

# Produzieren nach Regeln der Natur

Der ungarisch-amerikanische Mathematiker John von Neumann (1903-1957) ist vor allem bekannt durch seine 1932 veröffentlichten Arbeiten zur Quantenmechanik. Er gilt jedoch auch als Vater der zellulären Automaten, eines algorithmischen Verfahrens zur formalen Beschreibung und Simulation prozessualer Vorgänge in der Natur, die auch von Musikern angewendet werden, um Kompositionsverläufe zu konstruieren. Sein 1946 vorgeschlagenes Konzept zur Entwicklung eines universellen Rechners, der wissenschaftlichen, technischen und kommerziellen Anforderungen gerecht wird, ist zum größten Teil noch das Funktionsprinzip (Von-Neumann-Prinzipien) von heutigen Computern. Neumann: »In der Natur fällt ein Merkmal auf – eine Art *circulus vitiosus* –, das seinen einfachsten Ausdruck darin findet, daß komplizierte Organismen sich selbst fortpflanzen können. Wir neigen alle dazu, etwas vage zu vermuten, daß es den Begriff der ›Kompliziertheit‹ gibt. Dieser Begriff und seine mutmaßlichen Eigenschaften sind niemals klar formuliert worden. Wir sind jedoch immer versucht anzunehmen, daß sie sich in folgender Weise auswirken. Wenn ein Automat bestimmte Tätigkeiten ausführt, muß man damit rechnen, daß sie weniger kompliziert sind als der Automat selbst. Ist ein Automat fähig, einen anderen zu bauen, dann muß die Kompliziertheit auf dem Weg vom Vater zum Sohn abnehmen. Wenn A einen Automaten B hervorbringen kann, muß A in irgendeiner Weise eine vollständige Beschreibung von B enthalten. [...] In diesem Sinne würde man wohl mit einer gewissen Degenerationstendenz rechnen, nämlich damit, daß ein Automat, den ein anderer erzeugt, weniger kompliziert ist als dieser.

Obwohl diese Überlegungen irgendwie glaubwürdig klingen, stehen sie doch in offenem Widerspruch zu den augenfälligen Vorgängen, die sich in der Natur abspielen. Organismen pflanzen sich selbst fort, das heißt, sie produzieren neue Organismen, die ebenso kompliziert sind wie sie selbst. Überdies gibt es lange Evolutionsperioden, in denen die Kompliziertheit sogar gestiegen ist.<sup>1</sup>

Der vorliegende Text beschäftigt sich mit wenigen außermusikalischen Algorithmen, die jedoch von Musikern angewendet werden.

## Zelluläre Automaten

Neumann gelang ein Entwurf der Ableitung eines Satzes, der die Selbst-Fortpflanzung betrifft<sup>2</sup>, das heißt, inwieweit ein Automat selbständig einen anderen Automaten konstruieren kann und wie diese miteinander agieren. Wesentlich ist dabei die Anordnung der einzelnen Automaten zueinander. Durch solche Anordnungen lassen sich bestimmte Eigenschaften aktivieren. Häufig sind zweidimensionale Anordnungen, was sich als ein unendliches Schachbrettmuster beschreiben läßt: jedes Quadrat des Schachbrettes wäre ein autonomer Automat, der über die Kanten mit den benachbarten Automaten in Kontakt tritt. Bekannt geworden ist bei dieser Anordnung das 1968 von dem Mathematiker John Horton Conway erfundene (Computer-)Spiel *Life*, dem Spiel des Lebens. *Life* besteht nur aus zwei Regeln:

1. Eine lebende Zelle überlebt zur nächsten Generation, wenn zwei oder drei benachbarte Felder besetzt sind; ist dies nicht der Fall, so stirbt sie.
2. Eine Zelle wird geboren, wenn sie genau drei lebende Nachbarn hat.

Das Spiel des Lebens ist höchst determiniert: Startet man mit demselben Ausgangsmuster, so entstehen immer dieselben Gebilde. Das Faszinierende dabei ist jedoch, daß es keine Möglichkeit gibt, das Endergebnis einer Konfiguration vorherzusagen. Zelluläre Automaten werden gerne zur Simulation dynamischer Systeme eingesetzt wie beispielsweise die Bewegung von Flüssigkeiten. Jede Zelle wäre ein Teilchen der Flüssigkeit, die einzelnen Teilchen beeinflussen sich gegenseitig durch Anstoßen, Austausch etc. und bestimmen durch diese Aktionen das Gesamtverhalten der Flüssigkeit. Dadurch, daß jede Zelle gleichzeitig auf mehrere Nachbarn wirken und auch gleichzeitig von mehreren Nachbarn beeinflusst werden kann, können sich die überschaubaren, elementaren Wirkungen in der Nachbarschaft einer Zelle unvorhersehbar auf das gesamte System auswirken. Seit Beginn der 1980iger Jahre wird das Verhalten von dynamischen Systemen mit Hilfe von zellulären Automaten beschrieben.<sup>3</sup>

Die Idee der zellulären Automaten hat verschiedene Musiker angeregt, kompositorische Prozesse damit zu modellieren. So bemerkte Peter Beys: »As a composer I am interested in models of evolution and growth rather than in theories for structural design.«<sup>4</sup> Den zeitlichen Verlauf einer Komposition mit Hilfe von

1 John von Neumann, *Allgemeine und logische Theorie der Automaten* [1951] in: *Kursbuch 8: Neue Mathematik, Grundlagenforschung, Theorie der Automaten*, hrsg. v. Hans Magnus Enzensberger, Frankfurt/M. 1967, S. 139-175, hier S. 167 u. 168.

2 Ebenda S. 172 ff.

3 Brian Hayes, *Zelluläre Automaten*, in: *Spektrum der Wissenschaft* (Sonderheft, *Computer-Kurzweil II* 1988), S. 60-67. Stephen Wolfram, *Software für Mathematik und Naturwissenschaft*, in: *Chaos und Fraktale*, Heidelberg 1989, S. 186-197.

4 Peter Beys, *The Musical Universe of Cellular Automata*, in: *International Computer Music Conference (ICMC)* in Columbus, Ohio, San Francisco 1989, S. 34-41, hier S. 35.

zellulären Automaten zu berechnen, kann sich sowohl auf die Komposition des Klanges als auch auf einen größeren Formverlauf beziehen. Interessant ist dabei sicherlich, daß nicht vorhergesagt werden kann, wie sich ein zunächst festgelegtes, musikalisches Muster entwickeln wird. Und Iannis Xenakis stellte fest: »Wie kann man komplexe Strukturen, die sehr streng und mächtig sind im ästhetischen Sinne, mit einem Minimum von Mitteln konstruieren? Vielleicht ist das eine Idee, die für mich immer gilt.«<sup>5</sup>

Die von ihm entlehnten mathematischen Verfahren zur Berechnung musikalischer Strukturen, beispielsweise Poisson-Verteilung, Modulor von Le Corbusier, Regelflächen und Hyperbolische Paraboloide, Kombinatorik, Rang-Korrelate, Lineare Verteilung, Normalverteilung, Entropie, Siebtheorie, sind oftmals Verfahren, die ursprünglich der formalen Beschreibung von Vorgängen in der Natur dienen. Zelluläre Automaten sind für Xenakis ein Werkzeug, seine Idee zu verwirklichen, komplexe Strukturen mit einem Minimum von Mitteln zu konstruieren. 1989 meinte Xenakis in einem Gespräch mit Bálint András Varga dazu:

»Angenommen wir haben ein Gitternetz auf dem Bildschirm, mit vertikalen und horizontalen Linien, die zusammen kleine Quadrate, das heißt Zellen, bilden. Diese sind zu Beginn leer. Es ist die Aufgabe des Komponisten – ob er nun mit Bildern oder Klängen arbeitet – sie auszufüllen. Auf welche Weise? [...] In Übereinstimmung mit der Regel, die man aufgestellt hat, erweckt die ausgefüllte Zelle, sagen wir, eine oder zwei angrenzende Zellen zum Leben. Im nächsten Schritt wird jede Zelle wiederum einen Ton oder zwei Töne erzeugen. Die Regel hilft, das ganze Gitter auszufüllen. Das sind die zellulären Automaten. Es sind sehr einfache Regeln, mit denen sehr große Flächen strukturiert werden können. Das Verhalten von Flüssigkeiten gehorcht beispielsweise ähnlichen Regeln. Nun ist Klang für mich aber immer im zeitlichen Fluß begriffen, und das hat mich auf die Idee gebracht, hier ein Gebiet auf das andere zu übertragen. Ich war auch fasziniert von der Einfachheit des Verfahrens: ein iterativer, dynamischer Prozeß, der zu sehr reichhaltigen Ergebnissen führt.«<sup>6</sup>

Diese Überlegungen zu den Entwicklungsprozessen in zellulären Automaten hat Xenakis in seiner Komposition *Horos* (1986) umgesetzt. Dort bestimmen diese Entwicklungsprozesse den dynamischen Verlauf der Orchester-Cluster.<sup>7</sup>

## L-Systeme

L-Systeme nach dem Biologen Aristid Lindenmeyer basieren auf den Grammatiken des Linguisten Noam Chomsky. Während Chomsky-Grammatiken die Erzeugung von Sätzen einer Sprache formalisiert, werden bei Lindenmeyer Wachstumsprozesse von Pflanzen modelliert.<sup>8</sup>

Für Musiker gibt es zwei Gründe, die Anwendung von L-Systemen interessant werden zu lassen: Zum einen können die Wachstumsprozesse durch sehr einfache Konstruktionen der Ableitungsregeln formuliert werden. Zum anderen entstehen dabei nicht vorher-sagbare, meist selbstähnliche Erscheinungsformen, die mit tradierten Kompositionsmethoden nicht geschaffen werden könnten. Dabei spielt das durch die Chaostheorie populär gewordene Schlagwort Selbstähnlichkeit eine enorme Rolle. Dies geht so weit, daß heute häufig die Neigung besteht, bloß in der Selbstähnlichkeit bereits eine befriedigende Lösung der Formproblematik zu sehen. Doch meistens reicht die Verwendung von Kompositionsregeln wie den aus den L-Systemen abgeleiteten allein nicht aus, um eine in sich stimmige Komposition zu generieren.

Beispiel eines L-Systems mit nur zwei Ersetzungsregeln:

a -> b

b -> ab

Hier wird a durch b ersetzt und b durch ab. Das Symbol, mit dem die Ableitung beginnt, wird Axiom genannt. Wird mit a begonnen, entsteht folgende Symbolfolge:

a

b

ab

bab

abbab

bababbab

abbabbababbab

bababbababbabbababbab

...

Die Länge der Symbolketten wächst schnell und läßt sich bei diesem Beispiel als eine Fibonacci-Folge berechnen: Die jeweilige Länge ist die Summe der beiden davor liegenden Symbolketten, hier also 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ...

Hanspeter Kyburz verwendet L-Systeme für die kompositorischen Prozesse von *Cells* für Saxophon und Ensemble (1993-94). Er komponierte zunächst kleine musikalische Objekte, kleine Motive, die unabhängig voneinander im Rechner gespeichert sind und als Variable für die Anwendung der L-Systeme dienen. Wann welches musikalische Objekt, also welche Variable aufgerufen wird, bestimm-

8 Przemyslaw Prusinkiewicz und Aristid Lindenmeyer, *The Algorithmic beauty of Plants*, New York 1990.

5 Martin Supper, *Musik und Mathematik. Iannis Xenakis im Gespräch mit Martin Supper*, in *MUSIKFEST AKTUELL* (Internationales Musikfest Stuttgart), 21. 9. 1985, S. 25.

6 Bálint András Varga, *Gespräche mit Iannis Xenakis*, Zürich 1995, S. 185 und 186.

7 Siehe dazu: Peter Hoffmann, *Zelluläre Automaten als kompositorische Modelle. Sind Chaos und Komplexität musikalische Phänomene?* in: *Arbeitsprozesse in Physik und Musik*, hrsg. v. Akademie der Künste Berlin, Frankfurt am Main/Berlin 1994, S. 7-18.

men die Ableitungsregeln, die vom Komponisten konstruiert werden. Diese Regeln bestimmen den prozessualen Verlauf der Komposition. Sie sind dem Hörer nicht bekannt und können auch nicht hörbar nachvollzogen werden. Die prozeßorientierte Syntax der L-Systeme erzeugt jedoch die hörbare, selbst-ähnliche Zeitstruktur der Komposition, worin sich die eigentliche Formkonzeption dieses Kompositionsmodells zeigt. Bei der Anwendung von L-System muß vom Komponisten festgelegt werden, wann die Ableitungen terminieren sollen, da sie sich im allgemeinen unendlich fortspinnen.<sup>9</sup> ■

9 Martin Supper, *Elektroakustische Musik und Computermusik. Geschichte – Ästhetik – Methoden – Systeme*, Darmstadt 1997.

klangwerkstatt weimar  
Montag, 4. Dezember 2000, 20 Uhr  
Weimar, mon ami

# Portraitkonzert TORU TAKEMITSU

(1930 - 1996) zum 70. Geburtstag

RAIN SPELL (1982)

für Altflöte, Klarinette, Klavier, Harfe und Vibraphon

TOWARD THE SEA (1981)

für Altflöte und Gitarre

ITINERANT (1989)

- In Memory of Isamu Noguchi -

für Flöte solo

EQUINOX (1993)

guitar solo

QUATRAIN II (1986)

für Klarinette, Violine, Violoncello und Klavier

