

---

Friedrich Cramer

# Chaos und Ordnung

Die komplexe Struktur  
des Lebendigen

Deutsche Verlags-Anstalt  
Stuttgart

# Inhalt

Anrede an den Leser 11.

Dank 13

## **1. Leben – Dynamik zwischen Ordnung und Zerfall**

Ein Gespräch zwischen Georg Christoph Lichtenberg und Meister Zettel über Chaos und Ordnung 14

Ordnungsstrategien – Für das Leben gibt es Baupläne 16

Formen 17 · Zellen 20 · Moleküle 24

Zerlegen und Zusammensetzen 29

Was heißt »Wachsen«? 29

Der hohe Ordnungsgrad des Lebendigen ist ein extrem unwahrscheinlicher Zustand 30

Das unmögliche Lebensgebäude 30

Gratwanderungen sind möglich 33

Dissipative Strukturen – Formenbildung durch Energieverbrauch 35

Kreisläufe – alles fließt 38

Vererbung – der materielle Traditionstrom 39

Die Doppelhelix – Information durch Moleküle 42

Die Eiweißstoffe – teure Präzisionsarbeit 46

Die Ordnung des Lebendigen kann man im Prinzip verstehen.

Versteht man sie wirklich? 50

Conrad Ferdinand Meyer: Der römische Brunnen 51

## **2. Biochemie – Vom Gewinn durch Chaos**

Dialog zwischen Georg Christoph Lichtenberg und Alice über Sinn und Unsinn 52

Proteinbiosynthese – Chaos-Vermeidungsstrategie und Gewinn von Regulierbarkeit 55

Proteinbeben – innere Spannungen der Moleküle entladen sich  
chaotisch und helfen beim Funktionieren 61

Zellen reden miteinander – aber es gibt Mißverständnisse 63

Die Befruchtung – nachdem sich die Partner gefunden haben, müssen auch  
noch deren Keimzellen richtig zueinander finden 64

Gewebebildung – Zelloberflächen rasten ein wie LEGO-Steine 66

Krebsmetastasen – das Einrasten von falschen Zellen 67

Nichtlinearität der Zell-Zell-Kontakte – ein Hauch von Chaos 70

Mutation – vom Gewinn durch Fehler 70

Hans Magnus Enzensberger: Blindenschrift 75

### **3. Gene, Genkarten, Gentherapie – ein Komplexitätsproblem**

Dialog zwischen Johann Wolfgang von Goethe  
und Charles Darwin über die Evolution, das Natürliche  
und das Göttliche 76

Gene kann man zerlegen und wieder zusammensetzen 84

Gene kann man lesen 87

Gene kann man im Reagenzglas vollkommen  
künstlich herstellen 89

Gene kann man verändern und wieder  
in den Organismus zurückgeben 90

Gentechnologie – Was ist technisch möglich? –  
Ein Positiv- und Negativkatalog 92

Veränderte Funktionen – neue Enzyme 92

Proteinproduktion 93

Neue Mikroorganismen 94

Neue Pflanzen 96 · Neue Tiere 97

Gentherapie – Was ist beim Menschen medizinisch möglich? 100

Genanalyse 100 · Genimplantation 103 · Gentherapie ist ein Eingriff  
in die Persönlichkeitsrechte des künftigen Menschen 104

Grenzen der Gentherapie – Verführung durch das Machbare 106

Warum extrakorporale Befruchtung? 107 · Gene und Geschäft 107

Nicht alles ist Biologie – Biologie ist nicht alles 109

Verhältnis von biologischer und geistiger Information –  
ein Rechenexample 109 · Welche Reaktionen gibt es auf die  
Herausforderungen der modernen Wissenschaft? 111

Ezra Pound: Bei Usura 114

## **4. Evolution – Stammbäume und Blitze**

- Dialog zwischen Georg Christoph Lichtenberg und Albert Einstein über Kausalität, Blitze und die Berechenbarkeit der Welt 116  
Die Evolution der Arten – phylogenetische Stammbäume 120  
Molekulare Evolution – Eigens Theorie der Hyperzyklen 125  
Evolutionäre Erkenntnistheorie – Was können wir wissen? 131  
    Die Vorderseite und die Rückseite des Spiegels 131  
    Ideologisierung des Evolutionsbegriffes: Evolutionismus 133  
Stammbäume mit Rückkopplung zur Feinststeuerung 135  
    Die Ontogenese der Nematoden 135 · Die Blutgerinnung 135  
    Erzeugung der Antikörper durch klonale Selektion 138  
    Verstärkung von Enzymen durch Aktivierungskaskaden 138  
Bäume und Blitze 142  
Struktur und Fluktuation – Prigogines Theorem 147  
Gottfried Benn: Durchs Erlenholz kam sie entlang gestrichen ... 153

## **5. Mathematische und physikalische Modelle für deterministisches Chaos**

- Dialog zwischen Georg Christoph Lichtenberg und Ludwig Wittgenstein über die Systemeigenschaften des Lebendigen und des Denkens 154  
Was ist Chaos? Bifurkationspunkte dissipativer Strukturen 158  
Morphogenese und »Katastrophenmathematik« 160  
Das Dreikörperproblem – Das Doppelpendel 163  
Die Ringe des Saturn 167  
Gebrochene Dimensionen 172  
Sarah Kirsch: Der Rest des Fadens 177

## **6. Die Welt ist harmonisch**

- Heinrich von Kleist berichtet von einem Dialog mit dem Ballettmeister C. über das Marionettentheater 178  
Die Harmonie der Sphären – Kepler hat doch recht 182  
Das Apfelmännchen – Über die Schönheit von Fraktalen 185  
Warum ist die Natur schön? – Von Blüten und Früchten 192

Die zerbrechliche Schönheit – ein neuer Kunstbegriff 203  
Palindrome – Inseln der Ordnung in der genetischen Schrift 207  
Paul Celan: Psalm 211

## **7. Urknall – Idee oder Materie?**

Dialog zwischen Werner Heisenberg und Wolfgang Pauli über Physik, Metaphysik und Religion 212  
Der Urknall – ein reales, physikalisches Ereignis? 216  
Newton und Darwin 219  
Die Komplexität des Lebendigen 222  
Selbstorganisation 224  
Selbstorganisation durch inhärente Eigenschaften 224  
Selbstorganisation in der Ontogenese 224  
Echte Selbstorganisation 228  
Selbstorganisation als physikalisches Prinzip 228  
Das Evolutionsfeld 230  
Der Materiebegriff muß revidiert werden 235  
Gottes Schöpfung 239  
Rainer Maria Rilke: Herbst 241

## **8. Altern und Sterben – unsere Zeit**

Dialog zwischen Sokrates und seinem Schüler Kebes über das Sterben und das Leben nach dem Tode 242  
Klassische Physik – die Ausklammerung der Zeit 246  
Zeit und Entropie – die prozessuale Zeit 249  
Altern und Sterben – ein biochemisches Problem? 256  
Altern – Schicksal oder Krankheit? 263  
Dürers Mutter – Gedanken über die Würde des Alters 265  
Johann Wolfgang von Goethe: Selige Sehnsucht 269

## **9. Fundamentale Komplexität – prinzipielle Grenzen**

Dialog zwischen Georg Christoph Lichtenberg und dem Prinzen Hamlet über das Prinzipielle und den insulären Charakter unseres Wissens und unserer Existenz 270

## Was heißt komplex? 275

Definition von Komplexität 275

Abgestufte Komplexitätsgrade – fundamentale Komplexität 277

## Zeitgeist und Evolution – Gedanken zum Verhältnis

von Geschichte und Naturgeschichte 286

Abschied vom Prinzipiellen – Über die Unmöglichkeit,  
Beweise zu beweisen 294

Einige Folgerungen für unsere Gesellschaft  
und für künftige Forschung 298

Freiheit und Beliebigkeit – Vertrauen: doch ein Prinzip 298

Evolutionsbiologie als Forschungsgegenstand 300

Unser Gehirn – ein komplexes Organ zur Reduktion von Komplexität 300

An den Grenzen der Wissenschaft 303

## Wir Inselbewohner –

Über das schöne Leben auf den ArchipeLEN 304

Friedrich Hölderlin: Mnemosyne III 305

## Anhang

Anmerkungen 306

Register 315

Quellennachweise 320