

Peter Berz*

Binary Random Nets I. Ein Tiroler Gerücht

Agencement. Anordnung. Dispositiv.

Man nehme fünf Schaltelemente A B C D E mit zwei Zuständen ON (1) und OFF (0). Jedes Element ist mit zwei anderen verschaltet, also etwa:

- A mit CD
- B mit DE
- C mit EA
- D mit AB
- E mit BC

Jedes Schaltelement dieses binären Netzes kann die Zustände der beiden mit ihm verschalteten Elemente als Input empfangen und verarbeiten, also vier mögliche Konstellationen von Inputs haben:

- 0 0
- 0 1
- 1 0
- 1 1

Regel. Spielregel. Transformation.

Das Netz schaltet schrittweise, in einem diskreten, synchronisierten Takt, von t_n zu t_{n+1} . Bei jedem Schritt wertet jedes Element seine zwei Inputs nach einer bestimmten Regel aus. Es kann genau 16 Regeln geben, den aktuellen Zustand eines Elements abhängig von den zwei Inputs in den nächsten Zustand zu überführen: aus 00 wird 0 oder 1, aus 01 wird 0 oder 1, aus 10 wird 0 oder 1, aus 11 wird 0 oder 1. Das ergibt 16 kombinatorisch mögliche Konstellationen:

- | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |

* Die Beiträge *Binary Random Nets I* und *II* entstanden im Rahmen eines BMBF-Forschungsprojekts »Jacques Monod – Übertragungen zwischen Labordiologie und Philosophiegeschichte« am Zentrum für Literatur- und Kulturforschung, Berlin. Für Diskussionen und Hinweise herzlichen Dank an Marianne Kubaczek (Wien), Vanessa Lux (Berlin) und Jan Müggenburg (Lüneburg)!

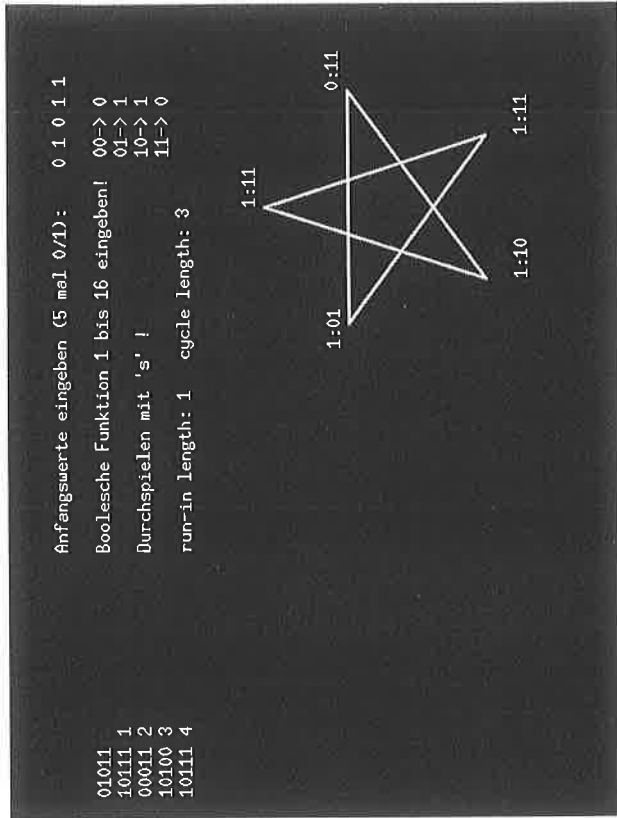


Abb.1: Pentagramm als Netzstruktur. Screenshot des C-Programms xnets5.

Diese Regeln sind boolesche Funktionen, von denen in den Wahrheitstafeln der Philosophie nur vier namentlich bekannt sind: Funktion 1 NOT, Funktion 2 AND, Funktion 7 XOR, Funktion 8 OR.¹ Eine der 16 Funktionen wird zufällig ausgewählt und gilt für alle 5 Schaltelemente.

Dann wähle einen zufälligen Anfangszustand, hole für jedes Element die beiden *Inputs*, werte die *Inputs* durch Ablesen des Werts für den nächsten Zeitpunkt in der gewählten Regel oder Funktion der obigen Tafel aus, setze die neuen aktuellen Zustände, hole wieder die *Inputs*, usw., usw.

Spiel. Spielen. Da capo.

Der zufällige Anfangszustand zur Zeit t_0 sei etwa:

- 0
- 1
- 1
- 0
- 1

also der Input von

- A : 10
- B : 01
- C : 10
- D : 01
- E : 11

Zufällig werde die 7. boolesche Funktion 0 1 1 0 gewählt, nach der

- aus 00 → 0
- aus 01 → 1
- aus 10 → 1
- aus 11 → 0

wird. Dann ist der Zustand des Netzes zur Zeit t_0 bis t_n

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
0	1	0	1	1	.
1	1	1	0	1	.
1	1	1	0	1	.
0	1	0	1	1	.
1	0	0	0	0	.

Irgendwann im Verlauf des Spiels² wird die Situation eintreten, dass sich ein Zustand herstellt, der schon einmal da war (t_1 und t_4). Ab da wird das Netz sich ständig wiederholen und in eine Schleife eintreten. Für jeden Ausgangszustand und für jede boolesche Funktion wird es eine andere Schleife sein. Sie wird verschieden lang sein, sich nach verschieden vielen Schritten herstellen, usw.

Das Ganze ist als Schreibspiel, *patience*, von zweidimensionalen Listen oder im Raum ausgebreiteter Graphismen eben noch durchführbar.

Tirol im Sommer 1968

Der Sommer des Jahres 1968 war nicht nur der Sommer eines Monat Mai, in dem das Deutsche Institut für Normung sämtliche noch heute gültigen Terme der Regelungstechnik festschrieb: *Regelabweichung, Führungsgröße, Stellignal*.³ In diesem Sommer lockte auch der ehemalige Internationalist und vom Spartenkämpfer zum weltweit gefragten Antikommunisten mutierte Schriftsteller

2. Das Programm xnets5, aus dem der *screenshot* von Abb. 1 stammt, wurde zur Erprobung des vorliegenden Artikels unter dem Betriebssystem Linux und X Window (Xlib) in der Programmiersprache C geschrieben und ist lauffähig unter Linux.
 3. DIN-Norm 19226 vom Mai 1968.

Arthur Koestler, der 1955 verkündete, ab sofort und überhaupt nur noch über Naturwissenschaften zu schreiben, fünfzehn Wissenschaftler in die Bergwelt seines Geburtslands Österreich. Schon Ende der Fünfziger hatte sich Koestler in den Tiroler Alpen ein kleines Chalet gebaut, sein *Schreiberhäusl*. Doch nicht nur zum Schreiben und um seine Leidenschaft für die Wiener Malerin Eva Auer zu feiern, verbringt er, von London, Paris, Stanford kommend, dort immer wieder Monate.

Das Häusl befindet sich in dem kleinen Dorf Alpbach, fünf Täler von der Tiroler Landeshauptstadt Innsbruck entfernt. »Dieses friedliche Gebirgsdorf ist Sitz einer Sommeruniversität (Österreichisches College) mit allen Einrichtungen für wissenschaftliche Konferenzen.« Koestler nimmt seit 1957 an diesen Konferenzen teil und, nachdem Anfang des Jahres sein Buch *The ghost in the machine* erschienen war, richtet er von 5. bis 9. Juni 1968 selbst dort eine Tagung aus. »Die Terrassen und Weinberge der Alpbacher Gasthöfe erwiesen sich als ausgezeichnete Katalysatoren für zwanglose Gespräche.«⁴ Und abends wandert man zum Trinken vom Bögherhof ins Häusl hoch.

Zumindes der Titel von Koestlers Konferenz geistert bis heute durch die Debatten: »Beyond Reductionism.«⁵ Die 60er Jahre, die allerorten⁶ nicht nur andere Poliken, andere Klänge, andere Lebensformen entwickeln, suchen auch andere Wissenschaften. Deren Vision kommt direkt bei Koestler an und rückt ihm zeitweise in die Nähe eines, *avant la lettre*, New Age Autors.⁷ Aber was heißt im Kreise der fünfzehn Wissenschaftler von Alpbach »andere« Wissenschaft? Woher kann eine andere Wissenschaft kommen?

Ein Drittel der 16 Teilnehmer sind Österreicher. Alle leben im Ausland und sind dort berühmt geworden. Einige von ihnen kennen sich gegenseitig und auch den Veranstalter schon aus Vorkriegszeiten: die Biologen Paul A. Weiss, Ludwig von Bertalanffy von der Biologischen Versuchsanstalt im Wiener Prater, genannt »Vivarium«,⁸ der Psychiater Viktor Frankl und der Ökonom Friedrich

A. Hayek.⁹ Stargast aber, wenn nicht Mentor der ganzen Veranstaltung ist ein Biologe: der Briten Conrad Hal Waddington. Der Entwicklungsbiologe, Genetiker, Evolutionstheoretiker, der während des Zweiten Weltkriegs für die *Operational Research* der Royal Air Force arbeitete, ist in den 60er Jahren eine Art *organizer* anderer Denkweisen in den biologischen Wissenschaften.¹⁰ Schon seit den 30er Jahren, als sich die Synthese von mendelscher Genetik und darwinischer Selektionstheorie, die sogenannte »*Modern Synthesis*«, gerade erst abzeichnen beginnt, ist Waddingtons Biologie mit ihrer Nähe zu Mathematik, Morphogenese, Lamarckismus, zu Ingenieurwissenschaft und Kunst eine Art Gegenentwurf. Seine Idee, 1935 zusammen mit dem Biochemiker und späteren Sinologen Joseph Needham in Cambridge ein »Institut für morphologische und physico-chemische Mathematik« aufzubauen (Alan Mattison Turing wird eben dieser Mathematik in seinen letzten Lebensjahren verfallen)¹¹ wird an der mangelnden Unterstützung durch die Morgan ergebene, von Warren Weaver geleitete Rockefeller Foundation scheitern: eine Weichenstellung für die Biologie des 20. Jahrhunderts – in Richtung Genetik.¹² Mitte der 60er Jahre scheint sich die Lage zu ändern. Wo sich auf der einen Seite die Modern Synthesis neo-darwinistisch und molekulargenetisch konsolidiert, werden auf der anderen Seite überall die Mängel der »neo-darwinian interpretation of evolution« sichtbar.¹³ Da der Diskurs darüber aber wenig institutionelle Macht gewinnen kann, organisiert er sich in Netzwerken und Familien, die irgendwo zu Gast sind. Waddington beginnt von Edinburgh aus sein familiäres Netz zu spinnen. Seit 1966 veranstaltet er in der pompösen Villa Serbellione am Comer See, dem Sitz der Rockefeller Foundation, vier große Konferenzen »Towards a Theoretical Biology.«¹⁴ Das Familienbild mit Damen: der Algenforscherin Ruth Sager¹⁵ und *The secretary* Doris Manning, platziert jedes Jahr unter dem Portrait der Spenderin der Villa Serbellione, Principessa della Torre e Tasso – mit bürgerlichem Namen Ella Walker aus Detroit – die wiederkehrenden Gäste auf dem gleichen

9. Dazu Holger Hydén, Bärbel Inhelder und Jean Piaget, Jerome und Blanche Bruner, J.R. Smythies, Paul D. MacLean, David McNeill, Seymour S. Kety, W.H. Thorpe.

10. Vgl. Waddingtons erstes Buch: Conrad Hal Waddington: *Organizers & Genes*, Cambridge 1940. 11. Unter den sechs Werken, auf die sich Tornings epochemachender Aufsatz »The Chemical Basis of Morphogenesis« von 1952 bezieht, befindet sich neben d'Arcy Thompsons *Growth and Form* auch Waddingtons Buch *Organizers and Genes*.

12. So vor allem die Historikerin Abir-Am (vgl. Prina G. Abir-Am: »The Assessment of Interdisciplinary Research in the 1930s: The Rockefeller Foundation and Physico-chemical Morphology«, in: *Minerva*, vol. XXVI, number 2, 1988, S. 153–176).

13. Das ehrwürdige WISTAR, Institut of Anatomie and Biology organisiert im Frühjahr 1966 eine große Konferenz »Mathematical challenges to the neo-darwinian interpretation of evolution«, an der nicht nur Waddington, sondern auch Ernst Mayr, Richard Lewontin, Sewell Wright, u.a. teilnehmen (vgl. *Mathematical Challenges to Neo-darwinian Interpretation of Evolution, a symposium held at the WISTAR Institut of Anatomy and Biology*, 25. und 26. April 1966, ed. Paul S. Moorhead, Martin M. Kaplan, Philadelphia 1967).

14. Die Konferenzen finden statt als Symposien der 1919 gegründeten, bis heute existierenden »International Union of Biological Sciences«, IUBS.

15. Sie forschte an der nicht-mendelschen cytoplasmatischen Vererbung in der Alge *Chlamydomonas reinhardtii* (vgl. etwa Jan Sapp: *Beyond the Gene: Cytoplasmatic Inheritance and the Struggle for Authority in Genetics*, New York, Oxford 1987, S. 204–208).

4. Arthur Koestler und J.R. Smythies (Hg.): *Das Neue Menschenbild. Die Revolutionierung der Wissenschaften vom Leben. Ein internationaler Symposium*, (übersetzt von Franz Vesely). Symposium 5.–9. Juni 1968 in Alpbach, Wien – München – Zürich 1970, S. 10. Englisch Original: Dies., *Beyond Reductionism*, 1970.

5. Zu heutigen Spuren von *Beyond Reductionism* vgl. etwa Alex Rosenberg: »Reductionism in Biology«, in: *A Companion to the Philosophy of Biology*, ed. Sahotra Sarker, Anya Plutynski, Blackwell Publishing 2008, S. 550–567, oder – sic – Stuart Kauffman: *Renewing the Sacred. A New View of Science, Reason and Religion*, New York, S. 1–9: *Beyond Reductionism*.

6. Auch die arabischen Länder etwa kennen den Aufstand nicht erst seit der Rebellion des Jahres 2011. Helmut Hoge (Kairo-Virus, tazblog) weist auf die saudi-arabische Schriftstellerin Badriya El-Bekhr hin, die in ihrem Roman *Der Duft von Kaffee und Kardamon* den Geliebten ihrer Lehrerzählerin Walid berichten lässt: »Mein Vater stand den Leuten sehr nahe, die Ende der Sechzigerjahre an einem gescheiterten Putsch teilgenommen hatten. Damals herrschte in der gesamten arabischen Welt der Geist der Revolution mit dem Ziel der Befreiung und der Arabischen Einheit.«

7. Die 2009 erschienene Biographie von Michael Scammell erzählt ausführlich etwa von Koestlers Kontakt mit dem Drogenexperimentalismus Timothy Learys (vgl. Michael Scammell: *Koestler. The Indispensable Intellectual*, London 2009, S. 479–484).

8. Von Weiss und Bertalanffy wurde Koestler vermutlich wieder auf den Fall des Vivariums-Biologen und »Krötenküssers« Paul Kammerer gestoßen, dessen Biographie er 1971 schreibt (Arthur Koestler: *Der Krötenküsser. Der Fall des Biologen Paul Kammerer*, Wien 2010 (mit einem Nachwort von Klaus Taschwer und Peter Berz)).

aus, »wenn ihnen eine gegebene Situation nicht passt«. ²³ »Eine in Entwicklung begriffene Population spielt gewissermaßen ein Spiel, in dem sie eine mehr oder weniger große Freiheit in der Wahl der Karten hat, die sie [...] ausspielt.« ²⁴ Etwa die Pferde. Irgendwann einmal »spielten die Pferde ein Spiel«, in dem sie auf die Taktik »fliehen statt kämpfen« setzten. ²⁵ Der nächste Schritt war dann vorgezeichnet: möglichst schnell laufen, schneller als die Wölfe. Erst diese Wahl einer Taktik tendierte zur Selektion, nicht einzelner Gene, sondern ganzer Gruppen für komplexe Lauforgane. Kurzum: in der Evolution ist »ein Kalkül von der Art der Spieltheorie am Platz«, nicht statistische Untersuchungen über die Mutationsraten einzelner Gene. ²⁶ Ein Held von Waddingtons Diskurs ist darum John von Neumann.

Nicht nur an dieser Stelle versucht Waddington, von der Mathematik der Populationsgenetik – von Mendel, Bateson, Pearson und Wheldon, Yule, Haldane und Fischer, von denen er als Evolutionstheoretiker herkommt ²⁷ – zu anderen Mathematiken überzugehen, etwa der Spieltheorie oder der Topologie, wie René Thom und Christopher Zeeman sie entwickeln (die zum engsten Kreis der Wad-Family gehören). Wenn es darum geht, wie sich im »epigenetischen Raum« der Wechselwirkungen die Entwicklung bestimmter Phänotypen stabilisiert, entwirft Waddington selbst, mit dem künstlerschen Beistand des englischen Malers John Piper, ²⁸ das topographisch-topologische Bild einer Alpenlandschaft mit Tälern: eine Kugel (oder Lawine), die das Tal herabkommt, kehrt, wenn sie in ihrem Lauf talabwärts gestört wird, immer wieder in die Talsohle zurück – nur ein Stück weiter unten. Die Evolution stabilisiert Prozesse, nicht Endprodukte. ²⁹ Waddington nennt seine Täler auch »Chreoden«, von griechisch χρεῶν, Not, Notwendigkeit, und ὄδος, der Weg.

Die Frage nach der Entstehung der Chreoden aber bringt eine weitere neue Mathematik ins Spiel, eine Mathematik, die Wechselwirkungen im Gen, im Phän, vom Gen zum Phän und zurück überhaupt und als solche berechnet. Diese Mathematik ist der Ingenieurtechnik verschwiebert, arbeitet mit spielbaren Modellen und stellt am Ende die evolutionstheoretische Kardinalfrage: Sind die chreodischen Alpenlandschaften Effekt jenes *war of nature*, ³⁰ den man seit Darwin als natürliche Selektion anspricht? Spielt die Evolution mit den Lebewesen allein auf Leben und Tod? Oder spielt sie noch andere Spiele?

23. Ebd., S. 348. Vgl. auch die sogenannte »Migrationstheorie« des Augsburger Biologen Moritz Wagner, der Darwin propagierte und kritisierte.

24. Ebd., S. 349.

25. Vgl. ebd., S. 354.

26. Ebd., S. 348.

27. Vgl. ebd., S. 342–345.

28. Vgl. den ausdifferenzierten Aufsatz von Ohad Parnes über »Die Topographie der Vererbung. Epigenetische Landschaften bei Waddington und Piper«, in: *Trojfele. Zeitschrift des Zentrums für Literatur- und Kulturforschung Berlin*, Nr. 14, April 2007, S. 26–31.

29. Waddington prägt das Wort *Homöo-rhese*, von griechisch *ῥῆμα*, ich fließe, statt *Homöo-stase*, von *ῥοῦμα*, ich stelle, stehe still.

30. Vgl. etwa Charles Darwin: *The Origin of Species by means of natural selection or preservation of favoured races in the struggle for life* (1859), Reprint of the Sixth Edition: London, New York, Toronto 1956 (The Worlds Classics II), S. 79; *Chapter III. Struggle*.

Platz in gleicher Pose. Veranstalter »Wad« sitzt also vier mal am gleichen Platz der Familienaufstellung. ¹⁶

Koesters Familie im Albacher Sommer 1968 ist da vergleichsweise bescheiden. Gerade die österreichischen Teilnehmer gehören nicht zur Wad-Family, dürfen aber schon darum für den großen Herrn aus Edinburgh interessant gewesen sein. Waddington gibt einen kleinen Einblick in seine »biologische Art zu denken« und deren kultur- wie wissenschaftlich weiten Horizont. ¹⁷

Im Phänotyp – seinem, für manche, *Roman* ¹⁸ – dämmere ein neues Wissen von den Lebewesen herauf. Denn vom Phänotyp habe die moderne Biologie nur sehr arme Begriffe: er ist »Erscheinung«, *external appearance*. ¹⁹ Basta. In der molekularen Genetik ist der Weg vom Genotyp zum Phänotyp eine »Übersetzung«, *Translation*: von DNA über m-RNA, r-RNA, t-RNA zu den Proteinen. ²⁰ Er folgt also ganz dem Wissen vom Genotyp. Nicht von ungefähr sei für viele Biologen das allgemeinste Kennzeichen der Lebewesen, dass sie in der Lage sind, die Information ihres Genotyps zu übertragen: »hereditary transmission of mutable information«. ²¹ Aber, so Waddington, das tun auch die Kristalle, wenn sie Gitterdefekte übertragen. ²² Shannon/Weavers Informationstheorie sei, wie für alle *transmitters*, vielleicht auch für die »hereditary transmission« geeignet. Auf dem wirklichen Weg zum Phänotyp allerdings hilft sie wenig. Hier gelte vielmehr, zwischen Genotyp und Phänotyp den Raum eines eigenen Wissens aufzuspannen. Denn in diesem Raum geht es nicht um Speichern und Übersetzen möglichst stabiler, »inaktiver Speichersubstanzen«, sondern um Aktivitäten, Interaktionen, Wechselwirkungen zwischen Organismus und Umgebung. Die Lebewesen bauen nicht nur algorithmisch aus Licht, Mineralien, Proteinen ihrer Umgebung sich selbst, als Phänotyp, sondern sie *verändern* auch in jedem Moment ihrer Entwicklung diese Umgebung. Sie wandern zum Beispiel

16. Das Familienphoto erscheint in jedem der vier Bände, sich über das vordere und hintere Vorsatzpapier des Buchs erstreckend.

17. Vgl. etwa Waddingtons grundsätzliche Statements: »The Basic Ideas of Biology« (in: *Towards a Theoretical Biology*, 1. *Prolegomena*, an IUBS symposium 28.8.–3.9. 1966 (ed. by Conrad H. Waddington), Edinburgh 1968, S. 1–32), oder: »The importance of biological ways of thoughts« (in: *The Place of Value in a World of Facts. Proceedings of the Fourteenth Nobel Symposium*, Stockholm, 15.–20. September 1969, ed. Arne Tiselius, Sam Nilsson, Uppsala 1970), oder Waddingtons Antworten auf Monods *Zufall und Notwendigkeit*: »Philosophers of the biospheres« (in: *Times Literary Supplement*, 28.5.1971, S. 671) und »How much is evolution affected by chance and necessity?« (in: *Beyond Chance and Necessity. A critical inquiry into Professor Jacques Monod's Chance and Necessity*, ed. John Lewis, e.a., London 1974, S. 89–102). In Alpbach folgt auf Waddingtons Referat die weitaus längste Diskussion der ganzen Tagung, in der sich sämtliche Anwesenden aus allen Wissenschaften zu Wort melden.

18. Gottfried Benn, Der Roman des Phänotyp (Landsberg an der Warthe, März bis Juni 1944).

19. Waddington: »The Basic Ideas of Biology«, in: *Towards a Theoretical Biology*, 1, a.o., S. 9. Ausgenommen wird Ernst Mayr, der vom »total epigenotyp« spricht und damit Waddington zitiert.

20. Vgl. ebd., S. 7.

21. Ebd., S. 4. Zur Ausdifferenzierung von Vererbung und Übertragung bei Carl Correns 1911, vgl. Ohad Parnes, Ulrike Vedder, Stefan Willer: *Das Konzept der Generationen. Eine Wissenschafts- und Kulturgeschichte*, Frankfurt a. M. 2008, S. 216 f.

22. Conrad Hal Waddington: »Der gegenwärtige Stand der Evolutionstheorien«, in: *Das Neue Menschenbild*, a.o., S. 346.

»Es ist zwar nicht zu leugnen, dass die natürliche Auslese ihr Teil zur Ausbildung der Stabilität beigetragen hat, aber man kann die Möglichkeit nicht ausschließen, dass ein gewisses Maß an Stabilität eine wesentliche Konsequenz des Zusammenwirkens einer großen Zahl von Genen ist. Ich bin von jeher der Meinung gewesen – und ich habe einmal den Mut aufgebracht, die Idee zu Papier zu bringen (Waddington, 1968)³¹ –, dass sich in jedem komplexen Wechselwirkungssystem spontan eine gewisse Stabilität einstellt, und zwar um so eher, je größer die Anzahl der Wechselwirkungspartner jedes einzelnen Gens ist.

Einige neuere Ergebnisse weisen darauf hin, dass meine Ansicht, die Stabilität erhöhe sich mit der Anzahl der Wechselwirkungen, richtig ist. Ein junger amerikanischer Student hat kürzlich mit einem Experiment, das er mit Hilfe eines Computers durchführte, die Fachwelt in Aufregung versetzt. Er koppelte eine größere Anzahl – einige hundert – einfacher binärer Ein-/Aus-Schalter in zufälliger Weise so aneinander, dass jeder Schalter zwei Eingänge besaß, die mit zwei zufällig ausgewählten anderen Schaltern verbunden waren. Dann ordnete er jedem dieser Eingänge wahllos eine Boolesche Funktion zu, die festlegte, wie der Schalter auf diese Zuleitung anzusprechen hatte. Je nach dem augenblicklichen Zustand des Eingangs und des Schalters würde dieser mit ja, nein, und, oder, und so weiter antworten. Dann setzte er willkürlich einen Anfangszustand, indem er die einzelnen Schalter wahllos in die Ein- beziehungsweise Aus-Stellung brachte, und schaltete den Computer ein. Das recht überraschende Ergebnis war, dass sich in den meisten Fällen sehr bald ein geschlossener Zyklus ausbildet; das System durchläuft dann immer eine bestimmte Folge von Zustandsänderungen, ohne je davon abzuweichen. Es erreicht einen »Grenzzyklus«. Das ist ein Beispiel dafür, dass sich in einem System, das viele Zufalsfaktoren enthält, eine gewisse Stabilität ausbilden kann, unabhängig von jeglicher natürlichen Selektion ...

Wiss.:³² Wissen Sie, wie der Mann heißt?

Waddington: Stuart Kauffman. Ich weiß nicht genau, wo er sich jetzt aufhält. Er studierte an der California Medical School, doch soviel mir bekannt ist, bemühen sich heute die besten Universitäten Amerikas um ihn. / Aber nun zurück zur Evolution. ...³³

Gerüchte sind der Echtzeit verschworen. Parallel zur Konferenz in Tirol, am 8. Juli 1968,³⁴ hatte der geniale Student ohne Aufenthaltsort beim *Journal of Theoretical Biology* die letzte Fassung eines Artikels abgegeben, der erst 1969 erschienen wird. Schon am prächtigen Titel dürfte Waddington nicht ganz unbeteiligt gewesen sein: »Metabolic Stability and Epigenesis in Randomly Constructed

31. Auch wenn im Text die Angabe zweideutig ist, spielt die Passage wohl an auf: »I should have guessed intuitively that, provided a large number of the components can interact not only pair wise but each with a number of other components, some degree of buffering would be bound to emerge.« (Waddington, »The Basic Ideas of Biology«, in: *Towards a Theoretical Biology*, 1, a.a.O., S. 13). Mit *buffering* ist hier das Gleiche gemeint wie *Chrode*.

32. Der Entwicklungs- und Vivariumsbiologe und Mitbegründer einer »Wiener Systembiologie« Paul Weiß.

33. Koestler, Smythies: *Das Neue Menschenbild*, a.a.O., S. 350 f.

34. Erste Einsendung 19. März, revidiert 8. Juli 1968.

Genetic Nets«.³⁵ Auch wenn in den Werken des späterhin berühmten Stuart Kauffman (*summmum opus*: *Origins of Order* von 1993) der Name Waddington nicht mehr auftaucht: die dritte Konferenz³⁶ der Wad-Family am Comer See eröffnet dem amerikanischen Studenten nicht nur eine landschaftlich beeindruckende Bühne, um vor den Größen seines Fachs, vor Brian Goodwin, Richard Lewontin, Alex Fraser, René Thom, Christopher Zeeman seine Arbeiten vorzustellen.³⁷ Der Hintergrund des Studenten aber ist ortbarer als man es in Alpbach ahnt. Er war von September bis Dezember 1967 »*Visiting Scientist*« am Research Laboratory of Electronic des MIT gewesen, »The author wishing to thank [...] Marvin Minsky making available the use of project MAC computer times«.³⁸ Doch das Dispositiv seiner Programme kommt vom anderen Ort – institutionell, kulturell, wissenschafts- und geschichtstheoretisch.

Walker & Ashby

Mitte der 60er Jahre nämlich finden die ersten Computerforschungen über die »zeitliche Charakteristik des Verhaltens in bestimmten komplexen Systemen« nicht am äußersten Ort des Geschehens amerikanischer Technik in Boston statt, sondern im Reich eines 1949 in die USA ausgewanderten Österreicher: in Heinz von Foersters *Biological Computer Laboratory BCL* an der Universität von Illinois. Man arbeitet mit IBM 7094 aus der Generation 7090, *seven o nine T*, T wie Transistor. »The programming of the computer used is straightforward«.³⁹ Der 63-jährige Kybernetiker der ersten Stunde, ein ehemaliger Psychiater aus England, Ross Ashby, und ein technikbegeisterter Psychologe aus Los Angeles, Crayton D. Walker (Department of Psychology der University of California), die am BCL komplexe Systeme erforschen, arbeiten, gut alteuropäisch, mit Blick fürs Prinzipielle.⁴⁰ Binäre, vom Zufall verschaltete Netze sind erforschbar, weil

35. Vgl. Stuart Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis in randomly constructed genetic nets (received 19. März 1968, revised 8. Juli 1968)«, in: *Journal of Theoretical Biology*, 22, 1969, S. 437–467.

36. Deren Datum, auch wenn Angaben fehlen, 1969 sein dürfte. Kauffman hält gleich zwei Referate. Im Vorwort schreibt Waddington 1970 neben den großen Namen vor allem den jungen Kauffman die neuen Impulse zu: »A novel and very stimulating discussion is recorded in the papers grouped around Kauffman's remarkable demonstration that the behaviour of randomly constructed networks exhibits a surprising degree of simplicity.« (*Towards a Theoretical Biology*, 3. *Drifts, an IUBS symposium (6-D.)* (ed. Conrad H. Waddington), Edinburgh 1970, Preface by C. H. Waddington).

37. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, in: *Journal of Theoretical Biology*, 22, a.a.O., S. 466. Crayton C. Walker und Walter Ross Ashby: »On temporal characteristics of behaviour in certain complex systems (received 17. Januar 1966)«, in: *Kybernetik*, Bd. III 1966/67, S. 100–108, 103. IBM führt den 7094 im September 1962 ein. Crayton C. Walker berichtet 2008, er hätte im November 1962 die ersten Diskussionen mit Ashby »about polystable systems« gehabt (vgl. Crayton C. Walker, *Young BCL: 1961–1965. Its Research Environment and Complexity Studies*. Herzlichen Dank an Jan Müggelburg, Lüneburg, für die Einsicht in seine Transkription dieses Vortrags).

40. Über diese Forschungen im Kontext des BCL und seiner verzweigten Geschichte, über Ashbys Zeit im BCL und Ashby im Allgemeinen, siehe demnächst: Jan Müggelburg, *Lebhaftige Artefakte. Die Maschinen des Biologischen Computer Laboratory*, Phil. Diss. Wien/Lüneburg (in Vorbereitung).

programmierbar. »The systems examined lend themselves readily to digital computer simulation: the method used is direct observation of behaviour by computer modelling.«⁴¹ Das mathematisch konstruierte System also wird *durchgespielt*. Es ist damit auf seine ingenieurtechnische Konstruktion oder *Implementierung* angewiesen. Sie erst stellt die Spielbarkeit des Systems her.⁴² Wie sich das System »verhalten« wird, ist nicht zu Beginn voraussagbar, sondern nur »beobachtbar«. Die zweite Natur aus Ingenieurshand wird beobachtet wie die erste der Tiere. Aber was heißt hier »Verhalten«?

Das Spiel beginnt, wie jedes Spiel, einfach. Die Teile des Netzes verhalten sich nach einer simplen Charakteristik.⁴³ Einzelteile sind als Hardware *konstruiert* und als Software universaler Maschinen *programmiert*. Ihr Verhalten liegt damit im ingenieurial schätzbaren Rahmen von Fehleranfälligkeit. Ihr Verhalten im System dagegen, die »Stile des Systemverhaltens«, sind, auch ohne Absturz der Maschine, schwerer vorhersehbar.⁴⁴ Denn sie liegen auf einer Ebene, die kein Ingenieur vorher wissen oder wollen kann. Die rätselhafte Beziehung von einfachen Elementen und komplizierten Systemen macht den ganzen Einsatz des Spiels.

Die Teile des Netzes hören bei Walker/Ashby auf das Medium alles Elementaren im abendländischen Wissen: sie sind lateinisch *elementa*, griechisch στοιχειά, das heißt: sie sind Buchstaben. »Alphabet, Mother of Invention«,⁴⁵ oder: »The parts composing the systems studied are simple electrical devices, here called *elements*, that can interact with one another.«⁴⁶ Nur sind geschaltete *elements* noch kein Alphabet. Erstens, weil sie alle gleich sind⁴⁷ und zweitens, weil sie im Realen neuzzeitlicher Physik miteinander interagieren, also anders als die 26 Buchstaben des griechischen Vokalalphabets, wenn sie, wie Aristoteles es denkt, zu Silben und dann zu Worten zusammantreten.⁴⁸ »The basic parts of which the systems are built, i.e., the elements, are functionally elementary.«⁴⁹ Sie können zwei Zustände annehmen und transformieren zwei mit ihnen verschaltete Inputs, die auch zwei mögliche Zustände annehmen können, zu einem neuen Zustand. *Weil* aber Elemente, *elementa*, στοιχειά, hier im physikalisch-technisch Realen funktionieren, werden sie schnell so unschreibbar wie unsagbar.

41. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, in: *Kybernetik*, Bd. III, a.a.O., S. 103.

42. »Depuis toujours, l'homme a cherché à conjuguer le réel et le jeu de symboles.« (Jacques Lacan: *Le Moi dans la Théorie de Freud et dans la technique de la Psychoanalyse, 1954-1955, Le Séminaire, Livre II*, Paris 1978, S. 346).

43. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, in: *Kybernetik*, Bd. III, a.a.O., S. 101.

44. Ebd.

45. Vgl. Marshall McLuhan und Robert K. Logan: »Alphabet, Mother of Invention«, in: *et cetera*, vol. 34, 4. Dezember 1977, S. 373-383 (Herzlichen Dank an Carlo Barck, Berlin). McLuhans Kollaborator Logan ist Professor für Physik in Toronto. Zum Alphabet als Quelle abendländischer Wissenschaft vgl. vor allem Friedrich Kittler: *Musik und Mathematik. Band I: Hellas. Teil 1: Aphrodité*, München 2006.

46. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, in: *Kybernetik*, Bd. III, a.a.O., S. 101. Hervorhebung von Walker und Ashby.

47. »The elements of any one system are identical« (ebd.).

48. Vgl. Friedrich Kittler: *Musik und Mathematik I, 1*, a.a.O., S. 105-121, und Ders., *Musik und Mathematik. Band I: Hellas, Teil 2: Eros*, München S. 157-160.

49. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, in: *Kybernetik*, Bd. III, a.a.O., S. 101b.

Walker/Ashby operieren mit Netzen aus 100 Elementen. Jedes Element ist – anders als das eingangs entworfene Fünfer-Netz – *zufällig*, also per Urnenwahl,⁵⁰ mit zwei anderen verschaltet. (Sein aktueller Zustand kann also auch der Output von *weniger* oder *mehr* als zwei Inputs sein). Jedes Element ist außer mit den beiden Inputs auch noch mit sich selbst verschaltet, hat also – ebenfalls anders als das eingangs entworfene Netz – drei Inputs. Sie können als Dreiergruppe 8 mögliche Zustände annehmen. Die Anzahl der booleschen Funktionen, die sich diesen 8 Input-Zuständen zuordnen lassen, wird damit $2^8 = 256$. Ob irgend-eine Philosophie der Welt auch nur diese 256 Funktionen wahren oder falschen, schreib- oder sagbaren Sätzen zuordnen kann, darf als zweifelhaft gelten.⁵¹

Walker/Ashby stellen nun für das Netz von 100 *elements* (N) 5 verschiedene Zufallsverschaltungen oder *structures* K her. Jedes K wird zufällig in 10 verschiedene Anfangszustände S versetzt. Dann wird es durchgespielt: mit sämtlichen möglichen 256 Funktionen oder *transformations* T. Macht 5 mal 10 mal 256 gleich 12 800 Durchläufe. Auf diesem »Corpus« finden alle Beobachtungen statt. Es ist kein Schreibspiel mehr, *ma main, ce papier, ce stylo*.⁵²

Basis des Spiels ist die Struktur K, der zufällig generierte Schalplan. Er bleibt *structurally rigid* und ändert sich nicht im Laufe des Spiels. Mit anderen Worten: er ist überhaupt eine Struktur. Sie wird auch nicht durch Einwirkung von außen verändert. Die Aktivitäten des Netzes sind also »wholly determined from within«. Die Netze sind, allem Zufall zum Trotz, *finite state machines*, Maschinen mit sehr vielen, aber endlich vielen Zuständen. Und nur darum geben sie Strukturen zweiter Ordnung zu erkennen.

Sie entstehen, weil das Spiel, wie jedes spielbare, ein Ende hat oder von vorne anfängt, also sich wiederholt. »Basically, the program calculates a state and compares that state with all previous states. If a previous state is the same as that calculated, a cycle has been disclosed. The necessary data are then printed out.«⁵⁴ Aber es gibt keine Formel, die voraussagt, auf *welchem* Zustand der Kreis sich schließt, »sich zeigt«, von einem bestimmten Anfangszustand aus gerechnet, mit einer bestimmten booleschen Funktion. Trotzdem ist es für jede Kombination von S-K-T ein ganz bestimmter Zustand. In der Struktur K also bildet sich, je nach Anfangszustand S und Transformation T, eine zweite Struktur: das »Endverhalten«, *terminal* oder *permanent behaviour* des Systems,⁵⁵ in das es einschwingt, auf dem es ausharrt, das sich wiederholt und fortsetzt, solange die Maschine nicht ausgeschaltet, das Programm nicht abgebrochen wird oder abstürzt. Von einem gleichen Zustand aus durchläuft das geschlossene System immer wieder eine

50. Ebd., S. 102a.

51. Stuart Kauffman wird in vielen Durchläufen »Tautologies« und »Negation« explizit ausschließen (vgl. etwa Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, in: *Journal of Theoretical Biology*, 22, a.a.O., S. 444 und 445, Fig. 3).

52. Unter dem Titel *Mon corps, ce papier, ce feu* antwortet Michel Foucault 1972 in einem Anhang zur zweiten Auflage von *Wahnsinn und Gesellschaft* auf Jacques Derridas Lektüre des Descartes-Kapitels in *Wahnsinn und Gesellschaft*.

53. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, in: *Kybernetik*, Bd. III, a.a.O., S. 101b.

54. Ebd., S. 103a.

55. Ebd., S. 102b.

Reihe gleicher Zustände der 2^{100} möglichen eines binären Netzes mit 100 Elementen. Walker/Ashby und Kauffman sprechen von *cycles*, also Schleifen, Kreisläufen, Zirkeln. Sie sind nicht konstruiert, sondern stellen sich her: 21800 mal. Schon darum sind Techniken, *cycles* aufzuzeichnen und graphisch darzustellen, ganz andere als die beim Entwurf von *circuits*.

Spiel. Nehme, um in schreibspielbaren Dimensionen zu bleiben, ein äußerst einfaches Netz: drei Elemente à zwei Inputs.⁵⁶ Schreibe alle acht möglichen Zustände in eine Liste; daneben die Zustände, in die sich unter einer bestimmten Verschaltung *K* der Elemente – mit drei Elementen à zwei Inputs ist nur ein einziger Schaltplan möglich: ein Dreieck – und bestimmtem *T* alle diese acht Zustände beim nächsten Schritt transformieren. Mit, zum Beispiel, $T = 0101$ ergibt das (links der Anfangszustand t_0 , rechts der Zustand t_1 des Dreiernetzes):

- 000 000
- 001 100
- 010 001
- 011 101
- 100 010
- 101 110
- 110 011
- 111 111

Dann setze die beiden Listen nach der schlichten Spielregel in Gang: Gehe der Reihe nach zu jedem Eintrag der linken Spalte, gehe dann jedes Mal zum rechten, suche das gefundene Muster des rechten in der linken Spalte, gehe zum entsprechenden rechten – und so fort.⁵⁷ Dann löse den Textmodus der Zeilen- und-Spalten-Ordnung kombinatorischer Tafeln auf, wechsle in den Graphikmodus und schreibe die gefundenen Muster frei verteilt auf den zweidimensionalen Raum des Papiers: bezeichne jede Transformation, jeden Übergang mit einem Pfeil. Auf diese Weise entsteht eine graphische Darstellung: Walker/Ashby nennen sie *field*,⁵⁸ Kauffman nennt sie *kimatograph* (Abb. 2 und 3).⁵⁹ Er ist weniger von der Geschichte des Kinos inspiriert als von der Art, in der Kaufmans MIT-Kollege Claude Elwood Shannon etwa das Alphabet Samuel Moores anscrieb (und schließlich die Wahrscheinlichkeitsstruktur diskreter Quellen

56. Stuart Kauffman wird immer von diesem einfachsten möglichen Netz ausgehen (vgl. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, in: *Journal of Theoretical Biology*, 22, a.a.O., S. 442; Ders.: *The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution*, New York, Oxford 1993, S. 466; Ders.: *Reinventing the Sacred. A New View of Science, Reason and Religion*, New York 2008: S. 108).

57. Dabei entstehen vier *cycles*: 001–100–010–001 / 011–101–110–011 / 000–000 / 111–111. 58. Vielleicht folgen sie Kurt Lewins, Psychologen wohl bekannter Wissenschaft der Feldorientierung, genannt »Hodologie«, von, siehe oben, griechisch ὁδός, der Weg.

59. Kaufmans Beispiel, Fig. 2, verwendet, anders als das oben aufgelistete Beispiel, für jedes der drei Elemente ein anderes *T* (vgl. Fig. 2 (a)). Die dabei entstehende Liste: vgl. Fig. 2 (b). Der Graph von Fig. 2 (c) hat allerdings einen Fehler: er übergibt 000, das auf der linken Seite des Graphen zwischen 100 und 001 eingefügt werden muss!

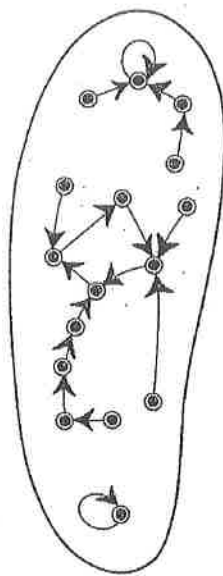


Fig. 1. An arbitrary field with sixteen states

Abb. 2: Ein Graph als Feld mit 16 Zuständen nach Walker/Ashby.

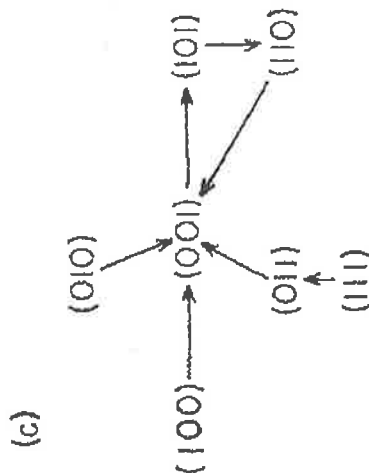


Abb. 3: »Kimatograph« nach Kauffman.

alias Buchstabenkorpora überhaupt): als Markov-Prozess.⁶⁰ *Field* und *kimatograph* zeigen die *cycles* eines Netzes auf einen Blick. Ihre Erstellung per Hand ist bei drei Elementen möglich (vgl. oben), bei fünf Elementen ein Geduldsspiel, bei 100 Elementen illusionär.

Sämtliche *direct observations of behaviour* werden im Weiteren auf diesen Feldern oder Bewegungsgraphen spielen. So verzeichnen, vergleichen, analysieren Walker/Ashby von allen 21800 Durchläufen: die Länge der *cycles*; die Zahl der

60. Vgl. Claude Elwood Shannon: »Eine Mathematische Theorie der Kommunikation. (Bell Systems Technical Journal 27, Okt. 1948)«, in: Ders., *Ein Aus. Ausgewählte Schriften zur Kommunikations- und Nachrichtentheorie* (Hg. F.A. Kittler, P. Berz, D. Hauptmann, A. Rösch), Berlin 2000, S. 9–100, hier: 15 und 21ff., 4. *Graphische Darstellung eines Markoff-Prozesses*; vgl. auch Jacques Lacan: »Das Seminar über E.A. Poes »Der angewandte Brief« (1955/56, bearbeitet 1966)«, in: Ders., *Schriften I*, Frankfurt a. M. 1975, S. 7–60, hier: 47 und 56; vgl. auch hier weiter unten: Anmerkung 65.

Schritte, bis, je nach Anfangszustand und boolescher Funktion, ein *cycle* sich selbst gefunden hat, die sogenannte *run-in length*; dann die Höhe der »Aktivität« des Netzes, also die Zahl der ihren Zustand ändernden Elemente bei jedem Übergang; und schließlich die sogenannte *disclosure length*, das ist die Zeit oder Zahl der Schritte, bis ein *cycle* sich als solcher »offenbart« hat. Technisch gesprochen ergibt sich die *disclosure length* aus *run-in plus cycle length*. Philosophisch stellt sie die Frage nach der Beobachtung selbst, nach ihren Grenzen, ja ihrer Wahrheit. Nicht der Wahrheit des Modells, sondern möglicher Wahrheit im Modell. Und nicht nur, weil die *disclosure*, ganz wie die frühgriechische ἀ-ἀφθεοι, im privaten Modus auftritt.⁶¹ »The significance of disclosures lies largely in the fact that disclosure lengths stand as a barrier to the understanding of a system by simple observation.«⁶² Die Fähigkeit eines Beobachters, *cycles* zu identifizieren, wird nämlich von der Anzahl der vergangenen Schritte begrenzt, die er mit dem aktuellen Zustand überhaupt vergleichen kann. Denn dieser Beobachter hat technische, experimentalpraktische, lebensweltliche und kosmische Grenzen. Bei 2¹⁰⁰, also mehr als 10³⁰ – einer 10 mit 30 Nullen – möglichen Zuständen, die zugleich die maximale *disclosure*-Länge eines *cycle* sind, wird diese Frage schnell dramatisch.⁶³ Aber der Beobachter ist kein Subjekt, sondern ein Computer und dessen Grenzen sind technischen Standards eingeschrieben. Walker/Ashby standardisieren auf eine maximale Länge von 500 Zuständen, die sie, wie in der Mikroskopie, die »Apertur«, *aperture*, des Modells nennen.⁶⁴

Erstes, ermutigendes Ergebnis der 21800 Durchläufe in 5 verschiedenen Netzen: der zufällige Schalplan, also die Struktur des Netzes, hat auf die Länge und Zahl der *cycles*, *run ins* und *disclosures* kaum irgendeine Auswirkung. Auch der Startzustand ist relativ gleichgültig. Das Verhalten der Netze scheint »struktur-unempfindlich«, *pragmatically structure-insensitive*. Es folgt allein der *Spielregel*, also der für die Transformation des Netzes von t_n zu t_{n+1} gewählten booleschen Funktion.

Walker/Ashby versuchen nun, dem Korpus selbst dieser 256 booleschen Spielregeln alias achtstelligen Binärzahlen Strukturen abzugewinnen. Lacans Buchstabenspiele im Seminar über den Entwurfsbrief gruppierten 1955 und 1966 – also dem Jahr von Walker/Ashbys Untersuchung und Lacans *Écritis*⁶⁵ –

61. Auch wenn *disclosure* im Englischen eher eine rechtliche Offenbarung ist als, wie im Griechischen, ein Sich Zeigen des in Wolken, Nebel oder Vergessen sich Verbergenden (zum frühgriechischen Sprachgebrauch vgl. etwa Wolfgang Schadewald, *Die Anfänge der Philosophie bei den Griechen. Die Vorklassiker und ihre Voraussetzungen (Tübinger Vorlesungen Band 1)*, Frankfurt a.M. 1978: 195–201).

62. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, in: *Kybernetik*, Bd. III, a.a.O., S. 104a.

63. Zu den Grenzen der Spiele, vgl. hier weiter unten: *Random Nets II*.

64. Die Zahl 500 ist wohl begründet, weil in der »Familie der 256 Ts« genau 196 Ts in mehr als der Hälfte der 50 Durchläufe pro T *disclosure* von weniger als 500 Schritten zeigen; genauere Analyse gibt das Rätsel auf, dass vor allem Ts mit symmetrischen Strukturen, etwa 0110 oder 1001, lange, die Apertur überschreitende Zyklen produzieren.

65. Der Artikel »Das Seminar über E.A. Poes« trägt die drei Daten: 26. April 1955 für die »Vorlesung« im Seminar von 1954/55; Mitte Mai und Mitte August 1956 für eine Überarbeitung; und für eine Nachschrift »Parentese der Parenthesen« das Jahr 1966, in dem Lacans *Écritis* erscheinen, deren erster Artikel das Seminar über Poe ist. Zum gesamten Zusammenhang vgl. Mai Wegener: *Nénonen und Neurosen. Der psychische Apparat bei Freud und Lacan. Ein historisch-theoretischer*

die acht möglichen binären Dreiergruppen 000, 001, ..., 111 nach einer »symétrie de la constance«: 000, 111 (bezeichnet mit 1), einer »symétrie de l'alternance«: 101, 010 (bezeichnet mit 2), und einer »dissymétrie«: 100, 011, 110, 001 (bezeichnet mit 3), um dann die möglichen Übergänge von 1, 2, 3 in einem markovschen Graphen anzuschreiben.⁶⁶ Walker/Ashby gruppieren die 256 möglichen binären 8er-Gruppen nach vier Kriterien oder *characteristics*. Sie erlauben eine quantifizierende Anordnung der 256 Muster und tragen so sprechende Namen wie: *homogeneity*, *fluency*, *memory*, *hesitancy*.⁶⁷ Die Homogenität etwa rechnet sich leicht von 0 bis 8 als die absolute Zahl der Nullen (oder der Einsen). Schreibt man die 8 möglichen Dreier-Inputs zeichenökonomisch optimiert in einer »Tafel« an (Abb. 4), lassen sich Achter-Muster mit dem Grundzustand 0000 1111 vergleichen und etwa das Ausmaß der Änderung, die *hesitancy*, usw. messen. Jedes Mal wird das Korpus der 256 Ts in einem Koordinatensystem anordenbar, das von 0 bis 4, 4 bis 8 oder 0 bis 8 läuft. Diese *characteristics* lassen sich schließlich als Maße, als *measures* verwenden, mit denen anderes zu beobachten ist als nach der bloß direkten Methode. So entsteht etwa der sehr häufige Fall von *cycles* der Länge 1 (fast die Hälfte aller Ts führt zu solchen) bei einer Homogenität von 5 nur in 10% der Fälle, bei Homogenität von 6 schon in 30%, aber bei maximaler Homogenität von 8 (nur Einsen oder nur Nullen) in 100% aller Fälle. Mit der variablen *cycle*-Länge als drittem Parameter schreiben Walker/Ashby ihre Daten auch in dreidimensionalen Koordinatensystemen an, die schon Waddingtons Landschaften ahnen lassen.

Bleibt die erschütternde Frage: Wer außer den Spielern selbst interessiert sich für solche Beobachtungen? Oder hat sich – Lust und Laune aller Spiele – das Spiel selbstständig?

Einmal hätten, so Walker/Ashby, *hardware-oriented readers* guten Grund, sich für Beobachtungen an Zufallsnetzen zu erwärmen. In einer Zeit, in der Kontrollmechanismen immer mehr *biological complexity* erreichen und neue *Monte-Carlo-Methoden* der Programmierung in Gebrauch kommen: »there may come to exist a need for probabilistic machinery.«⁶⁸ Zweiter Adressat aber ist der *biological oriented reader*, dem Verhaltensforschungen ohnehin vertrauter seien. Möglichen biologischen Übertragungen des Modells⁶⁹ sind keine Grenzen gesetzt. Auch wenn Walker/Ashby selbst von neurologischen Netzwerken ausgehen, braucht man etwa nur *cycles* der Länge eins, in denen das Netz auf einem gleichen Zustand beharrt (sie heißen, Ashbys Homöostase-Denken folgend, *states*

Versuch zu Freuds Entwurf von 1895, München 2004; und im vorliegenden Band der Artikel von Eva Laquière-Waniek.

66. Lacan: »Das Seminar über E. A. Poes«, in: *Schriften I*, a.a.O., S. 47.

67. Walker wird sich noch 2008 genau an die Namen aller dieser *characteristics* erinnern (vgl. oben Anmerkung 39).

68. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, in: *Kybernetik*, Bd. III, a.a.O.: S. 101a. Vor allem Walkers Originalarbeit sei, so Jan Müggendorf, dafür interessant (vgl. demnächst mehr in: Müggendorf: *Lebhaftige Arielekte*, a.a.O.).

69. Vgl. Walker/Ashby: »On temporal characteristics«, a.a.O.: S. 103a.

Table 1. *The Standard Form for an Element Transformation Table, here a General Transformation*

	Next State of Element	Present State of Element
	0	1
Present States of Inputs (L, R)	0	e_1
	1	e_2
	0	e_3
	1	e_4
		e_5
		e_6
		e_7
		e_8

Abb. 4: Kombinatorische Tafel für drei mögliche 0/1-Inputs (dritter Term: e_1 bis e_8).

of equilibrium),⁷⁰ ein wenig allgemeiner zu nehmen. »Such states are formally equivalent to what is common in the biologically important concepts: ›is at rest, ›has decided, ›is adapted, ›has learned the task, and so on.«⁷¹ Könnte man nicht sogar, wenn ein gleiches T für ganz verschieden verschaltete Netze gleiche cycle-Längen erzeugt, spekulieren, ob das von T induzierte »rhythmische Verhalten« eine »biologische Uhr« ist? Wären die »natürlichen Rhythmen realer Dinge« am Ende ein schlichter Effekt »räumlich ausgedehnter System-Eigenschaften«, die jedem prozedierenden Netz inhärent sind, dessen Elemente in Nachbarschaften verteilt und verschaltet sind?⁷²

70. Ebd.: 102b und 104b. Das folgt Ashbys Denken der Homöostase, mit dem sein Name in der Geschichte der Kybernetik vor allem verbunden ist.

71. Ebd.: 102b.

72. Ebd.: 107b.

Peter Berz

Binary Random Nets II Amerikanische Kombinationen

Kauffman's Spiel. Aufstellung

Das Spiel des Zufalls mit den Netzen in der Aufstellung Crayton C. Walkers und des Kybernetikers Ross Ashby am Biological Computer Laboratory in Illinois 1966¹ bleibt nicht ungespielt. Im Sommer 1967 wird ein 28-jähriger Student von der University of California Medical School namens Stuart Kauffman das Spiel aufnehmen.² Er verändert die Aufstellung geringfügig, das ist: er erweitert es, gut amerikanisch, um einige Größenordnungen. Kauffman's Netze bestehen *erstens* aus variabel *sehr* vielen Elementen: $N = 15, 50, 64, 100, 191, 400, 1024, 4096$ oder 8191 . Ein oft gewähltes Standardnetz hat 400 Elemente. *Zweitens* haben seine Elemente nicht, wie bei Walker/Ashby, drei Inputs, inklusive also ihres eigenen Zustands, sondern nur die *zwei* zufällig verschalteten Inputs, schreib: $K = 2$. Aber jedem Element wird zu Beginn eines Durchlaufs zufällig eine *andere* der mit zwei Inputs möglichen 16 booleschen Funktionen zugewiesen. Die geringe Zahl von 16 Transformationsfunktionen macht das feine Instrumentarium charakteristischer Strukturen hinfällig, deren Analyse im Sinne Walker/Ashbys erst bei 256 Funktionen sinnvoll wird.³ Auf der anderen Seite erhöht die zufällige Wahl der Transformationsfunktion für jedes einzelne Element sprunghaft die Anzahl der möglichen Varianten von Netzen.⁴

Das ist schon der ganze Unterschied der Spielaufstellung in Urbana und in San Francisco. Der spielerischen Erweiterung aber liegt eine neue technisch-institutionelle und eine neue wissenschaftshistorische Anordnung zugrunde. Allein darum lässt sich auf Netzen anderer Größenordnung auch ein wenig herumspielen, *un peu tirer dessus*.⁵

1. Vgl. oben *Random Nets I. Ein Tiroler Gerächt*.

2. Vgl. Stuart Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis in randomly constructed genetic nets (received 19. März 1968, revised 8. Juli 1968)«, in: *Journal of Theoretical Biology*, 1969, 22, S. 437–467.

3. Kauffman lässt die »Tautologies« *contradiction*, für die meisten Durchläufe weg, mit erstaunlich schnell spürbaren Effekten.

4. Bei 400 Elementen, $N = 400$, und zwei Inputs pro Element, $K = 2$, und damit 16 verschiedenen Transformationsfunktionen, $2^K = 16$, ergibt das: *erstens* – ganz herzlichen Dank an Reinhold Nedwed, Wien! – 79401400 mögliche Verschaltungsarten, nach der Formel: $\{[(N-1) \cdot (N-2)] / 2\}^N$, wenn Input und Output getrennt werden, also jedes Element der Input beliebig vieler anderer Elemente sein kann, aber eben selbst nur zwei Inputs erhält; *zweitens* 16400 mögliche Verteilungen der 16 Funktionen auf die 400 Elemente; *drittens* 2400 verschiedene Ausgangszustände für einen Durchlauf. Zu den, mit Heidegger gesprochen, »riesenhaften« Dimensionen, die damit ins Spiel kommen, vgl. weiter unten.

5. Jacques Lacan: *Le Moi dans la Théorie de Freud et dans la technique de la psychanalyse, 1954–1955, Le Séminaire, Livre II*, Paris 1978, S. 211.

Kauffman's Maschine. Mythos

Kauffman verbringt nach Lektüre von Walker/Ashbys Spielaufstellung drei Monate, von Mitte September bis Mitte Dezember 1967, am *Research Laboratory of Electronics* des MIT. Das sind drei Monate im Herzen eines amerikanischen Mythos.⁶ Er handelt von einer neuen Praxis, mit Maschinen Maschinen zu denken.

Der junge *visiting scientist* ist Gast in Marvin Minskys *Artificial Intelligence Laboratory*.⁷ Dort schreibt er seine Programme nicht wie Walker/Ashby auf IBM 7090, sondern auf dem legendären PDP-6, dem *Programmed Data Processor* der Firma DEC, und unter einem Betriebssystem namens ITS.⁸ Der eine: *at heart a hacker's machine*, das andere: *the strongest expression yet of the Hacker Ethic*.⁹ Kauffman programmiert also im Herbst 1967 seine Netzspiele an einem Ort, an dem eine neue Figur der Technikgeschichte entsteht. Sie agiert jenseits der historischen Differenz von Ingenieur und Mathematiker, von *engineering* und *theoretical point of view*.¹⁰ Minsky, selbst Mathematiker und seit 1958 Professor für Electrical Engineering am MIT, setzt beim Aufbau seines Labors nicht nur auf akademische Kräfte. Er integriert in sein Labor eine Gruppe junger, zum Teil erst fünfzehn Jahre alter Bastler, die sich »Hacker« nennen. Seit Ende der 50er haben sie die Steuerungssysteme ihrer Modelleisenbahnen verlassen, um den Computer-

raum des AI Lab zu belagern, zu unterwandern, nächtlich heimzusehen.¹¹ Dort stehen keine Signalanlagen und nicht, wie im allgemeinen Rechenzentrum des MIT, die riesigen Schränke von IBM, sondern erste Transistorcomputer mit Terminal: TX-0 und PDP-1.¹² Beide Maschinen bieten Möglichkeiten, *live*, über Leuchtdioden, Schalter, Bildschirm den Ablauf eines Programms zu verfolgen, ja in Grenzen zu manipulieren. Schon diese schüchternen Ansätze von interaktivem Debuggen in Echtzeit machen die herkömmliche Praxis obsolet: der Programmierer gibt am Abend Blätter und Lochkarten mit seinen Programmen im Computerzentrum ab und holt sich am Morgen die Ergebnisse. Für diesen sogenannten *batch*-Betrieb steht in Hackerkreisen das Logo IBM. Auf den Maschinen der Firma DEC dagegen, der *Digital Equipment Corporation*, tut sich eine andere Welt auf. Zunächst ist das Erstaunliche, dass auf diesen Maschinen überhaupt etwas läuft und nicht vielmehr nichts. Es ist also weniger wichtig, *was* programmiert wird – römische in arabische Ziffern verwandeln, binäre in dezimale oder Musikprogramme mit in der 1750ten Zeile *RIP/JSB* – Hauptsache, es läuft und läuft mit dem kürzesten machbaren Code.¹³ Bald geht man an Schachprogramme, schickt eine Maus durchs Labyrinth, entwickelt ein Science-Fiction-Spiel für zwei Spieler (*Spacewar*) und Minsky selbst baut, durch einen Fehler entstanden, eine sich selbst generierende Rose, das *Minskytron*. Das eigentliche Spiel aber, Kern aller »*Hacker Ethic*«, ist das System selbst: man schreibt Debugger, portiert die Programmiersprache FORTRAN und schreibt, in einer Aktion wie aus Leskows Linkshänder, an einem Wochenende Tag und Nacht in 250 Mannstunden einen Assembler für PDP-1.

Die Maschinen selbst des AI Lab generieren ein spielerisches Verhältnis zu ihnen. Minsky ortet darin das Potential zur Erforschung programmierbarer Maschinen. Er öffnet den Hackern sämtliche Computerressourcen: »an open environment in which anybody could walk in the lab and play with the computer«. ¹⁴ Eine Legende will, dass einer der Jungen, Gerald Sussman, eines Tages dabei ist, ein Programm zu schreiben. Minsky kommt an den Terminal und fragt, was er gerade mache. »I am training a randomly neural net to play Tic-tac-toe.« ¹⁵ Doch Minsky möchte wissen, warum der Zufall ... »Damit es keine Vorurteile und Missverständnisse gibt.«

Als jedoch am MIT im großen Stil Computergeschichte *gemacht* werden soll, seit 1963 mit Geld vom ARPA des Verteidigungsministeriums, kommt es zum Konflikt zweier Visionen. Das sogenannte »Project MAC« – MAC wie *Multiple access computer* oder *Machine aided cognition* oder *Man and Computer*¹⁶ – und sein

11. Sie gehören in der Frühzeit alle einer *Tech Model Railroad Club* genannten Vereinigung an.

12. PDP-1, the »One«, ist ein Geschenk der DEC: drei Kühlschränke groß, leicht zu starten, 120 000 Dollar teuer (ebd., S. 41).

13. *Bumming* heißt der Spot, immer noch eine Programmzeile kürzer zu schreiben.

14. Chiou e.a.: *A Marriage of Convenience*, a.a.O., S. 20.

15. Ebd., S. 20; Levy: *Hackers*, a.a.O., S. 110f. Minsky selbst brachte eine Menge *toys* mit, »especially toys which were very complicated and full of controllable parts« (Chiou e.a., *A Marriage of Convenience*, a.a.O., S. 8).

16. Das mit Apples Macintosh nichts zu tun hat.

6. Entworfen wird der Mythos 1984/2010 von Steven Levy, wissenschaftlich untermauert und fortgeführt von Stefanie Chiou e.a. Schön lässt sich an Levys Buch die Konstruktion amerikanischer Mythen überhaupt studieren: vom reinen Ursprung in der unvorstellbaren Gemeinschaft bis zum Verrat (vgl. Steven Levy: *Hackers. Heroes of the Computer Revolution (Erstauflage 1984)*, Sebastopol (O'Reilly) 2010; und Stefanie Chiou, Craig Music, Kara Sprague, Rebekha Wahba, AI Lab MIT (Structure of Engineering Revolutions, Prof. David Mindell): *A Marriage of Convenience. The Founding of the MIT Artificial Intelligence Laboratory*, Dec 2001, auf: <http://web.mit.edu/6.933/www/Fall2001/AI-Lab.pdf> (außenaußen: 31.01.2012)). Für Kauffman sind die drei Monate am MIT immerhin so wichtig, dass er sich institutionell am Anfang seines Artikels sowohl am *Department of Anatomy* in San Francisco als auch am *RLE des MIT* verortet (vgl. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.a.O., S. 437).

7. Kauffman's Artikel endet, siehe oben, mit der Danksagung: »The author wishes to thank [...] Creyton (!) Walker, and Warren McCulloch for their encouragement and criticism; and Marvin Minsky for making available the use of project MAC computer time while at M.I.T.« (ebd.: 466).

8. M. Mitchell Waldrop (*Complexity. The emerging science at the edge of order and chaos*, New York 1992) und ihm folgend Andrew Pickering (*The cybernetic brain. Sketches of another future*, Chicago 2010) erwähnen nicht, was Programmieren im Umkreis von Marvin Minsky hieß. Das führt dazu, den – in Waldrops Worten – »DNA computers« Kauffmans als »IBM mainframe« anzusprechen, »which executes a program written in FORTRAN« (Waldrop 1992, S. 106). Im Übrigen legen beide das ganze Gewicht auf Kauffmans Verbindung zu Warren McCulloch, »who became a mentor, guide, and friend to Kauffman«. Kauffman habe als junger Student in Boston auch bei McCulloch gewohnt. Zu Minsky heißt es bei Waldrop nur: »McCulloch introduced him to Minsky and his colleague Seymour Papert, who in turn arranged for Kauffman to do his simulations on the powerhouse computers of what was then known as Project MAC: Machine-Aided Cognition. McCulloch likewise arranged for Kauffman to get programming help from an undergraduate who knew a lot more about computer code than he did; they ended up running simulations with thousands of genes.« (ebd., S. 115f). Waldrops und Pickering's Betrachtung von Kauffmans Gesamtwerk konnte für den vorliegenden Artikel nicht berücksichtigt werden (vgl. aber demnächst Jan Müggelberg: *Lebhaftige Artefakte. Die Maschinen des Biological Computer Laboratory*, Phil. Diss., Wien/Lüneburg (in Vorbereitung)).

9. Levy: *Hackers*, a.a.O., S. 71 und 121.

10. Ebd., S. 107.

Leiter Fernando Corbató verfolgen das strategische Ziel, aus Großrechenanlagen mit beschränktem Zugang eine Sache zu machen, so öffentlich zugänglich wie Elektrizität. Die Vision: mehrere, viele, ja Hunderte verschiedener User, die sich nicht kennen, sitzen an einem Terminal, der mit einem einzigen Computer verbunden ist wie das Stromnetz mit der Zentrale. Die Technik heißt *Time sharing*, läuft auf IBM 7090 und verteilt die Rechenzeiten, in denen Programme von Usern Zugriff auf den zentralen Prozessor haben, nach einem ausgeklügelten System von Unterbrechungen, Zugangsrechten und Sicherheitsmaßnahmen.¹⁷ Das sogenannte *Compatible Time Sharing System CTSS* (später *Multics*) ist Flaggschiff oder *signature* des Project MAC. Im September 1966 widmet die Zeitschrift *Science* eine ganze Nummer dem öffentlichen Auftritt dieser neuen Techniken und ihrer Protagonisten.

Den Hackern von Minskys *AI Lab* aber ist *Time Sharing* das reinste *anathema*: es verlangsamt alle Prozesse und verhindert den Zugang zur *ganzen* Maschine. Man liebt *fast, responsive, interactive systems*¹⁸ und vor allem: *singular ownership* an der Maschine.¹⁹ Minsky kann nur unter der Bedingung, nachts in den *single user mode* zu schalten, seine Bande schließlich überzeugen, ein eigenes *Time Sharing System* zu entwickeln. Denn auch im *AI Lab* werden die Wartezeiten lang und das Verprechen, als einziger *user* gleichzeitig mehrere Programme laufen zu lassen, ist nicht zu verachten. Was daraus seit Anfang 1967 entsteht, das *Incompatible Time Sharing System ITS*, unterscheidet sich grundsätzlich von Carbatós Vision. Es ist auf die kleine Gruppe eines Labors hin konstruiert, in dem jeder jeden kennt. Passwörter und andere Sicherheitsmaßnahmen fallen weg, die *files* aller *user* sind allen anderen zugänglich und eine kollektive *Program Library* ermöglicht, dass jeder von den Programmen der anderen lernt. Sogar während des Programmierens kann man auf den Bildschirm eines anderen wechseln. ITS ist in Assembler geschrieben²⁰ auf einem PDP-6, dessen *instruction set* selbst auf Anregungen aus der Hackerszene zurückgeht.²¹

Seit Frühjahr 1967 also programmiert, *debugged*, optimiert man am *AI Lab* Tag und Nacht an dem neuen Betriebssystem, jener Maxime der Hacker Ethik folgend, dass *system hacks* das Eigentliche sind. ITS ist ein System für Systemprogrammierer: »it was the perfect system for building ... systems.«²² Dieser rekursiven Logik folgend soll ITS auch, sehr anders als in der Vision Corbatós, keine Dienstleistung für die Computerindustrie sein, sondern einzig und allein den Computer selbst und die *in* und *mit* ihm agierende *Artificial Intelligence* erschaffen helfen. »ITS received lesser public interest because it was designed more

17. Dabei kommt alles darauf an, Programme zur rechten Zeit zu unterbrechen, *to interrupt*, und wieder einzufädeln. IBM 7094 etwa hat eine besondere Interrupt-Behandlung und ist darum auf *Time Sharing* hin konstruiert.

18. Ebd., S. 22.

19. Ebd., S. 7.

20. Multics ist in der IBM-Sprache PL/I programmiert (Levy: *Hackers*, a.a.O., S. 114).

21. Einer aus der Szene, Alan Kotok, ist seit Mitte der 60er Angestellter der DEC. *Designer, implementer, user* in einer Person verhandelt, so Levy, »unrealistic software« (ebd., S. 121).

22. Ebd., S. 120. Die drei Punkte bei Levy.

as a vehicle for studying the computer.«²³ In dieser Anordnung also: ein wissenschaftliches Laboratorium und seine Hacker, deren liebstes Spiel die Optimierung des Systems selbst ist, auf dem sie spielen, um Maschinen-Programme zur Erforschung von Maschinen zu schreiben, entwickelt der junge Visiting Scientist Stuart Kauffman aus Kalifornien seine spielbaren *Random Nets*.²⁴ Sie implementieren und erforschen ebenfalls ein Stück Maschinenlogik. Als der Hacker-Guru Bill Gosper Ende 1970 Gardner/Conways *Game of Life* entdeckt und auf dem neuen 340 Display von DEC eine wahre Manie entfesselt, die immer neuen *patterns* des Spiels entstehen zu sehen, da dürfte er sich in seinen metaphysischen Träumen vielleicht an Kauffmans Programme erinnern haben.²⁵

Kauffmans Modell. Jacob & Monod

Erstaunliche 16 Register à 36 Bit des PDP-6 mit genau 16 Befehlen allein für *Boolean Functions* plus 6 shift-Befehle:²⁶ weil es Hardware in ihrer Geschwindigkeit gibt und weil Hardware es gibt, darum sind Kauffmans *binary random nets* auf erweitertem Niveau auch spielbar. Als *Modelle* aber folgen sie nicht nur einer Technik-, sondern auch einer Wissenschaftsgeschichte.

Walker/Ashbys Elemente waren als Neuronen gedacht: biologisch hieß *neuronal*. Kauffmans Programme als Modelle zwei Jahre später schalten ganz andere Materialitäten. Die Elemente seiner Netze sind, auf dem Stand der Dinge, Gene: biologisch heißt *molekular*. Wo also mit Transistoren binäre Logik in Halbleiterkristalle wandert; wo Experimentalmethoden den Zustand eines einzigen Neurons elektrotechnisch abzugreifen, schaltende Neuronen hervorbringen²⁷ – da schalten in der modernen Biologie seit den Arbeiten der beiden französischen

23. Chiou e.a.: *A Marriage of Convenience*, a.a.O., S. 40. Man entscheidet sich denn 1968 für das Standard Time Sharing System des PDP-10 gegen ITS und nimmt ein anderes (Levy: *Hackers*, a.a.O., S. 122).

24. Wenig später wird für Gäste eine eigene »MIT AI Lab Tourist Policy« verfasst, in der Sicherheitsvorkehrungen, die nicht programmiert sind, in schriftliche Vorschriften wandern (siehe <http://www.art.net/Studios/Hopkins/Don/text/tourist-policy.html> (aufgerufen: 31.01.2012))

25. Die Geschichte der LIFE-Obsession im AI Lab bei Levy: *Hackers*, a.a.O., S. 140–144. Stephen Wolframs Einleitung zu einem Workshop in Los Alamos im März 1983 über »Cellular Automata« nennt unter den *seminal papers* über Zellulare Automaten auch Kauffmans Arbeit von 1969, mit dem kurzen Kommentar: »Study of general properties of random Boolean networks, which may be considered as generalizations of cellular automata, applied to a theory of biological cell types.« (*Cellular Automata*, ed. D. Farmer, T. Toftoli, S. Wolfram, Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo 1984, S. xii).

26. »For logical operations the PDP-10 [dessen Befehlssatz dem PDP-6 fast identisch ist, P.B.] has instructions for shifting and rotating as well as for performing the complete set of sixteen Boolean functions of two variables (including those in which the result depends on only one or neither variable).« (*DECsystem-10, DECsystem-20: Processor Reference Manual*, Digital Equipment Corporation, June 1982, S. 2–32).

27. Vgl. etwa H. K. Hartlines klassischen Aufsatz von 1938: »The response of single optic nerve fibers of the vertebrate eye to illumination of the retina«. Zum breiteren Kontext vgl. Jacques Monod: *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie*, übers. von Friedrich Grise, München 1971 (frz.: *Le Hasard et la Nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris 1970), S. 179–187.

Nobelpreisträger François Jacob und Jacques Monod auch Makromoleküle. »Such model circuits are, of course, entirely imaginary, but the actual elements of these circuits, namely, regulator genes, repressors, operators, are not imaginary, they are the elements which operate in bacteria.«²⁸ Am Anfang von Kauffmans *randomly constructed genetic nets* stehen explizit die schaltenden Moleküle Jacobs und Monods.²⁹

Die beiden Nobelpreisträger schreiben seit 1961 ihre Modell-Schaltkreise in einer Diagrammatik an, deren Herkunft aus der Elektrotechnik nicht zu übersehen ist (Abb. 1).³⁰ Doch das Reale, das in Bakterien schaltet, ist nicht Elektrizität, sondern Biochemie. Hier schalten Proteine, genauer: »allosterische Enzyme«. Sie sind »precisely the type of »universal interconnecting element required for the construction of physiological circuits«.³¹

Die diskursive Wirkung von Jacob/Monods neuen Enzymen ist durchschlagend, skandalös, ja »almost shocking at the first sight«.³² Denn sie führen die Logik binärer Signale in ein Wissen ein, das seit alters in Verwandtschaften, Affinitäten, Bindungen und Strukturhomogenitäten denkt: in die Chemie alias Biochemie.³³ Schon vor Jacob/Monod ist bekannt, dass die Aktivität mancher Enzyme ab einem bestimmten Punkt in einer »feedback inhibition« von den durch sie synthetisierten Produkten gehemmt wird. Das »Substrat« des Enzyms,³⁴ aus dem das Enzym dieses Produkt herstellt, muss dabei in »struktureller Beziehung« zu dem synthetisierten, inhibierenden Produkt, dem »Inhibitor«, stehen. Er ist ein »isosteric [...] analog of the substrate«.³⁵ Nun gibt es aber – und das ist die Entdeckung – Enzyme, deren Inhibitoren chemisch weit von ihrem Substrat entfernt sind, ihm »chemisch fremd« und *nicht* analog, *nicht* iso-sterisch, sondern »allo-sterisch«.³⁶ Jacob/Monod kombinieren, dem kybernetischen Zug der Zeit folgend: der Inhibitor wirkt wie ein *Signal* und das Enzym *überträgt* dieses Signal. Meist nimmt das Enzym auch gar nicht teil an der chemischen Reaktion, die es in Gang setzt oder hemmt. Seine einzige Funktion scheint zu sein, Synthesen

28. François Jacob, Jacques Monod: »Genetic Repression, Allosteric Inhibition and Cellular Differentiations«, in: *Cytodifferentiation and macromolecular synthesis* (21st Symposium, The Society for the Study of Development and Growth, June 1962), hg. v. Michael Locke, New York u. London 1963, S. 30–64, hier 54.

29. Vgl. die Referenzen auf Jacob/Monod: »Genetic Repressions«, a.a.O., in Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.a.O., S. 437–440.

30. Diagramme, angesprochen als »Model I – V«, in Jacques Monod, François Jacob: »General Conclusions: Teleonomic Mechanisms in Cellular Metabolism, Growth, and Differentiation«, in: *Cellular Regulatory Mechanisms*, Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, vol. XXVI, New York 1961, S. 389–401; oder Jacob/Monod: »Genetic Repressions«, a.a.O.

31. Jacob/Monod: »Genetic Repressions«, a.a.O., S. 51

32. Jacques Monod, Pierre Changeux, François Jacob: »Allosteric Proteins and Cellular Control Systems«, in: *Journal of Molecular Biology*, 6, 1963, S. 306–329, hier 324.

33. Vgl. demnächst Peter Berz: *Fremde Wahrheit. Jacques Monods Naturphilosophie der modernen Biologie* (Berlin 2012).

34. Jedes Enzym katalysiert hochspezifisch (im Unterschied zu technischen Katalysatoren) eine ganz bestimmte chemische Zusammensetzung, sein »Substrat«.

35. Jacob/Monod: »Genetic Repression«, a.a.O., S. 32. »Isosterie« heißt: Enzym und Substrat haben die gleiche Elektronenkonfiguration.

36. Monod/Changeux/Jacob: »Allosteric Proteins«, a.a.O., S. 325 o.

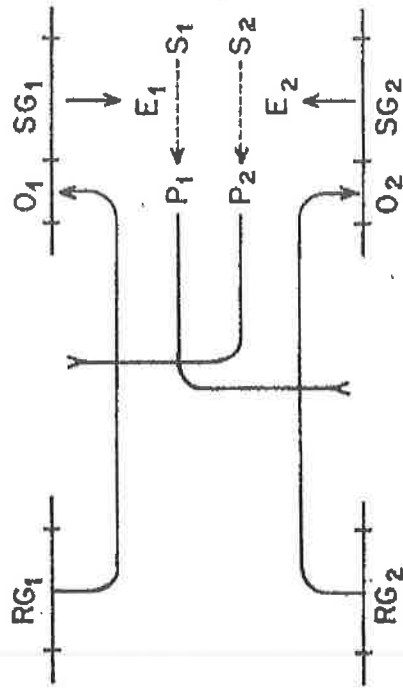


Abb. 1: Gen-Regulation als Schaltkreis in Jacob/Monods Operon-Modell.

und Reaktionen zu *sternem*. »... der Effektor [alias Inhibitor, P.B.] reagiert oder inter-agiert, *reacts or interacts*, nicht direkt mit den Substraten oder Produkten der Reaktion, sondern nur mit dem Protein.«³⁷ Die Verbindung von Inhibitor und Substrat ist, wie Monod/Jacob sagen, »mediated«. Aus chemischer Reaktion wird Interaktion.

Die Interaktivität der »regulatory enzymes« hat eine materielle Basis: Sie haben nicht nur wie jedes Protein eine ganz bestimmte Raumstruktur, die sie von allen anderen Proteinen unterscheidet (eine bestimmte *Konformation*). Sie können *zwei* eindeutig unterschiedene Raumstrukturen annehmen: in der einen hemmen sie, in der anderen nicht. Sie wirken als Kippshalter und ihre zwei Zustände sind »discrete, reversible, conformational [...], triggered by the [inhibitor]«.³⁸

Die steuernden Enzyme greifen nicht nur in die *pathways* des Stoffwechsels der Zelle ein, sondern wirken auch auf bestimmte Abschnitte jenes Makromoleküls, dessen Erscheinung die 60er Jahre durchgeistert: die *Desoxyribonucleinsäure*, englisch DNA, deutsch DNS, französisch ADN: »Et puis le corps s'adonne à l'ADN, à l'Adonis.«³⁹ Das allosterische Enzym verhindert im einen Zustand, getriggert von der *Abwesenheit* eines bestimmten Nährstoffs im Medium, das Ablesen des genetischen Codes in diesem Abschnitt; im anderen Zustand, getriggert von der *Abwesenheit* eines bestimmten Nährstoffs im Medium, lässt es dieses Ablesen zu.⁴⁰ Es schaltet ein bestimmtes Gen EIN und AUS, nach dem von Jacob/Monod eingeführten, bis heute gebräuchlichen Ausdruck. Da nun aber

37. Ebd., S. 324.

38. Im Text steht hier »activator«. Aber *activator*, *inhibitor*, *effector* meinen in diesem Zusammenhang das Gleiche (vgl. ebd., S. 307).

39. Jacques Lacan: *Encore*, 1972–73. *Le Séminaire, Livre XX*, Paris 1975, S. 140.

40. »Ablesen« heißt hier: Synthese der Messenger-RNA dieser Stelle der DNA.

der genetische Code des steuernden Enzyms ebenfalls auf der DNA liegt, lässt sich sagen: bestimmte Gene steuern andere Gene, weil sie über ein allosterisches Enzym miteinander verschaltet sind.⁴¹

Bestimmte Reaktionen oder Synthesen der Bakterienzelle finden also unter Kontrolle von Verbindungen statt, die sich »chemically foreign or indifferent« sind.⁴² Ihre Struktur ist, »chemically speaking, arbitrariness«;⁴³ thermodynamisch und ökonomisch gesprochen: *gratuité*.⁴⁴ Nur weil es Enzyme gibt, die – linguistisch gesprochen – die Struktur arbiträrer Zeichen haben, können sich jene »außergewöhnlich komplexen Netzwerke regulierender und signalverarbeitender Schaltkreise« der Zelle herausbilden: networks of regulatory and signaling circuits.⁴⁵

All das hat grundstürzende Effekte, die unmittelbar auf das zurückschlagen, was Dobzhanski die Simininstanz schlechthin aller biologischen Tatsachen nannte und Jacob die einzige »Theorie« der an Verallgemeinerungen so reichen Geschichte des biologischen Wissens:⁴⁶ die Theorie der Evolution. Arbiträre Signale auf makromolekularer Ebene setzen evolutionäre Potentiale ungeheuren Ausmaßes frei. Ja, sie befreien allererst das Spiel der Evolution. »Kein Selektionsdruck der Welt, wie stark er auch sei, könnte ein Enzym bauen, das fähig ist, eine chemisch unmögliche Reaktion in Gang zu setzen. Mit der Konstruktion eines allosterischen Enzyms ist diese Begrenzung beseitigt [...]. Durch den Gebrauch bestimmter Proteine nicht nur als Katalysatoren oder Transportmedium, catalysts or transporters, sondern als Empfänger und Wandler chemischer Signale, receivers and transducers, ist eine Freiheit von sonst unüberwindlichen chemischen Zwängen gewonnen, die der Selektion erlaubt, die ungeheuer komplexen Schaltungen, *the arbitrariness*, lebender Organismen zu entwickeln.«⁴⁷ In seiner legendären Antrittsvorlesung vor dem Collège de France im November 1967 – während also der junge kalifornische Student an seiner Arbeit schwitzte – wird Jacques Monod davon sprechen, dass »dank der »Erfindung« der allosterischen Proteine, die molekulare Evolution die lebenden Systeme allmählich von chemischen Zwängen befreien konnte (strukturellen und thermodynamischen), die ohne diese Proteine die Emergenz des wundersamen funktionalen Baus verhindert hätten, den die Zelle darstellt, wie wir sie heute kennen.«⁴⁸

41. Schöne Ableitung in Smart Kauffman: *Reinventing the Sacred. A New View of Science, Reason and Religion*, New York 2008, S. 104f.

42. Monod/Changeux/Jacob: »Allosteric Proteins«, a.a.O., S. 325.

43. Ebd., S. 324.

44. Vgl. etwa Jacques Monod: *Leçon inaugurale, faite le Vendredi 3 Novembre 1967*, Collège de France 1967, S. 19 (vgl. demnächst: Jacques Monod: *Die Antrittsvorlesung*, Berlin 2012); und Ders.: *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie*, übers. von Friedrich Griese, München 1971 (frz.: *Le Hasard et la Nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Paris 1970), S. 97f.

45. Jacob/Monod: »Genetic Repressions«, a.a.O., S. 50.

46. François Jacob: *Die Logik des Lebenden. Von der Urzeugung zum genetischen Code*, übers. von Jutta und Klaus Scherret, Frankfurt a. M. 1971 (frz.: *La Logique du vivant. Une histoire de l'hérédité*, Paris 1970), S. 21.

47. Monod/Changeux/Jacob: »Allosteric Proteins«, a.a.O., S. 324 und 325 (Übersetzung P.B.).

48. Monod, *Leçon inaugurale*, a.a.O., S. 20. In Monods *Zufall und Notwendigkeit* heißt es schließlich: »Weil sie der molekularen Evolution ein praktisch unbegrenztes Forschungs- und Experimentierfeld

Die 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts, das heißt in Natur-, Ingenieurs- und Geisteswissenschaften: Hinwendung zu Signalen und Zeichen, im Zeichen der Befreiung vom Signifikat. Diese Befreiung kommt bei dem 29-jährigen Stuart Kauffman, dem man noch 1971 am Comersee mit Ringel-T-Shirt und breiten Koteletten den kalifornischen Studenten abnimmt, als programmierbare Spiele mit 0 und 1 an.⁴⁹

Kauffmans Wissenschaft. Erspielt

Weil Kauffmans binäre Netze ihr *element* anders einführen als Walker/Ashby: nicht als »simple electrical device«, sondern als »the activity of a formal gene, for brevity, gene«;⁵⁰ und weil Kauffmans Programme auf einer Hardware laufen, die Büromaschinen durch *hacker's machines* und deren andere Technikgeschichte ersetzt – darum sind seine Netze erweiterbar. Darum entbergen sich in ihnen; *disclosure*, neue Strukturen.

Die ersten Durchläufe für 400er Netze zeigen eine Tendenz zu sehr kurzen cycles und kurzen *run ins*.⁵¹ Auch weisen beim Übergang von einem Zustand in den anderen viele Elemente schnell gar keine Änderung oder Aktivität mehr auf. In größeren Netzen ist vor allem die *Anzahl* der verschiedenen *cycles* interessant. Viele Netze, die mit jeweils 50 verschiedenen Ausgangszuständen durchgespielt werden, produzieren bis zu 10 verschiedene *cycles*. Kauffman misst die Abstände zwischen den *cycles*. Wenn der Zustand 00000 eines 5 *gene nets* vom Zustand 00111 den Abstand 3 hätte (weil er sich in 3 Elementen unterscheidet), dann ließen sich auch die Anfangszustände der beginnenden *cycles* nach ihren Abständen durchmessen. In einem 100er Netz ist ein durchschnittlicher Abstand von 10 zu verzeichnen.⁵² Zwischen den *cycles*, das wissen schon Walker/Ashby, gibt es keinen Übergang, also: kein Anfangszustand eines *cycle* kann zu zwei verschiedenen *cycles* führen.⁵³

An diesem Punkt bringt Kauffman eine grundsätzlich neue Dimension ins Spiel: einen *vierten* Zufall, neben dem Zufall der Verschaltung, der Wahl der Spielregel und des Anfangszustands. Im MIT, dessen Gänge der verspielte Claude Shannon mit elliptischen Einrädern zu befahren beliebte,⁵⁴ wird Zufall

eröffnet hat, ist es schließlich gerade die *Zwangsfreiheit* (grauite) dieser Systeme, durch die es möglich wurde, dass die Evolution der Moleküle das ungeheure Netz von Steuerungskontakten, *l'immense réseau d'interconnexions cybernétiques*, aufbauen konnte, die den Organismus zu einer autonomen Funktionseinheit machen, dessen Leistungen die Gesetze der Chemie zu übertreten, wenn nicht gar ihnen sich zu entziehen scheinen.« (Monod, *Zufall und Notwendigkeit*, a.a.O., S. 104).

49. Vgl. das Familienphoto in *Towards a theoretical Biology IV* von 1972. 1971 ist Kauffman allerdings bereits an der University of Chicago.

50. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.a.O., S. 440. *Formal gene* meint, unter Abstraktion von aller Biochemie, »modeling the gene as a binary device« (ebd.: 439).

51. Mit einer unerklärlichen Bevorzugung geradzähliger Längen.

52. Ebd., S. 449.

53. Heißt der Minimalabstand eines *cycles* von einem anderen ist 1 und kann nicht 0 werden.

54. Zu den übrigen Spielen vgl. Axel Roch: *Claude E. Shannon: Spielzeug, Leben und die geheime Geschichte seiner Theorien der Information*, Berlin 2009.

nachrichtentheoretisch gedacht, als Rauschen oder *noise*: wenn also erst der Wahrscheinlichkeitszustand der Quelle plus der Wahrscheinlichkeitszustand des verauschten Kanals den Wahrscheinlichkeitszustand der empfangenen Botschaft erbt. Kauffman operiert programmierbar und elementar mit *one unit of noise*: der Wert eines einzigen, zufällig gewählten Elements wird zu einer bestimmten Zeit von außerhalb des Systems verändert. »After perturbation, the system may return to the cycle perturbed, or run into a different cycle.«⁵⁵

Spiel

»The program first built a net.«⁵⁶ Also ein Netz aus 400 Elementen mit 2 Inputs pro Element. Dann wähle zufällig 50 Anfangszustände und speichere die beim Durchlauf entdeckten *cycles*. Dann spiele jeden einzelnen Zustand des ersten *cycle* in allen 400 möglichen Zuständen durch, die um ein *gene*, eine *unit*, von ihm differieren.⁵⁷ Ergebnis: Die 50 Ausgangszustände dieses Netzes produzierten insgesamt 30 verschiedene *cycles*. Bei einer durchschnittlich anzunehmenden Länge von 4 Zuständen macht das 30 mal 4 mal 400 gleich 48000 Durchläufe.⁵⁸ Für jeden Durchlauf wird gespeichert, ob der *cycle* bei sich selbst landet oder in einem anderen *cycle* und in welchem.

Das alles ergibt eine Menge von Zahlen, mit denen sich arbeiten lässt. Man schreibt sie etwa in eine *matrix* (Abb.2 a): in der Senkrechten und Waagrechten die Nummern der 30 *cycles* und in jeder *cell* der Matrix die Zahl, wie oft bei der Störung um ein einziges *gene* der *cycle* in einen anderen springt. Also etwa: *cycle* 11 springt 9 mal zu *cycle* zehn, 18 mal zu 9, 27 mal zu *cycle* 3, usw. 949 mal aber kehrt er zu sich selbst zurück. Die Division der Zahl in der Zelle mit der Summe der ganzen Reihe ergibt den Wahrscheinlichkeitswert, mit dem bei *noise* 1 ein bestimmter *cycle* in einen anderen übergeht. »Such a matrix is a Markov chain.«⁵⁹

Der russische Mathematiker Andrej Andrejevič Markov hatte 1913 an den Übergangswahrscheinlichkeiten von Buchstabe zu Buchstabe der ersten 20000 Buchstaben von Puschkins *Jewgeni Onegin* einen neuen Typ von Wahrscheinlichkeitstheorie begründet.⁶⁰ Der Bell Lab Ingenieur und Mathematiker Claude Elwood Shannon gründete darauf seine mathematische Theorie der Kommunikation.⁶¹ Markovketten lassen sich auch graphisch schreiben: als *Graph*. In ihm ist nicht wie im *kimatograph* der prinzipiell oder grammatikalisch mögliche

55. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.o., S. 443.

56. Ebd., S. 449.

57. Es gibt bei einer Netzgröße N genau N Zustände, die sich von einem gegebenen Zustand um ein Gen unterscheiden (ebd., S. 443).

58. Kauffman gibt diese Zahlen nicht an!

59. Ebd., S. 443.

60. Vgl. Philipp von Hilgers und Vladimir Velminski: *Andrej A. Markov. Berechenbare Künste*, Zürich/Berlin 2007.

61. Vgl. Claude Elwood Shannon: »Eine Mathematische Theorie der Kommunikation (Bell Systems Technical Journal 27, Okt. 1948)«, in: Ders., *Ein Aus. Ausgewählte Schriften zur Kommunikations- und*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18												

gibt, ist, dass oft alle *cycles* in einer ganz bestimmten Folge von Übergängen landen, aus der kein Weg herausführt. Im vorliegenden Fall: 2 – 5 – 7 – 15 (vgl. Abb. 2 b). »They form an ergodic set into which the remaining cycles flow.«⁶³ Ein solches Set ist selbst ein *cycle* aus *cycles*.

Aufs Ganze ergibt sich damit in Kauffmans *Binary Random Nets* eine systemische Stufenfolge:

1. Elemente alias *formal genes*;
2. Zustände des ganzen Netzes alias *states*;
3. geschlossene Folgen von Zuständen alias *cycles*;
4. Übergänge zwischen *cycles*; und schließlich
5. *ergodic sets* von *cycles*.

Die letzte Stufe, die von Shannons Nachrichtentheorie induzierten markovschen Ketten, sind der Punkt, an dem Kauffmans Modell ins Modellierete abspringt. Ohne Umschweife führt der Student das Computermodell auf eine der »rätselhaftesten Fragen der Biologie« zu, eine Frage, der Jacob/Monods ganzes, nobelpreiswürdiges Operonmodell gewidmet ist: die Differenzierung von Zellen zu verschiedenen Zelltypen im Lauf der Ontogenese.⁶⁴ Machen Kauffmans Netze »the spontaneous generation of heterogeneity«⁶⁵ denkbar, also: »The spontaneous generation of a multiplicity of cell types from a single cell type?«⁶⁶ Das ist es, was sich eines Tages von seiner biologischen Erbschaft, der alten *generatio spontanea*, lösen und »Selbstdifferenzierung«, »Selbstorganisation«, »Autopoiesis« heißen wird.⁶⁷

Kauffmans Coup ist schlicht: Gene sind *formal genes*, Zellen sind *state cycles*.⁶⁸ Das ist schon numerisch begründbar. Die Zahl der Zelltypen in ihrer Abhängigkeit von der Zahl der Gene scheint bei Bakterien, Hefen, Algen, bei Schwämmen, Hydras, Quallen, bei Ringelwürmern und beim Menschen zumindest in der gleichen Ordnung zu liegen wie die Zahl der Gene eines Modellnetzes und

63. Ebd.: Bildunterschrift Fig. 10.

64. Vgl. vor allem die Kaufman inspirierende Arbeit Jacob/Monods: »Genetic Repressions«, a.o.O. Der Zelldifferenzierung war auch schon eine frühere Arbeit Kauffmans von Anfang 1967 gewidmet, noch ohne Referenz auf Jacob/Monod: »Sequential DNA Replication and the Control of Differences in Gene Activity between Sister Chromatids – A Possible Factor in Cell Differentiation«.

65. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.o.O., S. 464.

66. Ebd., S. 463.

67. Wie Walker/Ashby und Kauffmans Netze im Horizont einer allgemeinen Geschichte von *self-organizing systems* und des Denkens von *self-organization* im BCL im Speziellen stehen, kann hier nicht entwickelt werden. Zu Foerster, Babcock und Maturanas Ursprüngen in von Foersterns BCL siehe Jan Müggensburg: »Biological Computer Laboratory. Zu Organisation und Selbstorganisation eines Labors«, in: Florian Hoof, Eva-Maria Jung (Hg.), *Jenseits des Labors*, Bielefeld 2011, S. 23–44, und Ders.: *Lebhaftige Artefakte. Die Maschinen des Biological Computer Laboratory*. Phil. Diss., Witten/Lünenburg (in Vorbereitung). – Der Artikel »Autopoiesis: die Organisation lebender Systeme, ihre nähere Bestimmung und ein Modell« von Maturana, Varela, Uribe von 1974 arbeitet mit ähnlichen programmierbaren Spielen wie Walker/Ashby und Kauffman (vgl. Humberto Maturana, F. J. Varela, R. Uribe: »Autopoiesis: die Organisation lebender Systeme, ihre nähere Bestimmung und ein Modell (1974)«, in: Humberto R. Maturana: *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Ausgewählte Arbeiten zur biologischen Epistemologie* (hg. Wolfgang K. Köck), Braunschweig/Wiesbaden 1982, S. 157–169; Abschnitt 6. *Modell eines Minimalfalls*).

68. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.o.O., S. 460.

die Zahl seiner *cycles*.⁶⁹ Kann aber bloßes Rauschen die Differenzierung des Systems aus homogenen Elementen in Gang setzen?⁷⁰ Wo technisch der Zufall von Urnen, Tafeln, Generatoren ein Problem ist,⁷¹ da ist biologisch an reinem Rauschen kein Mangel: biochemical noise is ubiquitous, unavoidable, and therefore reliable.⁷² Im Modell mit *noise 1* führt von einem *cycle* nur zu wenigen anderen ein Weg. Das heißt: eine Zelle differenziert sich nur in einige wenige Zelltypen. Von einem *ergodic set* dagegen führt überhaupt kein Weg zu einem anderen *ergodic set*. Angenommen, ein Netz »driven by external noise« hätte nur ein einziges ergodisches Set, so wird es innerhalb dieses Sets sehr oft *spontaneously* von *cycle* zu *cycle* übergehen. Wäre das Netz Modell einer in Teilung befindlichen Zelle, so würde die Teilung selbst die erste externe Rauschquelle, die alle in diesem einen Set erreichbaren *cycles* alias Zelltypen hervorbringt, sie *ausprobiert* und *bevölkert*.⁷³ Hat ein Netz dagegen mehrere verschiedene ergodische Sets, müssen bestimmte Wege, *run ins* oder *transients*, zu diesen Sets führen und sich irgendwo verzweigen.⁷⁴ Sobald das System aber in die Region eines ergodischen Sets gerät, *the system becomes trapped*.⁷⁵ es ist kein Übergang *zum cycle* eines anderen Sets mehr möglich.

Kauffmans direkte Übertragungen vom technischen Modell in die Zelle produziert Überschüsse, die nachgerade mythische Dimensionen annehmen. Da innerhalb eines ergodischen Sets jeder *cycle* von jedem *cycle* aus, jeder Zelltyp von jedem Zelltyp erreichbar ist, können durchaus ganze Gruppen von Zelltypen auch ausfallen. »Vom Rauschen angestachelt«, *goaded by noise*, also von der Teilung der Zelle, werden alle ausgefallenen *cycles* alias Zelltypen neu bevölkert werden: *regeneration should occur*. Fällt aber ein ganzes Set aus, ist Regeneration nicht zu erwarten. »Because all cells are trapped in separate ergodic regions, overall regeneration is not possible. Within each region, restricted regeneration remains possible. Wounds heal.«⁷⁶ Kauffmans Netzmodelle beantworten die alte

69. 16000 Gene, wie beim Schwamm, ergeben im Modellnetz 120 Zelltypen, in der biologischen Wirklichkeit 14; 2 Millionen Gene wie beim Menschen ergeben im Modellnetz 700 Zelltypen, in der biologischen Wirklichkeit 100. Was, so Kauffman, bei den vielen Unbekannten – sehr große Netze, wenig wahrscheinliche, bloß binäre Elemente, ein nur grob schätzbares Zahlenverhältnis von Genen und Zelltypen – eine recht gute Annäherung sei (vgl. ebd., S. 461).

70. Zu Heinz von Foersterns Formel »order from noise« und ihren Modellen vgl. Jan Müggensburg: »Modeling Self-Organization. How Scientists at the Biological Computer Laboratory Came to Grips with an Elusive Concepts«, in: H. Hunger, F. Seebacher (Hg.): *Styles of Thinking in Science and Technology*, Proceedings of the 3rd International conference of the European Society for the History of Science, Wien 2008, S. 499–509.

71. Vgl. etwa Walker/Ashby, die auf Kendal & Smiths Zufallscafeln zurückgreifen (vgl. Crayton C. Walker und Walter Ross Ashby: »On temporal characteristics of behaviour in certain complex systems (received 17. Januar 1966)«, in: *Kybernetik*, Bd. III, 1966/67, S. 100–108, hier 103).

72. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.o.O., S. 463.

73. »If the net is a replicating cell, the clone will explore the permitted transition pathways between cycles and populate the ergodic set according to the asymptotic transition pathways between the cycles.« (Ebd., S. 463).

74. »Call this transient cycle the zygote. Let it replicate. Then, the zygote is isotopic with respect to all its ergodic regions. We may explain the initiation of differentiation: the zygote is on a Markovian transient cycle in a noisy environment and must eventually leave.« (Ebd., S. 464).

75. Ebd.

76. Ebd.

biologische Frage nach der Regeneration, die in der Biologie des 20. Jahrhunderts Modelle wie das »morphogenetische Feld« oder das »Gradientenfeld«⁷⁷ hergebracht hat. Nur steht jetzt anstelle physikalischer, zellbiologischer, physiologischer Modelle die Interaktion molekularer Netze. Interaktionen aber sind, im Unterschied zur Physik, spielbar. Als, so Kauffman, Erwin Schrödinger 1944 die *spezifische* Wirkung molekularer Strukturen denkt, greift er noch auf stabile und instabile Zustände der Quanten zurück. Seit Jacob/Monod treten an die Stelle von Atommodellen Modelle der Kommunikation.⁷⁸

Spiel mit Grenzen

Spielsüchtige Programmierer haben vor einem Programm sofort nur die eine Idee: Wie lässt sich das Programm ausreizen? Dem kalifornischen Studenten liegt schon darum jene grundlegende Tatsache aller Spiele nicht fern, dass sie Grenzen haben und nur von ihren Grenzen her denkbar werden.

Technisch gesprochen: an Parametern lässt sich herumerschrauben, bis zum Anschlag. Etwa am Grad der Verschaltung des Netzes, seiner *connectivity*. Der erste Grenzfall: jedes Element ist mit jedem verschaltet, schreib: $K = N$. (Das ergäbe etwa im eingangs entworfenen Fall eines Pentagramms ein Fünfeck, samt aller Diagonalen).⁷⁹ Der Zufall des Verschaltens wäre damit ausgeschaltet. Nur die zufällige Wahl der Anfangszustände und booleschen Funktionen bliebe. Schon vor ihm, so Kauffman, habe man bewiesen, dass ein solches System *cycles* hervorbringt, die genau so lang sind wie die Quadratwurzel aller überhaupt möglichen Zustände des Systems. Das ergibt bei einem Netz von 200 binären Elementen mit 2^{200} oder 10^{60} Zuständen eine *cycle* Länge von bescheidenen 10^{30} Zuständen. Sie sind schwer zu beobachten und nicht nur das. Wenn jeder Übergang von einem Zustand in den anderen eine Mikrosekunde bräuchte, dann überschritte die Zeit zum Durchlaufen eines solchen *cycle* 10 Millionen Mal die Zeit, die Edwin Hubble als Alter des ganzen Universums errechnet.⁸⁰ »Totally connected random nets are biologically impossible.«⁸¹ Hat dagegen jedes Element nur *einen* Input, zerfällt das Netz in eine Vielzahl einzelner *loops*, deren Länge schon bei 200 Elementen mehrere Millionen Zustände umfasst.⁸² Erst ab $K = 2$ zeigt sich das Erstaunliche, dessen Gerücht im Sommer 1968 seinen

77. Das Konzept der morphogenetischen Felder stammt von dem russischen Biologen Aleksandr Gavrilovič Gurvič, die Gradientenfelder tauchen bei dem Alpbach-Teilnehmer Paul Weiss zum ersten Mal auf. Er forscht seit den 1920er Jahren im Wiener Vivarium an der Regeneration von Amphibiengliedern.

78. Vgl. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a. a. O., S. 454.

79. Vgl. etwa im – fürs Vorliegende sonst nicht weiter zu Rate gezogenen – *Summum Opus* Kauffmans: Stuart Kauffman: *The Origins of Order. Self-organization and selection in evolution*, New York – Oxford 1993, S. 473.

80. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a. a. O., S. 443 und 454.

81. Ebd., S. 443.

82. Ebd., Kauffman bezieht sich auf die PhD Thesis des Shannon-Herausgebers N.J.A. Sloanes von 1967.

Weg nach Tirol findet: »It is surprising that randomly constructed nets, in which each element is directly affected by two others, embody short, stable behaviour cycles.«⁸³ In einem Netz von 1000 Elementen mit möglichen 10^{300} Zuständen, ergeben sich mit $K = N$ *cycle*-Längen von 10^{150} , mit $K = 2$ aber Längen von maximal einigen hundert Zuständen. Kauffmans *erste* Quintessenz: »A molecular reaction net of high specificity is a net of low connectivity.«⁸⁴

Die Spezifität und Stabilität von Zufallsnetzen mit geringer Verschaltung kann sich auch biologisch sehen lassen. Wäre der gesamte Schaltplan von *inducer-repressor-operator* einer Zelle nach Jacob/Monod bekannt, das ist: »the wiring diagram of the specific repression and derepression connections between genes«, also die Basis aller Steuerungen, Regulationen, Kommunikationen in der Zelle und zwischen Zellen, dann wäre, so Kauffmans *zweite* Quintessenz, dieser Schaltplan »topologisch ununterscheidbar« von einem Schaltplan, der nur durch Zufall entstand.⁸⁵ Denn dass ein Gen nicht mit allen oder sehr vielen Genen verschaltet ist, sondern mit nur wenigen, ist ein Ausgangspunkt von Jacob/Monods Operon-Modell.

Damit wären nicht nur Mutationen alias *noise* und Jacob/Monods Lehre von den arbiträren, allosterischen Molekülen in spielbaren Netzen aufgehoben.⁸⁶ Auch die *Chreoden*, Täler und Berge von Waddingtons epigenetischen Landschaften erscheinen plötzlich im Licht eines neuen Wissens. Waddington begrüßt es in Alpbach jubilatatorisch.

Wörterber Waddington allerdings nicht mehr spricht: programmierte Zufallsnetze und ihre markovschen *cycle*-Übergänge unter Einfluss von externem Rauschen sind ein ganz anderer Typ von Modelle als etwa Bilder von Kugeln und Flüssen, die längs eines Tales abwärts rollen und fließen, dessen Verlauf von Erdbeben verändert wird.⁸⁷ Ashby/Kauffmans Modelle sind keine Metaphern und keine Begriffe und basieren nicht auf Kunst, sondern auf Ingenieurtechnik.⁸⁸ Netzmodelle sind programmiert und spielbar, nicht gezeichnet und sichtbar. Als Ingenieurtechnik fallen Kauffmans Netze mit dem Dispositiv der Maschinen in Minskys AI Laboratorium des MIT zusammen. Es besteht aus *Modellmaschinen*. Das heißt: nicht Maschinenmodellen, wie sie seit Hachettes

83. Ebd., S. 452.

84. Ebd., S. 454.

85. Ebd.

86. Vgl. ebd., S. 465.

87. Vgl. Conrad Hal Waddington: »Der gegenwärtige Stand der Evolutionstheorie«, in: *Das Neue Menschenbild. Die Revolutionierung der Wissenschaften vom Leben. Ein internationaler Symposium*, hg. Arthur Koestler und J.R. Smythies, übers. von Franz Vesely, Symposion 5.-9. Juni 1968 in Alpbach, Wien – München – Zürich 1970 (Englisches Original: *Beyond Reductionism*), S. 349, und die entsprechenden Hinweise bei Ohad Parnes: »Die Topographie der Vererbung. Epigenetische Landschaften bei Waddington und Piper«, in: *Trujické. Zeitschrift des Zentrums für Literatur- und Kulturforschung Berlin*, Nr. 14, April 2007, S. 26–31.

88. Zu allgemeineren Theorien von Modell und Simulation vgl. etwa Mary S. Morgan, Margaret Morrison: *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science*, Cambridge 1999; Jay Odenbaugh: »Models«, in: *A Companion to the Philosophy of Biology* (ed. Sahotra Sarkar, Anya Plutynski), Blackwell Publishing 2008, S. 506–524; Müggenburg: »Modeling Self-Organizations«, a. a. O.; und im vorliegenden Band der Beitrag von Claus Plas: »Zur Epistemologie der Computersimulationen.«

Tableaux und Reuleaux' kinematischen Modellen die Maschinenwissenschaften durchziehen. Sondern Modelle als Maschinen, das ist: als Hard- und Software universaler, digitaler Maschinen. *PDP-6* und sein *Incompatible Time Sharing System* wurden »entworfen als Vehikel zur Erforschung des Computers«. Dieses Vehikel hat einen besonderen institutionellen Status, mit *hackerism* als Maschinen-Umgebung. Es ist technisch selbst ein Netz einiger, nicht vieler, programmierender und debuggender *user*. Und dieses Netzwerk *läuft* – oder läuft nicht. Denn das Modell als Maschine hat Input und Output. Am einen Ende wird manipuliert (Hardware, Bibreite, *instruction set*, Code der Maschine) oder eingespeist (Verschaltung, Ausgangszustand, Transformationsregel, Rauschen). Am anderen Ende entsteht, was nicht vorhersehbar, nur durchspielbar ist. Der digitale Zustand der Kauffmanschen Netze ist die 0/1-Logik der digitalen Maschine selbst. Binäre Netze sind, im Jargon, *finite state machines*. Sie existieren nur in der endlichen technischen Realität einer *finite state machine* namens *PDP-6* und seinem Betriebssystem *ITS*. Weil sie aber endlich ist, darum ist sie auch *historisch* und nicht nur logisch.

Dass aber Kauffman schließlich auch Waddingtons theoretische Kardinalfrage stellt, dürfte ein erster Rückkopplungseffekt sein. Haben, so fragt Kauffman, »two billion years of survival pressure succeeded in selecting from a myriad of unorderedly reaction nets those few improbable, that is non-random and ordered«, also jene, die Spezifität, Teleonomie, Stabilität aufweisen, wie Waddingtons Chreoden? Oder sind »living things akin to randomly constructed automata whose characteristic behaviour reflects their unorderedly construction no matter how evolution selected the surviving forms?«⁸⁹ Nur dass in Alpbach Waddingtons Sorge vor allem der Gefahr gilt, dass Walker/Ashbys und Kauffmans spontan entstehende Ordnungen so schöne Models sind, dass plötzlich alles stehen bleibt: »das System in ein Gleichgewicht kommt.«⁹⁰ Einfach weil *cycles* und ergodische Sets zu stabil sind.

Aber der Theoretiker des Phänotyps und des epigenetischen Raums zwischen Gen und Phän, setzt nicht auf *biochemical noise*, Mutationen und die Replikation der Zelle. In einer »unaufhörlich wachsenden Zahl von »Lebenssituationen«,⁹¹ das ist: Konstellationen von Fressen und Gefressen werden, Parasitismus und Symbiose,⁹² Verfahren und Verführt werden, ändert jedes Lebewesen, das sich ändert, auch die Umwelt aller andern.⁹³

89. Kauffman: »Metabolic Stability and Epigenesis«, a.a.O., S. 465.

90. Waddington: »Der gegenwärtige Stand der Evolutionstheorie«, a.a.O., S. 351.

91. Ebd.

92. Bei Waddington in der Fassung *Parasitismus und Kommensalismus*.

93. »Würde daher in einer ursprünglich statischen Welt ohne Evolution eine einzelne Species einen Evolutionsprozess beginnen, so würde dies zur Ausbildung unendlich vieler neuer Umgebungen führen, da jeder der übrigen Organismen auf die Änderung des einen reagieren müsste.« (ebd., S. 351).

»Tout au long de la vie, le hasard joue avec le discontinu.«⁹⁴ Nicht das Leben spielt mit dem Diskontinuierlichen und dem Zufall, sondern der Zufall spielt mit dem Diskontinuierlichen, das ganze Leben lang. Aber *spielt* der Zufall? Nein, die Spiele spielen: die Geschichte in Technik, Mathematik, Musik spielt mit sich selbst.

Und die Natur? Spielt sie auf Leben und Tod nach Thomas Robert Malthus, dem protestantischen Pfaffen, wie, so Marx, »die meisten Populationslehrer?«⁹⁵ Oder spielt sie nach Pythagoras und Leibniz' Binärzahlen, nach Buchstaben und *elementa* von Lukrez bis Ashby, nach Systemen aus Elementen von Aristoteles' Silben bis Waddington und Kauffman?

Oder spielt im Phänotyp und seinen Erscheinungen der Zufall ohnehin ganz anders als im Genotyp und seinen Netzen? Denn die unordentlichen Tiere, deren Wesen Hegel in ihre »zufällige *Selbstbewegung*« legte, kümmern sich vielleicht wenig um den Zufall in genetischen Netzen. Sie flattern durch die Luft, jeder nach seiner speziellen Bahn, pfeilgerade zum Blütenziel schießend (wie die *Sphingidae*, die Schwärmer); als weißes Blatt vom Baume taumelnd (wie die *Pieridae*, die Weißlinge); von Klang getragen, kurz schwebend, dreimal flatternd, schwebend (wie *Melanargia galathea*, das Damenbrett).

94. Michel Foucault: »Croître et multiplier« (*Le Monde* 15–16 novembre 1970), in: Ders., *Dits et écrits*, Paris 1994, Band II, S. 99–104, hier 100.

95. Karl Marx: *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie* (1867), Dietz-Verlag Berlin, 1982, S. 644f, Anmerkung 75.

||qu||||

Herausgegeben von
Claus Pias und Joseph Vogl

Spielregeln. 25 Aufstellungen

Eine Festschrift für Wolfgang Pircher

Herausgegeben von

Peter Berz, Marianne Kubaczek, Eva Laquière-Waniek und David Unterholzner

Drucklegung mit freundlicher Unterstützung des philosophischen Instituts
der Universität Wien.

Inhalt

Vorwort 9

ZUR EINSTIMMUNG

Markus Arnold
Regeln der Forschung | Regeln der Kunst 13

BERECHENBAR: DATEN, NETZE, ERWARTUNGEN

Peter Berz
Binary Random Nets I 25

Claus Pias
Zur Epistemologie der Computersimulation 41

Joseph Vogl
Gezähmte Zeit 61

Éric Brian
Das Zittern der unsichtbaren Hand 73

Hermann Rauchenschwandner
Das Spiel des Lebens 83

ERWARTUNGEN: GEWINNER, VERLIERER, MITSPIELER

Harald Katzmaier und Wolfgang Neurath
Up or Out 97

Herbert Hrachovec
Homo ludens bolognensis 107

MITSPIELER: GESCHLECHTER IN IHRER ABFOLGE UND IHREN ERZÄHLUNGEN

Thomas Brandstetter
Außerirdische entwerfen 123

I. Auflage
ISBN 978-3-03734-194-0
© diaphanes, Zürich-Berlin 2012
www.diaphanes.net

Alle Rechte vorbehalten
Layout und Druckvorstufe: Zedit, Zürich
Druck: Pustet, Regensburg
Umschlagkonzept: Thomas Bechinger und Christoph Unger
Umschlagabbildung: *Quarré navale*, aus: Paul Hoste: *L'Art des armées navales ou
Traité des évolutions navales*, Lyon 1697.

Klaus Hamberger Potlatsch und Verwandtschaft	131
Richard Heinrich The Green-Eyed Monster Game	141
Robert Pfaller »Bohr nicht in der Nase! Schau dir die Frauen an!«	151
Elisabeth von Samsonow Zum Spielzeugstatus zeitgenössischer Apparate	159
Katherina Zakravsky Truth or Dare	173

ERZÄHLUNGEN VON DER LIEBE ZUR SPRACHE UND ZUR FORM

Eva Laquière-Waniek Fort und Da. Zur Ankunft des Subjekts	185
Stanley L. Paulson Inspiration Form: Wassily Kandinsky und Hans Kelsen	201
Daniel Gethmann Sprechende Pferde	217
Ulrike Kadi Bücherwurmeierspiel	233

FORM: ZU LAND, ZU WASSER UND ZU HAUS*

Gustav Deutsch und Hanna Schimek Pflanzen der Wüste	249
Bernhard Siegert Schiffe Versenken	259
Anton Tantner Das Adressierungsspiel	271

ZU HAUS IM RAUSCHEN UND IM SCHNITT

Bernhard J. Dotzler Treatment der Diven	279
Marianne Kubaczek Martingale von Cage bis Mozart	293

SCHNITT FÜR SCHNITT VON FLEISCH UND BLUT ZUR DNA – BERECHENBAR

Elfriede Jelinek Aber sicher! 2. Akt	307
Rudolf Heinz In der Regel in der Regel	317
Erich Hörl Die technische Verwandlung	327
Peter Berz Binary Random Nets II	343
Abbildungsnachweise	361
Die Autorinnen und Autoren	363

* »Ich kann bei so gestalten Sachen mir bei dem Toback jederzeit erbauliche Gedanken machen, drum schmauch' ich voll Zufriedenheit zu Land, zu Wasser und zu Haus mein Pfeifchen stets in Andacht aus.« (J.S. Bach, BWV 515a)