

„Einige, mit denen ich darüber gesprochen habe, behaupten, die Maschinen könnten nie auch nur annähernd ein Eigenleben entwickeln, weil sie kein Fortpflanzungsvermögen besitzen. Wenn das heißen soll, dass sie nicht heiraten können und dass wir wahrscheinlich nie eine fruchtbare Ehe zwischen zwei Lokomotiven erleben werden, wobei die Kinderchen vor dem Tor des Schuppens herumtollen, dann lasse ich den Einwand gelten, so gerne wir dergleichen vielleicht erleben möchten. Der Einwand ist aber nicht sehr triftig. Niemand erwartet, dass alle Wesenszüge jetzt bestehender Lebensformen sich in einer ganz neuen Art von Leben genau gleich wiederholen werden. Die Fortpflanzungsart der Tiere unterscheidet sich merklich von der der Pflanzen, und doch handelt es sich in beiden Fällen um Fortpflanzung. Sollte die Natur nichts Neues mehr auf Lager haben?“

Samuel Butler (1872)

ARCHITEKTUREN MASCHINELLER SELBSTREPRODUKTION

GEORG TROGEMANN

In der Arbeitswelt wird heute nahezu jede Entwurfsarbeit – die des Architekten, des Ingenieurs wie auch die des Gestalters – computergestützt erledigt. Insofern sind wir es längst gewohnt nicht nur mit klassischen Materialien und deren Eigenschaften umzugehen, sondern gleichzeitig auch mit einem neuartigen Material Namens Information. Im Anhang 1, Homunkulus und Robot seines Buches »Das Bewusstsein der Maschinen« weist Gotthard Günther schon 1957 darauf hin, dass in Zukunft jeder (trans-klassische) Techniker mit zwei Materialdimensionen arbeiten muss. „Der prinzipielle Unterschied zwischen dem 'klassischen' und dem nicht-klassischen Techniker ist also der, dass der erstere mit einem Grundstoff arbeitet, der andere mit zwei, weil er seinem geschichtlichen Vorgänger nicht glaubt, dass sich der zweite, die 'Information', aus dem ersten ableiten lässt.“ Nun könnte man einwenden, dass jede bewusste Tätigkeit schon immer den Umgang mit Informationen erfordert hat. Es handelt sich bei computerbasierter Informationsverarbeitung aber

um einen neuen Informationstyp. Darauf verweist Vilém Flusser, indem er zwischen Dingen und Udingen unterscheidet: „Unsere Umwelt bestand noch vor kurzem aus Dingen: aus Häusern und Möbelstücken, aus Maschinen und Fahrzeugen, aus Kleidern und Wäsche, aus Büchern und Bildern, aus Konservenbüchsen und Zigaretten. Es gab damals auch Menschen in unserer Umwelt, aber die Wissenschaft hatte sie weitgehend objektiviert. Sie sind, wie alle übrigen Dinge, messbar, kalkulierbar und manipulierbar geworden. Kurz, die Umwelt war die Bedeutung unseres Daseins. Sich in ihr zu orientieren, hieß natürliche von künstlichen Dingen unterscheiden. [...] Leider ist das anders geworden. Udinge dringen gegenwärtig von allen Seiten in unsere Umwelt, und sie verdrängen die Dinge. Man nennt diese Udinge 'Informationen'. »Was für ein Unsinn«, ist man versucht zu sagen. Informationen hat es immer gegeben, und, wie das Wort 'In-formation' besagt, geht es um 'Formen in' Dingen. [...] Dieser Einwand ist nichtig. Die Informationen, die gegenwärtig in unsere Umwelt eindringen und die Dinge darin verdrängen, sind von einer Art, wie sie nie vorher bestanden hat: Es sind undingliche Informationen. Die elektronischen Bilder auf dem Fernsehschirm, die in den Computern gelagerten Daten, all die Filmbänder und Mikrofilme, Hologramme und Programme, sind derart 'weich' (Software), dass jeder Versuch, sie mit den Händen zu ergreifen, fehlschlägt. Diese Udinge sind, im genauen Sinn des Wortes, 'unbegreiflich'. Sie sind nur dekodierbar.“ Zwar müssen auch die neuen Informationen in die Dinge eingetragen zu werden, aber sie gehen dabei keine fest Bindung mehr mit dem Material ein, sondern bleiben flüchtig. Die neuen Informationen sind nicht nur undinglich und flottieren als Codes mühelos durch die Computernetze, zu ihrer Natur gehört auch eine allzeit gegenwärtige Doppelexistenz. Sie sind im inneren der Maschine digitale Zustände, konzeptionell notiert als Nullen und Einsen, auf den Oberflächen der Maschinen erscheinen sie jedoch für jeweils kurze Momente als wirkliche Bilder, Töne, Texte etc. Um für den Nutzer rezipierbar zu sein, müssen sie aus der ersten Existenz heraus dekodiert und auf Interfaces der Maschinen (Computer-Bildschirmen, Lautsprechern, Filmprojektoren etc.) in ihrer zweiten Existenz materialisiert werden. Doch computerbasierte Informationen sind sogar noch raffinierter. Sie codieren nicht einfach nur in uniformer Weise die alten Medien, sondern zusätzlich auch Programme, also Befehlssequenzen für Maschinen. Digitale Informationen informieren nicht mehr nur Menschen, sie instruieren auch

Maschinen. Während sich die digital codierten Informationen durch die Computernetze bewegen, werden sie ständig von anderen digitalen Informationsprozessen verarbeitet.

Gotthard Günthers Unterscheidung zwischen Homunkulus und Robot hat einen tieferen Kern, als nur die praktische Feststellung, dass sich zukünftige Techniker auf die gleichzeitige Arbeit mit zwei Materialdimensionen einstellen müssen, der klassischen Materie mit ihren charakteristischen Eigenschaften auf der einen und der Information auf der anderen Seite. „Es existiert aber ein sehr subtiler Unterschied zwischen der Idee des Homunkulus und der eines 'mechanical brain' ... ein Unterschied, der für den letzteren ein völlig neues Kulturapriori voraussetzt und eine transklassische Wissenschaftstradition impliziert. In der Idee des Homunkulus wird der Prozess, der zur Entstehung des Menschen und des vernünftigen Bewusstseins geführt hat, auf das genaueste wiederholt. [...] Die klassische Technik arbeitet, wie wir nur unermüdlich wiederholen können, mit zweiwertigen Kategorien. Das wirkt sich so aus, dass auf der einen Seite der homo faber steht, auf der anderen Seite sein Material mit seiner eigenen Gesetzmäßigkeit. Und er kann jene Gesetze in jenem Material nur passiv wirken lassen. Anders der trans-klassische Techniker, der mit einer dreiwertigen Logik arbeitet. Anstelle der ursprünglichen Dichotomie steht jetzt eine Trichotomie, in der das technisch gesinnte Denken zwei Materialdimensionen besitzt: erstens das ursprüngliche (irreflexive) klassische Material und zweitens das Material jener zweiten Realitätskomponente, die wir unter dem Namen 'Information' kennen gelernt haben. Damit verfügt er aber auch über ein zweites System von Gesetzen, mit denen er an seinen technischen Entwürfen arbeiten kann. [...] Das Wesentliche der transklassischen Technik besteht nun darin, dass man die Wirkungsweise der klassischen Gesetze moduliert, dadurch, dass man die trans-klassische Gesetzmäßigkeit gegen sie ausspielt. [...] In der Retorte spielt die Natur mit sich selbst. In der Schöpfung des Elektronengehirns aber gibt der Mensch seine eigene Reflexion an den Gegenstand ab und lernt in diesem Spiegel seiner selbst seine Funktion in der Welt begreifen.“

DIE ZWEI MATERIALDIMENSIONEN DES COMPUTERS

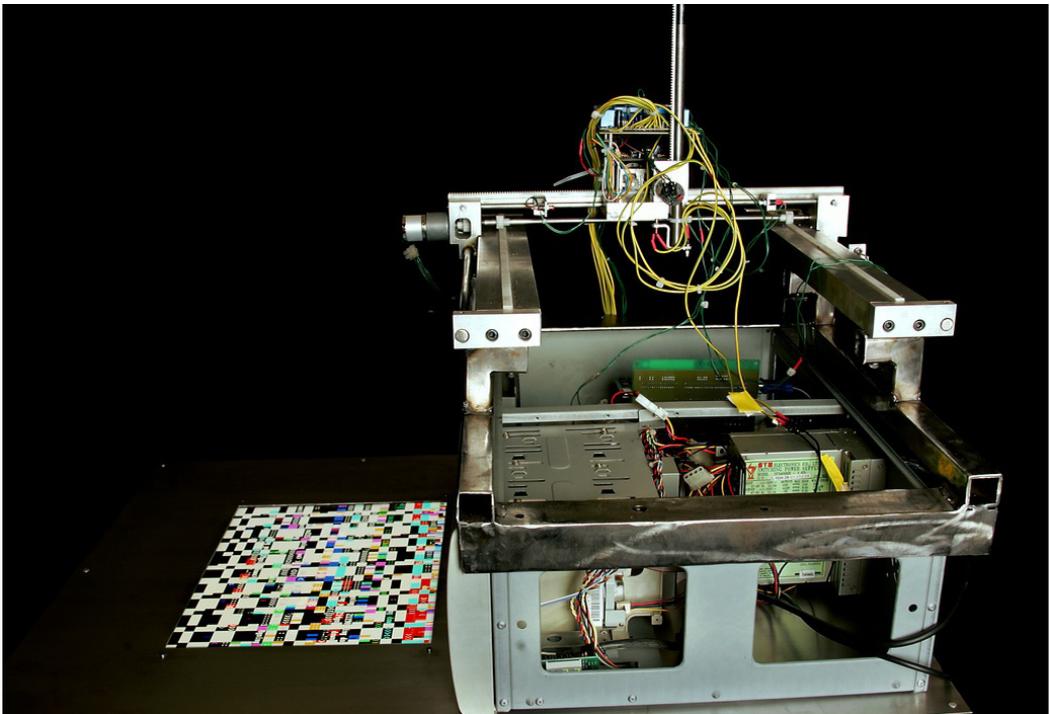
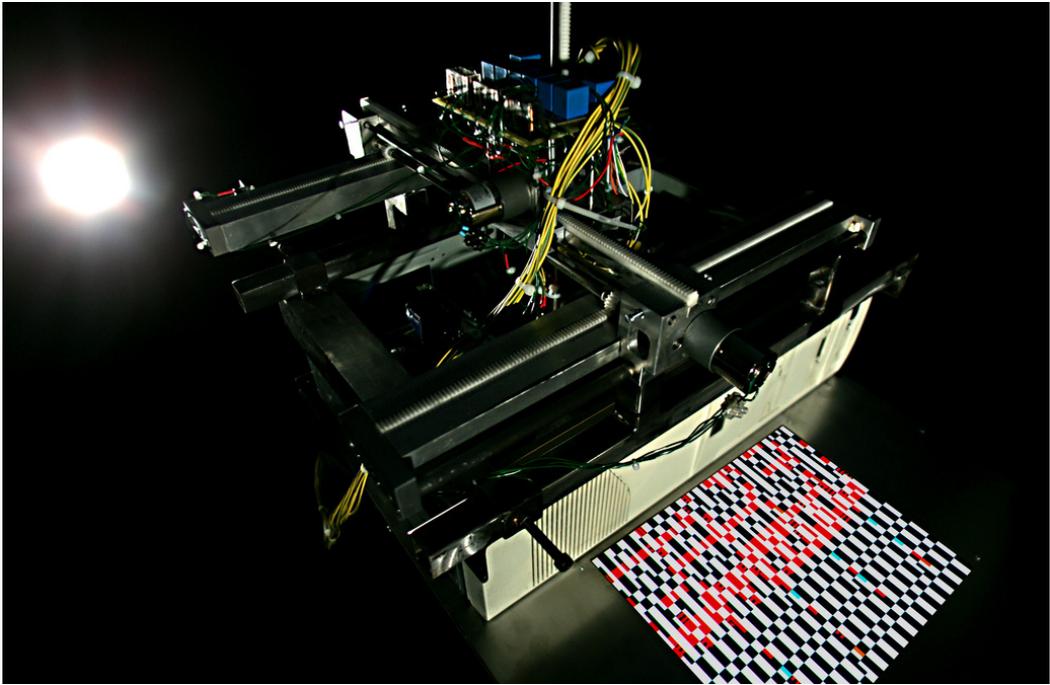
Vor diesem Hintergrund müssen wir den Computer als historisch neuartige Maschine verstehen, weil hier beide Materialdimensionen auf geniale Weise verbunden werden und doch gleichzeitig getrennt bleiben. Wenn wir die Günthersche

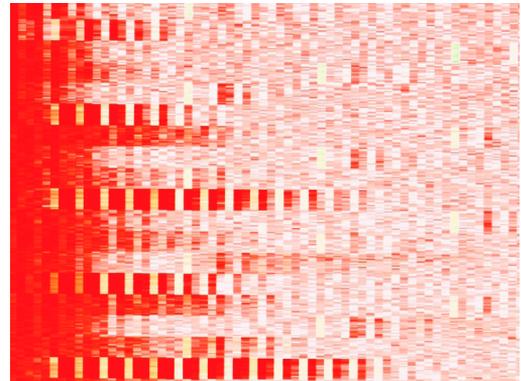
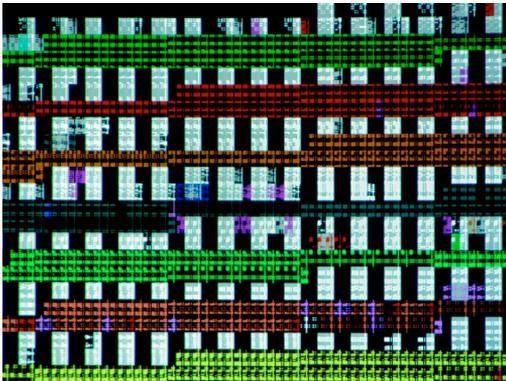
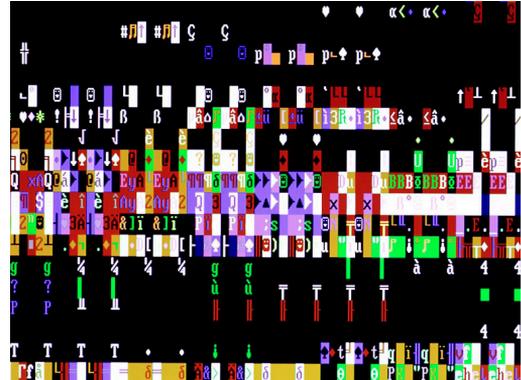
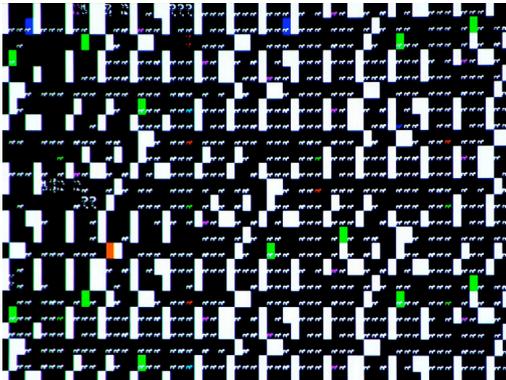
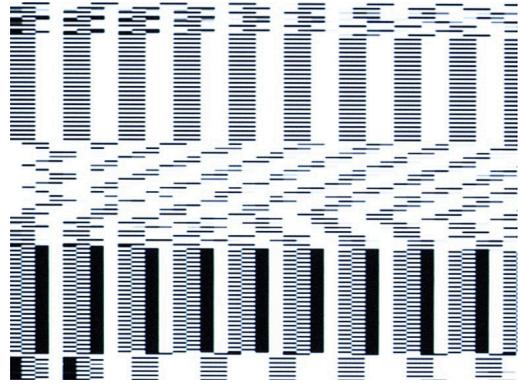
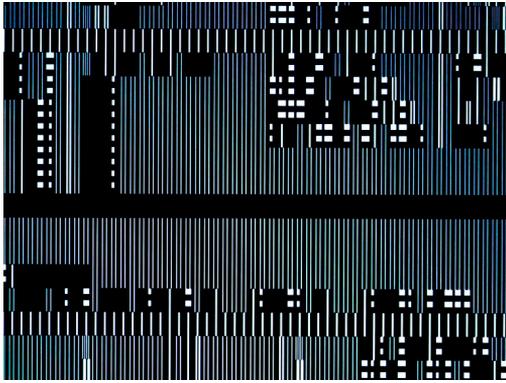
Sicht der Materialdimensionen auf den Computer anwenden, bestehen alle technischen Systeme mit Mikroprozessorsteuerung – ob Computer, Roboter oder Küchenherd – aus zwei maschinellen Schichten:

1. einer Hardware, die an die Gesetze des klassischen Materials gebunden ist, 2. der Software, die nur noch algorithmischen Gesetzen unterliegt.

Die erste Schicht – die Hardware – ist naturgebunden und gehorcht den Gesetzen unserer physikalischen Welt. Sie verbraucht Energie, unterliegt Alterungsprozessen, die irgendwann zu Fehlfunktionen führen, sie kann durch einwirkende Kräfte (mechanische Stöße, Magnetismus, Überspannung etc.) beschädigt werden usw. Diese Hardware-Maschine kann auf der Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten einerseits die althergebrachten mechanischen Arbeiten erledigen, daneben aber gleichzeitig auch – heute meist auf der Basis elektronischer Schaltkreise – logische Elementaroperationen realisieren. Auf dieser mechanischen Maschine sitzt eine zweite Schicht, die den physikalischen Gesetzen nicht mehr unterliegt, sondern nur noch der menschlichen Rationalität verpflichtet ist. Diese Software-Maschine kennt keine materiellen Schwächen mehr, sondern nur Ausfälle, die auf logische Fehler des Programmierers zurückgehen. Die Software-Maschine realisiert die Welt der Algorithmen, sie steuert das Verhalten der unteren Schicht und ist dabei strikt an formale Sprachen und an die Gesetze der menschlichen Logik gebunden. Auf der algorithmischen Ebene der Maschine lassen sich zum Beispiel neue physikalische Welten beschreiben und simulieren, in der ganz neue und andersartige Naturgesetze gelten. Wir können unsere Reflexion über die physikalische Welt in Form von Algorithmen an die Maschine abgeben, diesem logischen Konstrukt in der Simulation aber auf vollkommen neue Weise wieder begegnen, nicht mehr als formal-logische Beschreibung, sondern als Erfahrungswelt. Die Grenzen dieser Maschine liegen also nicht in unserer physikalischen Welt, sondern den Begrenzungen der menschlichen Sprache und dem menschlichen Vermögen algorithmische Welten zu erfinden.

Die Unterscheidung Günthers zwischen den Seinsgesetzen der Materie – dem klassischen Material – und den Reflexionsgesetzen des eigenen Ichs – dem neuen Material Information – ist auch für die hier betrachteten Konzepte der maschinellen Selbstreproduktion relevant. **weiter auf S. 52**





These images are generated on the screen of a computer which controls the Shockbot Corejulio – creating short circuits in the hardware of the computer itself.

The power interruptions produced by these short circuits are interpreted by the computer as input data and create an uncontrollable stream of images. To save the images just before the computer crashes and reproduce this creation faithfully the images are stored and printed in large format, then displayed behind acrylic glass and backlit with LEDs.

Emanuel Anedel and Christian Gützer:
5 Voltcore Shockbot Corejulio

Es scheint, als müssten die Maschinen, wenn sie sich eigenständig vervielfältigen und weiterentwickeln wollen, ebenfalls mit beiden Materialdimensionen umgehen. Eine sich selbstreproduzierende Maschine wird also, während sie sich nachbaut, nicht nur mechanische Arbeit verrichten und dabei von einem bestimmten Algorithmus gesteuert, der Umgang mit Information muss viel expliziter erfolgen. Für einen exakten Nachbau würde es reichen, wenn die Schrittfolge der Produktion implizit in der Maschine realisiert ist. Tatsächlich leisten selbstreproduzierende Maschinen viel mehr, sie sind in der Lage explizite, d.h. symbolische Maschinenbeschreibungen zu lesen, sie auszuführen, zu kopieren und wenn nötig sogar selbst durch Introspektion herzustellen. Um das zu erläutern, müssen wir zunächst auf die in der Literatur an einigen Stellen gemachte Unterscheidung zwischen Selbstreproduktion und Selbstreplikation eingehen. Selbstreplikation ist ein Prozess, durch den ein Objekt eine Kopie von sich selbst herstellt. Im Falle maschineller Replikation kann dies als vollkommen deterministischer Prozess realisiert werden, bei dem es vor allem darauf ankommt, dass keine Fehler passieren. Maschinenbeschreibungen, die als explizite Information vorliegen, sind dafür nicht erforderlich. Selbstreproduktion dagegen enthält eine Aufwärtsbewegung zur Vielfalt, es implementiert einen Entwicklungsprozess, der Abweichungen und Unterschiede zur Vorgängergeneration nicht nur zulässt, sondern voraussetzt. Selbstreproduktion ist damit ein selbsterhaltendes System, das dem Darwinschen Evolutionsgedanken folgt. Für die Simulation des Lebens würde Selbstreplikation nicht genügen, weil es keine vererbaren Mutationen zulässt. Um maschinelle Selbstreproduktion zu realisieren, scheint es aber unumgänglich, dass Maschinen nicht nur klassisches Material verarbeiten können, das sie in ihrer Umgebung finden und daraus Kopien ihrer Selbst zu bauen, sie müssen gleichzeitig in der Lage sein, mit expliziten Informationen umzugehen. Dabei handelt es sich nicht um irgendwelche Daten, sondern um reflexive Informationen, d.h. Beschreibungen ihrer selbst. Der erste Prozess dieser Art, der nicht nur die einfachere Selbstreplikation erlaubt, sondern das evolutionäre Problem der Selbstreproduktion löst, geht auf den Mathematiker John von Neumann zurück.

VON NEUMANN'S KONZEPT DER SELBSTREPRODUZIERENDEN MASCHINE

„Maschinen, die andere Maschinen erzeugen,

bringen aber nicht solche ihrer eigenen Art hervor. Ein Fingerhut wird maschinenmäßig hergestellt, er wurde aber nicht von einem anderen Fingerhut erzeugt, noch wird er je selber einen erzeugen.“

Samuel Butler

MENSCH UND MASCHINE – EINE KULTURLOSE BEZIEHUNG?

Samuel Butlers 1872 anonym erschienener Roman »Erewhon« nimmt durch seine Verbindung von unterhaltsamer Reisebeschreibung mit kritischer Analyse der Auswirkungen fortschreitender Technisierung bis heute eine literarische Sonderstellung ein. Die Aufzeichnungen seines Romanhelden George Higgs über »Das Buch von den Maschinen« (Kapitel XXIII – XXV), das im fiktiven Land Erewhon (nowhere: nirgendwo) zu einem Bürgerkrieg zwischen Maschinisten und Antimaschinisten und nach dem Sieg letzterer zur Abschaffung aller Technik geführt hatte, enthalten auch längere Passagen über das Fortpflanzungsvermögen von Maschinen. Butler argumentiert: „Wenn eine Maschine eine andere erzeugen kann, können wir doch sicher die Zeugungskraft nicht absprechen. Was ist denn Zeugungskraft, wenn nicht die Kraft, ein anderes Wesen zu erzeugen? Und wie wenige Maschinen gibt es, die nicht von andern erzeugt worden sind.“ Zur Belegung der maschinellen Zeugungskraft zieht er vielfältige Vergleiche zu den Reproduktionsstrategien der Tier- und Pflanzenwelt, die auf erfrischende Weise zeigen, wie oberflächlich wir auch heute noch die Fortpflanzung der Natur im Verhältnis zur maschinellen Reproduktion sehen.

Maschinen können zwar Maschinen erzeugen, aber niemals solche, die genauso kompliziert sind wie sie selbst, so lautet eine gängige Behauptung, die schon bei Samuel Butler auftaucht und vermutlich tief im Unwohlsein bezüglich ihrer Konsequenzen für unser Verständnis von der Technik wurzelt. Es scheint gleichzeitig auch plausibel, dass maschinelle Reproduktion degenerativ sein muss. Bei einem degenerativen Verfahren verlieren die Maschinen von Generation zu Generation an Kompliziertheit, d.h. die Gesamtanzahl und die Verschiedenheit der verwendeten Komponenten nimmt ab. Damit ein Automat A einen Automaten B bauen kann, muss er schließlich nicht nur eine vollständige Beschreibung von B enthalten, sondern auch noch verschiedene Vorrichtungen besitzen, um die Beschreibung interpretieren und die Bauarbeit ausführen zu können. Gleichzeitig steht die Annahme aber im Widerspruch zur

offensichtlichen Selbsterhaltungsfähigkeit der Natur. Organismen pflanzen sich fort und produzieren neue Organismen, die mindestens genauso kompliziert sind wie sie selbst. Im Laufe langer Evolutionsperioden kann die Kompliziertheit sogar zunehmen. Butler umgeht das Argument, indem er auf natürliche Fortpflanzungssysteme verweist, bei denen das Erzeugende ebenfalls nicht von der gleichen Art ist, wie das Erzeugte, obwohl am Ende des Prozesses eine Kopie gleicher Komplexität steht. „So legt der Schmetterling ein Ei, welches zu einer Raupe werden kann, welche zu einer Puppe werden kann, welche zu einem Schmetterling werden kann.“ Woran Butler selbst nicht glauben wollte, dass es nämlich sehr wohl auch direkte Reproduktion ohne weitere vermittelnde Prozesse der Natur gehen kann, ist inzwischen bewiesen. Aufgrund der Arbeiten John von Neumann's musste die von vielen als stille Hoffnung gepflegte Überzeugung, Maschinen könnten niemals Maschinen gleicher Komplexität herstellen, ein für alle mal begraben werden. Er lieferte den Gegenbeweis in dem er eine formale Struktur anscrieb, die genau das leistet.

John von Neumann fragte sich, wie die Architekturen aussehen müssen, die Automaten zur Selbstfortpflanzung befähigen und im Laufe aufeinander folgender Generationen sogar eine Steigerung an Kompliziertheit erreichen. Er fand heraus, dass es ein minimales Niveau von Kompliziertheit gibt, auf dem Maschinen sich selbst fortpflanzen oder sogar höhere Entwicklungsstufen erreichen können. Unterhalb dieses Niveaus sind Maschinen degenerativ, d.h. Maschinen, die andere Maschinen erzeugen, können nur eine weniger komplizierte bauen.

Von Neumann, der 1957 im Alter von nur 53 Jahren an Krebs starb, welcher möglicherweise durch seine Teilnahme an Nukleartests verursacht wurde, konnte seine Arbeiten zur Theorie selbstreproduzierender Maschinen nicht abschließen. Seine Manuskripte wurden von Arthur W. Burks ergänzt und 1966 unter dem Titel Theory of Self-Reproducing Automata publiziert. Insgesamt untersuchte von Neumann fünf verschiedene Modelle der Selbstreproduktion, die Burks das 'kinematische Modell', das 'zellulare Modell', das 'Erregungs-Schwellwert-Ermüdungs-Modell', das 'kontinuierliche Modell' und das 'probabilistische Modell' nennt. Im Folgenden wollen wir nur das kinematische Modell betrachten, das auf Maschinen abzielt, die nicht nur Informationen verarbeiten, sondern auch Hardware bauen. Am

Grundprinzip des kinematischen Modells hatte Neumann seit spätestens 1948 gearbeitet, seine Theorie der Selbstreproduktion wird in der Regel auf das Jahr 1953 datiert.

Die selbstreproduzierende kinematische Maschine schwimmt auf einer unbegrenzten Fläche, umgeben von einem unbegrenzten Vorrat an elementaren Bauteilen. Im ihrem Speicher liegt die Beschreibung der Maschine, die gebaut werden soll. Unter der Kontrolle dieser Beschreibung nimmt die Maschine Teile aus ihrer Umgebung auf und baut sie zur beschriebenen Maschine zusammen. Die selbstreproduzierende Maschine muss also nicht nur Speicher und Informationsverarbeitungseinheiten enthalten, sondern auch mechanische Vorrichtungen, um umher schwimmende Teile zu greifen, zu identifizieren, zusammen zu fügen oder zu trennen. Für die Beschreibung der Maschine brauchen wir einen Katalog aller Teile sowie vollständige Definitionen, welche Funktion jedes Teil hat. Wenn wir die Architektur einer selbstreproduzierenden Maschine festlegen, haben wir eine Reihe von Freiheiten, mit welchen Grundelementen sie arbeiten soll. Die Auswahl wird ein vernünftiger Kompromiss sein zwischen der Kompliziertheit der einzelnen Teile und der Vermeidung einer zu großen Vielfalt verschiedenartiger Teile. Von Neumann selbst ging von etwa einem Dutzend elementarer Einheiten aus. Auf diese Grundfähigkeiten aufbauend, hat von Neumann ein System von drei zusammenwirkenden Automaten angegeben, die den Vorgang der Selbstfortpflanzung nachbilden. Da von Neumann anstatt von Maschinen von Automaten spricht und Burks die Publikation der von Neumannschen Arbeiten folgerichtig mit dem Titel Theorie selbstreproduzierender Automaten überschreibt, wollen wir an dieser Stelle ebenfalls und ohne weitere Konsequenzen den Begriff des Automaten verwenden.

Von Neumanns selbstreproduzierender Automat ist ein Aggregat aus drei Automaten und ihren jeweiligen Beschreibungen (Bauplänen).

Konstruktions-Automat A

Der allgemeine Konstruktionsautomat A ist in der Lage, jeden beliebigen Automaten X zu bauen. Hierzu muss er lediglich mit einer Beschreibung des Automaten $F(X)$ gefüttert werden. Der Automat bestehend aus A und $F(X)$ baut den Automaten X. In Zeichen:

$A + F(X) \rightarrow X$

Kopier-Automat B

Dieser allgemeine Kopier-Automat B kann von jeder Beschreibung eine identische Kopie herstellen.
 $B + F(X) \rightarrow 2 \times F(X)$

Kontroll-Automat C

Der Automat C kontrolliert das Zusammenspiel der Automaten A und B.

Kombiniert mit A, B und F(X) führt der Kontrollautomat C folgende Funktion aus: Zunächst aktiviert er den Automaten A, der sofort beginnt, den Automaten X gemäß der Beschreibung F(X) zu bauen. Anschließend aktiviert er den Automaten B, der daraufhin eine Kopie von F(X) herstellt. Diese Kopie setzt C in den neuen Automaten X ein, der gerade von A gebaut wurde. Als letztes trennt C die neu entstandene Konstruktion X + F(X) vom Konstruktionsautomaten ab.

Selbstreproduktions-Automat D + F(D)

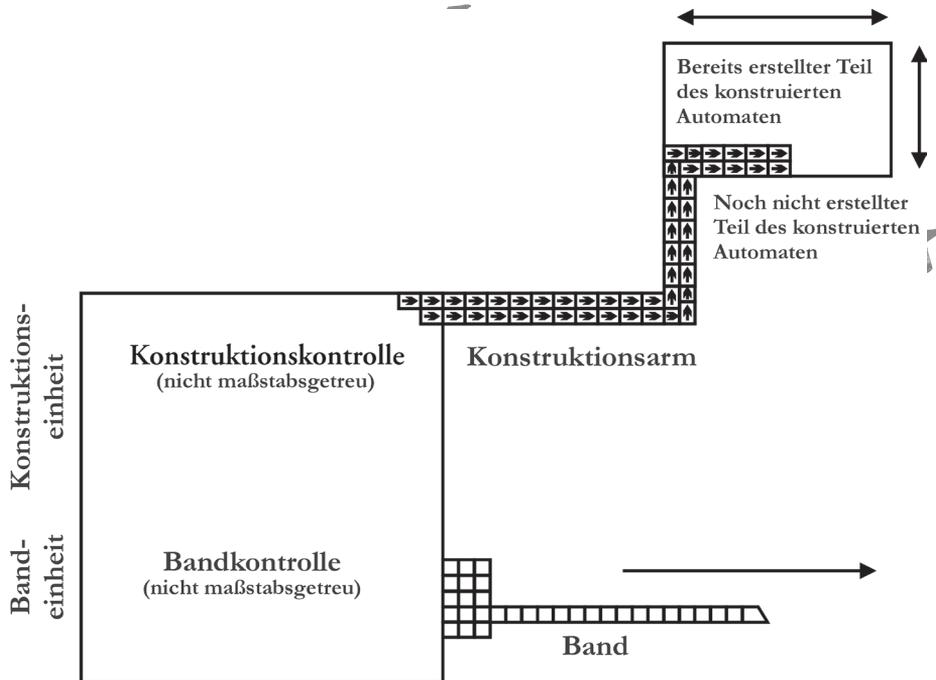
Wir können nun das Gesamttaggregat A + B + C mit D bezeichnen.
 $D = A + B + C$

Die Beschreibung dieses Automaten D nennen wir wie oben wieder F(D).

Nun können wir schließlich fragen, was ein Automat D leistet, wenn er mit seinen eigenen Beschreibung F(D) gefüttert wird? Der Automat

D zusammen mit der Beschreibung F(D) ist offensichtlich fähig, sich selbst zu reproduzieren. Zunächst wird C den Automaten A aktivieren, der gemäß der Beschreibung F(D) sofort einen neuen Automaten $D' = A' + B' + C'$ baut. Anschließend wird C den Automaten B veranlassen, eine Kopie von F(D) anzufertigen, die er mit D' zusammenbinden wird, um sich schließlich vom neu entstandenen Konstrukt D' + F(D) abzukoppeln. Nun schwimmen zwei identische Automaten auf der Oberfläche, ständig auf der Suche nach elementaren Bauteilen, um weitere Kopien ihrer selbst anzufertigen. Abbildung 1 zeigt das Schema der Selbstreproduktion nach John von Neumann.

Der Automat D + F(D) besitzt weitere wichtige Eigenschaften. Wir sehen zum Beispiel, dass zufällige Änderungen an F(D) Merkmale aufweisen, die in der Biologie in Verbindung mit Mutationen auftreten. Die meisten willkürlichen Änderungen an F(D) werden dazu führen, dass der Automat nicht mehr funktionsfähig ist. Bei einer genügend großen Zahl von Änderungen werden jedoch einige dabei sein, die zu 'überlebensfähigen' Automaten führen. Diese neuen Automaten besitzen andere Eigenschaften als ihre Vorfahren. Die Beschreibung F(D) legt damit den groben Vergleich mit Genen nahe. Kleine Änderungen in der Beschreibung des Automaten erlauben Prozesse, die nicht nur



sich selbst reproduzieren, sondern auch noch Nebenprodukte herstellen. Sei E ein Automat mit zugehöriger Beschreibung $F(E)$. Wenn wir obigen selbstreproduzierenden Automaten

$D = (A + B + C)$ mit $F(A + B + C + E)$ füttern, wird ein neuer Automat

$(A + B + C + E) + F(A + B + C + E)$ erzeugt.

Der neue Automat stellt nicht nur eine Kopie seiner selbst her, sondern produziert auch noch den Automaten E.

Das hier skizzierte Modell, das durchaus Analogien zur molekular-biologischen Reproduktion aufweist, gilt inzwischen als klassisches Reproduktionsparadigma. Zunächst wird eine Bauanleitung interpretiert, um eine Maschine zu montieren. Die Anleitung wird anschließend ein zweites mal gelesen, um eine Kopie herzustellen, die dann in die gerade gebaute Maschine eingefügt wird. In der Literatur wurde mittlerweile eine Vielzahl weiterer Reproduktionsarchitekturen beschrieben, die nicht auf Analogien zu biologischen Prozessen zurückgreifen. In diesem Zusammenhang wurde auch eine Klasse von Reproduktionssystemen entwickelt, die auf explizit gegebene Beschreibungen verzichten. Diese Maschinen sind in der Lage, durch Selbstbetrachtung und Selbstanalyse eine Beschreibung herzustellen, die dann verwendet wird, um das Duplikat zu bauen. Reproduktion auf der Basis von Selbstbeobachtung erlaubt es prinzipiell auch, die Beschreibung der Maschine, die gebaut werden soll, dynamisch und gleichzeitig mit ihrer Interpretation durch den Konstruktionsmechanismus zu entwickeln, ohne sie zwischenspeichern. Richard Laing beschreibt 1977 eine Architektur mit Zwischenspeicherung der Beschreibung, die mit vier Komponenten startet: (A) = special-purpose constructor, (B) = destroyer, (C) = optional substring, (D) = general-purpose constructor.

Der Selbstreproduktionsprozess läuft dann in 7 Schritten ab (siehe Abbildung 2):

i. (A) konstruiert (1) Analyzer, (2) Inferrer, (3) General-purpose Constructor und (4) Destroyer.

ii. Analyzer (1) identifiziert die Grundelemente von (A), (B), (C) und (D); Inferrer (2) nutzt diese Information, um den General-Purpose Constructor (3) zu instruieren den Emitter (E) zu produzieren, der Beschreibungen von (A), (B), (C) und (D) herstellen kann.

iii. Der Emitter (E) produziert Description (5) von (A), (B), (C) und (D).

iv. Destroyer (4) beseitigt den Emitter (E).

v. Destroyer (B) beseitigt (1), (2), (3) und (4).

vi. Constructor (D) benutzt Description (5), um (A)', (B)', (C)' und (D)' zu produzieren.

vii. Destroyer (B) beseitigt Description (5).

DIE BEDEUTUNG DER UMGEBUNG

Maschinen können andere Maschinen nicht aus dem Nichts erzeugen. Es ist eine Umgebung notwendig, in der die Maschine ihre Reproduktion vollzieht. Bei von Neumann ist dies ein grenzenloser See, in dem die Maschinen schwimmen. In solch einer Umgebung muss sich Material befinden, das grundsätzlich geeignet ist, die gewünschten Maschinen zu bauen. Hier stellt sich die Frage, wie weit dieses Umgebungsmaterial bereits für den Produktionsprozess vorbereitet ist und direkt verwendet werden kann oder dafür erst aufwendig umgeformt werden muss. Für die Anstrengungen zur Reproduktion macht es einen großen Unterschied, ob zum Beispiel lediglich Rohstoffe in der Umgebung vorhanden sind, aus denen bestimmte Metalle gewonnen werden können, aus denen dann wiederum Maschinenteile gefertigt werden können, oder ob in der Umgebung bereits fertige Maschinenteile herum liegen, die nur in der richtigen Weise zusammengebaut werden müssen. Eine weitere Frage hängt mit der (Eigen-)Aktivität der Umgebung zusammen. Solange die selbstreproduzierende Maschine der einzige Aktivitätsträger ist, kann die Frage der Reproduktionsfähigkeit leichter beantwortet werden, als für eine Umgebung, die sich selbst aktiv am Reproduktionsprozess beteiligt. Zu dieser Schwierigkeit ein Zitat aus Butler's Erewhon: „Es ist aber der Mensch, der sie [zur Reproduktion] befähigt. Gewiss, aber sind es nicht Insekten, die viele Pflanzen erst fruchtbar machen, und würden nicht ganze Pflanzengattungen aussterben, wenn ihre Befruchtung nicht durch Vermittler erfolgte, die einer ganz anderen Lebensform angehören? Will jemand behaupten, der rote Klee besitze kein Fortpflanzungsvermögen, weil er die Hummel (und nur die Hummel) als Helfershelfer braucht, um sich fortzupflanzen zu können. Sicher nicht. Die Hummel gehört zum Fortpflanzungssystem des Klees.“ Bei der biologischen Erneuerung erkennen wir problemlos an, dass zum Beispiel eine Biene wichtige Aufgaben innerhalb des Reproduktionsprozesses erfüllt, ohne deshalb der Pflanze generell die Reproduktionsfähigkeit abzusprechen. Auch der Weg vom Schmetterlingsei über die Raupe zur Puppe und schließlich zum

Schmetterling ist ein Prozess, der ohne Zutun des Schmetterlings abläuft, der das Ei gelegt hat, sondern vielmehr ein 'Homunkulus-Prozess'. Doch wo ist dann die Grenze zu ziehen? Sind in gewisser Weise nicht alle Maschinen reproduktiv, weil sie den Menschen nutzen, um sich zu erneuern und sogar von Generation zu Generation weiter zu entwickeln? Jedenfalls gibt es bisher keine industriellen Reproduktionssysteme, die vollständig ohne menschliches Zutun auskommen würden. In der Regel sprechen wir aber nur dann von maschineller Selbstreproduktion, wenn der Mensch die erste Maschine (Ur-Maschine) herstellt und diese in einer so vorbereiteten Umgebung startet, in der diese Maschine dann vollkommen autonom agieren kann und ohne weiteres Zutun des Menschen jeweils neue Generationen von Maschinen herstellt. Die so hergestellten Maschinen gleichen sich, wie sich zwei baugleiche Autos aus der Fabrik gleichen. Auf mikroskopischer Skala der materiellen Ebene sind Unterschiede festzustellen. Die Qualitätskontrolle des Herstellungsprozesses gewährleistet nicht nur die technische Funktionalität, sondern entscheidet eben auch, wann eine rein äußerliche Toleranzgrenze (z.B. Lackschäden) überschritten wird und Produkt nachgebessert oder ausgesondert werden muss. Aber bezüglich ihres Bauplans, den verwendeten Grundmaterialien und ihrer Funktionen sind die reproduzierten Maschinen identisch. Insbesondere müssen wir fordern, dass nachdem eine Maschine sich reproduziert hat, auch die neu entstandene Maschine der Reproduktion fähig ist.

GESCHLOSSENE ARCHITEKTUREN DER SELBSTREPRODUKTION

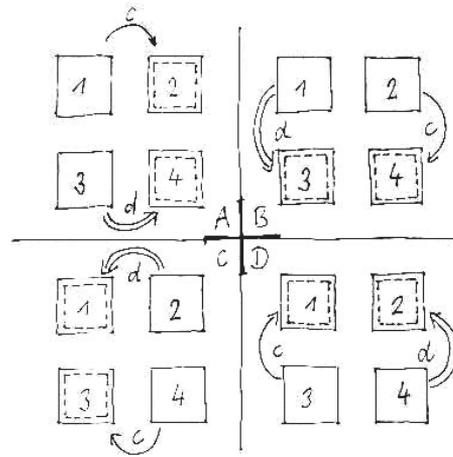
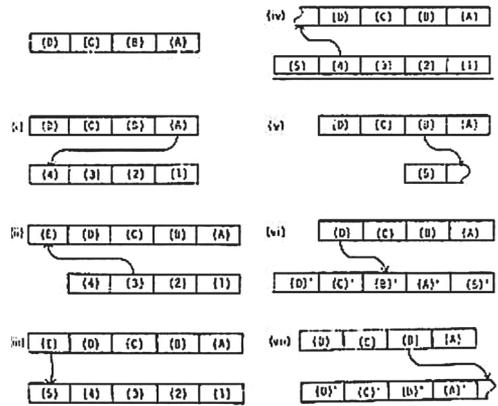
Die einfachste Reproduktionsstrategie geht davon aus, dass der Prozess mit einer einzigen Maschine startet, die sich reproduziert solange genügend Material in der Umgebung vorhanden ist. Jede neu erzeugte Maschine beteiligt sich im nächsten Reproduktionsschritt ebenfalls an dem Prozess. In diesem offenen System erhalten wir exponentielles Wachstum, das eine potentiell unendlich große Umgebung voraussetzt, die in der Realität nie gegeben ist. Herbert W. Franke beschreibt in der Science-Fiction-Kurzgeschichte „Mechanoratten“ wie rattenähnliche kleine Maschinen den Auftrag bekommen, die mit radioaktiven Strahlen, Giften und unkontrollierbaren Keimen verseuchten riesigen Mülldeponien der Zukunft für den Menschen wieder in lebensfreundliche Gebiete zurück zu verwandeln. Dazu werden die Mechanoratten mit allen Eigenschaften einer resistenten und adaptiven Art ausgestattet,

die in der Lage ist, einen Auftrag eigenständig auszuführen. Ein Elektroniker beschreibt die Mechanoratten als „Kybernetische Organismen aus korrosionsfreiem Material, wie schon gesagt: mikroprozessorgesteuert. Eineraffinierte Schaltung – für die damalige Zeit. Diese Gebilde waren imstande, weitere Exemplare zu bauen, wobei sie auf das reichlich vorhandene Rohmaterial der Halden zurückgriffen. Und sie konnten die Baupläne ändern – im Hinblick auf ihre Aufgabe, auf die man sie mit höchster Priorität programmiert hatte: Ordnung zu schaffen! Die gefährlichen Stoffe auszusondern, die übrig bleibenden Substanzen einem Verarbeitungsprozess zu unterwerfen, der sie auf wenige definierte Grundmaterialien reduziert. Kurz und gut – es ging darum, aus Chaos Ordnung zu schaffen. Allem Anschein nach hatten wir in diesem Punkt Erfolg.“ In Franke's Kurzgeschichte besteht der Konflikt darin, dass die Maschinen innerhalb der durch hohe Mauern abgesperrten Deponien so perfekt für Ordnung gesorgt hatten, dass ihnen das Rohmaterial zur weiteren Erfüllung ihrer Aufgabe ausging. „Im inneren der Mauern herrscht Ordnung«, sagte der Roboter. »Hier draußen herrscht Chaos. Wir werden es beseitigen. Das ist unsere Aufgabe.« Einige Stunden später hatten sich an Hunderten Stellen der Mauer Löcher gebildet, und aus diesen kamen lange Reihen von Fahrzeugen, die in der Stadt ausschwärmten. Sie besetzten die Straßen, die Parkanlagen, die Häuser, die Gärten, die Schulen, die Bahnhöfe, die Theater, die Fabriken, die Kraftwerke. Und dann begannen sie Ordnung zu schaffen, wie es ihr Auftrag war.“ Einerseits bedient Franke mit den Mechanoratten exakt in das eingangs beschriebene, extreme Position einer übermächtigen Technik, die sich anschickt, die Weltherrschaft zu übernehmen. Gleichzeitig spricht er durch die Gegenüberstellung von Müll und Wertstoff einen wichtigen Punkt im Hinblick auf Selbstreproduktionsprozesse an: Jede begrenzte Umwelt ist auf Recycling angewiesen, d.h. jedes technische Artefakte durchläuft zwangsläufig immer wieder das Stadium des Mülls. Vilém Flusser hat die Triade Natur – Mensch – Kultur ebenfalls in der Figur eines Kreises beschrieben. „Noch kürzlich war man der Meinung, dass die Geschichte der Menschheit jener Prozess ist, dank welchem die Hand progressiv Natur in Kultur verwandelt. Diese Meinung, dieser 'Fortschrittsglaube' muss heute aufgegeben werden. Es wird nämlich immer ersichtlicher, dass die Hand die informierten Dinge nicht in Ruhe lässt, sondern dass sie weiter an ihnen herumfuchelt, bis sich die in ihnen enthaltene Information abwetzt. Die Hand

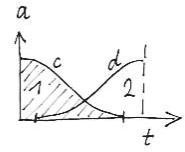
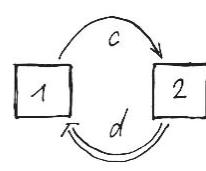
verbraucht Kultur und verwandelt sie in Abfall. Nicht also zwei, sondern drei Welten umgeben den Menschen: die der Natur, die der Kultur und die des Abfalls. [...] Die menschliche Geschichte ist also nicht eine Gerade, welche von der Natur in die Kultur weist. Sondern sie ist ein Kreis, der sich von der Natur in die Kultur, von der Kultur in den Abfall, vom Abfall in die Natur dreht, und so weiter. Ein viziöser Zirkel."

Wenn wir unter dem Begriff Kultur alles verstehen, was der Mensch gestaltend hervorbringt, im Unterschied zur gegebenen Natur, dann tritt durch die Maschine ein neuer Mitspieler auf den Plan. Dieser neue Mitspieler ist zwar selbst ein Produkt kulturellen Schaffens, die Ergebnisse menschlicher Reflexion sedimentieren im kulturellen Produkt Maschine. Doch als evolvierendes technisches Artefakt passt sie nicht ins bisherige Schema von Kontrolle und Autonomie, gemäß welchem die autonome Hand des Menschen alle Kontrolle, sowohl über die Kultur als auch über die Technik ausübt. Um von einem neuen Mitspieler sprechen zu können, müssen die Maschinen längst nicht die Fähigkeiten der Mechanoratten besitzen. Jede Übertragung eines menschlichen Reflexionsprozesses auf die Maschine bedeutet bereits einen Verlust an Autonomie. Durch die Selbststeuerung wird die Maschine zum eigenaktiven Mitspieler, ihr Verhalten ist zwar lediglich ein Resultat des einprogrammierten Reflexionsprozesses, doch durch den selbsttätigen Ablauf ergeben sich neue Qualitäten. Jedes nicht-triviale Programm ist in der Lage, seinen Programmierer zu überraschen. In großen Software-Entwicklungsprozessen werden enorme Anstrengungen unternommen und viel 'Manpower' investiert, damit diese Überraschungen zumindest auf funktionaler Ebene möglichst minimiert werden. Sobald Programme ästhetischen Output erzeugen – etwa Bilder – lassen sich die Erfahrungsspielräume, die die Software eröffnet, nicht mehr vollständig eingrenzen.

Gleichzeitig ist für das Verständnis der Selbstreproduktion als kulturellem Prozess das Bild der linearen, unidirektionalen Umwandlung einer natürlichen Umgebung in ein maschinelles Ensemble ungeeignet. Die offene Architektur der Selbstreproduktion verdoppelt in jedem Schritt die Anzahl der Maschinen, d.h. nach n Schritten sind bereits 2n Maschinen aktiv. Die gesamte Umgebung wird bei von Neumann nach und nach in sich reproduzierende Einheiten umgewandelt. Geschlossene Umgebungen müssen dagegen mit einem begrenzten Materialvorrat auskommen.



□ = active machine
 □ (dashed) = passive machine



→ c = construct
 ⇒ d = destruct

a = activity
 t = time

Bereits verwendete Teile müssen irgendwann in die Umgebung zurückgegeben werden, um erneut für den Reproduktionsprozess einer anderen Maschine zur Verfügung zu stehen. Handelt es sich um ein evolvierendes System, d.h. die Maschinen verändern im Laufe der Zeit ihre Struktur und Funktion, dann benötigen wir das Zwischenstadium des Abfalls, das die einzelnen Teile für nutzlos erklärt und damit nicht mehr als verwendbare Komponenten, sondern als Rohmaterial in den Produktionsprozess zurückfließen lässt. Dafür müssen die Komponenten gegebenenfalls erst durch einen lange dauernden Verrottungsprozess laufen.

Zum Abschluss wollen wir zwei einfache geschlossene Architekturen der Selbstreproduktion betrachten. Wir gehen dabei generell von einer passiven Umgebung aus, d.h. die Umgebung soll nicht im Sinne der bei Butler beschriebenen Bienen am Reproduktionsprozess mitwirken. Sowohl das klassische Paradigma der von Neumann-Reproduktion als auch Laing's Konzept der Reproduktion durch Selbstinspektion gehen von solchen passiven Umgebungen aus. Des weiteren setzen wir voraus, dass keine Veränderung des Bauplans und der Struktur der Maschinen zwischen den einzelnen Generationen stattfindet, also kein evolutionäres Verfahren angewendet wird. In diesem Fall ergeben sich sehr einfache Grundmuster der Reproduktion.

Die minimale Konstellation der Selbstreproduktion besteht aus zwei Maschinen, die sich gegenseitig zusammen- bzw. abbauen (siehe Abbildung 3). Am Anfang steht Maschine (1), die beginnt, die Maschine (2) aus herumliegenden Teilen zusammenzubauen. Ab einem bestimmten Punkt greift die Maschine (2) ins Geschehen ein und beginnt (1) zu zerlegen. Die Aktivität wird zunächst bei Maschine (1) hoch sein, während (2) noch nicht funktionsfähig ist. Am Ende wird umgekehrt (1) nicht mehr funktionsfähig sein und nur noch (2) Aktivität zeigen (rechte Seite in Abbildung 3). Der Prozess kann zyklisch gestaltet werden, indem (2) nach der Dekonstruktion der Maschine sofort beginnt, sie wieder zusammenzubauen.

Eine geschlossene Architektur aus vier Maschinen ist in Abbildung 4 dargestellt. Bei diesem zyklischen Verfahren sind die Aktivitätsphasen der Maschinen zeitlich entzerrt. Es sind nur jeweils zwei Maschinen gleichzeitig aktiv – eine bauende und eine zerlegende. Die anderen beiden sind passiv – eine wird gerade gebaut, die andere zerlegt. Nach vier Schritten (ABCD) ist die Gesamtkonstellation

wieder in ihrer Ausgangssituation angekommen. Jede einzelne Maschine hat dann genau einmal die Schrittfolge: construct, destruct, being destructed, being constructed durchlaufen. ■

Literatur

- Samuel Butler (1981), *Erewhon*, Eichborn Verlag (Original: *Erewhon, or, Over the Range*, 1872).
- Vilém Flusser (1993), *Dinge und Udinge*, Carl Hanser Verlag München.
- Herbert W. Franke (2007), *Die Zukunftsmaschine*, Phantastische Bibliothek Wetzlar.
- Robert A. Freitas, Ralph C. Merkle (2004), *Kinematic Self-Replicating Machines*, Landes Bioscience Georgetown, Texas.
- Gotthard Günther (2002), *Das Bewusstsein der Maschinen. Eine Metaphysik der Kybernetik*. AGIS Verlag Baden-Baden, 3. erweiterte Auflage.
- Ulrich Krohs (2004), *Eine Theorie biologischer Theorien*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Richard A. Laing (1977), *Automaton models of reproduction by self-inspection*, *Journal of Theoretical Biology*, No. 66, S. 437-456.
- Marianne Scharck (2005), *Organismus – Maschine: Analogie oder Gegensatz*, in: *Philosophie der Biologie*, Ulrich Krohs, Georg Toepfer (Hrsg.), Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main.
- Georg Trogemann, Jochen Viehoff (2005), *CodeArt. Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*, Springer-Verlag Wien.



Jan Vormann: Dispatchwork