

CLAUS C. SCHROEDER

Chaos und Ordnung

Teil I:

Chaos, Kontingenz und Katastrophen - Konzepte einer neuen Wissenschaft des Unvorhersehbaren

KAPITEL 1: Theoretische und historische Hintergründe der Chaosforschung

Vorl.Nr.

- 01A** Das Neue an der neuen Wissenschaft
Eine Art Verschwörung
Transdisziplinäre Wurzeln der Theorien über das Chaos
Das mathematische Fundament: nicht riesiger als Adam Riese
Aus dem Einfachsten die größte Komplexität
Die Rückkehr der Wissenschaft in die Wohnstuben
Eine unberechenbare dynamische Ordnung
-
- 01B** Die Rolle des Computers als "Denk-Fernrohr"
Die zeitlose Gesetzmäßigkeit der Himmel ?
Modell und Realität, die Geometrie und das Sein
Keplers Mysterium und Newtons Uhrwerk
Poincaré denkt sich eine zweite Sonne
Über das Rechnen auf geduldigem Papier
-
- 01C** Doppelpendel (Demonstration)
-
- 02A** Zeitgestalten und Flüsse: panta rhei
Die zeitlose Zeit der Celestial Mechanics
Die "Physik der Albinos"
Enttäuschte Sehnsucht nach dem Unwandelbaren
Was ist Dynamik ?
-
- 02B** Von Parmenides zu Heraklit: Sein und Werden
Entropie und der Pfeil der Zeit
Das Ende des Determinismus durch die Quantentheorie
Was ist Linearität ?
Kontinuierliche und diskrete Systeme
-
- 03A** Das Ungeheuer namens Nichtlinearität
René Thoms Katastrophen
Eine Katastrophenmaschine
Noch eine 'Katastrophe': Aids
-
- 03B** Eine Chaosmaschine
Rückkoppelnde Systeme
Weltlinien im Phasenraum

Magnetpendel (Demonstration)
 Das Geheimnis der Differentialgleichungen
 Wechselwirkungen und Systeme
 Hamilton, Lagrange und der Plan Gottes

04A Wahrscheinlichkeitswellen
 Die drei kleinen Fehler der irdischen Götter:
 1. Die Tücken des Messproblems
 2. Das deterministische Chaos und die 'Versklavung'
 3. Die Irreversibilität der Zeit

04B Phasen- und Hilberträume
 Ein fiktiver Dialog über die Zeit
 Quanten, Relativität und Chaos
 Gibt es Zeitfernrohre?

KAPITEL 2: Ein erstes Mini-Modell: Das Hüpfteilchen als diskretes System

Lineare Verdoppelung
 Saltatorische Bewegungen
 Rund um die Uhr
 Nichtlineare Verdoppelungen auf der Einheitsstrecke
 Algorithmus und geometrische Darstellung
 Kneten und Strecken: topologische Handgreiflichkeiten

05A Sichtbares Chaos
 Chaos, Zufall und Notwendigkeit - ein Dialog
 Glücksspiele, verrückte Computer und der Indeterminismus
 Kann das Teilchen denken ?
 Innere Zustände und Transferfunktionen
 Noch einmal: Nichtlinearität

05B Binär-Entwicklung
 Trotz Determinismus: Unvorhersehbarkeit der Evolution
 Lernen und Geschichte
 Das Zinseszins-Spiel
 Eine Wachstumsgleichung
 Iterationen

06A (Nachträge)
 Chaos im Gehirn : Zur neuropsychologischen Forschung
 Ein psychologisches Beispiel: Das Anspruchsniveau
 Universelle Maschinen trivialer und nicht-trivialer Art
 Informationstheorie und Biologie (Jacques Monod)

06B Topologischer Blätterteig
 Arnolds Katze
 Poincaré verschwindet im Chaos
 Bernoulli-Transformationen
 Der eindimensionale Platon

Nachhersage der Vergangenheit
 Ergodizität
 Qualitative Mathematik: Metamorphosen
 Reaktivierung des Naturforschers Goethe
 Smales tausendfältiges Hufeisen

07A

KAPITEL 3: Das nichtlineare Grundmodell:
 Die Dynamik der logistischen Wachstums (Verhulst-Prozess)

Zusammenfassung einiger Grundbegriffe
 Was ist Wachstum ?
 Warum die Bäume nicht in den Himmel wachsen
 Die Ratio und das Irrationale
 Das Wahre, Schöne und Gute

07B

Olympia und das lineare Wachstum
 Quadratisches und exponentielles Wachstum
 Logistisches Wachstum
 Wertefolgen und Diagramme zum Grundmodell
 Attraktoren
 Äquifinalität

08A

Zyklische Perioden
 Bifurkationen
 Die Belusov-Zhabotinski-Reaktion
 Chemische Uhren und Autokatalyse

08B

Die wundersamen Dyctiosteliden
 Embryologie
 Deterministisches Chaos
 Geordnete Fenster und odd cycles
 Die Bifurkationskaskade

09A

Rekapitulation und Nachträge
 Stabile und instabile Gleichgewichte

09B

Die magischen Feigenbaum-Zahlen
 Universalität der neuen Konstanten
 Verwandtschaften nichtlinearer 'Szenarios'

10A

(Zum Uni-Streik im Januar 1989)
 Die Fibonacci-Zahlen
 Die proportio divina und der Goldene Schnitt
 Logarithmische Spiralen in der Natur

10B

Libchabers Helium in der Streichholzsachtel
 Rekursion und Iteration
 Ableitungen (Iteraten) der Verhulst-Funktion
 Geometrische u. algebraische Eigenschaften der Verhulst-Funktion

- 11A Ordnung aus dem Chaos
Die organische Geometrie der Natur
Die chaotische Ordnung der Jade (Li)
-
- 11B Der Ljapunov-Exponent
Gestörte Verhulst-Prozesse
Modulation
Ordnung plus Ordnung ergibt Chaos - und umgekehrt
Die "organische Ordnung"
"Kunst-Bilder" gekoppelter Verhulst-Prozesse
(Computer-Demonstrationen)
-

KAPITEL 4: Chaos und Determination

Philosophische Implikationen zum Kausalitätsprinzip in der Dynamik nichtlinearer Prozesse

- 12A Was heißt Kausalität?
Die Rolle der Anfangsbedingungen
Starkes und schwaches Kausalitätsprinzip
Laplace und sein Dämon
Wie eine Welt ohne starke Kausalität aussähe
Der Reiz des Zufalls
Joe spielt Billard
Die Verletzungen der beiden Kausalitätsprinzipien bei Chaos
-
- 12B Fünf Grundannahmen des Klassischen Determinismus
Chaos-Dynamik und Quantendynamik
"Quantenkausalität"
Operatoren
Was heißt: "Deterministisches Chaos"?
Chaos-Dynamik und Thermodynamik
Boltzmanns klassische Thermodynamik als statistische Mechanik
Bohrs Pfeife und die Irreversibilität
-
- 13A Kurze Zusammenfassung: Erklärung und Prognose
Kausalität und Finalität
Determination, Kausalität, Vorhersagbarkeit sind Verschiedenes
Nichtlineare Systemkausalität und Wahlfreiheit
Wahrscheinlichkeit und Entropie (Boltzmann)
Mikro- und makroskopisches Niveau
Die "Katastrophe" des Mehrkörper-Problems
Ensembles im Gammaraum
Die Gibbs'sche Dichtefunktion
Das Theorem von Liouville
Der Liouville-Operator als Diagnostikum

Prigogines neue Thermodynamik
Integrable Systeme und Kanonische Transformation

- 13B** Poincarés Entdeckungen
Ergodische Systeme
Mischende Systeme (Birkhoff und Hopf) und K-Flüsse (Kolmogoroff)
Pionierleistungen der sowjetischen Forschung
Chaotische und dissipative Systeme: Übersicht
Der zwei-dimensionale Platon
Poincaré-Abbildungen
Ein Stern umkreist sein galaktisches Zentrum
Das Topologische Modell von Hénon und Heiles
-

- 14A** Fraktale Binnenstruktur
Saturn und Jupiter
Der Hénon-Attraktor
Das Differentialgleichungsmodell von Hénon und seine Hamilton-Funktion
Chaos, Ordnung, Rauschen
Die Umdeutung des Entropiegesetzes (2. Hauptsatz der Thermodynamik)
Lösung des Rätsels der universellen Evolution
Kosmologie des Big Bang
Rauch und Tinte
Der Gigantendamm: Kristallisation aus der Schmelze
-

- 14B** Dissipative Strukturen als offene Systeme
Eigens Hyperzyklus: Selbstorganisation
Steady State und Homöostase
Ordnung durch Energiezufuhr: Die Couette-Zelle
Zur Topologie des Mixquirls
Homogenität und Symmetrie
-

- 15A** Konduktion und Konvektion
Die Bénard-Zellen; - Beispiele
Wo kommt die Ordnung her?
-

- 15B** Symmetriebrüche und dynamische Bifurkationen
Das Prinzip "Wahlfreiheit" - Einwände gegen die autogene Entscheidung
Genuiner Zufall oder verborgene Variablen ?
Sartres Freiheitsbegriff
Wechselwirkungen großer Reichweite, Systemkausalität und Kohärenz
Hakens "Ordner" und die "Versklavung; Beispiel: Prigogines Brüsseler Modell (Brüsselator)
Schlussgedanken über Chaos und Ordnung: Das "Zwischenreich"
-

Teil II:

Die Galerie der Monster und die Geometrie der Natur

KAPITEL 5: Gebilde mit nichtganzzahliger Dimension (Fraktale)

- 16A Übersicht über Teil I: Gegenstand der Chaosforschung
Thema. Dynamische Systeme
Periodische Bewegung und spontaner Wandel: Sein und Werden
Der Pfeil der Zeit und der Tod
Zeitlosigkeit und Unsterblichkeit
Sterne und Wirbel
Über das Wetter und die Psyche
Das meteorologische Modell von E. Lorenz (I)
Der Schmetterlingseffekt
Dynamik eines Mückenschwarms
-
- 16B Algebraische und geometrische Modelle für sein Schattenbild
Chaos-Modelle
Rezept für das Chaos-Spiel
Simulation und Ergebnis
Ein eigenartiges Dreieck
Affine Kontraktionsabbildungen
Barnsley-Elton-Muster
Die Geometrie des Farnkrauts
Chaotische Lebkuchenbäckerei
-
- 17A Das Sierpinski-Dreieck und seine Eigenschaften
Die Trema-Methode
Gaskets: Der Sierpinski-Pfeil
Escher-Bilder
Ein pyramidales "Teragon" (Schreckensbild)
"Unmögliche" Teppiche und Schwämme
Fraktale
-
- 17B Dimensionen eines Wollknäuels
Euklidische und fraktale Dimension
Wieso bloß ganzzahlige Dimensionen?
Freiheitsgrade der Bewegung
Dimensionale Konkordanz und Diskordanz
Wanderungen auf einer zerknüllten Zeitung - oder auf der Erde
Geo-Metrie: Wie groß ist die Erdoberfläche ?
Hat England eine unendlich lange Küste ?
Wie misst man das ?
Die Kurve der Brown'schen Bewegung - Linie oder Fläche?

Maßstabsabhängigkeit, Skaleninvarianz und Selbstähnlichkeit
Das Koch-Rezept für Schnee

- 18A Ein paar simple Berechnungen
Die Hausdorff-Besikovitch-Dimension
Die Länge fraktaler Kurven
-
- 18B Geometrische Wurst-Küche
Warum Fraktale mehr als Linien (oder Flächen) sind
Kurven ohne Tangenten und Differentialquotienten
Die "Galerie der Monster"
Cantor glaubt es nicht
Ein Koch-Rezept für Staub
Zur Geschichte des fraktalen Dadaismus
Die Grundlagenkrise der Mathematik
Axiomatiker und Konstruktivisten
Cantor, Russell und Goedel
Wer ist Nicolas Bourbaki ?
Benoît Mandelbrot: Aus dem Leben eines genialen Exzentrikers
Die Wiedereröffnung eines verstaubten Museums
Cantor-Staub als Sand im EDV-Getriebe
Das Geheimnis der Baumwollpreise
Fraktale Geometrie und Chaos-Dynamik
-
- 19A Die drei Hauptwurzeln der 'Chaotologie'
Anti-euklidische Jeremiaden
Zufalls-Fraktale
Zwei Sorten Broccoli
Die Koch-Kurve als Küstenmodell
Galilei und die Liebe zur (euklidischen) Geometrie
Geometrie, Naturbeherrschung, Kunst
Der horror metaphysicus des abendländischen Gelehrten
Ein unordentlicher Gott
Zenon von Elea, neu aufgelegt
Achilles am Ufer der Kochsee
Randomisierte Fraktale
Die Hilbert-Kurve: Linie oder Fläche?
-
- 19B Was ist Rekursivität ?
Der Teil und das Ganze
Woraus 'besteht' ein Sierpinski-Dreieck?
Elemente und/oder Relationen?
Die Analyse der Synthese
Vom Primat der Beziehungen bei Systemen
Organisierte Systeme und Aggregate
Platons geometrische Ideen
Ein Blick nach China
Das Grosse Eine ist das Nichts

Yin und Yang - fraktal besehen
 Der chinesische Raum
 Alles im Kosmos ist wie der Kosmos

20A Polare Dynamik
 Das fraktale Weltbild der Chinesen
 Sehen Ganzheitler wirklich mehr?
 Holismus und Reduktionismus - ein leerer Streit
 Wie schnitzt man russische Puppen?
 Magische Rituale
 David Hilbert lässt robben
 Der Teil ist das Ganze
 Similität
 Rekursive Entstehung der Hilbertkurve
 Verschachtelte Prozeduren
 Rekursion und Iteration

20B Ein Photo tibetischer Mönche
 Nochmals: Affine Abbildungen
 Iterative Funktions-Systeme (IFS)
 Peano-, Cesaro-, Polya- und Sierpinski-Kurven
 Rekursive und iterative Erzeugung
 Drachen mit fraktaler Schwarte
 Attraktoren von IFS
 Computer-Demonstrationen
 Warum Michael Barnsley vom Pentagon bezahlt wird
 Fraktalisierte Bilder zur Informationsübertragung
 Hydranten, Gräser und Obstgärten

21A/B **Anmerkungen zum Massaker auf dem Tienanmen in Peking 1989**
 Turtle-Graphiken
 Graftale
 Bizarre Graphen rekursiver Funktionen
 Schluss: Visuelle Streifzüge durchs Wunderland der Fraktale

KAPITEL 6: Mit Newton ins Chaos

Überraschungen, aus uralten Hüten gezaubert

22A Dunkle Erinnerungen an die Lösung quadratischer Gleichungen
 Die Vieta'schen Wurzelsätze
 Polynome n-ten Grades
 Kubische Gleichungen
 Lösung durch Newton's Näherungsmethode
 Newton's Verfahren als Iterationsprozess
 Die Studenten kapieren nix?
 John Hubbard lässt sich mit dem Teufel ein

Was sind komplexe Zahlen?
 Die imaginäre Einheit i
 Die Gauß'sche (oder Cauchy'sche) Ebene X^2
 Rechenregeln
 Trigonometrische Darstellung komplexer Zahlen
 Kubische Gleichungen mit komplexen Lösungen
 Computer-Lehrprogramm und Demonstration

22B Bilder der seltsamen Königreiche

KAPITEL 7: Wer ist Julia Mandelbrot?

Struktur und Dynamik der komplexesten Gebilde fraktaler Geometrie

23A Iterative Quadratur im Reellen (P^2) ...
 ... und im Komplexen (X^2)
 Der Einheitskreis als Wasserscheide
 Der endliche und der unendliche Attraktor
 Die Entdeckungen Gaston Julias
 Julia-Mengen - gibt's auch gefüllt
 Die komplexe Dynamik innerhalb einer Julia-Menge
 Wo ist das Unendliche? (Finite approaches)
 Ein Novum: Experimentelle Mathematik
 Prozessgestalten
 Stabilität der Fixpunkte
 Hallo-Julia-Musik
 Genuine chaotische Sequenzen
 Das Phänomen der Intermittenz
 Messung des Abstandsquadrats
 Der Kampf zwischen Yin und Yang
 Zur "Metaphysik" der instabilen Periodik
 Physiologische Intermittenz
 Psychische Krisen
 Chaos kommt nicht von Ruhestörung
 Paracelsus und das Problem des Heilens

23B Neurosen und Therapeuten
 Prophylaxe statt Therapie
 Gesunde und kranke Störungen
 Unter der Herrschaft der "Chronokratie"
 Widerstand und sekundärer Krankheitsgewinn
 Organismische Dynamik
 Depression und Kultur
 Selbstheilung und Spontanremission
 Regeneration von Julia-Mengen

- 24A Schlüssel zur Vielfalt der Julia-Mengen
 Siegelscheiben, Doppeldrachen, Fatou-Staub
 Fragmentierung und Rekonstruktion
 Sind imaginäre Zahlen irreal ?
 Die Schwächen der sog. Abbildungs-Theorie
 Antiquarisches in der Evolutionären Erkenntnistheorie
 Autopoiesis und strukturelle Koppelung (Maturana)
 Gibt es das "wahre" Modell?
 Das Komplexe in der Quantentheorie und Kosmologie
-
- 24B Wie könnten Reparaturgene funktionieren?
 Julia-Mengen als Modelle für biologische Dynamik
 Die Ordnung der Julia-Mengen
 Die z- und die c-Ebene
 Mandelbrot am Rande der Verzweiflung
 Dreck vom IBM-Computer
 Das Irrationale gebiert das Rationale
 Das "Apfelmännchen"
 Das Julia-Reich der Mandelbrot-Menge
 Wanderkarten durch Appleman Country
 Knospen, Tentakel, Satteliten, Filamente
 Keine Tochter gleicht der Mutter
 Unvorstellbarer Formenreichtum
-
- 25A Expeditionen durch Mandelbrots Phantásien
 Äquipotential-Linien
 Das anthropische Prinzip
 Modelle für den Magnetismus
 Wettstreit der Attraktoren
 Wiedersehen mit einem alten Bekannten
 Feigenbaum-Szenario
 Mandelbrot und Verhulst
 Ein dynamisches Universum
 Inversionen
 Veränderte Startwerte z
 Potenzen der Mandelbrotmenge
 Schnittmengen im 4-dimensionalen komplexen Raum
-
- 25B Phasenübergänge
 Synergetik
 Hysterese
 Akkomodation des Nerven (Einschleichen)
 Bemerkungen über den Laser als offenes System
 Kohärenz der Laser-Moden
 Zoom in die Mandelbrotmenge (Video-Demo)
 Videofeedback
-

- 26A/B Die Erzeugung von Mandelbrot- und Julia-Mengen
 Chaos-Musik: Mandelbrot vertont
 Computer-Demonstrationen
 Ein Trip durchs Julia-Mandelbrot-Panoptikum
-

KAPITEL 8: Lebens-Spiele und mathematische Genome Simulationen evolutionärer Prozesse

- 27A Selbstorganisation von Mustern im komplexen Parameter-Raum
 Barnsley-Prozesse (Computer-Demonstrationen):
 "Foggy Coastlines"
 "Ornate Triangulations"
 "Square Julia Sets"
-
- 27B Das Life-Game von Conway
 Regeln, Beispiele, Computer-Demonstration
 Statistische Schwankungen
 Stochastische Evolutionsspiele nach M. Eigen
 Computer-Demonstration
 Zufall und Notwendigkeit
-
- 27C Variationen und Mutationen
 Die Theorie der Zellulären Automaten (Wolfram)
 Computer-Demonstrationen
 Periodische, chaotische und andere Muster
-
- 28A Verblüffende Zaubereien aus dem "Kreativ-Studio"
 Mathematische Genotypen, Phänotypen und Modifikationen
 Martin-Muster (Computerdemonstrationen)
 Folgerungen
-
- 28B Conetts Tapeten-Fabrik
 Computer-Demonstrationen
-

KAPITEL 9: Seltsame Attraktoren und Oszillatoren Simulationen mehrdimensionaler dynamischer Systeme

- 29A Der Lorenz-Attraktor und seine Bedeutung (II)
 Der Schmetterlings-Effekt
 Computer-Demonstration und Animation
-
- 29B Der Rössler-Attraktor
 Der Hénon-Attraktor *
 Der Attraktor der Belusov-Reaktion *

Der Gumowski-Mira-Attraktor *
 Der Verhulst- und der Duffing-Attraktor *
 Oszillatoren
 Der Begriff des Grenzyklus
 Seltsame Kurven in der klassischen Algebra
 Der van der Pol'sche Oszillator
 Das System von Ueda-Akamatsu
 Das Holmes-Steeb-Modell
 Computerdemonstrationen
 Das Räuber-Beute-System von Lotka-Volterra
 Das Dreitlein-Smoes-Modell für chemische Kinetik
 Der Brüsselator nach Prigogine
 Shaws tropfender Wasserhahn *
 Das Neuronen-Modell von Hopfield *
 Computerdemonstrationen

30A/B Dia-Schau

KAPITEL 10: Schlussbetrachtungen und Ergänzungen

Nachträge Über Tesselationen und Kachelungen
 Penrose-Kachelungen
 Symmetrie, Symmetriebruch und Bifurkation
 Gleichgewichte und Evolutionen
 Nochmals: Der Brüsselator
 Eigens Hyperzyklen
 Ergänzungen zur Katastrophentheorie
 Katastrophen in der nichtlinearen Dynamik
 Der genetische Code
 Mikro- und Makro-Evolution
 Die Ideen von Jantsch und Cramer
 Der gegenwärtige Stand der Chaos-Forschung
 Ausblicke und Schlussfolgerungen
 Ethik und Politik der Ökologie
 Der Wandel des Bewusstseins

* Nicht in der Tonaufzeichnung