

# Das Chaos – der Computer – die Form

## 1 Zufall + Regel = Gestalt

Der Zufall begegnet uns in Zeit und Raum. Im Würfelspiel tickt Wurf nach Wurf wie eine unregelmäßige Uhr. Den räumlichen Modus kann man aus der ursprünglichen Bedeutung von ›Chaos‹ verstehen, die mit dem deutschen Wort ›Gähnen‹ zusammenhängt: der weit geöffnete Abgrund, in dem Unordnung herrscht, gleichwohl sich Formen entfalten.

Beim zeitlichen Zufall fällt etwas, manchmal wortwörtlich: Der Würfel fällt, ebenso die Kugel im Roulette, die Regentropfen fallen, alle, wie sie wollen. Womit wir auf den Zusammenhang von ›Zufall‹ mit ›Freiheit‹ stoßen: als säße im Roulette ein Dämon, der aus eigenem Willen frei entscheidet, wohin die Kugel rollt, so daß sie schon mancher Spieler beschworen hat: ›Dorthin sollst du!‹

Freilich kann man den Zufall überlisten, indem man ihm Schranken setzt. Das beweist der durch einseitige Beschwerung gefälschte Würfel: Jetzt kommt die Sechs öfter. Einschränkung führt zu mehr Ordnung, weniger Unordnung, oder – wie Physiker, Informationstheoretiker und auch Ästhetikforscher sagen: zu weniger Entropie und mehr Information<sup>1, 2</sup>. Die Gewichtsverlagerung im Würfel bezeichnet man als eine Zwangsbedingung. Was aber den Zwang erzwingt, ist die Befolgung von Regeln. Daß die Einführung von Regeln zu Gestaltung und Gestalten führt, wollen wir jetzt beweisen.

Eine harmlose Variante des Chaos malt beim beginnenden Regen das Tropfenmuster aufs Straßenpflaster. Dies ahmen wir nach, fügen jedoch zwei Regeln hinzu: 1. Das Quadrat tritt an die Stelle der Kreisform. 2. Die quadratischen Regentropfen fallen nie aufeinander, sondern plazieren sich alle adrett nebeneinander. Unsere erste Figur zeigt oben eine Tropfenverteilung, wie sie der künstliche Regen hervorbringt. Dieses Bild könnte auch unwesentlich anders aussehen, m. a. W. eine veränderte Gestalt derselben Form darstellen.

Zur Gewinnung von Figur 1 haben wir einen Computer so programmiert, daß er die vereinbarten Regeln einhält. Wie aber simuliert der Computer den Zufall? Hier nutzt man einen Sachverhalt, der im felsenfesten Fundament unserer Welt verankert ist: Der Zufall ist durch mathematische Regeln fast ideal modellierbar, deshalb ist er auch programmierbar. Das kann man selbst nachprüfen, falls man einen Taschenrechner zur Hand hat, der das Wurzelziehen beherrscht. Wenn man nämlich mit 2 beginnend und mit 3, 4, ... fortfahrend jeweils eine Zahl eingibt, dann nach dem Drücken der Wurzelaste vom Resultat die dritte Stelle nach dem Dezimalpunkt notiert, so erhält man nacheinander die als Zufallsreihe recht gut brauchbaren Zahlen 4, 2, 0, 6, 9, 5, 8, 0, 2, 6, 4, 5, 1, 2, 0, 3, 2, 8, 2, 2, 0, 5, 8, 0, 9, 6, 1, 5, 7, ...

<sup>1</sup> Max Bense, *Aesthetico*. Baden Baden 1965.

<sup>2</sup> Rudolf Arnheim, *Entropie und Kunst*. Köln 1979.



Fig. 1a.  
Ein künstliches  
Regentropfenmuster.  
Nebeneinander-  
fallende Tropfen.

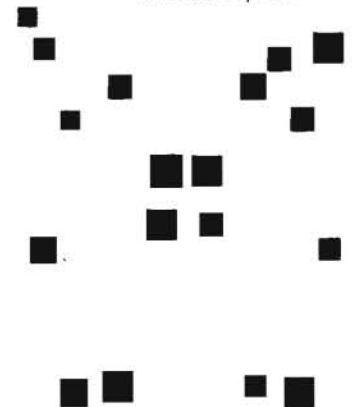


Fig. 1b.  
Irritierte  
Spiegelung

<sup>3</sup> Konrad Zuse, Der Computer mein Lebenswerk. München 1970.

<sup>4</sup> Georg Nees, Generative Computergraphik. Berlin München 1969.

<sup>5</sup> Benoît B. Mandelbrot, Die fraktale Geometrie der Natur. Basel 1987.

Mit einem ähnlichen ›Zufallsgenerator‹ bestimmt der Computer auch die Lage der Punkte in Figur 1.

Herausragende Zwangsbedingungen erzeugt die Bildspiegelung an der Senkrechten. Man realisiert diese Symmetrie z. B. durch Falten eines tintenbenäßten Papierblatts. Daß diese Operation eine Informationsflut hervorrufen kann, demonstriert der bekannte Rorschachtest. Wir haben in Figur 1 unten eine ›irritierte‹ Variante der Spiegelsymmetrie durch Hinzufügen einer weiteren Regel produziert: Nur wenn der gespiegelte Regentropfen zwischen die anderen fällt, dann soll er erscheinen. Aus diesem Experiment erschließen wir eine Regel über den Regeln, d. h. eine Metaregel: Je mehr Regeln man dem Zufall aufprägt, desto stärker werden die erzeugten Gestalten determiniert und ›stilisiert‹.

Zum chaotischen Regentropfenmuster gibt es ein Gegenstück, das seinerseits ein umfangreiches Repertoire von zufälligen Formen hervorbringt, nämlich den Irrweg. In Figur 2 sieht man zweihundertachtzig geschlossene Irrwege, die alle jeweils acht Punkte miteinander verbinden. Dieses Bild entstand übrigens im Herbst 1964 auf dem rechnergesteuerten Zeichentisch GRAPHOMAT des deutschen Computerpioniers Konrad Zuse<sup>3, 4</sup>.

Auch Irrwegen können natürlich mannigfache Zwangsbedingungen hinzugefügt werden. So hat Max Bense in sein Hauptwerk ›Aesthetica‹ eine Zeichnung von Wols aufgenommen, die ebenfalls einen aus Geradenstücken zusammengesetzten Irrweg darstellt. Wols hat freilich bestimmte Strichrichtungen bevorzugt, so daß kein Betrachter der figurativen Assoziation ›aufrecht stehender Mensch‹ entgehen kann<sup>1</sup>.

## 2 Fraktale im Chaos

Die Computersimulation des Würfels ermöglicht die Modellierung erstaunlich komplexer ästhetischer Information. Seit etwa zehn Jahren wird unsere Aufmerksamkeit jedoch auf geometrische Formen gelenkt, deren chaotische Unruhe nicht auf den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitstheorie beruht. Daß der Zufall dann doch wieder ins Spiel kommt, werden wir später sehen. Der französische Mathematiker Benoît B. Mandelbrot hat jenen außergewöhnlichen – übrigens keineswegs neuen – Formen den Namen ›Fraktale‹ gegeben, den er vom lateinischen ›frangere‹, also ›zerbrechen‹ herleitet<sup>5</sup>. Mandelbrot, sicher der wichtigste Vorreiter der Fraktalforschung, begründet diese Namensgebung durch den Hinweis auf repräsentative Vertreter der Fraktalität, z. B. Küstenlinien und Bergmassive. An ihnen beobachtet man nämlich eine Zerlegbarkeit in Teile, deren Gestalteeigenschaften sich in aufeinanderfolgenden Größenordnungen wiederholen: Ein Meeresbusen von einhundert Kilometer Länge kann in zahlreiche Bögen untergliedert sein, innerhalb deren sich Einsprünge über mehrere hundert Meter hinziehen, wo man wiederum Badebuchten findet, die ihrerseits... – und immer noch kann man unterteilen. Beim Bergmassiv, ja sogar der Wasserwelle, drängt sich eine ähnliche Zergliederung auf. Auch Bäume, Flußdeltas und Blitze sind aufgrund der Gestaltähnlichkeit auf verschiedenen Verzweigungsstufen fraktaler Natur.

Hält man die Selbstähnlichkeit der Teile als das Kennzeichen der Fraktalität fest, dann findet man zahlreiche Fraktalformen auch in der Kunstgeschichte. Jeder Turm, dem man Türmchen aufgesetzt hat, ist fraktal. Das Bild ›Herodes aus Kinderleichen‹ aus der Arcimboldi-Schule ist es ebenfalls. Mehrstufige Fraktalität zeigt das gemalte



Fig. 2. 280 geschlossene Irrwege.  
Abgedruckt aus:  
G. Nees, Variationen von Figuren in der statistischen Grafik. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft. Dezember 1964.

Bauwerk ›Zusammengesetzte Kirche‹ des Desiderio Monsù, ja hier reflektiert der Titel das Fraktalitätsprinzip<sup>6</sup>. In unserer Zeit malte Salvador Dali wiederholt fraktal. Der herausragende Konstrukteur von Fraktalen jedoch ist Paul Klee. Man findet Kleesche Fraktale zahlreich in den ›Bauhausvorlesungen‹ auf der Ebene der geometrischen Skizze, aber auch in den größeren Bildern, z. B. ›Betroffener Ort‹ (1922) und ›Stadtburg‹ (1932)<sup>7</sup>.

Die Verteilung der Punkte und Örtter in Fraktalen weist oft derartige Verwickeltheit auf, daß man um die Charakterisierung als »chaotisch« nicht herumgekommen ist<sup>8</sup>. Auch in Physik, Chemie, Biologie, Wirtschaftstheorie haben Wissenschaftler bei der Untersuchung dynamischer Vorgänge Fraktale entdeckt. Die verwirrenden Zahlenmengen, die den Bau solcher Gebilde beschreiben, bezeichnen die Theoretiker mit Recht als Chaos. Auch die Forscher hat die Einfachheit vieler mathematischer Prozesse überrascht, die Chaos hervorbringen. Manchmal bestehen sie aus nicht mehr als der Wiederholung einer simplen Rechenvorschrift. Wieder kann der Leser dies selbst überprüfen, indem er die Zahl  $x = 0,5$  in seinen Taschenrechner eintastet, dann die Rechenregel

$$\begin{array}{l} \text{Neues } x = 3,7 \text{ mal altes } x \\ \text{minus} \\ 3,7 \text{ mal altes } x \text{ mal altes } x \end{array}$$

immer und immer wieder anwendet. Durch fleißiges Knöpfedrücker entläßt dieses Rechenrezept nacheinander folgende Zahlen, die wir der Anschaulichkeit halber alle mit dem Faktor 1000 malnehmen:

500, 925, 257, 706, 768, 659, 831, 519, 924, 261, 713, 757, 681, 803, ...

Das sieht wie eine Zufallsreihe aus, residiert jedoch im logisch-ästhetischen Bau der Weltordnung mindestens ein Stockwerk höher: Es ist ein mathematisches Chaos. Tatsächlich stimmt die Rechenvorschrift, der wir folgten, mit einer speziellen Anwendung der berühmten Verhulst-Gleichung für die Bevölkerung einer biologischen Spezies in einem festen Areal überein: 500 Exemplare jetzt, in der nächsten Generation 925 und so fort<sup>9</sup>.

Viel kann man mit der Zahlenwurst zunächst nicht anfangen, die wir jetzt besitzen. Um etwas zu ›sehen‹, braucht man eine ›Chaoserkundung‹: Wir führen unsere Rechenvorschrift nicht allein für 3,7, sondern für viele eng gedrängte Werte zwischen 3,5 und 3,8 aus. Dann ordnen wir die resultierenden Zahlenfolgen auf einem Uhrzifferblatt an, jede Zahlenfolge bei ihrer eigenen »Uhrzeit«, nämlich mit 3,5 bei null Uhr beginnend, mit 3,8 bei zwölf Uhr endend. Figur 3 zeigt die aus dem Chaos aufsteigende Ordnung: ein Fraktal mit der Verzweigungsstruktur eines Baums. Den Radius für den Wert 3,7 haben wir eigens markiert.

### 3 Ein Chaospiegel

Die Form in Figur 3 ist ein Beispiel aus der Mannigfaltigkeit der ›analytischen Fraktale‹, die in den Natur- und Gesellschaftswissenschaften untersucht werden. Wir haben aber schon verstanden, daß der Künstler selbst Fraktale erfinden und gestalten kann. Darüber hinaus sind Fraktale bekannt, die ebenfalls konstruktiv beeinflussbar, gleichzeitig jedoch streng geometrischer Natur sind. Unüberschaubar viele Gebilde

<sup>6</sup> Gustav R. Hocke, Die Welt als Labyrinth. Hamburg 1957.

<sup>7</sup> Paul Klee, Das bildnerische Denken. Basel 1964.

<sup>8</sup> John Briggs, F. David Peat, Die Entdeckung des Chaos. München Wien 1990.

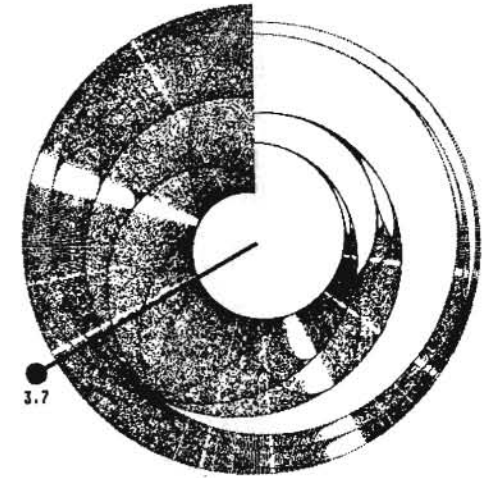


Fig. 3. Ein Verhulst-Fraktal.

<sup>9</sup> Michael Barnsley, Fractals everywhere. San Diego CA 1988.

<sup>10</sup> Irvin Rock, Perception. New York 1984.

dieser Art entstehen aus den ›Chaosspielen‹, wie sie Michael Barnsley veröffentlicht hat<sup>9</sup>. Eine Variante jener Spiele kann man so beschreiben: Wie in Figur 4 links sichtbar, stehen drei Spieler Andy, Bert und Carl auf einem Spielfeld an markierten Standorten. Andy nennen wir den 48-Prozent-208-Grader, die anderen bekommen ähnliche Titel. Bei Spielbeginn liegt eine Bocciakugel zwischen den dreien. Jetzt geht Andy zur Kugel und rollt sie näher zu seinem Standort, er verkürzt ihre Entfernung nämlich um 48 Prozent des ursprünglichen Werts. Dann rollt er die Kugel auf einem Kreisbogen um seinen Standort, genau um 208 Winkelgrad. Als letzten Spielzug wählt Andy willkürlich zwischen Bert und Carl, bestimmt also einen der beiden zu seinem Nachfolger, sagen wir: Carl. Hier greift folglich der Zufall ein: Dionys irritiert Apoll.

Nun wissen wir schon, was Carl unternehmen wird: Er geht zur Kugel usw. Wir haben die sechs ersten Bewegungen der Bocciakugel in Figur 4 links eingezeichnet. Wenn man aber alle Kugelorte für ein längeres Spiel auf dem Papierblatt aufträgt, dann erhält man ein fraktales Chaos, mit Selbstähnlichkeit sogar im Kleinsten; man sieht es in Figur 4a und b links.

Dieses Chaosspiel, das nichts anderes als eine besondere Chaoserkundung ist, funktioniert ebenso mit mehr als drei Spielern. Je mehr Spieler mitwirken, desto verwickelter wird allerdings das Resultat, das außerdem von der Wahl der Spielerstandorte, der Verkürzungsfaktoren und Drehwinkel abhängt. Eine Fülle von Einflußgrößen wirkt in der Morphogenese dieser ›synthetischen Fraktale‹.

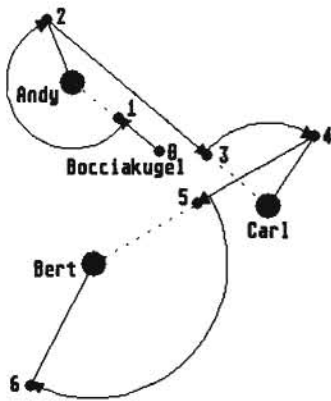


Fig. 4a.  
Ein Chaosspiel  
mit 3 Spielern.  
Die ersten  
7 Orte der Kugel.

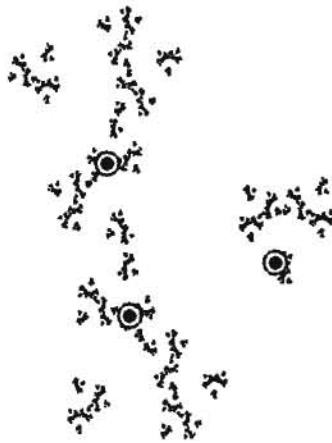


Fig. 4b.  
Ein Chaosspiel  
mit 3 Spielern.  
Das erzeugte Fraktal.

#### 4 Ästhetik und visuelle Erkenntnis

In einem Berliner Hotel habe ich dies erlebt: Vom Frühstücksraum in die Halle tretend, sah ich deutlich eine ältere Dame, würdig in regloser Haltung in einem Sessel sitzend, mit vollem schlohweißem Haar. Ich kam näher und – da war nur eine Stehlampe mit hellem Schirm hinter dem leeren Sessel. Soche Täuschungen illustrieren die ›Problem-Solving-Theorie‹ des Sehvermögens: Das Sehen umfaßt einen Prozeß, der die durch die Pupillen hereinkommende Ur-Information als Problemstellung akzeptiert, dann dem Bewußtsein eine ›jeweils beste Lösung‹ vorlegt<sup>10</sup>. Weil der Einzelne seine Lösungsvorstellungen in den Diskurs einspeist, akzentuiert diese Theorie die seit Immanuel Kant dem philosophischen Denken mindestens als Hypothese präsente Lehre: Unsere Objektwelt ist die gemeinsame Leistung erkennender Subjekte.

Was aber haben Zufall und Chaos mit den Grundproblemen der Ästhetik zu tun? Um die Invarianten hinter den wandelbaren Gestalten ausfindig zu machen, analysiert der Sehsinn auch das ›Rauschen‹ in der Information. Dient die Wahrnehmung nun der ästhetischen Intention, dann werden Informationsstörungen nicht schlicht zugunsten pragmatischer Bedeutungsfindung eliminiert, sondern es kommt zu stabilen Synthesen aus der Form und ihrem sinnlichen Kleid, mit allen Flickern und Flecken, gerade durch Nutzung des hier und jetzt Kontingenten. Die autonome Problemlösung des Auges verbündet sich mit den gestaltenden Energien der Gesamtperson. Ist dies der Künstler, dann stehen wir vor den Geheimnissen der kreativen Phantasie. Der Experimentator am Computer jedoch gewinnt ein weiteres Prinzip der Bildformung: Mit viel Geduld sichtet er kritisch die Gestaltungen, die ihm die aleatorische Maschine in endloser Reihenfolge vorlegt. Hier findet Kooperation statt, zwischen den mächtigen Leistungen unserer visuellen Intelligenz an einer, den relativ schwachen Kräften des Computers an einer zweiten Stelle eines erstaunlichen Kommunikationszyklus.

Visuelle Form als solche ist Geometrie. Deshalb sollen Künstler und Ästhetiker am Fortschritt geometrischen Denkens teilhaben, ja sie müssen in seinen Entfaltungsprozeß eingreifen, dabei aber jede Scheu vor dem Maschinenhelfer ablegen.