



Programme des Lebens und Überlebens

Pias, Claus

Published in:

INFORMATIK 2009 - Im Focus das Leben, Beiträge der 39. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Publication date:

2009

Document Version

Begutachtete Fassung (Peer reviewed)

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Pias, C. (2009). Programme des Lebens und Überlebens. In S. Fischer, E. Maehle, & R. Reischuk (Hrsg.), *INFORMATIK 2009 - Im Focus das Leben, Beiträge der 39. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)* (S. 888-898). (GI-Edition, Proceedings; Nr. 154). Gesellschaft für Informatik e.V..

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Programme des Lebens und Überlebens

Claus Pias

Institut für Philosophie
Universität Wien
Universitätsstr. 7
A – 1010 Wien
claus.pias@univie.ac.at

Abstract: Der Vortrag beschäftigt sich mit einer doppelten Wendung: einerseits der Entstehung der Vorstellung, daß es ein Programm des *Lebens* gebe, dessen „Code“ in geheimdienstlicher Manier zu entschlüsseln wäre, andererseits der Entstehung von Verfahren, die das *Überleben* als Optimierungsverfahren in Code umsetzen. Der erste Teil geht dazu auf die Arbeiten von George Gamow ein, der einem irritierten James Watson aus heiterem Himmel anbot, seine lebenswissenschaftlichen Probleme auf einem MANIAC lösen zu können. Der zweite, kürzere Teil widmet sich den frühen Konzepten genetischer Algorithmen und adaptiver Systeme bei John Holland und der Operationalisierung von Unwahrscheinlichkeit. Diese beiden Beispiele realisieren verschiedene Optionen des Imports und Exports theoretischer Konzepte zwischen Computer Science und Lebenswissenschaften. Da beide Fälle im Jahrzehnt zwischen 1952 und 1962 lokalisiert sind, wird vergleichbar, in welchem wissenschafts- und zeithistorischen Kontext solche Austauschprozesse attraktiv und auf eine bestimmte Weise möglich wurden.

1 George Gamow: Code und Krieg

George A. Gamows Biographie ist – wie die so vieler Wissenschaftler des 20. Jahrhunderts – von außergewöhnlichen Diskontinuitäten gezeichnet [Ga70], [Fr94], [HA01]. Dies mag einer der Gründe sein, warum er als lebenswissenschaftlicher Dilettant, dem die „American Academy of Sciences“ noch nachdrücklich von einer Publikation auf diesem Gebiet abgeraten hatte [We68], einen so fundamentalen Beitrag zur modernen Genetik leisten konnte [Na04], daß Francis Crick ihm einen Ehrenplatz in deren Geschichte einräumt [Cr66] und James Watson seinen Namen gar im Titel seiner Autobiographie anführt [Wa02].

1904 in Odessa geboren, machte Gamow eine steile Karriere auf dem jungen Gebiet der Teilchenphysik, die ihn auf die entscheidenden Konferenzen nach Göttingen, Kopenhagen und Cambridge führte, und stand mit nahezu allen namhaften Forschern seiner Zeit in engem Austausch. Nach abenteuerlich gescheiterten Fluchtversuchen gelang ihm 1933 die Emigration in die USA, wo er sich noch einige Jahre (gemeinsam mit Edward Teller) dem beta-Zerfall widmete, um sich ab 1938 vornehmlich der Astrophysik zuzuwenden. Sein *clearing* für militärische Forschungsprojekte erhielt er allerdings (als ehemaliger Angehöriger der sowjetischen Streitkräfte) erst 1948, wurde daraufhin Berater der „Division of High Explosives“ im Bureau of Ordnance des Navy Department und beschäftigte

sich mit Fragen der Schock- und Detonationswellen konventioneller Explosiva. Einem Einstieg in die Entwicklung der Wasserstoffbombe stand also nichts mehr im Wege, und das Ergebnis kommentierte er als Augenzeuge der Detonation im Bikini-Atoll mit einem schlichten „very exciting“.

In seinen späteren Jahren war Gamow nicht nur als militärischer Berater und Hochschullehrer, sondern vor allem als populärwissenschaftlicher Autor tätig. Seine Bücher – insbesondere die Reihe der Abenteuer von Mr. Tompkins, eines Bankangestellten, der die Welt der Physik im Schlaf während der Dienstzeit kennenlernt – erreichten höchste Auflagen und wurden in über 15 Sprachen übersetzt. Gamow trat vor riesigen Sälen und sogar im jungen Fernsehen auf und unterhielt legendärerweise noch jede Party durch seine Scherz- und Kartentricks. „Seine Vorstellung eines Longdrinks“, so erinnert sich Watson, „war ein großes, bis zum Rand mit Whisky gefülltes Glas“, und er erledigte seine Termine zwischen Barbecue, Rüstungslabor und Hörsaal gewöhnlich im weißen, mit rotem Leder ausgeschlagenen und „Leda“ getauften Mercury Convertible. Lily Kay hat in ihm daher eine (für die 50er Jahre typische) „Verkörperung [...] des militärisch-industriell-akademischen Komplexes“ ausgemacht [Ka00].

In dieser Zeit schrieb Gamow einen legendären Brief an John Watson, den dieser zunächst für so wunderlich hielt, daß er sich nicht die Mühe einer Antwort machte und im Absender schlicht einen „Quatschkopf“ vermutete. Entscheidend ist die Passage auf der dritten Seite: „For example the animal will be a cat if Adenine is always followed by cytosine in the DNA chain, and the characteristics of a hering is that Guanines always appear in pairs along the chain.... This would open a very interesting possibility of theoretical research based on mathematics of combinatorix and the theory of numbers! I am not clear, though, how such a point of view would fitt with genetic experiments [...]. But I have a feeling this could be done.“¹

Kurz gesagt (und Lily Kays Interpretation folgend): Gamow begründet überhaupt erst das Codierungsproblem und läutet damit die erste, mathematisch-genetische Phase (1953-1961) ein, die im genetischen Code eine militärische Geheimschrift zu lesen sucht, bei der die Proteinsynthese eine Art *black box* mit DNA-Input und Protein-Output darstellt. Diese Phase sollte mit der Einsicht enden, daß der genetische Code kein Code im kryptoanalytischen Sinne ist. Um ablesen zu können, wie naheliegend ein solcher *cross-over* zwischen militärisch-geheimdienstlichen Methoden und lebenswissenschaftlichen Fragestellungen zu jener Zeit war, braucht man lediglich die Ausgabe des „Scientific American“ aufzuschlagen, in der Gamow seinen Aufsatz „Information Transfer in the Living Cell“ [Ga55] veröffentlichte, um auf jeder zweiten Seite auf Werbung für Heeresgerät zu finden. Dort präsentiert Gamow etwa (strikt an Shannon orientiert) eine Tabelle, die die Übergangswahrscheinlichkeiten von Aminosäurepaaren mit den Übergangswahrscheinlichkeiten von Buchstabenpaaren in Miltons „Paradise Lost“ vergleicht. Und auch an anderer Stelle läßt er keinen Zweifel offen: „the data on protein sequences existing at that time was very meager, and the work was just as difficult as breaking a secret military code on the basis of just a couple of short messages supplied by the spies“ [Ga54], [GY56].

¹ George Gamow an James Watson, 8. Juli 1953.

Da Gamow nebenbei auch als Berater des Navy Department tätig war, sprach er folgerichtig seine Vorgesetzten darauf an, ob man diese Entschlüsselungsaufgabe nicht einfach einer Gruppe von Kryptoanalysten überantworten könne, die gerade an der Dechiffrierung japanischer Geheimcodes arbeite. Darauf kamen angeblich „drei Herren“ vorbei, um die Problemstellung entgegenzunehmen, und zwar – so jedenfalls Gamows Erinnerung – „without giving their names. [...] One of them had a beard, and I am still not sure that it was not an artificial one.“ [Ga70] Optimistisch versprach er auch, sich des Puzzles mit Hilfe des MANIAC² in Los Alamos anzunehmen: „Bob Ledley has completed the details of automatic decoding procedure by means of sye symbolic logic equations, and I am negotiating with Los Alamos concerning putting it on Maniac. (It may take several days of continous runing!)“³ Und zuletzt wurde Gamow auch beim größten *think tank* des Kalten Krieges, der RAND Corporation, mit seinem Problem vorstellig – mit dem Ergebnis, daß „RAND people were excited about RNA problem!“⁴

Lily Kay hat die Tropen der Informationstheorie, in deren „skripturalen Technologien“ sich die Arbeit am genetischen Code abspielt, minutiös erforscht und nachgezeichnet, wie das Wissen vom Leben unter die Bedingungen von Computertechnologien gestellt wurde. Weniger akzentuiert wurde in der Wissenschaftsgeschichte bislang der umgekehrte Weg, nämlich inwiefern zur gleichen Zeit das Wissen um informatische Technologien unter die Bedingungen des Lebens gestellt wurde und die Produktivität des Austauschs sich gerade durch diese Konstellation der Wechselseitigkeit in konkreten Fällen entfalten konnte. Auch hier liefert die Arbeit Gamows zumindest einen Fingerzeig.

Vielleicht liegt es nicht nur an der Unabgeschlossenheit seiner Lebenserinnerungen, sondern auch der völligen Abwesenheit lebenswissenschaftlicher Begriffe, daß Gamows Arbeit im Bereich des Computerspiels bislang nicht erforscht wurde [Ha71], [Al87]. Mit nur einem einzigen Satz verweist er darauf, daß er am „Operations Research Office“ der Johns Hopkins University einige Zeit mit „developing the theory of war games, mostly analyzing battles between tanks“ verbracht habe. Dazu entwickelte er zwischen 1950-52 probenhalber ein kleines Spiel auf einem gezeichneten Spielbrett, das zunächst mit schlichten Münzen (als Panzer) gespielt wurde [Ga53], [GZ57]. Die Beschreibung in Gamows unveröffentlichten Notizen lautet wie folgt:

„The two opposing tank forces, ten units each, are originally located at the rear lines of the battlefield, and a move on each side consists in displacement of each of the tanks to one of the adjoining hexagonal fields (although not all tanks must necessarily be moved). If two opposing tanks come to adjoining white fields, a battle is announced, and its outcome is decided by tossing a coin or a die. If, as may happen, a moving tank comes in contact with two enemy tanks simultaneously, it must ‘shoot it out’ first with one of the tanks and, if victorious, with the other. (More realistic rules can be introduced in that case.) If a tank on a white field is in contact with an enemy tank in a crosshatched field (and considered concealed), the first tank is always killed (or given a much higher probability of being killed in the dice-tossing process). If both tanks are in the woods, a battle is announced only if one of them moves into the field occupied by the other (half

2 In Gamows Auflösung des Akronyms: Metropolis And von Neumann Invent Awful Contraption.

3 George Gamow an James Watson, 28. November 1954.

4 George Gamow an Lawrence Blinks, 1. Februar 1955, handschriftliche Randnotiz.

the normal visibility distance), and the outcome is again decided by the toss of a die. The objective of the game may be the destruction of a maximum number of enemy tanks with least losses to one's own forces, the destruction of some objective located at the rear line of the enemy forces, or still some other purpose.“ [Ha71]

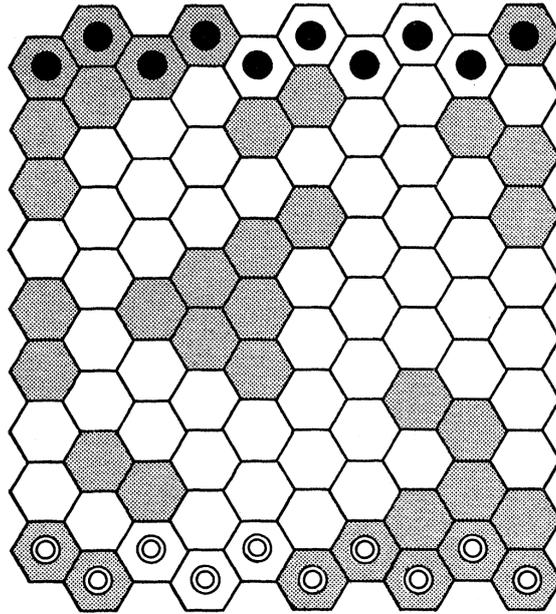


Abbildung 1: Gamows „Tank Battle“, etwa 1952

Dieser manuelle Betrieb des Spiels, der zu Scherzen über ein Vergnügen für Kaffeepausen anregte [P53], war jedoch nur für Demonstrations- und Entwicklungszwecke gedacht, denn letztlich ging es um die Erforschung und Evaluation von Überlebens-Strategien, die nicht mehr in den Händen menschlicher Spieler liegen sollten. So konnte man beispielsweise die Strategien von „massing all tanks“ oder „dispersing all tanks“ gegeneinander antreten lassen, die Elemente der einzelnen Verbände also eher zusammen oder getrennt marschieren lassen. Und dieses ‚eher‘ der Bewegung wurde durch den gezielten Einsatz von Zufallszahlen gesteuert: Bei einer dispersiven Strategie entscheidet der Computer bei jeder Bewegung jedes einzelnen Panzers durch Monte Carlo-Methoden, ob dieser Panzer nun bei den übrigen bleibt oder sich entfernt, wobei die Wahrscheinlichkeit für „entfernen“ etwas höher gewichtet wird. Viele andere Faktoren sind dabei denkbar, wie etwa das Abwägen zwischen stärkerer oder leichter Panzerung und damit zwischen geringerer Verletzlichkeit und höherer Geschwindigkeit.

Der Reiz dieses Spiels liegt also in der experimentellen Kopplung von Wiederholung und Zufall. Sein Ziel ist, den Computer möglichst viele Spiele spielen zu lassen und anschließend deren Protokolle auszuwerten. An den so gewonnenen Informationen zu Spiel- oder Schlachtausgängen interessieren vor allem die Spiele mit ‚extremen‘ Enden, also katastrophalen Niederlagen oder glorreichen Siegen. Es sind gewissermaßen Wunder und Katastrophen, die hier simuliert und systematisch ausgewertet werden sollen. Und von der Analyse dieser ‚interessanten‘ Spieldurchläufe erhoffte man sich Aufschlüsse-

se über erfolgreiche taktische Konzepte. Dabei ist der Computer als Medium unverzichtbar, denn kein Mensch könnte mehrere hundert Spiele pro Stunde spielen, und schon gar nicht könnte ein menschlicher Spieler sich wirklich zufällig verhalten. In der Koppelung von Wiederholung und Zufall, im tausendfach variierten Bespielen eines immergleichen Feldes, sollte ein Wissen entstehen, das die Spielbeobachter überrascht.⁵

Zwei Dinge lassen sich bereits hier festhalten. *Erstens*, daß das Leben (und mehr noch das Überleben) von Panzerpopulationen mittels einer experimentellen Verschänkung von sehr viel Redundanz und sehr wenig (dafür aber systematisch eingesetztem) Zufall untersucht wird, deren Interesse sich auf unerwartete Ereignisse in komplexen Systemen (d.h. überraschende Spielausgänge) richtet.⁶ Damit sind, ohne daß dies bei Gamow explizit würde, bereits zentrale Mechanismen der Evolution aufgerufen (Redundanz, Zufall, „blindes“ Experimentieren des Prozesses). Dies soll nicht darüber hinwegtäuschen, daß andere Grundkonzepte ausgespart bleiben: So gibt es etwa keine generationenübergreifende Information (die Panzer vererben nicht) und damit auch keine Adaptation (das Setup des Programms wird jedesmal neu gemacht, aber es gibt keine Meta-Ebene, auf der Fitness unter verschiedenen Bedingungen evaluiert und die Parameter für den nächsten Durchlauf entsprechend verändert werden). *Zweitens* darf man mit einiger Berechtigung nicht nur vom „Buch des Lebens“ [Ka00], sondern vom „Spiel des Lebens“ sprechen, wie dies später Eigen und Winkler [EW75] programmatisch getan haben. Es steht vielmehr zu vermuten, daß Spiel, Kryptographie und Genetik gemeinsam ein „Denkbild“ formen. Dafür spricht zusätzlich, daß der ‚Partylöwe‘ Gamow andere Gäste gerne mit Kartentricks unterhielt und diese Spielkarten für ihn ein Medium darstellen, in dem genetische Überlegungen angestellt werden können. Dabei werden Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin einfach in die 4 Farben Herz, Karo, Pik und Kreuz übersetzt. Um damit wieder auf 20 Aminosäuren zu kommen, braucht man nur ein reduziertes Spiel, das ausschließlich aus Assen besteht, die dann – wie bei einer Patience – nebeneinander aufgedeckt werden. (Abb. 2) Aminosäuren werden durch Triplets gebildet, nach Gamow also eine Art „reduced poker game“ [Ga55] mit drei Karten, deren Farben genau die benötigten 20 Kombinationsmöglichkeiten liefern (4 Möglichkeiten zum Flush + 12 für Paare + 4 für verschiedene Karten = 20). Spielkarten tauchen bei Gamow bis in die 1960er Jahre hinein immer wieder auf, wie etwa in einem DNS-Modell auf der Weltausstellung in Seattle im Jahre 1962 [Ga63].

⁵ Aus Gamows Ansatz sind die Kriegsspiele der „Carmonette“-Reihe (Computerized Simulation of Ground Combat Operation) hervorgegangen, die zwischen 1958-1974 bei der Research Analysis Corporation betrieben wurden [BS79]

⁶ Auf die offensichtliche Beziehung Gamows zu John von Neumanns Theorie zellulärer Automaten [Ne66] und die Frage der Betriebssicherheit von Computern selbst [Ne63] kann hier nicht eingegangen werden.

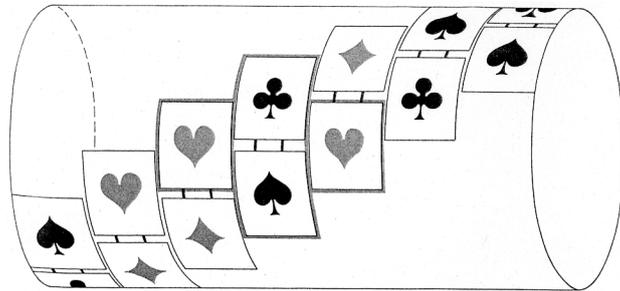


Abbildung 2: Gamows Darstellung von Nukleotiden durch Spielkarten, 1955

2 John Holland: Komplexität und Fitness

Während der Export von Ansätzen der Computer Science in die Lebenswissenschaften an Gamows Beitrag zur Genetik deutlich wurde, konnte der umgekehrte Weg, also der Import von Lebenskonzepten im Rahmen seines „Tank Battle“-Computerspiels, nur als latent unterstellt werden. Ein weiteres Beispiel soll kurz diese zweite Migration, die nur wenige Jahre später einsetzte, konkret verdeutlichen.

John H. Holland, neben Ingo Rechenberg [Re64] und Hans-Joachim Bremermann [Br62] einer der Pioniere genetischer Algorithmen und evolutionärer Programmierung, hatte am MIT und in Michigan Physik und Mathematik studiert und war 1950-1952 im Planungsteam des IBM 701 tätig gewesen, als Ende der 1950er Jahre einzelne Schriften von Ronald Fisher [Fi58] und Sewall Wright [Wr59] offensichtlich einen tiefen Eindruck hinterließen. Tief genug jedenfalls, daß [Ro74] sein Konzept der „adaptive systems“ rückblickend als „basically a paraphrase of the evolutionary process“ einstuft.

Reizvoll an der Evolution ist grundsätzlich, daß sie eine Art Existenzbeweis für ein Verfahren darstellt, das Anpassungsleistungen an eine ungewisse und sich wandelnde Umwelt erzeugt und daher die Hoffnung gewährt, entsprechende Algorithmen entwickeln zu können. Tatsächlich bewegen sich Hollands frühe Ansätze auf diesem Abstraktionsniveau: „They were not designed *a priori* for solving a particular class of problems. Rather, they are best characterized as simulation models of complex, non linear phenomena with hopefully interesting and usefull emergent behavior.“ [Jo04] In diesem Sinne eröffnet sich Hollands Konzept adaptiver Systeme an der Grenze von System und Umwelt und orientiert sich zu beiden Seiten hin an Populationen. Es geht nicht um einzelne Programme, sondern um Populationen gleicher und leicht differierender Programme, deren Umwelt als Population von Problemen gedacht wird [Ho62]. Der Vorteil gegenüber den Lebenswissenschaften ist dabei vielleicht, daß die Umwelt nicht als Problem vorausgesetzt werden muß, sondern alle möglichen Probleme (obgleich zunächst lieber nur wohldefinierte) als Umwelt modelliert werden können und Evolution damit – und zwar gerade wegen ihrer „Blindheit“ – technisch operationalisierbar wird. Die Schwierigkeit daran ist allerdings, ein Programm zu erzeugen, daß Populationen von Programmen erzeugt und kontrolliert. Oder, wie Holland viel später einmal schrieb: „Mating or mutating the text of a FORTRAN program [...] would in most cases not produce a better or worse FORTRAN program but rather no program at all.“ [Ho92]

In einem spezielleren Sinne kamen die Ansätze Wrights dem Denken Hollands wahrscheinlich besonders entgegen, da er sich mit parallelen Rechnerarchitekturen („iterative circuit computers“ [Ho59], [Ho60]) im Kontext von Gestalterkennung beschäftigt hatte. Wright „argued that the best chance for the evolution of harmonious gene combinations lies in the population structure. In a population divided into many local populations between which there is limited interchange, the gene frequencies will vary randomly in each of them (provided the size is small enough). Among the local populations, one or more may drift into a happy gene combination. This local population will then be at a selective advantage relative to the others and can be expected to reproduce faster. It will then increase or, more likely, send out migrants to adjacent local populations upgrading them to the level of the immigrants. These in turn become more fit and send migrants to still other populations until eventually the whole population attains the favorable gene combination.“ [Cr94] Der Anknüpfungspunkt scheint (obwohl Holland dies nicht explizit thematisiert) zunächst einmal ein räumlicher: Wrights Darstellungsform einer Fitness-Landschaft („adaptive landscape“, [Wr32]) bietet eine strukturierte Denkmöglichkeit, ein graphisches Medium, in dem der Austausch von genetischem Material durch Migration vorgestellt werden kann und in dem sich das Entstehen und Vergehen von Zentren und Peripherien der Fitness beobachten visualisieren läßt [Ru96]. Ähnlich räumlich ist das Parallelprocessing bei Holland vorgestellt, allerdings zunächst bezogen auf die Interaktion von Subroutinen (Abb. 3).

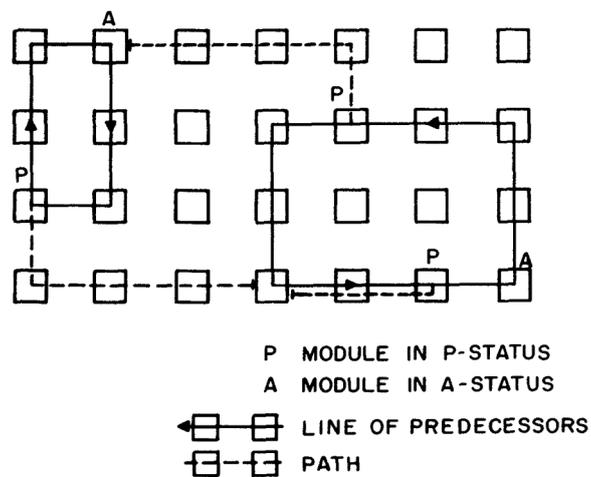


Abbildung 3: Hollands Veranschaulichung zwei interagierender Subroutinen, 1959

1962 sind es dann „generators“ (als Äquivalente von Organismen), die einen „random walk in space“ vollführen, dessen Rasterung sowohl auf der Software- wie auf der Hardwareseite stattfindet. Sie haben also, so legen es zumindest die frühen Konzepte nahe, einen logischen und zugleich einen physischen Ort.

Weitere, wesentlich offensichtlichere Importe, betreffen Varietät und Fitness. Varietät bezeichnet den Umstand, daß Evolution trotz ihrer überwältigenden Redundanz nur durch Fehler, Abweichungen und Mutationen erfolgreich ist. „The problem of evolution as I see it is that of a mechanism by which the species may continually find its way from

lower to higher peaks in such a field. In order that this may occur, there must be some trial and error mechanism on a grand scale by which the species may explore the region surrounding the small portion of the field which it occupies.“ [Wr32] Oder um im Bild der Landschaft zu bleiben: Wenn es keine kontingenten Umstände gibt, unter denen jemand gezwungen ist, die Anhöhe der guten Lösung zu verlassen, wird es auch keine bessere geben. In eben diesem Sinne wird auch bei Holland die Abweichung produktiv. Die erste interessante Frage, die durch den Import lebenswissenschaftlicher Konzepte aufgeworfen wird, lautet also, ob beispielsweise so etwas wie ein Kopierfehler unbedingt das Problem ist oder nicht plötzlich zum Teil einer Lösung werden kann. Denn wider den notorischen Verdacht eines Denkens und Vokalbulars der „Züchtung“ bedeutet nicht „Reinheit“ die optimale Realisierung, sondern kann Optimierung erst durch „Verunreinigung“ zustande kommen. Für einen Adaptionserfolg ist die „continued generation of new varieties“ [Ho62] unerlässlich, die die ebenso notwendige Redundanz (Vermehrung erfolgreicher Programme) stets aufs Neue irritiert.

Fitness ist dabei ein allgemeines Äquivalent, ein Medium, in dem unterschiedliche Adaptionsprozesse vergleichbar werden und verhält sich damit gewissermaßen wie Geld zum Wohlstand. Die zweite interessante Frage ist damit die nach der Evaluation komplexer (und damit ‚kontraintuitiver‘ [Ro74]), adaptiver Systeme. Daß Evolution im Allgemeinen keinen „besten“ Endpunkt kennt, auf den sie „hinarbeitet“, macht sie problematisch und erfordert, ihr im Rahmen technischer Anwendungen Schranken zu setzen. Holland plädiert daher (zwar vorläufig, aber es scheint vorerst und in Zukunft dabei zu bleiben), seine „adaptive systems“ nur auf wohldefinierte Probleme anzusetzen, d.h. solche bei denen man rechnerisch feststellen kann, ob eine behauptete Lösung überhaupt eine Lösung ist, oder (noch besser) solche, bei denen man die Lösung (und möglichst sogar die Distanz zu ihr) bereits vorher einschätzen kann [Ho62].

3 Schluß

Gleichwohl die beiden Beispiele schwerlich verallgemeinerbar sein dürften (und aus Perspektive der Computer Science und nicht der Lebenswissenschaften beschrieben wurden), lassen sich vielleicht vier Beobachtungen festhalten:

1. Am Export aus dem Computing in die Lebenswissenschaften (Gamow) wurde deutlich, daß die besondere Produktivität aus einer gewissen Ignoranz gegenüber disziplinärem Wissen resultiert. So betont auch Crick: „The importance of Gamow’s work was that it was really an abstract theory of coding, and was not cluttered up with a lot of unnecessary chemical details“ [Cr66]. Exportfähig ist somit die Kompetenz, eine abstrakte Ebene der Codierung und Algorithmisierung in die Systembeschreibung einzuführen, die durch ihre Implementierung auf Digitalrechnern eine andere Art der Formalisierung bedeutet als die der Mathematik, die diese Aufgabe die längste Zeit übernommen hatte (obwohl die Mathematik natürlich weiterhin eine zentrale Rolle spielt).
2. Für den umgekehrten Weg, also den Import aus den Lebenswissenschaften in die Computer Science (Holland) war hingegen zu beobachten, daß sie Verständnismodelle oder Behandlungsmöglichkeiten für komplexe bzw. adaptive Systeme bereitstellt, die eine technische Operationalisierung (etwa im Rahmen von Optimierungs-

aufgaben) erlauben. Im Vergleich zu 1. kann man daher vielleicht konstatieren, daß es um einen Austausch von Vereinfachung und Komplexierung geht, wobei in den gewählten Beispielen Vereinfachung exportiert und Komplexierung importiert wird. Dies kann – so wäre an ergänzenden Beispielen zu zeigen, natürlich auch umgekehrt ablaufen.

3. Die Beispiele markieren die zu ihrer Zeit zirkulierenden Lebensbegriffe. Nicht nur in simulierten Panzerschlachten, sondern weit über den militärischen Kontext hinaus, geht es nicht allein um *Leben*, sondern vor allem um *Überleben* – sei es von Panzern, Organismen oder besseren Problemlösungen. In verschiedenen Variationen geht es also um Rechenarten, die den Tod maximieren, die entschlossen ‚jenseits des Lustprinzips‘ agieren und die zugleich (und dadurch erst) das Leben optimieren. So wie man einerseits konstatieren muß, daß jede Optimierung erst durch Zufälle und Mutationen zustande kommt, durch ein Leben, das plötzlich einen anderen Weg nimmt, so wird man andererseits auch sagen müssen, daß jede neue Wiederholung durch ein Absterben diktiert wird und damit eine Frage des Überlebens ist.
4. Import-Export-Verhältnisse wie die hier beschriebenen haben immer einen historischen Kontext, der sie gewährt und organisiert. Für den untersuchten Zeitraum zwischen 1952 und 1962 ist dies der Aufstieg einer kybernetischen Epistemologie oder „Epistemotechnik“. Norbert Wiener hatte 1948 den Großanspruch der „Cybernetics“ im Untertitel seines Buches einschränkend präzisiert: „Communication and Control in the Animal and the Machine“ [Wi48]. Robert Rosen hat, 25 Jahre später zurückblickend, die Entdeckung und Erforschung homologen Verhaltens auf verschiedenen, anscheinend voneinander unabhängigen Gebieten und die Suche nach nichtoffensichtlichen, strukturellen Ähnlichkeiten zwischen Systemen mit stark variierenden Eigenschaften, als „the most stimulating characteristics of the growth of knowledge during the past decades“ bezeichnet [Ro74]. In diesem Sinne verweisen die hier exemplarisch beschriebenen Migrationen und Transformationen des Lebensbegriffs auf das zugleich wissens- und technikhistorische Datum einer Kybernetik, die es ermöglichte, das Leben als Code vorzustellen und den Code am Leben zu orientieren.

Literaturverzeichnis

- [Al87] Allen, Thomas B.: War Games. McGraw-Hill, New York, 1987.
- [An97] Andersen, Michael Cramer: George Gamow: Combining Physics with Humor. August 9, 1997.
- [Br62] Bremermann, Hans-Joachim: Optimization Through Evolution and Recombination. In (Yovits, M.C.; Jacobi, G.T.; Goldstein, G. D. Hrsg.): Proceedings of the Conference on Self-organizing Systems. Washington D.C., 1962; S. 93-106.
- [BS79] Brewer, Garry D.; Shubik, Martin: The War Game. A Critique of Military Problem Solving. Harvard University Press, 1979.
- [Cr66] Crick, Francis: The Genetic Code – Yesterday, Today and Tomorrow. In (Frisch, Leonora Hrsg.): The Genetic Code, Proceedings of the XXXI Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology. Cold Spring Harbor, 1966; S. 3-9.
- [Cr94] Crow, James F.: Sewall Wright 1889-1988. A Biographical Memoir. National Academy of Sciences, Washington D.C., 1994.

- [EW79] Eigen, Manfred; Winkler, Ruthild: Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall. Piper, München, 1979.
- [Fi58] Fisher, Ronald A.: The Genetical Theory of Natural Selection. Dover, New York, 1958.
- [Fr94] Frenkel, V. Ya: George Gamow. World Line 1904-1933. In: Physics – Uspekhi 37/8 (1994); S. 767-789.
- [Ga53] Gamow, George A.: Certain Aspects of Battle Theory. The Johns Hopkins University, Operations Research Office, ORO-T-230, August 1953.
- [Ga54] Gamow, George A.: Possible Mathematical Relation between Deoxyribonucleic Acid and Proteins. In: Det Kongelige Danske Videnskabernes Selkab, Biologiske Meddelelser, 22/3 (1954); S. 1-13.
- [Ga54] Gamow, George A.: Possible Relation between Deoxyribonucleic Acid and Protein Structure. In: Nature, 173 (1954); S. 318.
- [Ga55] Gamow, George A.: Information Transfer in the Living Cell. In: Scientific American, 193/4 (1955); S. 70-78.
- [Ga63] Gamow, George A.: A Planet Called Earth. Viking Press, New York, 1963.
- [Ga70] Gamow, George A.: My World Line: An Informal Autobiography. Viking Press, New York, 1970.
- [GRY56] Gamow, George A.; Rich, Alexander; Ycas, Martynas: The Problem of Information Transfer from Nucleic Acids to Proteins. In: Advances in Biological and Medical Physics, 4 (1956); S. 41-51.
- [GM54] Gamow, George; Metropolis, Nicholas: Numerology of Polypeptide Chains. In: Science, 120 (1954); S. 779-780.
- [GY55] Gamow, George A.; Ycas, Martynas: Statistical Correlation of Protein and Ribonucleic Acid Composition. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 41 (1955); S. 1011-1019.
- [GY56] Gamow, George A.; Ycas, Martynas: The Cryptographic Approach to the Problem of Protein Synthesis. In (Yockey, Hubert P. Hrsg.): Symposium on Information Technology in Biology. New York, 1956; S. 63-69.
- [GZ57] Gamow, George A.; Zimmermann, Richard E.: Mathematical Models for Ground Combat. The Johns Hopkins University, Operations Research Office, ORO-SP-11 (AD235891), April 1957; S. 1-34.
- [Ha01] Harper, Eamon: In Appreciation. George Gamow: Scientific Amateur and Polymath. In: Physics in Perspective, 3 (2001); S. 335-372.
- [Ha71] Hausrath, Alfred H.: Venture Simulation in War, Business, and Politics. McGraw-Hill, New York, 1971.
- [Ho59] Holland, John: A Universal Computer Capable of Executing an Arbitrary Number of Sub-Programs Simultaneously. Proceedings of the 1959 Eastern Joint Computer Conference, IEEE; S. 108-113.
- [Ho60] Holland, John: Iterative Circuit Computers. Proceedings of the 1960 Joint Computer Conference, IEEE; S. 259-265.
- [Ho62] Holland, John: Outline for a Logical Theory of Adaptive Systems. In: JACM, 9 (1962); S. 297-314.
- [Ho68] Holland, John: Hierarchical Descriptions, Universal Spaces, and Adaptive Systems. Office of Research Administration, Technical Report, Projects 01252, 08226. Ann Arbor 1968.
- [Ho75] Holland, John: Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, 1975.
- [Ho92] Holland, John: Genetic algorithms. In: Scientific American, 267 (1992); S. 66-72.
- [Jo04] Jong, Kenneth De: Genetic Algorithms – A 30 Year Perspective. In (Booker, L.; Forrest, S.; Mitchell, M.; Riolo, R. Hrsg.): Perspectives on Adaptation in Natural and Artificial Systems. Oxford University Press, 2005; S. 11-32.
- [Ka00] Kay, Lily E.: Das Buch des Lebens. Wer schrieb den genetischen Code? Hanser, München, 2000.

- [Na04] Nanjundiah, Vidyanand: George Gamow and the Genetic Code. In: Resonance, July 2004; S. 44-49.
- [Ne63] Neumann, John von: Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components. In (Taub, A.H., Hrsg.): Collected Works, Bd. 5. Pergamon Press, New York, 1963; S. 329-378.
- [Ne66] Neumann, John von: Theory of Self-Reproducing Automata, Hg. A.W. Burks. University of Illinois Press, Urbana, 1966.
- [P53] T.L.P.: A Tank Battle Game. In: Journal of the Operations Research Society of America, 1/2 (1953); S. 85-86.
- [Re64] Rechenberg, Ingo: Cybernetic Solution Path of an Experimental Problem. Royal Aircraft Establishment, Library Translation 1122, Farnborough, 1965 (englische Übersetzung des Vortrags von 1964).
- [Ro74] Rosen, Robert: On Biological Systems as Paradigms for Adaptation. In: Conference on the Political, Social, Educational and Policy Implications of Structuralisms, July 29-31, 1974 (Manuskript).
- [Ru96] Ruse, Michael: Are Pictures Really Necessary? The Case of Sewall Wright's 'Adaptive Landscapes'. In (Baigrie, Brian S. Hrsg.): Picturing Knowledge. Historical and Philosophical Problems Concerning the Use of Art in Science. University of Toronto Press, 1996; S. 303-338.
- [Wa02] Watson, James D.: Gene, Girls und Gamow. Hanser, München/Zürich, 2002.
- [Wi48] Wiener, Norbert: Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine. MIT Press, Cambridge, MA, 1948.
- [We68] Weiner, Charles: Oral History Transcript – George Gamow. American Institute of Physics, Center for History of Physics, April 25, 1968.
- [Wr32] Wright, Sewall: The Roles of Mutation, Inbreeding, and Selection in Evolution. In (Jones, D.F. Hrsg.): Proceedings of the Sixth International Congress on Genetics, Brooklyn, 1932; Bd. 1, S. 356-366.
- [Wr59] Wright, Sewall: Physiological Genetics, Ecology of Populations, and Natural Selection. In: Perspectives in Biology and Medicine, 3 (1959), S. 107-151.