduktionismus

„Die Skepsis, das Auftreten neuer Phänomene wie etwa Leben könne aus der genauen Kenntnis der dem Phänomen zugrunde liegenden Komponenten (...) vollständig erklärt werden wurde (in den letzten Jahrhunderten) immer grösser (...) Es erschien praktisch aussichtslos, eine (...) Theorie zu formulieren, die beides erklärte: Entstehung von Organisation und Wechselwirkung der Materie. Neben das reduktionistische Programm trat

eine zweite Forschungsstrategie: Während der Reduktionismus darauf setzte, ein (...) System in seine Teile zu zerlegen und Eigenschaften des Systems durch die seiner Elemente erklären zu können, bemühte der Holismus zusätzliche verborgene Kräfte, um das Entstehen komplexer Strukturen und Organisationen zu beschreiben und zu verstehen (...)

Empirische Teilerfolge gab es auf beiden Seiten sowohl im 18. wie auch im 19. Jahrhundert zu Genüge. Aber den theoretischen Ansprüchen war auf keiner Seite jemals ein dauerhafter Erfolg beschieden. Blieben einerseits die reduktionistischen Erklärungsansätze für ihre Gegner blosses Spekulationen, weil sie Erklärungen der komplexen Organisation nur in Aussicht stellten, aber nicht durchführten, überwand andererseits auch die besten experimentellen Belege des Holismus nicht den reduktionistischen Einwand, dass holistische Prinzipien okkulte Kräfte seien, die nur den Stand unseres Nicht-Wissens verschleiern.“⁶¹

(Dem anzufügen wäre vielleicht noch, dass Holismus und so genannt „östliche Philosophien“ als Gegensatz zum Reduktionismus (der eindeutig westlichen Ursprungs ist) in vielen Punkten übereinstimmen. Stichwort: Ganzheitliches Denken. Dies nur als Denkanregung.)

Das Selbstorganisations-Prinzip, das im letzten Kapitel besprochen wurde, ist ein Lösungsansatz für dieses Dilemma. Doch zumindest in einem Punkt sind sich Holismus und Reduktionismus bis heute *nicht* einig: wenn es um das Auftreten radikal neuer Eigenschaften (so genannte *emergente Qualitäten* = „auftauchende Eigenschaften“) geht.

Eine Diskussion darüber würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, doch den Emergenzbegriff möchte ich zum Abschluss noch einführen. Er wird vielfach vereinfachend missbraucht, vielleicht gerade weil er etwas treffend auf den Punkt bringt: die Schnittstelle zwischen Chaos und Ordnung, zwischen System und Meta-System.

⁶¹ Küppers G. 1996; S. 123-124

4.2.2 Radikal neue Eigenschaften

Eisenhardt/Kurth/Stiehl⁶² zufolge ist *Emergenz* das „Auftauchen, Zum-Vorschein-Kommen einer neuen, wesentlich kennzeichnenden Eigenschaft eines Systems“. Die Emergenz wird „durch einen kritischen Punkt (...) angezeigt, der den alten Vorzustand, der die neue Eigenschaft noch nicht zeigt, vom neuen Nachzustand trennt (...)“

Dieser müsse durch „Wechselwirkung im Vorzustand sowie des Vorzustandes mit seiner Umgebung“ entstanden sein, wobei gilt: „Der Nachzustand ist nicht auf den Vorzustand reduzierbar“.

Dieser Begriff von Emergenz lässt sich auf Selbstorganisationsprozesse anwenden, was auch oft getan wird. Es geht dort ja um Zustände höherer Organisation, die nicht auf den chaotischen Vorzustand reduzierbar sind. Es gilt:

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.

Das holistische Grundprinzip taucht also hier in neuem Gewand auf. Was bedeutet das nun alles? Beim Insekten-Beispiel wäre der „Super-Organismus“ mehr als die Summe aller Insekten. In der Musik sind die *emergenten* Qualitäten *Melodie* (horizontal) und *Harmonie* (vertikal) mehr als eine Abfolge / Vermischung von Tönen (jedenfalls für das menschliche Ohr). Eine Gruppe von Menschen, eine Gesellschaft, Kultur, Religion ist mehr als die Summe ihrer Mitglieder und bringt neue Qualitäten hervor. (Alle Lebewesen gehören zur Biosphäre.

Dass das Leben sich *selbst* auf dieser Stufe *organisiert*, vermutet die Gaia-Hypothese.⁶³)

Es lassen sich hunderte von Beispielen finden, jedoch gibt es auch neue Eigenschaften auf einer Systemebene die sich durchaus von unten her (d.h: durch die Teile des Systems und deren Verknüpfungen) erklären lassen (so Vollmer⁶⁴).

Dies war mein Exkurs zur Emergenz. Ich hoffe, dass er trotz seiner Kürze eine weitere Facette der Chaos- und Ordnungsthematik aufzeigt.

*Komplexität des Systems...
Die emergente Qualität,
Seltsamer Attraktor,
Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.
Auf denn (rückgekoppelt)!
Komplexität des Systems...*

⁶² Eisenhardt / Kurth / Stiehl 1988; S. 259

⁶³ Briggs J., F. Peat F. D. 1989; S.250

⁶⁴ Vollmer G. 1992; S. 81

5

RUNDBLICK



5 Rundblick

„Wir sind gefangen in einem Kraftfeld von Theorien, aus dem wir nicht entfliehen können. Wir schweben irgendwo in diesem Kraftfeld und können nur feststellen: Zum Zentrum hin wird es homogener, gleichförmiger, zur Peripherie hin heterogener, vielfältiger. Nie gelangen wir zum ruhigen Zentrum oder zur chaotischen Peripherie. Wir wissen nichts von beider wirklicher Existenz. Aber wir können unsere begrenzten Daten verallgemeinern und sagen: im Zentrum wird alles ähnlich den platonischen Ideen⁶⁵, den Vernunftbegriffen, der Logik, dem Immergleichen, den Gesetzen, dem Identischen; an der Peripherie dem heraklitischen⁶⁶ Fluss, dem Gewühl der Empfindungen, dem Chaos der Empirie, dem Neuen, den Einzelfällen und Randbedingungen, dem Differenten.“⁶⁷

In diesem Sinne möchte ich diese Arbeit, die dem chaotischen Teil der Theorien gewidmet ist, und denen viel zu lange viel zu wenig Beachtung geschenkt wurde zu einem Abschluss bringen. Was können wir nun aber aus der Chaostheorie für die Zukunft lernen?

Werner Mittelstaedt, Spezialist für Chaos- und Zukunftsfragen stellte in diesem Zusammenhang zehn Thesen⁶⁸ auf, von denen ich hier einen Auszug (Reihenfolge geändert) präsentiere:

Weltbild ohne die Erkenntnisse der Chaostheorie	Weltbild <i>unter</i> Einbeziehung der Erkenntnisse der Chaostheorie
1. Lokales Handeln hat überwiegend lokale Folgen. Ich kann die Welt nicht ändern, weil mein Einfluss und Aktionsradius viel zu klein sind.	1. Lokales handeln hat grundsätzlich globale Folgen. Ich kann schon mit kleinen Korrekturen durch mein Denken und Handeln dazu beitragen, dass die bestehende Zukunftskrise entschärft und zum Teil sogar gelöst wird.
2. Ich bin abgekoppelt von der Umwelt.	2. Ich bin Teil der Biosphäre. Ich muss mein Handeln so anlegen, dass ich sie nicht gefährde oder zerstöre.
3. Ich möchte nicht alle Zusammenhänge eines Problems verstehen (Symptomlösung).	3. Ich bin daran interessiert, möglichst viele Zusammenhänge eines Problems zu verstehen (Ursachenlösung).
4. Ich möchte möglichst alles im Voraus wissen und verlasse mich nur auf das, was ich nachvollziehen und prüfen kann.	4. Ich lebe mit Unbestimmtheiten. Ich erkenne an, dass ich mich auf sprunghaften Wandel, der überall möglich ist, einstellen sollte.
5. Ich strebe nach Stabilität, Ordnung und Sicherheit.	5. Ich lebe in ständigem Wandel. Ordnung und Sicherheit verbinde ich mit Risikofreudigkeit, in der auch ein Wechsel zur Unordnung und Unsicherheit toleriert wird.

Diese Thesen lassen sich natürlich ganz verschieden interpretieren bzw. anwenden.

⁶⁵ Anm.- Der griechische Philosoph Platon postuliert für jede Art von „Gegenstand“ eine „ideale Entsprechung“

⁶⁶ Anm.- Satz aus den „Fragmenten“ des gr. Philosophen Heraklit: „Du steigst nie zweimal in denselben Fluss.“

⁶⁷ Eisenhardt P., Kurth D., Stiehl H. 1988; S. 55

⁶⁸ Mittelstaedt W. 1997; S. 126-128

Um einen Bezug zu den Ereignissen des 11.09.01 zu schaffen (was übrigens nicht überall Sinn macht, wo es getan wird, mir aber in diesem Falle angemessen scheint), studiere man besonders die Punkte 3-5. Dazu gibt es, glaube ich, nicht mehr viel zu sagen.

Gerade wenn die Lage Ernst wird, hält der Grossteil der Entscheidungsträger verzweifelt an den Paradigmen der linken Spalte fest. Dies ist kein kleiner Fehler mit grosser Wirkung.

Dies ist ein grosser Fehler mit globalen Auswirkungen.

Schluss?

bringen wir Chaos in die Ordnung:

um Ordnung ins Chaos zu bringen!

Verändern wir uns:

um zu Bewahren!

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Silvan Mühlemann, 16. 10. 2001

6

ANHANG

Chaos im Rollenspiel

Fantasy-Rollenspiele sind Spiele, in denen jeder Mitspieler die Rolle eines Abenteurers übernimmt, der die phantastischen Länder erkundet. Die Spieler treffen Entscheidungen, und der Spielleiter (die Spielleiterin) bestimmt wie die Umwelt darauf reagiert. Dazu braucht er Vorgaben aus einem Buch und seine Phantasie. Ein wesentlicher Bestandteil des Rollenspiels sind jedoch auch Würfelwürfe, die innerhalb einer möglichen, vom Spielleiter ausgearbeiteten Bandbreite von Ereignissen ein bestimmtes Ereignis auslösen. So ein Würfelwurf ist oft eine kritische Angelegenheit, die den ganzen weiteren Verlauf des Spiels beeinflusst.

Dies trifft in gewissem Masse auch auf die Entscheidungen, die die Spieler treffen, zu.

Denn diese können, anders als zum Beispiel bei einem Brettspiel wie Monopoly, die Folgen ihrer Handlungen nur ungenau abschätzen.

Bei den Solo-Rollenspielen handelt es sich um interaktive Texte-

Die Rolle des Spielleiters übernimmt dabei passiv der Autor. Der Leser macht sich Notizen, würfelt und entscheidet wie er sich als Hauptperson der Geschichte verhält (indem er zwischen verschiedenen vorgeschlagenen Kapiteln wählt).

Das Genre der Fantasy-Rollenspiele eignet sich meines Erachtens gut, um wesentliche Prinzipien und Beobachtungen der Chaostheorie zu veranschaulichen.

(Dass bei Monopoly ein kleiner Fehler grosse Folgen haben kann, steht ausser Frage. Nur treten dort keine qualitativen Unterschiede auf, sondern lediglich quantitative in Form von mehr oder weniger Schulden. Für Schach habe ich mich nicht entschieden, weil ich doch überzeugt bin, dass ein kleines Quäntchen Zufall zum Chaos gehört.)

Kleine Ursachen können in beiden Spielformen grosse Folgen haben.

Komplexität entsteht im Solo-Rollenspiel durch eine verschachtelte Textstruktur.

Die Zeit hat keine eindeutige Richtung, denn es existieren verschiedene „Eigenzeiten“, da Abschnitte in verschiedener Reihenfolge durchgelesen werden können.

Einige Abschnitte verweisen (über Umwege) gegenseitig aufeinander, so dass eine Rückkopplungsschleife entstehen kann (wenn zusätzlich noch gewisse Punktwerte addiert oder subtrahiert werden).

Eigentlich wollte ich in diesem Zusammenhang ein vollwertiges Rollenspiel präsentieren, die Zeit reichte mir jedoch nur für den Anfang. Um trotzdem einen ersten Eindruck zu gewinnen, folgt hier die erste Seite.

Der Leser muss einen Würfel zur Hand nehmen, sowie einen Stift, um im Verlaufe des Spiels Veränderungen bei den Punktwerten (Tabelle) festzuhalten. Alles andere ergibt sich von selbst, sobald er bei Abschnitt 1 zu lesen beginnt.

Abenteuer-Protokoll

FUN (Anfangswert: 10)	WOHLBEFINDEN (Anfangswert: 10)	AUSGEGLICHENHEIT (Anfangswert: 0)
-----------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

Schmetterling am Rande des Chaos

1

Du befindest dich am Rande eines gähnenden Abgrundes. Hinter dir steht die Zeit still, nichts regt sich, die kosmische Harmonie ist erstarrt. Vor dir und unter dir dehnt sich das brodelnde Chaos ins Unermessliche aus. Dessen ungeachtet tanzt vor deiner Nase ein Schmetterling. Noch zwei Flügelschläge trennen ihn vom Verhängnis, noch ein Flügelschlag... Willst du den Schmetterling einfangen, bevor er vom Chaos verschlungen wird, lies weiter bei 2. Andernfalls, würfle mit einem sechsseitigen Würfel. Bei einer 1-3 geht es weiter bei 3, bei einer 4-6 geht es weiter bei 4.

2

Du umfasst den Schmetterling mit beiden Händen. Das bewirkt etwas Seltsames: Der Schmetterling sendet einen Lichtstrahl aus, der eine Lichtbrücke über den Abgrund bildet. Du erhältst +1 FUN und +2 AUSGEGLICHTENHEIT. Wirst du die Brücke betreten (5)? Wirst du abwarten, was geschieht, lies bei 10.

3

Der Schmetterling taumelt jäh, flattert unkontrolliert ins brodelnde Chaos hinunter. Als Antwort erhebt sich ein Wind über dem Abgrund, ein ungestümer Wildfang, der auch dich ins Bodenlose hinunterreißt. Du erhältst -2 Punkte WOHLBEFINDEN und -3 AUSGEGLICHTENHEIT. Weiter bei 7.

4

Der Schmetterling loopingt und kapriolt, ohne dass etwas geschieht. Du erhältst + 1 Punkte FUN. Willst du abwarten, was geschieht, würfle. Bei einer 1-2 lies weiter bei 3, bei einer 3-4 lies weiter bei 4, bei einer 5-6 lies weiter bei 6. Fängst du den Schmetterling lieber ein, lies bei 2.

5

Die Brücke ist stabil. Du erhältst +1 FUN und +1 AUSGEGLICHTENHEIT. Doch auf einmal bringt dich ein orkanartiger Windstoss zum schwanken. Würfle. Wenn du mehr als 3 oder weniger als -3 AUSGEGLICHTENHEIT hast, lies bei 8.

Literaturverzeichnis

- >**Behr, R. 1989:** *Ein Weg zur fraktalen Geometrie.*
Ernst Klett Schulbuchverlag GmbH & Co. KG, Stuttgart.
- >**Briggs J., Peats F. D. 1989:** *Turbulent Mirror. An illustred*
Guide to Chaos Theory and the Science of Wholeness.
Harper & Row, Publishers, New York, 1989
Deutsche Übersetzung: Carius Carl, Kafka Peter 1990:
Die Entdeckung des Chaos. Eine Reise durch die Chaostheorie.
Carl Hanser Verlag, München Wien.
- >**Davies P. 1988:** *Prinzip Chaos. Die neue Ordnung des Kosmos.*
C. Bertelsmann Verlag, GmbH, München.
- >**Ebeling W. 1989:** *Chaos, Ordnung, Information: Selbst-*
organisation in Natur und Technick.
Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin, Verlag für populärwissen-
schaftliche Literatur, Leipzig.
Lizenzausgabe des Verlags Harri Deutsch, Frankfurt am Main, Thun.
- >**Eisenhardt P., Kurth D., Stiehl H. 1988:** *Du steigst nie*
zweimal in denselben Fluss. Die Grenzen der wissenschaftlichen
Erkenntnis.
Rowolth Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg.
- >**Grein Gamra U. 1999:** „Ein komplexer Ritter auf seiner dynamischen
Queste: Wolframs Parzival und die Chaostheorie; eine strukturelle
Untersuchung.“
In: *Deutsche Literatur von den Anfängen bis 1700; Bd.28.*
Peter Lang AG, Europäischer Verlag der Wissenschaften, Bern.
- >**an der Heiden U. 1996:** „Chaos und Ordnung, Zufall und
Notwendigkeit“. In: *Chaos und Ordnung. Formen der Selbst-*
organisation in Natur und Gesellschaft.
Philip Reclam jun. GmbH & Co., Stuttgart.
- >**Kiessling K. 1997:** *Chaos und Selbstorganisation - ein multi-*
disziplinärer Beitrag zur Konturierung einer postcartesianischen
Psychologie. Inauguraldissertation der philosophisch-historischen
Fakultät der Universität Bern. Selbstverlag, Freiburg i. Br. 1997
- >**Küppers G. (Herausg.), Diverse Autoren 1996:** *Chaos und Ordnung.*
Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft.
Philip Reclam jun. GmbH & Co., Stuttgart.
- >**Mandelbrot, Benoit B. 1984:** *Die fraktale Geometrie der*
Natur. Übersetzung aus dem Englischen. Birkhäuser , 1987.
- >**Mittelstaedt W. 1997:** *Der Chaos-Schock und die Zukunft der*
Menschheit. Peter Lang AG, Frankfurt am Main 1997.
- >**Vollmer G. 1985-1993:** *Auf der Suche nach der Ordnung: Beiträge zu*
einem naturalistischen Welt- und Menschenbild.
S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1995.