

Die Pfeile der geschichtlichen Zeit

How many times have I asked myself: when is the world going to start making sense? Yet the answer is out there. It is rushing me over the uneven ground.

Martin Amis, Time's Arrow

Der vorliegende Artikel setzt eine Serie von mittlerweile bereits vier ÖZG-Artikeln¹ fort, die unter dem Leitthema »Innovation, Komplexität, Konstruktivismus, Ordnung, Zeit« stehen und in denen die Konturen einer ebenso konstruktivistischen wie theoretisch angereicherten und transdisziplinär offenen Geschichtswissenschaft herausgearbeitet und vorgestellt werden sollen. Die jetzigen Ausführungen figurieren als theoretisch hintergründigste dieser Reihe in unmittelbarem Zusammenhang mit den letzten Artikeln – jenem aus der eigenen Fünferreihe mit dem Titel *Wie Neues entsteht* und jenem unmittelbar vorhergehenden von Gerhard Grössing *Warum etwas wird*. Das Ziel der weiteren Ausführungen liegt in zweierlei, nämlich einerseits in einer theoretisch befriedigenden Einfassung von Richtungen oder Driften in geschichtlicher Zeit und andererseits in der Präsentation paradigmatischer Problemfelder, die vor dem Hintergrund dieser geschichtlichen Zeitpfeile spielen, allerdings im Kanon bisheriger Geschichtswissenschaften immer nur sehr spärlich abgehandelt wurden und werden, obwohl in ihnen – mit einem leicht faustischen Pathos – die innersten Zusammenhänge wie auch Katastrophen der geschichtlichen Welt angesiedelt sind.

Einführung: die ungerichteten historischen Zeiten

Die weiteren Bemerkungen werden ähnlich der dichten Geschichte von der selbstähnlichen Evolution der Evolution bei Gerhard Grössing zunächst dem, was Historiker normalerweise tun, merklich entlegen und thematisch jenseits jeder Peripherie erscheinen. Selbst auf den dritten Blick scheinen die beiden Artikel bei einer raschen Diagonallektüre nur aus Versehen oder aus Gründen der Irritation oder des Ärgernisses in einer Zeitschrift für Geschichtswissenschaften, zumal einer österreichischen, inkludiert worden zu sein. Denn die Verbindungen und Schnittstellen zwi-

schen Geschichtswissenschaft, Zeit, Evolution und Thermodynamik sind bislang mit der schwachen Ausnahme ihrer wissenschaftsgeschichtlichen Thematisierungen weitestgehend unbesetzt und leer geblieben. Zwischen den drei Hauptsätzen der Thermodynamik² wie der Struktur der Evolutionstheorie einerseits und der Richtung der historischen Zeit andererseits rollte das Rad des Grundes schlichtweg nicht – nicht von der Thermodynamik oder der Evolutionstheorie in die Geschichtswissenschaft und erst recht nicht von der Geschichtswissenschaft in die Thermodynamik und die Evolutionstheorie. Thermodynamik, Zeitpfeil, Evolution und historische Zeit blieben sich innerhalb der letzten hundertfünfzig Jahre hinreichend sphärenfremd und mit den scheinbar besten kognitiven Gründen ebenso nichtssagend wie unverbunden. Und auch naheliegendere Schnittstellen – beispielsweise der Diskurs vom kollektiven Gedächtnis – wurden mit allen möglichen Versatzstücken und theoretischen Ingredienzien bedacht, allein die Thermodynamik oder die Evolutionstheorie fanden sich nicht hineinvermischt.

Und doch bestünde an sich eine schlichte Notwendigkeit der Verknüpfung zwischen diesen Sphären, gehört es doch zu den plausibelsten Grundannahmen für historische Prozesse, dass sie speziell in ihrer *très longue durée* durch Komplexitätszunahmen und durch einen Anstieg von Ordnungs- und Organisationsgraden charakterisiert werden können. Die Arbeits- und Lebenswelten um 2002 scheinen von ihren Settings, ihren technologischen Infrastrukturen und ihren Produktionsformen her sehr andere und ungleich komplexere und organisiertere als jene eines spätmittelalterlichen Zunftsystems, eines griechischen Stadtstaates oder einer paläolithischen Gruppe zu sein. Sie, diese Arbeits- und Lebenswelten, scheinen bei allen Zyklicitäten der Entwicklung *in the long run* so etwas wie einen historischen Zeitpfeil zu besitzen, der zwar nicht linear und graduell, aber bei lang skalierten Zeiten *grosso modo* in Richtung größerer gesellschaftlicher Komplexität, Organisation und Ordnung weist. Und dieser Zeitpfeil drängt sich umso nachhaltiger auf, je längerfristig die Zeit skaliert und je mehr er auf die Geschichte des Lebens schlechthin verlagert wird.³

Trotz alledem werden seitens der Geschichts- und Sozialwissenschaften Zeitmuster kultiviert, die fernab von einem Zeitpfeil lediglich von relativ kurzfristigen Phasenübergängen und Stufen, von zyklischen wie quasi-zyklischen Abfolgen oder von stabilen Endzuständen handeln, in die gesellschaftliche Systeme wie die Ökonomie, die Politik und die Wissenschaft nach längeren Zeiten schlussendlich hineindriften. Schlagworte für gegenwärtige Phasenübergänge wären beispielsweise die alten oder weniger alten Modernisierungstheorien mit einem Phasenübergang von traditionellen hin zu modernen Sozietäten, die Beckschen Risikogesellschaften mit ihren Transitionen von einer Moderne I in eine Moderne II, manche Diskussionsstrecken um die Differenzen zwischen Moderne und Post-Moderne, die Debatten um den Übergang von einer industriellen in eine postindustrielle Welt, von It-Ökonomien zu Bit-Ökonomien oder von Industrie- zu Wissensgesellschaften. Zyklische Muster – beispielsweise das Ausbreitungsmuster von Basisinnovationen in Form

von langen, rund fünfzigjährigen Wellen – finden sich bevorzugt in innovations-theoretischen und wirtschaftswissenschaftlichen Kontexten ebenso wie in stärker organischen Vorstellungen eines »Werde und vergehe« innerhalb eines geschichts-philosophischen Ambiente. Und in der dritten Zeit-Konfiguration, jener mit den stabilen End- und Zielzuständen, finden sich gegenwärtig einerseits wenige aktuelle Entwürfe, die pikanterweise andererseits bereits die Gegenwart als stabiles Endstadium etikettieren⁴ und schon aus diesem Grund keinerlei Anhaltspunkte bieten, einen universellen Pfeil der historischen Zeit zu verankern.

Damit kann als genereller Auftaktbefund festgehalten werden, dass die Ge-schichts- wie auch die Sozialwissenschaften insgesamt bislang die Frage nach einem Pfeil der evolutionsgeschichtlichen Zeit als außerhalb ihrer eigentlichen Themenfel-der betrachteten. Die Ordnung, die Komplexität und die Evolution der sozio-kultu-rell-ökonomisch-technologisch-wissenschaftlichen Provinzen der Menschen sollten in der Regel ohne eine entsprechende thermodynamische und evolutionstheoreti-sche Fundierung hergestellt oder gesichert werden. Und bei einem so breiten Kon-sens vermeintlicher Irrelevanz helfen nur zwei sehr konträre Richtungs Pfeile zur Pfeilrichtung der historischen Zeit weiter: der sofortige Abbruch, weil man sich der *communis opinio* nicht entziehen möchte – oder, *against all odds*, eine Exploration in ein historisch und sozialwissenschaftlich offenes und vor allem weites und unbe-kanntes Land.

Teil I: Pfeile evolutionsgeschichtlicher Zeiten: ein Erklärungssketch

Mit der Überschrift wird zumindest implizit klar, welcher Richtung beim Problem des Zeitpfeils gefolgt worden ist – und dass sich einem Teil I höchstwahrscheinlich ein Teil II anschließen wird. Und tatsächlich sind die weiteren Ausführungen so ge-halten, dass zunächst die Konturen eines nicht nur historischen, sondern eines un-gleich längerfristigen evolutionsgeschichtlichen Zeitpfeils umrissen werden und im Teil II die unmittelbare Relevanz dieses Zeitpfeil-Erklärungssketches für die Ge-schichtswissenschaften ausgebreitet werden soll. Doch zunächst muss als Bedin-gung der weiteren Darstellungsmöglichkeiten eine passende Beschreibungsform ge-funden werden, in der die wichtigsten Grundbegriffe – Evolution, Komplexität, Ordnung, Selbstorganisation, Thermodynamik, Unordnung, Zeitpfeil – definiert werden können.

Thermodynamik und Turing-Maschinen

Dieses Darstellungsinstrumentarium, mit dem die weiteren Explorationen bewerk-stelligt und fortgeführt werden können, wird über eine Isomorphie hergestellt, die speziell bei Heinz von Foerster betont worden ist, nämlich über die Familiengleich-

heiten zwischen den Arbeitsweisen des Maxwellschen Dämonen und den Operationen von Turing-Maschinen. Der Maxwellsche Dämon wurde als Geist in die Thermodynamik eingeführt, um die Möglichkeit von entropiereduzierenden Prozessen zu thematisieren, indem zwischen zwei Flüssigkeiten oder Gasen A und B ein Dämon zwischengeschaltet wird, der die schnellen Moleküle von A nach B und die langsamen Moleküle von B nach A dirigiert und auf diese Weise subversiv gegen den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und damit den thermodynamischen Zeitpfeil arbeitet. Und Turing-Maschinen stellen bekanntermaßen jene universellen Konfigurationen her, durch die sich alles, was sich effektiv berechnen lässt, über elementare Schritte mit Einsen, Nullen, Bewegungs- und Ersetzungsoperationen auch berechnen lässt. Heinz von Foerster hat nun in mehreren Arbeiten die strenge Isomorphie beider Operationsweisen – die ordnende Hand des Maxwellschen Dämonen wie die Rechenfortschritte auf einer universellen Turing-Maschine – herausgearbeitet. Die nachstehende Tabelle fasst diese operativen Familienidentitäten zusammen.

Tabelle 1: Isomorphie zwischen den Operationen einer Turingmaschine und Maxwells thermodynamischem Dämon

Schritte	Thermodynamik (Maxwells Dämon)	Turing-Maschinen
erster Schritt	Registriere die Geschwindigkeit eines ankommenden Moleküls	Input x
zweiter Schritt	Vergleiche diese Geschwindigkeit mit einem gegebenen Standard	innerer Zustand z
dritter Schritt	Entscheide, die Öffnung zu schließen oder zu öffnen	Errechne Output y bei gegebenem x und z
vierter Schritt	Setze einen neuen Standard der Geschwindigkeit	Gehe von z nach z'
fünfter Schritt	Gehe zurück auf Schritt 1	Gehe zurück auf Schritt 1

Die Isomorphie der Tabelle 1 wird deswegen von Bedeutung, als durch sie eine neue Beschreibungsform für thermodynamische Problemfelder erreicht wird und mit ihr jedes Problem der Thermodynamik in ein entsprechendes Problem im Kontext von Turing-Maschinen transformiert werden kann. Dies führt unmittelbar dazu, den Kontext von Turing-Maschinen zur weiteren Behandlung des Zeitpfeilproblems in Geschichte, Evolution und Thermodynamik zu verwenden. Und deshalb werden die nachstehenden Erörterungen im Kontext von Turing-Maschinen und später von Turing-Welten – Turing-Maschinen und ihre Umgebungen – vorgenommen.

Vor dem Hintergrund der Turing-Maschinen wird nun in rascher Folge eine Reihe von Grundbegriffen so eingeführt, dass sich die Turing-Maschinen langsam in ein evolutionsgeschichtliches Laboratorium verwandeln. Den Anfang setzen drei Begriffe, nämlich A für jeden Ausdruck oder jedes Arrangement, das mit Hilfe eines

Tabelle 2: Ordnung, Unordnung, Komplexität im Kontext von Turing-Maschinen

Grundbegriff	Umschreibung	Operationalisierung
Ordnung	hohe Diskrepanz zwischen dem Programm P zur Generierung von A und dem entsprechenden Ausdruck	$O: L(P) \ll L(A)$
Unordnung	annähernde Gleichheit zwischen der notwendigen Länge des Programms P zur Erzeugung von A und dem entsprechenden Ausdruck	$L(P) \approx L(A)$
Komplexität	Anzahl der notwendigen rekursiven Programm-Schritte zur Erzeugung von A (algorithmische Komplexität)	$N(P)$
Ordnungsmaß (Entropie)	Verhältnis zwischen der Länge von Programmen und der Länge von Ausdrücken	$S(O) = L(P)/L(A)$
isolierte TM	kein Transport von Materie, Energie oder Information zwischen Turing-Maschine TM und der Umgebung U	
abgeschlossene TM	kein Transport von Materie, wohl aber von Energie oder Information zwischen Umgebung U und Turing-Maschine TM	
offene TM	Transport von Materie, Energie und Information zwischen Umgebung U und Turing-Maschine TM	
Beobachter-abhängigkeit	das Maß für Ordnung, Unordnung und Komplexität hängt von der Wahl des Codes ab, der für A, P und damit N gewählt wird; Die Grenzziehung zwischen TM und U ist in einem nicht-trivialen Sinne beobachterabhängig.	

bestimmten Codes einer Turing-Maschine erzeugt wird, P als jenes Programm, mit dessen Hilfe A auf der Turing-Maschine generiert werden kann, und $N(P)$, die Zahl der rekursiven Schritte oder Zyklen, welche eine Turing-Maschine durchläuft, um bei gegebenem P A zu erzeugen. Mit Hilfe dieser drei Grundbegriffe lassen sich dann die drei Schlüsselwörter von Ordnung, Unordnung und Komplexität folgendermaßen festlegen: Ordnung wie Unordnung ergeben sich aus den jeweiligen Proportionen zwischen den Programm- und Ausdruckslängen und Komplexität wird im Turing-Kontext zunächst algorithmisch-zeitlich verankert. Ein Kurzprogramm, das eine endlose Abfolge von Null und Eins druckt, wird demnach als ungleich geordneter eingeführt als eine Zufallsfolge, deren Programm genau so lang wie der entsprechende Ausdruck selbst ausfällt.

Der nächste Schritt, der in der Tabelle 2 vollzogen wird, besteht darin, den Kontext von Turing-Maschinen thermodynamisch anzureichern – und drei Architekturen von Turing-Maschinen zu unterscheiden, nämlich offene, abgeschlossene

und isolierte Turing-Maschinen.⁵ Die letzteren erweisen sich von ihrer Umgebung hinsichtlich des Durchflusses von Energie und Information vollkommen isoliert, wogegen in offenen Turing-Maschinen – und nur mit ihnen sollen die weiteren Explorationen durchgeführt werden – alle drei Arten von Durchflüssen möglich sind.

Eine der unmittelbaren Konsequenzen aus der Tabelle 2 besteht unter anderem auch darin, Probleme der Ordnung oder der Zeitpfeile nicht nur als schwach beobachterabhängig, sondern in einem starken Sinne als Erfindungen und Konstruktionen zu qualifizieren – Ordnung will nicht entdeckt, sondern, worauf Heinz von Foerster schon im Titel eines Artikels hinweist, von jemandem erfunden, hergestellt, gemacht, konstruiert werden.

I will summarize these points in two propositions. Number one: A computational metaphor allows us to associate the degree of order of an arrangement with the shortness of its description. Number two: The length of descriptions is language-dependent. From these two propositions a third one, my essential clincher, follows: Since language is not something we discover – it is our choice, and it is we who invent it – disorder and order are our inventions.⁶

Entlang dieses Pfades der Erfindungen soll zu einer genaueren Dimensionierung des Komplexitätsbegriffs übergeleitet werden.

Komplexität

Bislang wurde Komplexität über eine algorithmisch-zeitliche Dimension eingeführt. Doch der schillernde Begriff des »Komplexen« wie der »Komplexität«, der innerhalb der letzten Jahrzehnte nachgerade zu einem szientifischen Epochenmerkmal stilisiert worden ist und der seinerseits mittlerweile durchaus komplexe Konturen erlangt hat, besitzt noch einige andere gewichtige Aspekte. Eine nähere Aufschlüsselung dieses Konzepts, die sich stark auf eine entsprechende Taxonomie bei Nicholas Rescher⁷ stützt, fördert neue Nuancen und Bedeutungsebenen dieses Begriffs zu Tage, die sich zudem nicht auf das bisherige semantische Areal reduzieren lassen. Tabelle drei erläutert vier wesentliche Hauptfelder des Komplexitätsbegriffs, nämlich Ensemble-Komplexität, strukturelle Komplexität, funktionale Komplexität sowie algorithmische Komplexität. In jeder dieser vier hauptsächlichen Bedeutungsareale kommen jeweils eigenständige Bedeutungsdimensionen zu liegen und jedes dieser vier semantischen Hauptgebiete kann in zumindest weitere zwei eigenständige Dimensionen unterteilt werden.

Die ersten beiden Komplexitätskonzepte – Ensemble-Komplexität wie strukturelle Komplexität – betreffen die Grundarchitektur von Objekten, aber auch von Problemfeldern oder Beschreibungen, die funktionale Komplexität bringt deren Operationsweisen zum Ausdruck – und die algorithmische Komplexität ist schließlich direkt mit dem Bereich von Programmen, Instruktionen, Regelungen, Normen, Rezepten, Gebrauchsanweisungen und Algorithmen gekoppelt. Mit den Beispielen aus der Tabelle 3 kann zudem ein erster Überblick zur Anwendungsdichte des Kom-

plexitätsbegriffs und zu der Vielzahl an möglichen Komplexitätsmaßen gewonnen werden. Aus Tabelle 3 wird zudem ersichtlich, dass diese vier Komplexitätsfelder in einem starken Sinne als unabhängig voneinander aufzufassen sind, da eine hohe Ensemble-Komplexität mit niedriger struktureller und funktionaler Komplexität einhergehen kann oder niedrige Ensemble-Komplexitäten sich mit hohen strukturellen und funktionellen Komplexitäten zu binden vermögen. Und schließlich können für jedes dieser Komplexitätsfelder und -subfelder verschiedene Maße konstruiert werden, so dass der Komplexitätsbegriff seinerseits als ein komplexer entgegentritt, da er in einer selbstreferenziellen Wendung zwar nicht unbedingt in seiner Ensemble-Komplexität, jedoch in seinen strukturellen, operationalen wie algorithmischen Komplexitäten im Segment hoher Komplexität anzusiedeln ist.⁸

Tabelle 3: Vier Komplexitätsdimensionen

erste Hauptdimension: Ensemble-Komplexität		
Modus	Schlüsselmerkmal	paradigmatische Beispiele
kompositionell	Anzahl von Bausteinen	Programme oder Ausdrücke mit einer hohen Zahl von Bausteinen
taxonomisch	Arten von Bausteinen	Programme oder Ausdrücke mit einer hohen Anzahl verschiedener Typen von Bausteinen
zweite Hauptdimension: Strukturelle Komplexität		
Modus	Schlüsselmerkmal	paradigmatische Beispiele
organisatorisch	Grade der Substitution zwischen Bausteinen und zwischen Baustein-Relationen	Programme oder Ausdrücke mit sehr hohen Graden der Substitution von Bausteinen sowie von Relationen zwischen den Bausteinen
hierarchisch	Häufigkeit von Subsumptions-Relationen zwischen Bausteinen	multiple Ebenen-Architekturen von Programmen oder Ausdrücken
dritte Hauptdimension: Funktionale Komplexität		
Modus	Schlüsselmerkmal	paradigmatische Beispiele
operational	Variation in den Operationsweisen	Programme oder Ausdrücke mit einer Vielzahl an verschiedenen Operationen
nomisch	Grad der »Elaboriertheit« und Strukturierung von Gesetzen, Mechanismen oder Modellen, die einen Prozess steuern	Programme oder Ausdrücke mit einer großen Zahl an zusammengesetzten und rekursiv verbundenen Algorithmen
vierte Haupt-Dimension: Algorithmische Komplexität		
Modus	Schlüssel-Merkmal	Paradigmatische Beispiele
prozedural	Länge von Instruktionen	Programme mit wenigen Programmzeilen (»lines of code«, loc) bis hin zu Programmen mit Millionen loc
rechnerisch	Größe von Zeit und Aufwand	»Sofortlösungen« bis hin zur Klasse »unlösbarer Probleme« in polynomischer Zeit

Evolutionäre Turing-Welten und das Halte-Theorem

Als nächster Schritt werden die bislang thermodynamisch angereicherten Turing-Maschinen auch evolutionär gestimmt und zur Turing-Welt erweitert. Dies geschieht im Wesentlichen dadurch, dass Turing-Maschinen von Populationen von Programmen – einem Programmpool – bevölkert werden und die Turing-Welt insgesamt aus A-Populationen oder einer eigenen Ausdruckssphäre zusammengesetzt ist. Zudem soll eine Reihe weiterer Komplexitätsmaße zugelassen werden – genau genommen werden die vorgestellten vier Bedeutungsfelder für Komplexität für den Programmpool wie die Ausdruckssphäre erlaubt. Nicht unerwähnt sollte allerdings bleiben, dass sich in der langen Geschichte der Evolution ein sehr seltsames Verhältnis von Programmlängen und Ausdrucksformen etabliert hat. Tabelle 4 gibt einen kleinen Einblick, dass sich innerhalb von hunderten Millionen an evolutionsgeschichtlichen Jahren seltsame Verhältnisse zwischen Programmlängen, Programmnutzungen und Ausdruckskomplexitäten herausgebildet haben müssen.⁹

Tabelle 4: A-Populationen, P-Länge und P-Nutzung

A-Populationen	P-Länge (in 10^9 bp)	P-Nutzung (%)
Bakterium	0,004	100
Hefe	0,009	70
Taufliege	0,180	33
Kreuzblütler	0,200	31
Mensch	3,500	9 – 27
Molch	19,000	1,5 – 4,5
Liliengewächs	130,000	0,02
Lungenfisch	140,000	0,4 – 1,2

Die nächste Erweiterung der mittlerweile bevölkerungsreichen wie offenen Turing-Welt besteht darin, sie mit einem Evolutionspotenzial auszustatten. Und dafür wird es erforderlich, zwei neue Prozesse zu verankern.

Auf der einen Seite müssen sich Programme und Ausdrücke zufällig auf ganz bestimmte Weisen verändern können. Dieser Modus zufälliger Änderungen kann in die Turing-Welt so implementiert werden, dass evolutionäre Turing-Maschinen anfänglich nur über solche Rekombinationsoperatoren verfügen, welche über die Änderungen von Programmen zu anderen Ausdrücken gelangen. Als Startbedingung wird es genügen, mit den Operatoren der Turing-Maschine selbst sein Auslangen zu finden – und das heißt, dass die Turing-Maschine über ein kleines Set an Operatoren verfügt, die ein Programmelement durch ein anderes ersetzen, den inneren Zustand feststellen sowie sich von einem Programmelement zum nächsten bewegen können.

Die zweite Voraussetzung für ein Evolutionspotenzial liegt darin, dass sich in dieser Turing-Welt Evaluationsmaße herausbilden, mit denen sowohl Programme

als auch Ausdrücke bewertet werden können. Bedeutsam werden solche Evaluationsmaße unter anderem deshalb, weil damit unterschiedliche Reproduktionsraten von Programmen und Ausdrücken einhergehen – hoch bewertete Programme werden häufiger reproduziert als niedrig bewertete. Und auch hierbei soll für den Anfang das einfachst mögliche Maß in die Turing-Welt eingebaut werden, nämlich die Reproduktionsgeschwindigkeiten selbst, die auf diese Weise anfänglich einen in sich geschlossenen Kreislauf generieren: Hoch bewertete Programme oder Ausdrücke werden per definitionem auch schneller reproduziert und vervielfältigt.

Vor dem Hintergrund dieser evolutionären Minimalausstattung soll wiederum die Frage nach dem evolutionsgeschichtlichen Pfeil der Zeit aufgenommen und an dieser Stelle mit einer überraschend eindeutigen wie negativen Lösung beantwortet werden. Denn diese evolutionär offene Turing-Welt kann in ihrer Minimalausstattung keinerlei Zeitpfeil in Richtung größerer Komplexität oder Ordnung besitzen. Der Hauptgrund dafür hat nicht etwa mit der symmetrischen Bauweise der Rekombinationsoperatoren zu tun – sie vermögen nämlich Ordnung oder Komplexität sowohl zu erhöhen als auch zu reduzieren –, sondern mit einem gewichtigen Theorem aus der Komplexitätstheorie.

Und um zu diesem Theorem vorzustoßen, sollen zunächst die möglichen Konturen eines solchen universellen Hauptsatzes ausgelotet werden. Jeder derartige allgemeine Hauptsatz müsste in der Lage sein, ein generelles Gesetz für das Verhältnis der Länge von Programmen und der Länge von Ausdrücken zu offerieren. Doch dagegen steht das sogenannte »Halte-Theorem«, wonach es kein allgemeines Programm geben kann, welches das Verhältnis von Programm- und Ausdrucklänge effektiv zu berechnen vermag.

Given an arbitrary Turing machine program P and an arbitrary set of input data I , there does not exist a single Turing machine program that halts after a finite number of steps, and that will tell us if P will ever finish processing the input I .¹⁰

Dieses Haltetheorem ist deswegen von so restriktiv-überragender Bedeutung, da es in der Turing-Welt – und damit isomorph in der evolutionsgeschichtlichen – die Möglichkeit eines universellen Gesetzes irreversibler Ordnungs- und Komplexitätszunahmen effektiv verbaut. Denn jeder solche Hauptsatz müsste wie die bisherigen drei anderen eine universelle Form besitzen und eine kompakte Darstellung a priori enthalten, wie sich das Verhältnis von Programmen und Ausdrücken in der Zeit gestalten wird. Genau diese Möglichkeit wird durch das Halte-Theorem in einem universellen Sinne versperrt, weil keine solche Darstellung a priori – und damit kein universeller Hauptsatz – gegeben werden kann.

If by the concept of »law« we mean a compact description, ahead of time, of what the computer program will print then for any such program, there can be no law that allows us to predict what the program will actually do ahead of the actual running of the program.¹¹

Mehr noch, es ließe sich der Nachweis führen, dass die Unmöglichkeit eines universellen Hauptsatzes in Richtung steigender Komplexität oder Ordnung in der Tu-

ring-Welt die selbe logische Struktur und Stringenz wie die Gödelschen Sätze hinsichtlich der Unvollständigkeit jedes hinreichend mächtigen arithmetischen Systems aufweisen. Ein universeller komplexitätsvermehrender Hauptsatz in der Turing-Welt würde gleichzeitig die Gödelschen Theoreme ad absurdum führen.¹²

Mit der letzten Restriktion scheinen sich die Hoffnungen auf einen evolutionsgeschichtlichen Zeitpfeil terminal zerstreut und vollends auf den Nullpunkt zubelegt zu haben. Ein Pfeil der evolutionsgeschichtlichen Zeit muss, wenn überhaupt, auf eine andere und hintergründigere Weise verankert und eingebettet sein, welche im Rahmen des bisherigen »Mobiliars der Turing-Welt« nicht aufgebaut werden kann.

An dieser Stelle fehlen nur noch zwei scheinbar triviale Zusätze. Genau genommen bedarf es lediglich noch einer speziellen Randbedingung und einer minimalen Verhaltensregel, die zusammen hinreichen, partielle Zeitpfeile¹³ in diesem offenen, evolutionären Laboratorium der Turing-Welt auszubilden. Was die besondere Startbedingung betrifft, so scheint sie zu selbstverständlich, um eigens erwähnt zu werden, sie wird aber im Weiteren essenziell. Diese Startbedingung lautet schlicht, dass das Experiment Evolution dieser Turing-Welt mit den relativ gesehen niedrigst komplexen Populationen von Programmen und Ausdrücken ihren Anfang nimmt. Und diese vergleichsweise niedrigst mögliche Komplexität betrifft alle vier Dimensionen, nämlich die Ensemble-, die strukturelle, die funktionale wie die algorithmische Komplexität. Die Verhaltensregel enthält schlicht die Möglichkeit der rekursiven Kopplung, sodass sich die einzelnen Elemente des Programmpools oder der Ausdruckssphäre iterativ zu verbinden oder, anders ausgedrückt, strukturell zu koppeln vermögen, immer wieder, *round and round*.

Evolutionsgeschichtliche Driften und Zeit-Pfeile

In den weiteren Passagen des ersten Teils wird nun ein Erklärungssketch in sieben Stufen vorgenommen, der vor dem Hintergrund des Halte-Theorems und der Unmöglichkeit eines generellen Hauptsatzes für eine thermodynamisch offene Turing-Welt ansetzt und trotz alledem gegen Ende hin gleich mehrere temporal gerichtete und asymmetrische Richtungspfeile der evolutionsgeschichtlichen Zeit konstruiert und diese zudem in einen weiteren Kontext einer »kosmischen Evolution« einbettet. Und weil diese Erklärungsskizze sich direkt auf Prozesse terrestrischer Evolution bezieht, wird die Darstellungsform wiederum aus der Turing-Welt heraus und direkt wie unmittelbar in die Evolutionsgeschichte hineingeführt.

Als erste Stufe wird zum Explanandum dieser Erklärungsskizze übergeleitet, das von zeitlich ungerichteten evolutionsgeschichtlichen Prozessen ausgeht, in der jede Bezugnahme auf naturwüchsig komplexitätssteigernde evolutionsgeschichtliche Driften verzichtet wird. Im Gegenteil, für dieses Explanandum sollen nochmals die gewichtigen empirischen wie theoretischen Gründe Revue passiert werden, Evolu-

tion gerade nicht mit notwendigen Komplexitätssteigerungen oder notwendigen Ordnungszuwächsen in eins zu setzen.

Zu den empirischen Gründen gehört die Tatsache, dass (...) die heutigen Bakterien beispielsweise vermutlich nicht komplizierter aufgebaut (sind) als ihre Vorfahren vor zwei Milliarden Jahren (...) Wie fossile Zeugnisse zeigen, haben sich viele Lebewesen, etwa Pfeilschwanzkrebse, Quastenflosser oder Krokodile, in mehreren hundert Millionen Jahren wenig verändert (...) Es gibt auch keine theoretischen Gründe für die Annahme, die Evolution durch natürliche Auslese müsse zu einer Komplexitätssteigerung führen (...) Vielmehr ist durchaus vorstellbar, dass die Evolution auf dem Stadium der Prokaryoten oder der Protisten stehengeblieben wäre.¹⁴

Zusammen mit dem Halte-Theorem stehen dieser oder ähnlichen Charakterisierungen¹⁵ nur die immensen Vielfalten gegenwärtiger Lebensformen – menschliche Gesellschaften eingeschlossen – als dazu gegenläufige Sachverhalte entgegen. Und deshalb sei zu einer evolutionsgeschichtlichen Minimalbeschreibung übergeleitet, die sich auf ein unhintergehbare Charakteristikum in der langen Geschichte des Lebens stützt. Jenseits der folgenden Minimaldarstellung türmen sich die neuerdings wieder heftigere Konstruktionen kreationistischer oder diviner Provenienz zum Ursprung und zur Vielfalt der Arten.

Unserer Ansicht nach war die Komplexitätssteigerung die Folge einer geringen Anzahl entscheidender Übergänge oder Neuerungen (...) Einige dieser Übergänge waren einmalige Ereignisse, etwa das Hervorgehen der Eukaryoten aus den Prokaryoten, die Entwicklung der Meiose oder der Ursprung des genetischen Codes selbst. Andere Übergänge wie die Entstehung der Vielzeller oder die von Tiergesellschaften, ereigneten sich unabhängig voneinander mehrmals.¹⁶

Dieses Hauptmerkmal von sehr wenigen und teilweise einmaligen Übergängen und einer sehr großen Anzahl marginaler bis unkenntlicher Veränderungen im Laufe der evolutionsgeschichtlichen Zeiten bildet im Wesentlichen die zu erklärende Zielgröße und kann zudem in Gestalt der Tabelle 5 näher spezifiziert und konkretisiert werden.

Tabelle 5: Wichtige evolutionsgeschichtliche Phasenübergänge

Phase I	Phase II
sich replizierende Moleküle	Molekülpopulationen in Kompartimenten
unabhängige Replikatoren	Chromosomen
RNA als Gen und als Enzym	DNA und Proteine (genetischer Code)
Prokaryoten	Eukaryoten
asexuelle Klone	sexuelle Populationen
Protisten	Tiere, Pflanzen, Pilze (Zelldifferenzierung)
solitäre Individuen	Kolonien
Primaten-Gesellschaften	Sprach-Gesellschaften

Tabelle 5 führt geradewegs in die zweite Stufe des Erklärungssketches, in der nach den besonderen Konsequenzen dieser ebenso zufälligen wie singulären und diskontinuierlichen Übergänge gefragt wird. Mit Ausnahme der letzten beiden Transitio-

nen in Tabelle 5 erweisen sich diese nämlich als irreproduzibel: Derartige Übergänge – einmal hinreichend eingebettet und in Nischen verankert – können nicht mehr erfolgreich wiederholt werden, weil sie ihre Umgebungen so verändern und umstrukturieren, dass die Bedingungen ihrer neuerlichen Entstehungsmöglichkeiten nicht länger gegeben sind. Jene irreproduziblen Grenzverschiebungen erweisen sich aber deswegen als in gleich mehrfachem Sinne grundlegend, weil sie die bisherige Umgebung in unterschiedliche Landschaften aufspalten, die viel eher durch hierarchische denn durch heterarchische Beziehungen gekennzeichnet sind. Um Ledyard G. Stebbins zu bemühen, werden diese Stufenlandschaften von jeweils charakteristischen Populationen bevölkert – »free-living viroids, procaryotes, eucaryotes, sponges and fungi, flatworms and higher plants, arthropods and vertebrates, mammals and birds, and man.«¹⁷ Zwei überaus interessante Phänomene an diesen Stufenlandschaften wurden bereits im Artikel von Gerhard Grössing zur Sprache gebracht. Auf der einen Seite zeichnen sich die jeweiligen Stufen durch charakteristische Größenunterschiede aus – neue Landschaften brechen in jeweils neue Zeit- und Raum-Dimensionen auf und durch. Und auf der anderen Seite bleiben trotz alledem typische Relationen und Muster – beispielsweise das Kleibersche Gesetz von der relativen Konstanz der Anzahl der Herzschläge – quer über die einzelnen Landschaften selbstähnlich erhalten.

Die dritte Stufe im Erklärungssketch fragt schlicht nach den Gründen für diese selbstähnlichen Muster quer durch die einzelnen Stufenlandschaften und landet bei einem hauptsächlichen Organisationskriterium, das ebenfalls in Gerhard Grössings Arbeit intensiv aufbereitet wird. Denn die passende Antwort darauf lautet »selbstorganisierende Kritikalität« und gilt mittlerweile als ein gemeinsames Merkmal belebter wie unbelebter Selbstorganisationsprozesse.¹⁸ Nochmals knapp zusammengefasst geht es darum, dass sich Populationen von Populationen durch ihre lokalen Beziehungen von selbst so organisieren, dass sich die Gesamtkonfiguration zu einem kritischen Zustand bewegt, der zum Attraktor für die jeweiligen evolutionären Landschaftsschichten avanciert. Und auch das Überschreiten dieses Zustands selbstorganisierter Kritikalität führt die spezielle evolutionäre Landschaft insgesamt auf den kritischen Zustand zurück. Aus einer Vielzahl von Analysen ist zudem bekannt, dass sich solche evolutionäre Landschaften in der Regel mit hoher Diversität explosionsartig füllen und sich in einem Zustand selbstorganisierter Kritikalität in Richtung einer vergrößerten Zahl von Individuen und von »dominanten Designs« organisieren.¹⁹ Formal wird der Zustand selbstorganisierter Kritikalität durch ein für die jeweilige Landschaft typisches Potenzgesetz charakterisiert, mit dem zudem eine Vielfalt von Verteilungsmustern verbunden ist, die in ihrer abstrakten Version wohl so charakterisiert werden kann: Einer sehr kleinen Anzahl sehr großer Phänomene stehen sehr große Zahlen sehr kleiner Phänomene gegenüber.

Die bisherigen Stufen im Erklärungssketch rekapitulieren auch Punkte, die sich in größerer Ausführlichkeit und Beispielhaftigkeit in Gerhard Grössings *Warum etwas wird* finden. Die nächsten vier Stufen in der Erklärungsskizze werden jedoch

eine Reihe zusätzlicher Aspekte betonen, die ihre konstruktiven Beiträge zum »Werden und Vergehen« leisten und sich in *Warum etwas wird* nur in Spuren wiederfinden. Denn für das vergleichsweise schnellere Zustandekommen singulärer Durchbrüche, Übergänge und progressiver Stufenlandschaften erweist sich – als vierte Stufe im Erklärungssketch – der Sachverhalt von Gewicht, dass sich diese irreproduzierbaren Transitionen primär innerhalb von Interaktionen und rekursiven Kopplungen zwischen einzelnen Akteuren und Arten selbst angebahnt haben und nicht rekombinativ im Programmpool durchgeführt worden sind. Anders ausgedrückt, sind die großen evolutionären Durchbrüche aus Tabelle 4 nicht oder nicht primär durch rastlose Veränderungen in den genetischen Programm-basen ins Leben gerufen worden, sondern über symbiotische und rekombinative Prozesse zwischen den Akteuren selbst, wodurch sich diese neuen und progressiven evolutionären Stufenlandschaften entfalten und ausbreiten konnten. Lynn Margulis fasst die wichtigsten Prozesse dieser Symbiogenese in vier Hauptpunkte zusammen:

The ground substance of cells, the nucleocytoplasm, descended from archaebacteria; in particular most of the protein-making metabolism arises from thermoacidophil (»thermoplasmalike«) bacteria (...) ilia, sperm tails, sensory protrusions, and many other appendages of nucleated cells arose in the original fusion of the archaebacterium with the swimming bacterium (...) the oxygen-respiring mitochondria in our cells and other nucleated cells evolved from bacterial symbionts now called »purple bacteria« or »proteobacteria« (...) the chloroplasts and other plastids of algae and plants were once free-living photosynthetic cyanobacteria.²⁰

Etwas anders phrasiert finden sich von der frühesten Geschichte des Lebens an gewichtige und besonders innovationsträchtige lamarckistische Bausteine in jenem sich entfaltenden Gewebe verstrickt, das seit rund 150 Jahren »Evolution« heißt.²¹ Das generelle Prinzip hinter und über der Symbiogenese lässt sich in den Worten von Robert Wright als »Nonzerosumness« apostrophieren²²: Unter den möglichen rekursiven Kopplungen zwischen individuellen Akteuren und Arten finden sich auch solche, die über positive Lösungen für beide oder mehrere rekursiv interagierende verfügen. Und die Existenz zumindest einiger Nichtnullsummen-Interaktionen führt seriell zu verstetigten symbiotischen Beziehungen, welche im Laufe der Zeit mehr ihre Grenzen nach außen denn nach innen ausbilden – und auf diese Weise sich zu neuen Arten verdichten. Über die Symbiogenese gelangt zudem eine erste zeitliche Asymmetrie in die evolutionsgeschichtliche Welt: Denn wenn diese singulären und irreproduzierbaren Innovationen durch eine serielle Endosymbiose ins Leben gesetzt werden, dann resultiert daraus trivialerweise ein partieller Pfeil evolutionsgeschichtlicher Zeit in Richtung wachsender Komplexität, da solche endosymbiotischen Konfigurationen nach allen vorhandenen Kriterien komplexer ausfallen müssen als ihre jeweils getrennten Formen. Das endosymbiotisch Ganze ist mehr und komplexer als seine Teile und kann dies immer nur sein. Auf diese Weise nistet sich ein erster partieller Pfeil evolutionsgeschichtlicher Zeit ein, der konsequenterweise als »endosymbiotischer« etikettiert werden soll.

Als mittlerweile fünfte Etappe im Erklärungssketch soll die Rolle und der Stel-

lenwert der Symbiogenese in einem weiteren Kontext verankert werden, der zudem als charakteristisches Trendmerkmal sehr langfristiger evolutionsgeschichtlicher Prozesse gelten kann. Die Rede ist von der mit der Zeit steigenden Rolle von epigenetischen Prozessen der Informationsspeicherung und des Informationstransfers im Vergleich zu genetischen Prozessen: Die Informationskanäle über den genetischen Code, der ja seinerseits erst über den Weg der Symbiogenese erreicht wurde, treten »in the very, very long run« in ihrer Bedeutung gegenüber epigenetischen Transfers und Speicherungen sukzessive zurück. Die Tabelle 5 versucht, dieses Trendmuster innerhalb der sehr langen Geschichte des Lebens zu verdeutlichen.²³

Plakativ zugespitzt lässt sich behaupten, dass für die derzeit epigenetisch schnellsten und vielfältigsten evolutionären Prozesse – jene innerhalb gegenwärtiger Gesellschaften – die autonomen Variationen über den genetischen Code nahezu erklärungsirrelevant für die Richtung und die Dynamik von Veränderungen geworden sind. Über die Tabelle 5 wurde zudem implizit ein zweiter Pfeil der evolutionsgeschichtlichen Zeit eingeführt, der aus offensichtlichen Gründen als »epigenetischer« tituliert wird und der auf den mit der Zeit wachsenden Anstieg von epigenetischen Codifizierungs-, Speicherungs- und Reproduktionsmechanismen über genetische verweist. Wiederum erweist sich dieser Zeitpfeil von partieller Natur – einige erfolgreiche epigenetische Durchbrüche reichen jeweils hin, um dieses Verhältnis dauerhaft zu verankern und einzubetten.

Die sechste Stufe im Erklärungssketch rückt einen familienähnlichen Aspekt der evolutionären Dynamik in den Vordergrund und beginnt zunächst mit Ronald A. Fishers populationsdynamischem Fundamentalprinzip, das in verkürztester Form wohl so lautet: Höhere genetische Variabilität erzeugt höhere organismische Fitness: »The rate of increase in fitness of any organism is equal to its genetic variance in fitness at that time«.²⁴

Und *mutatis mutandis* lässt sich der Fishersche Grundsatz auf das genetisch-epigenetische Potenzial an Rekombinationsoperatoren ausweiten, das in Tabelle 5 ja eine deutliche Erhöhung durchlaufen hat: Dies bedeutet in weiterer Folge, dass die Evolution der Evolution eine im Lauf der Zeit natürliche Beschleunigung in Gestalt erhöhter Variationsraten durchläuft – von Werten weit unter der 1%-Marke bis hin zu den momentanen Innovationsraten von ökonomischen Systemen, in denen rund 30% an Unternehmen zu jedem Zeitpunkt in Produkt- oder Prozessinnovationen engagiert sind. Weiters lässt sich aus einer positiv rückgekoppelten Evolution der Evolution eine Variation zum zweiten Zeitpfeil gewinnen, der als »selbstevolutiver« etikettiert wird und da lautet: Das Evolutionspotenzial insgesamt nimmt im Laufe langer Zeiten zu, zwar diskontinuierlich und erratisch, aber ohne hinter einmal erreichte Niveaus zurückzufallen. Die Evolution der Evolution selbst bildet damit einen Mechanismus, der in den Worten von Ronald A. Fisher in Richtung »for generating an exceedingly high degree of improbability« weist.

Als letzte und siebente Stufe im Erklärungssketch soll die streckenweise seltsame und gegenläufige Verbindung zwischen dem thermodynamischen und den evoluti-

ongeschichtlichen Pfeilen der Zeit zu Gunsten einer einheitlichen und homogenen Beschreibungsweise abgelöst werden. Und dazu wird lediglich benötigt, evolutionäre Prozesse, so wie sie bisher dargestellt wurden, als eine spezielle Unterklasse von thermodynamischen zu charakterisieren – und Evolution als entropischen Prozess unter zwei charakteristischen Nebenbedingungen zu etikettieren: unter den Bedingungen rekurrenter Grenzbrechungen bestehender Phasenräume sowie unter der Voraussetzung des Verfügens über ein praktisch unbegrenztes und unausschöpfliches Reservoir an freier Energie. Unter dieser Konstellation kommt es, wie dies von Daniel R. Brooks und E.O. Wiley und anderen²⁵ betont wird, zu einer simultanen Konstellation steigender Entropie und steigender Selbstorganisation und Komplexität.²⁶

The key to solving this apparent paradox lies in the realization that evolution is a non-equilibrium phenomenon characterized by an increasing phase space and a tendency for realized variation to lag behind an entropy maximum (i.e., for realized diversity to lag behind maximum possible diversity) (...) The observer sees, as time goes by, that realized genetic/organismic diversity increasingly lags behind the ever-increasing entropy maximum. However, in this case the observer is also moving, because the entropy maximum is increasing over time. That is, phase space is increasing over time. Further, the entropy maximum is increasing at a faster rate than the realized diversity. The observer, realizing this, concludes that evolution is characterized by entropic behavior. She also realizes that evolution is characterized by entropic behavior. She also realizes that increases in complexity and increases in organization are, themselves, emergent properties of this entropic behavior.²⁷

Als Synthese aus der bisherigen Erklärungsskizze lässt sich eine »Evolutionssuhr« konstruieren, die sich auch und gerade von einem »blinden Uhrmacher« (Richard Dawkins) herstellen und in Schwung halten lässt. Die Merkmale der Zufälligkeit wie der Diskontinuität der singulären Durchbrüche innerhalb der Tabelle 5 wurden bereits deutlich betont – sie waren zu irgendeinem Zeitpunkt weder notwendig noch ex ante prognostizierbar und erweisen sich daher typischerweise als emergent.

Die grosse Wolken-Uhr der Evolution

Zu Beginn zeichnet sich ein evolutionäres System durch die rasche Diffusion einer irreproduziblen Basisinnovation – das Auftauchen einer neuen und vergleichsweise komplexeren Spezies –, durch die dadurch induzierten sekundären, tertiären usw. Anpassungsprozesse wie durch den Aufbau einer geschichteten, hierarchischen evolutionären Landschaft aus. Weil die Chancen von Nischenausweitungen im neuen Territorium aber im Lauf der Zeit abnehmen und an relative Sättigungsgrenzen stoßen, driftet das evolutionäre System insgesamt in die Gegend eines Zustands selbstorganisierter Kritikalität. In der Nähe dieses Zustands wandelt sich zudem – und dies markiert den Beginn der Optimierungsphase – der Zustand des evolutionären Systems. Es kommt, so sich dazu die Möglichkeiten offerieren, zur Verbreitung von bioenergetischen Prozessinnovationen, welche aber ihrerseits durch abnehmende komparative Vorteile charakterisierbar sind. Durch die mit der Zeit auch schwindenden Attraktivitäten solcher Prozessinnovationen verharret ein evolutionäres System im Zustand selbstorganisierter Kritikalität – bis plötzlich – stark endosymbiotisch mitbedingt, eine neue Gruppe oder Spezies das evolutionäre System um eine weitere Stufe anreichert und aus dem bisherigen Zustand selbstorganisierter Kritikalität herausbewegt, wodurch sich eine neuerliche Diffusionsphase entfalten kann, innerhalb der aber wäre damit wiederum der An-

fang zum Sketch einer »EvolutionUhr« erreicht, die im Übrigen ein notorisch schlecht funktionierendes Uhrwerk darstellt, weil das Auftauchen solcher singulärer Basisinnovationen – grenzbrechende neue Arten – sehr lange auf sich warten lassen kann oder überhaupt ausbleibt ...

Diese Wolken-Uhr weist zwei verschiedenartige spezielle Zeitpfeile und damit Prozesse auf, die sehr langfristig betrachtet nur in einer Richtung wachsen können: den endosymbiotischen und den epigenetischen beziehungsweise den selbstevolutiven. Alle beiden evolutionsgeschichtlichen Mechanismen sind nicht universeller Natur, aber bei hinreichend langen Zeit-Räumen – das Evolutionsexperiment Gaia mit nahezu unbegrenzt freier Energie läuft immerhin seit rund viereinhalb Milliarden Jahren – vermögen sie, distribuiert oder in Kombination, einen universellen Pfeil der evolutionsgeschichtlichen Zeit funktional zu substituieren.

Tabelle 6: Wichtige evolutionäre Phasenübergänge und ihre Informationskanäle

	Phase I	Phase II
<i>Proto-Darwin-Gesellschaften</i>		
	symbiogenetische Ausformung des genetischen Codes	
charakteristische Übergänge	sich replizierende Moleküle unabhängige Replikatoren RNA als Gen und als Enzym	Molekülpopulationen in Kompartimenten Chromosomen DNA und Proteine (genetischer Code)
<i>Darwin-Gesellschaften</i>		
	schwache Dominanz des genetischen Codes	
charakteristische Übergänge	Prokaryoten asexuelle Klone Protisten	Eukaryoten sexuelle Populationen Tiere, Pflanzen, Pilze (Zelldifferenzierung)
<i>Polanyi-Gesellschaften</i>		
	Symmetrie zwischen genetischen und epigenetischen Codes	
charakteristischer Übergang	solitäre Akteure	Kolonien
<i>Piaget-Gesellschaften</i>		
	Dominanz der epigenetischen Codes	
charakteristischer Übergang	Primaten-Gesellschaften	Sprach-Gesellschaften
<i>Turing-Gesellschaften</i>		
	sehr starke Dominanz der epigenetischen Codes	
charakteristischer Übergang:	triviale Maschinen	sich selbstreproduzierende Turing-Maschinen
	Autonomie des genetischen Codes	Heteronomie des genetischen Codes

Mit diesem mittlerweile abgeschlossenen Erklärungssketch wird es möglich, die scheinbaren Gegenläufigkeiten der Zeitpfeile der Evolutionsgeschichte und der Thermodynamik zu Gunsten einer grundlegenden homogenen Darstellungsform aufzuheben, welche eine geeignete Einbettung der evolutionsgeschichtlichen Zeit-

pfeile in den thermodynamischen vornimmt.²⁸ Und mit diesem Resümee ist der theoretische Hintergrund wie das Referenzgebiet für die weiteren Ausführungen bereitgestellt, die sich ausschließlich um relevante und teilweise neue historiografische Analysefelder rund um »die Pfeile der geschichtlichen Zeit« bemühen werden.

Teil II: Thermodynamik, Evolution, Zeitpfeile und neue historiografische Themenfelder

Der soeben fertig entwickelte Erklärungssketch für evolutionsgeschichtliche Zeitpfeile besitzt, würde er konsequent in den historiografischen oder auch den sozialwissenschaftlichen Alltag transformiert, überaus starke Konsequenzen, Reperkussionen oder Resonanzen für veränderte Problemhorizonte und Darstellungsweisen. In den weiteren Ausführungen werden einige wichtige davon angedeutet, die zudem in Parallelität zum Teil I wiederum um die Grenzzahl sieben organisiert werden.

Als erstes und wahrscheinlich auch vorrangiges Themenfeld gilt es, dem Phänomen der selbstorganisierten Kritikalität, der Konstruktion von Potenzgesetzen und den damit korrespondierenden Verteilungen einen ungleich höheren Stellenwert innerhalb der Analyse der geschichtlichen Welt und ihren Entwicklungsverläufen beizumessen. Mark Buchanan spricht in diesem Zusammenhang von den noch ungeschriebenen »sandpile-histories« und den noch nicht professionalisierten »sandpile historians«.

Maladjustment, according to historians, is the precondition of revolutions, and necessarily precedes all sudden and dramatic changes, in all communities, no matter what their character and size (...) This generalisation of history may seem so obvious and vague as to be other meaningless or simply true by definition. But it is both suggestive and intriguing to compare the idea with the basic physics of the sand pile. There, an avalanche starts only when the slope at some point becomes so steep that the next falling grain pushes it past a threshold, and sand begins sliding (...) It is not wholly frivolous to suppose that revolutions, wars and other dramatic social upheavals may all reflect the workings of an underlying historical process with the same susceptibility to upheaval that we have seen so many times already.²⁹

Aber es gibt einen wahrscheinlich direkteren und unmittelbar fruchtbareren Weg, den ersten Bereich mit seinen historischen Potenzgesetzen und ihren Verteilungen in die historiografische Welt zu setzen. Der mit 49 Jahren im Jahre 1950 jung verstorbene Harvard-Philologe George Kingsley Zipf hinterließ drei umfangreiche Bücher, eines über Sprachen,³⁰ eines über die Ordnung von Nationen³¹ und schließlich 1949 sein Opus magnum, das sich sowohl über Sprachen, Nationen, als auch über scheinbar so sphärenfremde Bereiche der Persönlichkeitsintegration, Schizophrenie oder Depressionen erstreckt.³² Das historiografisch Bemerkenswerte an allen drei Büchern ist die Tatsache, dass Zipf in ihnen mit einer enormen Fülle an empirischem Material das Vorhandensein solcher Potenzgesetze in allen Bereichen menschlicher Selbstorganisation – Sprache, Migration, Ökonomie etc. – nachwei-

sen wollte. Zur besseren Orientierung sei ein rezentes Beispiel offeriert, nämlich die Rangordnung amerikanischer Städte aus dem Jahre 1994, deren Einwohnerzahlen immerhin die Selbstorganisation von Migrations- und Besiedelungsprozessen numerisch zum Ausdruck bringt.

Tabelle 7: Potenzgesetze und die Rangordnung von Städten in den Vereinigten Staaten (1994)

Rang n	Stadt	Einwohner	Verteilung I (10.000.000/n)	Verteilung II (5.000.000/(n-2/5) ^{3/4})
1	New York	7.322.564	10.000.000	7.334.265
7	Detroit	1.027.974	1.428.571	1.214.261
13	Baltimore	736.014	769.231	747.639
19	Washington, D.C.	606.900	526.316	558.258
25	New Orleans	496.938	400.000	452.656
31	Kansas City, Mo.	434.829	322.581	384.308
37	Virginia Beach, Va.	393.089	270.270	336.015
49	Toledo	332.943	204.082	271.639
61	Arlington, Texas	261.721	163.934	230.205
73	Baton Rouge, La.	219.531	136.986	201.033
85	Hialeah, Fla.	188.008	117.647	179.243
97	Bakersfield, CA.	174.820	103.093	162.270

Aus Tabelle 7 wird klar, dass das sogenannte Zipfsche Gesetz – der Rang r multipliziert mit der Anzahl oder Häufigkeit f ergibt annähernd einen konstanten Wert $C [r \times f = C]$ – oder eine Potenz-Variation dazu (rechte Spalte von Tabelle 7) – relativ gut die empirische Rangordnung von Städten innerhalb der USA wiedergibt. Aber genau dieselben Verteilungen konnte Zipf im Selbstorganisationsprozess unterschiedlichster menschlicher Sprachen feststellen – eine kleine Anzahl von Wörtern kommt in einem Text sehr häufig vor und viele andere lediglich ein- oder zweimal, bestimmte Buchstaben dominieren quer über unterschiedliche Sprachen,³³ die Wortbildungen und andere Buchstaben treten relativ selten in Erscheinung, spezielle Redewendungen werden dauernd in ein Gespräch eingeflochten etc. In diesem Sinne könnte das erste historiografisch noch offene Arbeitsfeld in einer Wiederaneignung der immensen, un abgeschlossenen und unzeitig abgebrochenen Zipfschen Materialien bestehen und über die folgenden unterschiedlichen Bearbeitungswege laufen.

Als anfängliches Gebiet ginge es um eine Zusammenfassung und Systematisierung des Zipfschen empirischen Materials und der seither getätigten Analysen, die unter gegenwärtigen Bedingungen computerunterstützt ungleich schneller durchzuführen sind als die seinerzeitige manuelle Buchführung von Worthäufigkeiten. Als

nächstes Gebiet wäre es um die Zusammenfassung einer Unzahl von empirischen Generalisierungen zu tun, in denen für Zipf gewichtige Merkmale der Dynamik von Sprach- oder Gesellschaftsentwicklungen liegen. So finden sich bei Zipf Hypothesen über das Verhältnis von homogenen Ensembles wie Nationen und ihren jeweiligen Sub-Ensembles, über Sättigungspunkte oder, um auf Sprachen überzuschwenken, über die inversen Beziehungen zwischen Wortlänge und Häufigkeit des Vorkommens oder von den positiven Beziehungen zwischen der Anzahl verschiedener Bedeutungen oder dem Alter von Wörtern und ihren jeweiligen Frequenzen. In einem anderen Arbeitsschritt wäre es darum zu tun, die vielfältigen und teilweise faszinierenden Hinweise bei Zipf auf den generativen Mechanismus für diese Art und vor allem für diese Richtung von Selbstorganisation darzulegen. Zipf verwendet als Mechanismus ein universelles Prinzip des kleinsten Aufwandes,³⁴ das aus beliebigen Anfangsverteilungen in Richtung von Potenzgesetz-Verteilungen führt, und erläutert dies mit vielerlei stimulierenden Gedankenexperimenten. Als nächstes Themenareal eröffnet sich die Konstruktion passender Modelle und Modellgruppen, die eine Bandbreite von unterschiedlichen Potenzgesetzen beinhalten sollten. Und schließlich stünde als Meta-Stufe an, jene allgemeinen Bedingungen festzulegen, unter denen sich gesellschaftliche Prozesse in Richtung von selbstorganisierten Kritikalitäten bewegen – und unter welchen Bedingungen dies nicht geschieht. Beispielsweise gehören starke Barrieren in der Bewegungsfreiheit von Akteuren oder zentrale Verteilungsinstanzen zu jenen Faktoren, welche Selbstorganisationsprozesse in Richtung eines Zustandes selbst-organisierter Kritikalität zu verzögern oder verhindern vermögen.

Damit wäre ein durchaus abarbeitbares Aufgabenfeld eröffnet, das auf einer Unzahl an empirischen Materialien, Generalisierungen, Mechanismen und einem universellen Gesetzestyp aufbaut und diese sukzessive erweitert und aktualisiert. Es ist kaum übertrieben, von anstehenden radikalen Neu-Vermessungen historischer Prozesse, ihrer Richtungen und ihrer Verteilungen entlang spezieller Potenzgesetze und ihrer Verteilungen zu sprechen, würden auch nur Teile der knapp skizzierten Forschungsagenda umgesetzt.

Ein zweiter Analysebereich aus dem Umkreis des Erklärungssketches aus dem Teil I kann unter dem spröden Titel *Physik der Information*³⁵ eingeführt werden und bemüht sich um eine Analyse rein physikalischer Prozesse der Informationsgenerierung, der Informationsspeicherung und der Informationsverluste innerhalb unterschiedlichster gesellschaftlicher Formationen. Der Zusammenhang von Problemlagen, die sich mit der Speicherung und Degradierung von Information wie ihrem sukzessiven Verschwinden auseinandersetzen, mit der thermodynamisch-evolutionsgeschichtlichen Erklärungsskizze ist offensichtlich: Mit dem zweiten Untersuchungsareal wird aber tatsächlich auf die puren physikalischen Eigenschaften von Medien der Informationsspeicherung, von Informationsmaterialien im Laufe geschichtlicher Perioden, von Informationsverlusten in historischer Zeit, von Fehleraten in der Reproduktion von Information und Ähnliches gezielt. Charakteristi-

sche Untersuchungsareale dabei betreffen die Verfallszeiten und die Zerfallsprozesse von Codierungs- und Speicherungsmaterialien – von Bleistiften, CDs, Papier, Tinte, Gänsekiel, Leinen, Füllfeder, Harddisks und vielem anderem mehr –, die Fehler in der Reproduktion von Information entlang unterschiedlicher analoger und digitaler Medien, Typologien von Informationsverlusten, Zerstörungen von Information – und welche Gesellschaftsformationen im Laufe der Zeiten welche Risikopotenziale und Engpässe zu bewältigen hatten. Wie aktuell eine solche Analysestrategie zeitgeschichtlich ausfällt, soll das nachstehende Zitat verdeutlichen:

Was die sogenannte Informationsflut betrifft, kommt überraschenderweise gerade aus der Computerindustrie irritierende Kunde: Digital gespeicherte ›Informationen‹ sind viel empfindlicher als analoge Tonband- und Videoaufzeichnungen. Länger als vier Jahre, so räumt sogar IBM ein, ist auf Magnetbändern und -platten gespeicherte ›Information‹ nicht sicher aufgehoben. Wer seine Daten nicht bei jedem Wechsel der Gerätegeneration auf das neue System kopiert, hat sie bald verloren – so wie etwa die NASA, die schon heute keinen Zugriff mehr hat auf die Daten der Saturn-Weltraum-Mission der 1970er Jahre.³⁶

Es wäre ein ungemein lohnendes Arbeitsfeld, eine Parallelgeschichte des Wechsels in Richtung von digitaler Informationsspeicherung und den damit einhergehenden Risikopotenzialen wie auch den dabei eintretenden Informationsverlusten zu verfassen. Diese Geschichte wäre jedenfalls eine voller Paradoxien, Selbstwidersprüche und Beunruhigungen, setzt doch das »globale Alexandria« mit der weitaus höchst-

Tabelle 8: Rekombinationsoperatoren für die Transformationen »alt → neu«

Operatoren	Wirkungsweise	Notation
<i>Adding</i>	das Hinzufügen neuer Bausteine oder Schemen in ein bestehendes Schema	$(A \rightarrow AB)$
<i>Deleting</i>	das Entfernen bestehender Bausteine oder Schemen aus einem bestehenden Schema	$(AB \rightarrow A)$
<i>Replacing</i>	die Ersetzung eines Bausteins oder eines Schemas durch eine Alternative	$(AB \rightarrow AC)$
<i>Duplication</i>	das Verdoppeln bestehender Bausteine oder Schemen	$(AB \rightarrow ABAB)$
<i>Shortening</i>	das Verkürzen eines bestehenden Schemas	$(ABB \rightarrow AB)$
<i>Lengthening</i>	das Verlängern eines bestehenden Schemas	$(AB \rightarrow ABB\dots)$
<i>Inverting</i>	die Umkehrung eines bestehenden Schemas	$(ABC \rightarrow CBA)$
<i>Swapping</i>	das Vertauschen zweier Bausteine oder Schemen in Schemen	$(ABC)(DEF) \rightarrow (ABD)(CEF)$
<i>Crossing-Over</i>	das »Kreuzen« zweier Schemen	$(ABCD)(EFGH) \rightarrow (ABGH)(EFCD)$
<i>Merging</i>	die Integration bislang getrennter Schemen in ein neues Schema	$(AB)(CD) \rightarrow (ABCD)$
<i>Breaking</i>	die Differenzierung eines Schemas in disjunktive Schemen	$(ABCD) \rightarrow (AB)(CD)$
<i>Moving</i>	die horizontale Bewegung von einem Baustein oder Schema zum nächsten	$(A) \rightarrow (A')$
<i>Shifting</i>	das vertikale Transponieren von einem Niveau L_i zu einem davon verschiedenen Level L_j	$(A_{L_i}) \rightarrow (A_{L_j})$

ten Informationsproduktion und dem stärksten Informationsbedarf auf die bislang gesehen aller kürzesten Speicherungsmedien.

Als drittes weites Analysefeld im Umfeld der evolutionsgeschichtlichen Erklärungsskizze stehen generelle Revisionen in der Gestaltung von beliebigen gesellschaftlichen Produktionsprozessen im Vordergrund. Paradigmatisch ließen sich dazu jene ökonomischen Produktionsprozesse anführen, in denen nach herkömmlichem ökonomischen Verständnis die klassischen Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital unter Beimengung technologischen Fortschrittes Fertigprodukte oder Dienstleistungen aller Arten im Zustand vollkommener thermodynamischer Unschuld herstellen. Hier ginge es daher primär darum, Produktionsvorgänge im Sinne des Erklärungssketches aus dem Teil I so zu gestalten, dass die grundlegenden thermodynamischen Bilanzen erhalten bleiben und jeder Zuwachs an Ordnung in Gestalt neuer Produkte oder Dienstleistungen durch ein tendenziell höheres Ausmaß an Unordnung innerhalb der Umgebung solcher Produktionsprozesse begleitet wird. In diesem Sinne erzeugen Produktionsprozesse nicht bloß Güter und Warenströme als Outputs, sondern gleichermaßen eine Palette an anderen ›Produkten‹, deren intrinsische Dazugehörigkeiten und Wichtigkeiten seit den frühen siebziger Jahren speziell durch Nicholas Georgescu-Roegen betont werden.

Zahlreiche Resultate in jedem Arbeits- oder Produktionsprozess stellen nicht Waren im eigentlichen Sinne dar. Ermüdete ArbeiterInnen, abgenützte Werkzeuge und Schadstoffe gehören zu den normalen ›Outputs‹ der Produktion, wogegen freie Güter aus der Umwelt zu den normalen ›Inputs‹ gehören.³⁷

Mit dem Werk von Georgescu-Roegen liegt ein passender Bilanz-Rahmen vor, der den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik auch im Kontext von ökonomischer Produktion und Produktionsfaktoren verankert. Zudem ist diese neue Plattform hinreichend generalisierbar ausgelegt – sie lässt sich mühe- und problemlos auf weitere soziale Produktionsprozesse ausweiten, deren generelle Bilanzierungsform als $[S_t(P) \geq 0, S_t(U) \leq 0, S(P) + S(U) \leq 0]$ angeschrieben werden kann – Ordnungszuwächsen in der Produktion steht eine zumindest ebenso hohe Ordnungsreduktion in der Umgebung gegenüber.

Das vierte Arbeitsgebiet greift ein zumindest dem Autor bekanntes Leitthema auf, da bereits in *Wie Neues entsteht* von der seltsamen Identität einer relativ kleinen Klasse von Rekombinationsoperatoren die Rede war, die in so heterogenen Arenen wie den Turing-Maschinen, dem genetischen Code oder im Bereich der Theoriendynamik in Erscheinung treten. Tabelle 8 gibt einen systematisierten Überblick über solche Rekombinationsoperatoren und verdeutlicht zudem, dass diese Rekombinationsoperatoren vollkommen symmetrisch aufgebaut sind. Sie sind nicht nur damit beschäftigt, komplexitätssteigernd zu wirken, indem sie immer wieder Bausteine zusammenfügen, verdoppeln, vermehren, verlängern, sie, diese Rekombinationsoperatoren, vermögen ebenso kontinuierlich, Komplexität zu reduzieren und abzubauen, indem existierende Schemen verkürzt, aufgetrennt oder Bausteine entfernt werden.

Bereits innerhalb des letzten Artikels wurde betont, dass sich dieses Set an Rekombinationsoperatoren quer über die unterschiedlichsten biologischen oder humangesellschaftlichen Domänen verteilt findet – und dass sich Mikro-Analysen zur Entstehung des Neuen dieser operativen Darstellungsform bedienen und den Weg von »alt« zu »neu« als unter Umständen sehr umfangreiche und lange Sequenz solcher Rekombinationsoperationen beschreiben sollten. An dieser Stelle passt – als unmittelbare Konsequenz aus dem Erklärungssketch und der damit verbundenen »grossen Wolken-Uhr der Evolution« – der Hinweis auf die Universalität von gesellschaftlichen Makro-Innovationslandschaften, die allesamt als Variationen zu dieser Wolken-Uhr konstruiert sind. Eines der stärksten Argumente für diese These liegt wohl darin, dass gerade die populärsten Modelle der Innovationsausbreitung innerhalb des ökonomischen Bereichs und innerhalb der Wissenschaften weitgehend unabhängig voneinander in strukturell nahezu identischer Weise entwickelt wurden – und dass diese Parallelentwicklung zudem jeweilige Variationen zur evolutionären Wolken-Uhr darstellt.³⁸

Die Schumpeter-Uhr

Zu Beginn der Geschichte zeichnet sich ein ökonomisches System – und dies markiert den Beginn seiner Prosperitätsphase – durch eine rasche Diffusion seiner Basis-Produktinnovationen und die dadurch induzierten sekundären, tertiären usw. Anpassungsprozesse aus. Weil die Erträge und Chancen von Kapazitätsausweitungen im neuen Verbund dieser Basis-Produktinnovationen aber im Lauf der Zeit abnehmen und an relative Sättigungsgrenzen stoßen, wird das ökonomische System insgesamt in die Gegend von kritischen Schwellen getrieben. Mit der Überschreitung solcher Schwellen wandelt sich – und dies markiert den Beginn der Depressions-phase – der Zustand des ökonomischen Systems. Es kommt, so sich dazu die Möglichkeiten offerieren, zur Verbreitung von Basis-Prozessinnovationen, welche aber ihrerseits durch abnehmende Grenzerträge charakterisierbar sind. Durch die mit der Zeit auch schwindenden Attraktivitäten von Basis-Prozessinnovationen, das Wachsen von Profitkrisen und den parallel damit zunehmenden Aufbau neuer Cluster von Basis-Produktinnovationen wird das ökonomische System wiederum, und diesmal deshalb, weil während der Depression die Wahrscheinlichkeit für die Suche nach gänzlich anderen Alternativen zunimmt und erfolgreiche Basis-Produktinnovationen inmitten einer wenig gewinnträchtigen Umgebung vergleichsweise schnell imitiert werden, in die Umgebung von kritischen Schwellen bewegt, wodurch sich, nach einer kurzen Scramble-Periode, in der sich ein Cluster von Basis-Produktinnovationen als das vergleichsweise stärkste herausstellen muss, eine neuerliche Aufschwungperiode entfalten kann, innerhalb der – aber damit wären wir wiederum beim Anfang zu diesem Sketch angelangt, der sich im übrigen, weil eine große Zahl der daran beteiligten Unternehmensgruppen unkoordiniert, aber gebunden rational entscheidet, auf diese Weise ad infinitum fortsetzt

Die Kuhn-Uhr

Zu Beginn der Geschichte zeichnet sich ein wissenschaftliches System – und dies markiert den Beginn seiner revolutionären Phase – durch eine rasche Diffusion neuer Basisparadigmen und die dadurch induzierten sekundären, tertiären, usw. Anpassungsprozesse aus. Weil die Chancen von Applikationsausweitungen im neuen Verbund dieser Basisparadigmen aber im Lauf der Zeit abnehmen und an relative Erklärungsgrenzen stoßen, wird das wissenschaftliche System insgesamt in die Gegend von kritischen Schwellen getrieben. Mit der Überschreitung solcher Schwellen wandelt sich

– und dies markiert den Beginn einer Periode der Krisen – der Zustand des wissenschaftlichen Systems. Es kommt, so sich dazu die Möglichkeiten offerieren, zur Verbreitung von ad hoc verbesserten Basisparadigmen, welche aber ihrerseits durch abnehmende Grenzerträge charakterisierbar sind. Durch die mit der Zeit auch schwindenden Attraktivitäten von solchen Ad-hoc-Lösungen, dem Wachsen von Anomalien und dem parallel damit zunehmenden Aufbau neuer Cluster von innovativen Basisparadigmen wird das wissenschaftliche System wiederum, und diesmal deshalb, weil während der Krisen die Wahrscheinlichkeit für die Suche nach gänzlich anderen Alternativen zunimmt und erfolgreiche innovative Basisprogramme inmitten einer wenig problemlösungsreichen Umgebung vergleichsweise schnell imitiert werden, in die Umgebung von kritischen Schwellen bewegt, wodurch sich, nach einer kurzen Scramble-Periode, in der sich ein Cluster von innovativen Basisparadigmen als das vergleichsweise stärkste herausstellen muss, eine neuerliche Aufschwungsperiode entfalten kann, innerhalb der – aber damit wären wir wiederum beim Anfang zu diesem Sketch angelangt, der sich im Übrigen, weil eine große Zahl der daran beteiligten Forschungseinheiten unkoordiniert, aber gebunden rational entscheidet, auf diese Weise ad infinitum fortsetzt ...³⁹

Damit sei dieser vierte Punkt mit dem Hinweis geschlossen, dass sich solche und ähnliche Muster in unterschiedlichsten gesellschaftlichen Arenen wiederfinden, auch und gerade in jenen der reinen und kreativ ungehemmten Musenbewirtschaftung.⁴⁰ Und viele dieser Muster sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt weder gefunden noch erfunden worden.

Tabelle 9: Verschiebung der Transportkapazitäten durch den Eisenbahnbau in Deutschland zwischen 1850 und 1873

	Beginn der zweiten industriellen Revolution	Ende der zweiten Industriellen Revolution
Beschäftigte im Verkehr	132.000	349.000
Wertschöpfung Eisenbahnen (Mill. Mark)	17	274
Wertschöpfung Verkehr insgesamt (Mill. Mark)	53	387
Güterverkehr (in Mrd. Tonnenkilometer)	0,23	9,9
Kapitalstock der Eisenbahnen (in Mrd. Mark)	1,15	6,74
Kapitalstock im Gewerbe (in Mrd. Mark)	7,16	13,70

Ein fünftes überaus ertragreiches Analysefeld besteht darin, inhärente Barrieren und kritische Schwellen innerhalb jeweiliger Gesellschaftsformationen zu identifizieren – und deren Brechung und Verschiebung durch Basisinnovationen nachzuzeichnen, welche nationale ökonomische Systeme auf neue Niveaus und Plattformen heben. Solche Barrieren werden besonders innerhalb zentraler gesellschaftlicher Entwicklungsdimensionen relevant, beispielsweise beim Arbeitspotenzial,

beim Transport, bei der Geschwindigkeit, der Informationsübertragung u. a. m. Tabelle 9 versinnbildlicht etwa, dass die Eisenbahnen in Deutschland die Transportkapazitäten innerhalb nur zweier Jahrzehnte um das Vierzigfache steigerten. Aber auch entlang anderer wichtiger Dimensionen – der Vernetzung zwischen Orten und Regionen sowie der verfügbaren gesellschaftlichen Durchschnittsgeschwindigkeiten – wirkte der Eisenbahnbau typischerweise grenzbrechend und grenzverschiebend.

Gegenwartsbezogen ist als Leit-Cluster in der momentanen »Revolutionierung« der ökonomischen Produktions- und Servicesegmente der Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) und des IuK-Dienstleistungsspektrums am Werke.⁴¹ Hierbei können gleich mehrere zentrale Dimensionen identifiziert werden, auf denen sich starke Brüche, Verschiebungen und Veränderungen vollziehen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit erfolgen momentan Aufbrüche und signifikante Niveauverlagerungen auf den folgenden zentralen Dimensionen, nämlich auf den Informations-Infrastrukturen, den Informationsflüssen, den internen Komplexitäten von Akteuren (Individuen, Haushalte, Unternehmen, Organisationen u. a.), ihren externen beziehungsweise interaktiven Komplexitäten, den Schnittstellen-Komplexitäten von Mensch-Maschine-Kopplungen oder der Selbstorganisation gesellschaftlicher Selbst-Organisierbarkeiten. Wichtig scheint vor allem der Hinweis, dass die neuen IuK-Netze die bisherigen Gesellschaften ähnlich radikal rekonfigurieren wie seinerzeit die großen Netzwerke der Eisenbahnen in der Mitte des 19. Jahrhunderts oder die Transportsysteme von Straßen und Kraftfahrzeugen in der bislang stärksten Aufschwungphase zwischen 1950 und 1973. In allen drei Fällen kam und kommt es zu massiven Erweiterungen und Verschiebungen speziell entlang jener zentralen gesellschaftlichen Dimensionen, welche die Aktivitäten und Konsequenzen solcher Leit-Cluster messen und erfassen.

In diesem Sinne bietet es sich als aufschlussträchtiges Forschungsvorhaben dar, solche Grenzverschiebungen und Grenzbrüche an Hand der bisherigen fünf großen neuzeitlichen industriellen Revolutionen – Textilindustrie, Eisenbahnen, Chemie- und Elektroindustrie, Automobile und Computer – detailliert zu analysieren. Und über den Leitterm der Grenzverschiebungen und Grenzbrechungen sollte auch der Zusammenhang zum evolutionsgeschichtlichen Erklärungssketch klar und unmittelbar gegeben sein.

Als sechstes speziell zeitgeschichtliches Analysefeld, das in engem Zusammenhang mit der IuK-Revolution steht, gilt es, die rezenten Phasenübergänge der letzten rund fünfzig Jahre systematischer zu konzeptualisieren. Denn über die sehr lange Perspektive aus den Tabellen 5 oder 6 wird klarer, dass gegenwärtige Gesellschaften über zwei evolutionsgeschichtlich einzigartige Neuheiten verfügen. Als das eine evolutionsgeschichtlich erstmalige Kern-Merkmal gegenwärtiger Sozietäten, die vorschlagsweise als »Turing-Gesellschaften« apostrophiert werden könnten, breiten sich in ihnen unverhältnismäßig schnell neuartige Akteure aus, die als »Turing-Kreaturen« zu bezeichnen sind, worunter alle jene Ensembles verstanden werden, denen eine evolutionäre Kern-Eigenschaften zukommt, nämlich eine Trennung in

eine Programmbasis und in Oberflächen-Interaktionen. Die Informationstechnologien aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts – Mainframe-Computer, der PC, aber auch »eingebettete Systeme« – verfügen über eine solche Dualisierung in eine maschinencodierte Software einerseits und in Interaktionen – den Mensch-Maschine- oder den Maschine-Maschine-Kopplungen – mit der Umgebung andererseits. Das andere, evolutionsgeschichtlich nicht realisierte Charakteristikum dieser Turing-Gesellschaften besteht darin, dass sich in ihr – und nur in ihr – die Zugriffe und die Veränderungen im genetischen Pool direkt im Kontext einer schnell diffundierenden Bio-Technologie vollziehen. Turing-Gesellschaften stehen damit von ihrer Grundarchitektur her am Ende eines Weges, der vor mehr als zwei Milliarden Jahren mit der Dualisierung zwischen Genotyp und Phänotyp seinen Anfang genommen hat.⁴²

Analytisch hochinteressant wird es, der Frage nachzugehen, inwieweit diese veränderten gesellschaftlichen Grundarchitekturen zum System bisheriger Koordinationen und Abläufe passen – und welche spezifischen Risikofelder sich daraus eröffnen. Um einige dieser spezifischen Risikofelder kurz zu umreißen:

Einer der neuen Risikobereiche von Turing-Gesellschaften liegt beispielsweise darin, dass die Standardisierung und Koordination wesentlicher gesellschaftlicher Maße und Konstanten erheblich erschwert und verkompliziert wird, weil solche Standardisierungen und Koordinationen im Kontext von syntaktisch und kontextfrei operierenden Programmen hergestellt werden müssen. So banal und nichtssagend dieser Sachverhalt klingt – aber das größte »Friedensprojekt« des 20. Jahrhunderts mit weltweiten Kosten von rund einer Billion US-Dollar resultierte genau aus diesem Missverhältnis zwischen kontextuellem menschlichen Verstehen und einem kontextfreien maschinellen »Verständnis«. Die Rede ist vom sogenannten »Jahr-2000-Problem«⁴³ und der ebenso einfachen wie konsequenzenreichen Tatsache, dass die einheitliche, auch computerunterstützte Welt-Zeit und die Zeit-Koordination den Turing-Gesellschaften zu entgleiten drohte und nur unter enormen Kosten und Adaptionen wieder hergestellt werden konnte. Aber auch die zeit- und kostenintensive Einführung einer neuen Währung in den Etappen »Euro I« und »Euro II« indiziert, dass die simultane Änderung in wichtigen gesellschaftlichen Standards oder Koordinationsgrößen – im Gegensatz zu den schnellen und leichten Übergängen vor hundert oder zweihundert Jahren – zunehmend aufwändiger, kostspieliger und, von den möglichen Konsequenzen her, auch zunehmend riskanter wird.

Ein anderer Risikobereich eröffnet sich über die mitunter starken Diskrepanzen zwischen den aktuell benötigten Einsatzorten für das »implizite Wissen« um Programmstrukturen, Programmierungen und Programmabläufe auf der einen Seite und seiner tatsächlichen räumlichen Verteilung. Generell sorgen eine hohe Personalmobilität, der Projektcharakter von IuK-Arbeiten, aber auch die fehlenden Qualitätsstandards im IuK-Bereich dafür, dass dieses »implizite Wissen« um Programmabläufe sehr schnell verlorengeht, weil die relevanten Akteure mittlerweile

an ganz anderer Stelle und mit anderen Aufgaben beschäftigt sind. In diesem Sinne ist das implizite Wissen im IuK-Sektor, um einen Slogan aus der Systemdynamik zu verwenden, *at the edge of chaos* angesiedelt und nicht selten jenseits davon. Und auch dieser Bereich steht damit für ein neuartiges Risikopotenzial, das sich in früheren Systemen von standardisierten Erwerbsbiografien gar nicht erst aufbauen konnte.

Ein weiteres Risikogebiet baut sich auf der Seite von individuellen Akteuren alleine schon dadurch auf, dass die enormen Potenziale von elektronischer Informationsproduktion und von privaten IuK-Vernetzungen weniger zu einem erhöhten, effizienteren oder kognitiv bereichernden Nutzungsverhalten führen, sondern zu einem *information overload*, der sich dann in Massenphänomenen manifestiert wie der schlichten Informationsverweigerung, einem »digitalen Suchtverhalten« speziell im Fun- und Sexbereich oder in der Substitution für fehlende Sozialkontakte. Auch in diesem Feld eröffnen sich spezifische Gefährdungen, die im Rahmen bisheriger Gesellschaften durch die Separierung der jeweiligen Handlungsfelder gar nicht auftreten konnten und die erst über das IuK-Segment – noch dazu zusammen mit kognitiven Operationen – integriert worden sind.

Und damit wäre das siebente und letzte Themenareal geöffnet, welche die Risikotheematik grundsätzlicher aufgreift und erweitert. Denn vor dem Hintergrund der evolutionsgeschichtlichen Erklärungsskizze kann eine deutliche Schwerpunktverlagerung in Richtung von endogenen Zusammenbruchsszenarien entwickelt werden. Gesellschaften im Zustand selbstorganisierter Kritikalität besitzen ein ebenso notwendiges wie immerwährendes Risikopotenzial, denn auch die Katastrophen in evolutionsgeschichtlicher Zeit zeigen jenes Verteilungsmuster, das bereits im Teil I näher und hintergründig aufgebaut wurde: Einer Unzahl marginaler oder unmerklicher Defekte und Unfälle stehen am oberen Ende der Rangordnung ganz wenige oder singuläre Katastrophen gegenüber, welche endogen zu gesellschaftlichen Zusammenbrüchen führen. Und für die Turing-Gesellschaften der Gegenwart dürften die endogenen katastrophalen Risiko- wie Gefahrenzonen höchstwahrscheinlich in der Schwäche ihrer starken Verbindungen bestehen. Um diesen leicht paradox klingenden Sachverhalt aufzuhellen und zu erläutern, soll zunächst an die gesellschaftliche Intuition und an eine ihrer selbstverständlichsten Annahmen appelliert werden, der sich gerade Theoretiker der Modernisierung und Globalisierung kaum zu entziehen vermögen. In der wahrscheinlich pointiertesten Form wäre Francis Fukuyamas *Ende der Geschichte*⁴⁴ zu bemühen, worin die Erwartung geäußert wird, dass »die Wirtschaft der Gesellschaft« als dicht vernetzte und über Konkurrenzverhältnisse verbundene Märkte einen ebenso evolutionär stabilen Endzustand erreicht hätte wie das moderne politische System unter der Prämisse der Parteienkonkurrenz. Dermaßen dicht gekoppelte Netzwerke wie jenes, das sich in den letzten Jahrhunderten global zwischen Unternehmen aus vielfältigen Sparten aufgebaut hat, besitzen eine unzerstörbare Robustheit, weil sich jeder Ausfall in jedem kleinen Teil dieses Netzwerks – eben wegen seiner dichten Verbindungen – leicht ersetzen lässt.

Marktsysteme in der Moderne sind, so die grandiose Vermutung, deswegen in einem stabilen Endzustand angekommen, weil sich über die Stärke der Verbindungen zugleich die Möglichkeiten für Substitutionen vervielfacht haben. Und weil sich in den nächsten Jahrzehnten dieser stabile Zustand bestenfalls noch weiter verdichten kann, sind die Weltgesellschaften der Gegenwart unzerstörbar und immerwährend geworden. Und genau dieser Vermutung soll eine aus dem bisherigen Erklärungssketch herleitbare Gegenbehauptung gegenüber gestellt werden.

Um nun das Risikopotenzial von der Schwäche starker Verbindungen zu erläutern, soll ein neuartiges Modell aufgebaut werden, das speziell für biologische Akteur-Netzwerke entwickelt worden ist.⁴⁵ Der Ausgangspunkt dieser Modelle liegt im elementaren Sachverhalt, dass Stoffwechsel auf der einen Seite und Erhaltung oder Instandsetzung auf der anderen Seite zwei Grundeigenschaften lebender Systeme oder lebendiger Akteur-Netzwerke darstellen. Stoffwechsel oder Metabolismus M und Instandsetzung oder Reparatur R – diese zwei Schlüsselbegriffe reichen hin, um diese Typen als MR-Modelle zu charakterisieren.

Auf dem Niveau von einzelnen Turing-Gesellschaften lassen sich neben vielen anderen Möglichkeiten der Darstellung auch die folgenden zehn großen Akteur-Netzwerke aufbauen: Sie bestehen aus der Landwirtschaft (M_1), der Nahrungs- und Lebensmittelindustrie (M_2), aus der Chemie (M_3), aus der IT-Hardware (M_4), den übrigen Industrien (M_5), aus den haushaltsbezogenen »Services« wie persönlichen Dienstleistungen, Gastgewerbe oder der Hotellerie (M_6), aus dem Handel (M_7), aus IT-Diensten (M_8), aus den unternehmensbezogenen Dienstleistungen wie den Banken (M_9) und schließlich aus dem Bereich Umwelterhaltung, Schadstoffbeseitigung und Recycling (M_{10}). Für jedes dieser zehn Netzwerke gelten die nachstehenden Bedingungen. In einem ersten Prozess werden Inputs aus der Umwelt – Rohstoffe oder – aus anderen Marktsegmenten – Vorprodukte in neue Outputs, das heißt in Güter und Dienstleistungen umgewandelt. Diese Outputs eines Markt-Netzwerks werden ihrerseits von anderen Markt-Netzwerken oder von der näheren Marktumgebung gekauft. Und weiters wird ein positiver Anteil der erzielten finanziellen Erträge an die R-Netzwerke transferiert.

Für R-Netzwerke ihrerseits lassen sich wiederum zehn Akteur-Netzwerke bemühen, welche zusammengenommen einen »Reparatur- und Instandsetzungsverbund« für die Marktnetze bilden. Die ersten fünf Netze bestehen aus den Infrastrukturen für Energie (R_1), Wasser (R_2), Information (R_3), Transport (R_4) sowie Geld (R_5). Darüber hinaus lassen sich noch weitere Instandhaltungs- und Reparaturbereiche auflisten, nämlich der Bereich der Ausbildung und Schulung (R_6), das öffentliche Gesundheits- und Versicherungswesen (R_7), das F&E-Segment (R_8), der öffentliche Sektor insgesamt (R_9) sowie der Bereich der privaten Haushalte (R_{10}). Es fällt sicherlich leicht, mannigfaltige Beziehungen zwischen den fünf Marktnetzen und den einzelnen »Reparaturbereichen« herzustellen. Sie erstrecken sich von den monetären Strömen und Kreisläufen zwischen den Markt- und Reparatursegmenten bis zu den Güterströmen und den personellen Bewegungen zwischen dem Aus-

bildungsbereich, dem staatlichen Sektor und den Marktdomänen.

Formal müssen die folgenden drei Verbindungen zwischen den M-Netzen (Markt oder Metabolismus) und den R-Netzen (Reparatur) gegeben sein. Inputseitig erhält jedes Marktsegment zumindest einen Input aus einem anderen Marktbe- reich oder von den Reparaturnetzen. Outputseitig produziert jedes Marktnetzwerk zumindest einen Output. Darüber hinaus besitzt jedes Marktnetz zumindest eine Output-Verbindung mit zumindest einem R-Bereich. Im Falle des vorliegenden Zwanzig-Komponenten-Netzwerkes sind die Bedingungen eins bis drei sogar auf die allertriviale Weise erfüllt, dafür haben speziell die immer dichter und globaler werdenden Vernetzungen im Gefolge des 20. Jahrhunderts erfolgreich und nachhal- tig gesorgt.

Auf diese Weise entsteht das Bild einer innigst vernetzten globalen Turing-Gesellschaft, in der jedes der zwanzig Netzwerke mit jedem anderen Netzwerk auf vielfältigste Weisen gekoppelt ist. Mehr noch, auch die Akteure innerhalb solcher Netze können ihrerseits als MR-Systeme aufgebaut werden, die ihrerseits aus MR-Teilen bestehen – und so, in diesem selbstähnlichen Rhythmus, weiter und weiter. Wegen der hohen Dichte an Verbindungen scheint also das »Robustheitstheorem« von Francis Fukuyama bestens abgesichert.

Vor dem Hintergrund dieser »No-Future-Vermutung« werden im weiteren zwei Theoreme vorgestellt, welche sich völlig konträr zu diesem Robustheitstheorem verhalten und die formal und streng genommen für jeden MR-Komplex, der die bisher angeführten Bedingungen erfüllt, gelten. Für die beiden Theoreme müssen al- lerdings zwei neuartige Begriffe eingeführt werden. Das erste Konzept heißt »wie- derherstellbar« beziehungsweise »nicht wiederherstellbar« und bezieht sich auf den folgenden Sachverhalt. Ein Netzwerk M_i ist wiederherstellbar, falls eine Input-Be- ziehung zu einem anderen M-Netzwerk besteht und falls die relevanten R-Netz- werke für M_i nicht ausschließlich von M_i abhängen. Andernfalls muss eine Netz- werk-Komponente M_i als »nicht-wiederherstellbar« charakterisiert werden. Der zweite Begriff ist im Zusammenhang von MR-Netzen der einer »zentralen Netz- werkkomponente«. Dafür werden zwei Voraussetzungen notwendig, nämlich auf der einen Seite muss sich die zentrale Netzwerkkomponente als nicht wiederher- stellbar ausweisen und andererseits muss ein Zusammenbruch der zentralen Netz- werkkomponente auch den Zusammenbruch des MR-Netzwerks insgesamt nach sich ziehen. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich nun die beiden dramatisch gegenläufigen Theoreme niederschreiben.

Theorem₁: Ein dicht verbundenes MR-Netzwerk besitzt zumindest eine nicht-wie- derherstellbare Komponente.

Theorem₂: Wenn ein MR-Ensemble nur eine einzige nicht-wiederherstellbare Kom- ponente besitzt, dann wird diese Komponente zur zentralen.

Beide Theoreme entwickeln völlig gegenläufige und konträre Blickrichtungen für die Rolle und Funktion von stark wachsenden Netzwerkdichten in lebenden MR-

Organisationen insgesamt. Zwei Punkte seien mit allem Nachdruck betont. Die eine Aspektverschiebung betrifft den an sich gegen-intuitiven und zunächst uneinsichtigen Zusammenhang von Netzwerkdichten und Stabilitäten. Wachsende Vernetzungen und »Globalisierungen« stellen keine Garantie vor gravierenden Ein- und Zusammenbrüchen her. Im Gegensatz zur »Robustheitsillusion« erweisen sich moderne Turing-Gesellschaften nicht als unvergängliche Akteure. Ganz im Gegenteil – auch die Turing-Gesellschaften besitzen ihre »blinden Flecken« oder ihre »zentralen Schwachstellen«. Eine andere Konsequenz, die auf den ersten Blick nicht sofort ins Auge springt, hat mit den Größenordnungen von »zentralen MR-Bestandteilen« zu tun. Wie schon einmal erwähnt, lassen sich MR-Systeme auf mehreren Stufen darstellen und vom nationalen Niveau bis hin auf die Ebene einzelner Unternehmen, ja sogar bis hin zu einzelnen Abteilungen solcher Firmen weitertreiben. In diesem Sinne stellen MR-Systeme selbstähnliche Ensembles dar, die genau genommen erst auf der Ebene einer einzelnen Zelle zu ihrem Stillstand kommen. Und mit diesem Hinweis sollte auch ein gewisses Bewusstsein dafür geschaffen sein, dass sich unter Umständen schon Defekte in einem unscheinbar kleinen Bereich zu zentralen Fehlern auswachsen könnten.⁴⁶ Das Besondere an der kurzen Erzählung in der vorangegangenen Fußnote liegt nicht nur in der fehlgeleiteten Ursachenvermutung innerhalb von großen dynamischen Netzwerken, sie hat auch damit zu tun, dass sich sehr riskante dynamische Muster schon mit dem Ausfall kleiner oder kleinster Einheiten aufschaukeln können.⁴⁷

Auch hochgradig vernetzte MR-Systeme besitzen ein notwendiges Potenzial zu einem schnellen Zusammenbruch, der auf jeden Fall nicht dadurch aufgehoben werden kann, dass der Vernetzungs- oder Dichtegrad erhöht wird. Das Ausmaß an Systemfehlern kann nur verschoben werden. Die eine Konfiguration setzt sich aus vielen isolierten Bereichen und lokalen Katastrophen zusammen, was beispielsweise im Falle der vielen und der vielen vereinzelter Gesellschaften des 13. oder 14. Jahrhunderts oder selbst des 17. oder des 18. Jahrhunderts gegeben war. Die andere Konfiguration, auf die sich die Turing-Weltgesellschaft zu bewegt, wird beherrscht von global vielfach vernetzten Beziehungen und einer kleinen Anzahl von nicht-wiederherstellbaren, aber zentralen Bestandteilen.

Ausführung: ein ungerichteter, weiter Raum

Mit diesem Ausblick in endogene Krisen- und Zusammenbruchsszenarien hat sich der Artikel auf eine Stelle zu bewegt, in der immerhin die anfänglich ganz wenigen zeitlich gerichteten gesellschaftstheoretischen Intuitionen und Vermutungen – beispielsweise Fukuyamas Geschichtsenden – als prinzipiell fehlgeleitet erscheinen. Und dies bedeutet im Umkehrschluss, dass sich das potenzielle Arbeitsfeld für eine evolutionsgeschichtlich und thermodynamisch angereicherte Geschichtswissenschaft ungewöhnlich weit, offen und unbearbeitet darstellt, weil selbst die wenigen

Analysen bislang mit unzeitgemäßen Instrumentarien und an wenig ertragreichen Stellen durchgeführt worden sind. Lässt man die im Teil II kurz umrissenen Themenfelder nochmals Revue passieren – die Ausrichtung von gesellschaftlichen Selbstorganisationsprozessen in Form von Potenzgesetzverteilungen, die Physik der Information, thermodynamisch stimmige Bilanzen für gesellschaftliche Produktionsprozesse, einheitliche Innovationsdynamiken für unterschiedlichste Mikro- und Makrolandschaften, Grenzbrechungen und Grenzverschiebungen entlang zentraler gesellschaftlicher Dimensionen, Risikopotenziale im gegenwärtigen Aufbau neuartiger Gesellschaftsarchitekturen sowie endogene Zusammenbruchsszenarien – dann wird es in der Tat erstaunlich, wie stark das Missverhältnis zwischen diesem umfänglichen historiografischen Analyse-Raum und seinen schmalflächigen Erschließungen anwachsen konnte.

Anmerkungen

- ¹ Diese Artikel waren in der Reihenfolge ihrer ÖZG-Erscheinung »Sozialwissenschaftliche Kreativität in der Ersten und in der Zweiten Republik« (ÖZG 1/1996) mit den Schwerpunkten auf sozialwissenschaftlichen Mikro- und Makro-Innovationen, »Die Konstruktion komplexer historischer Modelle: Second Order-Explorationen« (1/1997) mit dem Fokus auf Konstruktivismus und Forschungsdesigns zweiter Ordnung, »Die brüchigen Zeit-Architekturen der Turing-Gesellschaften« (3/1999) mit den Leitthemen Zeit, Zeitmessung, Gesellschaftsarchitekturen und das »Jahr 2000 Problem« sowie schließlich »Wie Neues entsteht« (1/2000) mit einer Ausrichtung auf Mikro- und Makro-Innovationen in vielfältigen gesellschaftlichen Kontexten. Die folgende Arbeit reiht sich als fünfte in diese Kette mit einer Konzentration auf »Komplexität, Ordnung, Evolution, Zeit, Thermodynamik« ein und wartet zudem mit einem allgemeinen Erklärungssketch auf, der für die bisherigen vier Artikel im Speziellen und für eine historische Sozialwissenschaft im Allgemeinen eine in mehrerer Hinsicht grundlegende Bedeutung aufweist.
- ² Die drei Hauptsätze der Thermodynamik betreffen die Konstanz der Energie (Erster Hauptsatz), eine bevorzugte Richtung der Energieumwandlung von höherer Ordnung in Formen niedriger Ordnung (Zweiter Hauptsatz) sowie das Verhalten von Gasen nahe dem absoluten Nullpunkt (Dritter Hauptsatz). Als Übersicht und zeitgenössischer Diskussionsstand dazu vgl. u. a. James Galen Bloyd, *Broken Arrow of Time. Rethinking the Revolution in Modern Physics*, San Jose u. a. 2001, J. S. Dugdale, *Entropy and Its Meaning*, London 1996, Huw Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point. New Directions for the Physics of Time*, New York u. Oxford 1996, H. Dieter Zeh, *The Physical Basis of the Direction of Time*, vierte Aufl., Berlin u. a., 2001.
- ³ Vgl. dazu lediglich Michael Majerus, William Amos u. Gregory Hurst, *Evolution. The Four Billion Year War*, Harlow 1996, Mark Ridley, Hg., *Evolution*, Oxford u. New York 1997 sowie Gerrit J. Vermeij, *Evolution and Escalation. An Ecological History of Life*, Princeton 1987. Als derzeit umfänglichste Übersicht zum evolutionstheoretischen »state of the art« vgl. Mark Pagel, Hg., *Encyclopedia of Evolution*, 2 Bde., Oxford u. New York 2002.
- ⁴ In den neunziger Jahren des 20. Jahrhunderts werden beispielsweise in Gestalt von Francis Fukuyama, *The End of History*, Harmondsworth 1993, und von John Horgan, *The End of Science*, New York 1997, Endgebiete für drei große gesellschaftliche Systeme – Ökonomie, Politik, Wissenschaft – postuliert. Im Falle Fukuyamas erfolgte innerhalb von nur zehn Jahren eine

zumindest partielle Selbst-Falsifikation in Gestalt von »Das Ende des Menschen« (Stuttgart u. München o. J.). Und gegen Horgans Vermutung steht vor allem das wissenschaftshistorische Phänomen, dass Hypothesen in Richtung eines abgeschlossenen Wissens speziell vor radikalen und neuen Durchbrüchen besonders häufig grassieren.

- ⁵ Vgl. dazu beispielsweise Michael M. Abbott u. Hendrick C. Van Ness, *Thermodynamik. Theorie und Anwendung*, New York u. a. 1976 oder K. Stephan u. F. Mayinger, *Technische Thermodynamik. Grundlagen und Anwendungen*, Berlin, Heidelberg u. New York 1975.
- ⁶ Heinz von Foerster, *Disorder and Order*, in: Paisley Livingston, Hg., *Disorder and Order. Proceedings of the Stanford International Symposium September 14-16, Stanford 1981*, 186.
- ⁷ Vgl. Nicholas Rescher, *Complexity. A Philosophical Overview*, New Brunswick u. London 1998.
- ⁸ Und schließlich sei ein kleines Caveat eingeschoben, was die Verwendung des Komplexitätsbegriffs betrifft. Ein bestimmtes Maß an Komplexität hat stets mit bestimmten Beschreibungen, mit Selektionen und mit Restriktionen seitens einer beschreibenden Einheit – Mensch oder Maschine zu tun. Scheinbar so hyper-komplexe Objekte wie das Gehirn können vom Ensemble her als einfach und niedrig-komplex beschrieben und funktionell wie auch strukturell als mechanisches Räder-, Uhren- oder Orgelwerk konzipiert werden. Komplexität hängt daher untrennbar mit unterschiedlichen Perspektiven und Kontexten von Beschreibungen zusammen. »Die Welt enthält keine Komplexität. Die Welt ist, wie sie ist.« Ein Stilleben mit einer Obstschale und einigen wenigen Äpfeln kann als hochkomplexes Ensemble charakterisiert werden, sofern man dessen Bausteine im atomaren und subatomaren Bereich ansetzt und die Ensemble-Komplexität daran misst.
- ⁹ Tabelle 4 gibt überdies einen deutlichen Hinweis, wie schwierig sich die Suche nach einem Pfeil der Zeit gestaltet, da alle naheliegenden Lösungen mit Programmlängen – oder selbst Variationen von Programmlängen und Programmnutzungen – sich mit Sicherheit als unzutreffend erweisen. Es werden daher ganz unmittelbar neue Bausteine gesucht, um die offene Turing-Welt anzureichern.
- ¹⁰ So nachzulesen bei John L. Casti, *Five Golden Rules. Great Theories of 20th Century Mathematics – and Why They Matter*. New York 1996, 151.
- ¹¹ So zu finden bei Stuart A. Kauffman, *Investigations*, Oxford u. New York 2001, 3.
- ¹² Zu diesem Punkt vgl. auch Casti, *Five Golden Rules*, wie Anm. 10, 151-167.
- ¹³ Ein partieller Zeitfehltritt – verkürzt formuliert – selektiv in wenigstens einigen – nicht allen – Prozessen in Erscheinung, dann allerdings stets in asymmetrischer Weise.
- ¹⁴ Dieser stark komplexitätsdämpfende Befund findet sich in John Maynard Smith u. Eörs Szathmari, *Evolution. Prozesse, Mechanismen, Modelle*, Heidelberg u. a., 1996, 1 ff.
- ¹⁵ Ähnliche skeptische Vorbehalte finden sich auch ad nauseam in Stephen Jay Gould, *Illusion Fortschritt. Die vielfältigen Wege der Evolution*, zweite Auflage, Frankfurt am Main 1998.
- ¹⁶ Smith u. Szathmari, *Evolution*, wie Anm. 14, 1.
- ¹⁷ Diese Abfolge »progressiver Evolution« ist zu finden in Ledyard G. Stebbins, *Darwin to DNA, Molecules to Humanity*, New York 1982. Als lesenswertes evolutionstheoretisches Kompendium vgl. auch ders., *Processes of Organic Evolution*, Prentice Hall 1966.
- ¹⁸ Vgl. dazu übersichtsweise Per Bak, *How Nature Works. The Science of Self-Organized Criticality*, New York 1996.
- ¹⁹ Vgl. hier nur Stephen Jay Gould, *Wonderful Life. The Burgess Shale and the Nature of History*, New York 1989.
- ²⁰ Siehe Lynn Margulies, *Symbiotic Planet. A New Look at Evolution*, New York 1998, 38 f.
- ²¹ Wissenschaftsgeschichtlich sei die kleine Marginalie angefügt, dass in Charles Darwins Instantbestseller vom Ursprung der Arten das Wort »Evolution« typischerweise nicht vorkommt.
- ²² Siehe Robert Wright, *Nonzero. History, Evolution, and Human Cooperation*, London 2001, 337 ff.

- ²³ Für die Ausdrücke »Polanyi-Gesellschaft«, »Piaget-Gesellschaft« oder »Turing-Gesellschaft« und ihre jeweiligen charakteristischen Codes – den neuronalen Code, Sprachen und Schriften und schließlich den Maschinen-Code – vgl. u. a. Karl H. Müller, Die brüchige Zeit-Architektur von Turing-Gesellschaften, in: Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften 10 (1999) 3, 403-453, speziell 420-428.
- ²⁴ So Ronald A. Fisher, *The Genetical Theory of Natural Selection. A Complete Variorum Edition*, Oxford u. New York 1999, 35.
- ²⁵ Vgl. dazu auch Bruce H. Weber, David J. Depew u. James D. Smith, Hg., *Entropy, Information and Evolution. New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge MA. 1988; David Layzer, *Growth and Order in the Universe*, in: ebd., 23-40; David Layzer, *Cosmogensis. The Growth of Order in the Universe*, Oxford u. New York 1991; Robert U. Ayres, *Information, Entropy and Progress. A New Evolutionary Paradigm*, New York 1994; oder Eric J. Chaisson, *Cosmic Evolution. The Rise of Complexity in Nature*, Harvard 2001.
- ²⁶ Mit dem siebenstufigen Erklärungssketch wird auch deutlich, dass die folgenden sieben Prozesseigenschaften innerhalb des soeben geschilderten evolutionsgeschichtlichen Ambientes zwangsläufig zugegen sein müssen, nämlich die Palette von stochastisch, nichtlinear, sensitiv gegenüber Anfangsbedingungen, driftend, grenzbrechend, irreversibel, reversibel. Die scheinbare Widersprüchlichkeit von Reversibilität und Irreversibilität weist schlicht darauf hin, dass beide Prozessarten für die Erklärungsskizze benötigt werden.
- ²⁷ So Daniel R. Brooks u. E. O. Wiley, *Evolution as Entropy. Toward a Unified Theory of Biology*, zweite Auflage, Chicago u. London 1988.
- ²⁸ Diese neue Beschreibungsweise einer grenzverschiebenden offenen, sich selbst organisierenden Turing-Welt passt im Übrigen gut zu jener Darstellung, die kürzlich Stuart Kauffman als den evolutionären Kernprozess beschrieben hat: Seine vier »Kandidaten-Gesetze« für einen partiellen Zeitpfeil der Evolutionsgeschichte lauten: »Communities of autonomous agents will evolve to the dynamical ›edge of chaos‹ within and between members of the community (...) A co-assembling community of agents on a short time-scale with respect to coevolution will assemble to a self-organized critical state with some maximum number of species per community (...) On a coevolutionary time-scale, coevolving autonomous agents as a community attain a self-organized critical state by tuning landscape structure (...) and coupling between landscape structure, yielding a global power law distribution of extinction and speciation (...) Autonomous agents will evolve such that causally local communities are on a generalized ›subcritical-supracritical boundary‹ exhibiting a self-organized critical average for the sustained expansion of the adjacent possible of the effective phase space of the community«. Kauffman, *Investigations*, wie Anm. 11, 160)
- ²⁹ Mark Buchanan, *Ubiquity. The Science of History or Why the World is Simpler than We Think*, London 2000, 168 f.
- ³⁰ George K. Zipf, *The Psycho-Biology of Language. An Introduction to Dynamic Philology*, Cambridge MA 1965 (orig. 1935).
- ³¹ George Kingsley Zipf, *National Unity and Disunity. The Nation as a Bio-Social Organism*, Bloomington 1941.
- ³² George Kingsley Zipf, *Human Behavior and the Principle of Least Effort. An Introduction to Human Ecology*, Cambridge MA 1949.
- ³³ Ein anderes Beispiel: Die lateinische Sprache – wie im übrigen alle anderen Sprachen auch – ist von ihren kleinsten Bausteinen, den Phonemen oder Buchstaben, so strukturiert und verteilt, dass 50% der Buchstaben nur in 13,4% aller Wörter vorkommen, wogegen die wichtigsten fünf Phoneme – e, i, u, a, t – zu 40,2% für die Wortbildung herangezogen werden.
- ³⁴ Es ist an dieser Stelle interessant, dass auch auf konstruktivistischer Seite, speziell bei Heinz von Foerster, solche universellen Minimierungs- oder Maximierungs-Prinzipien im Vordergrund des

- Erklärungsinteresses stehen: »Ich war immer geneigt zu versuchen, hauptsächlich wenn ich mit physikalischen Problemen zu tun hatte (...), diese Probleme auf ein Prinzip der kleinsten Wirkung zurückzuführen (...) Mir hat dieses Prinzip immer großen Spaß gemacht. Die Ideen von Bernoulli oder Leibniz, die Voltairsche Figur des Pangloss sind mir stets als eine raffinierte Konzeption erschienen. Hier braucht man sich gar nicht um irrelevante Einzelheiten zu kümmern. Man behauptet, die Welt ist so konstruiert, dass ein Maximum oder Minimum der Fall ist.« Heinz von Foerster, *Der Anfang von Himmel und Erde hat keinen Namen. Eine Selbsterschaffung in sieben Tagen*, hg. v. Albert Müller u. Karl H. Müller, dritte Auflage, Berlin 2002, 34.
- ³⁵ Als vornehmlich theoretischer und nicht historischer Hintergrund vgl. dazu u. a. Wojciech H. Zurek, Hg., *Complexity, Entropy and the Physics of Information*, Redwood City u. a. 1990.
- ³⁶ Siegfried J. Schmidt, *Geschichte beobachten. Geschichte und Geschichtswissenschaft aus konstruktivistischer Sicht*, in: *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften* 8 (1997) 1, 19-44, hier 40.
- ³⁷ So zu lesen bei Nicholas Georgescu-Roegen, *Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Economic Essays*, New York u. a. 1976, 41; als interessanter theoretischer Hintergrund vgl. auch ders., *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, MA 1971.
- ³⁸ Die interessanteste und ausgereifteste Form des Schumpeterschen Erklärungssketches zur Innovationsdynamik findet sich in Joseph A. Schumpeter, *Konjunkturzyklen. Eine theoretische, historische und statistische Analyse des kapitalistischen Prozesses*, 2 Bde, Göttingen 1961. Für die Kuhnschen Skizze vgl. nur Thomas S. Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, Frankfurt am Main 1973.
- ³⁹ Die Substitutionen zwischen der Schumpeter- und der Kuhn-Uhr haben tatsächlich nur die bereichsspezifischen Instanzierungen, nicht aber die Struktur der Geschichte betroffen. Als austauschbar erwiesen sich: Firmen: Forschungseinheiten, Output an Gütern und Dienstleistungen: Forschungsoutput, Basis-Produktinnovationen: innovative Basisparadigmen, Profitabilität: Problemlösungseffizienz usw.
- ⁴⁰ Als kleiner Hinweis vgl. nur Colin Martindale, *The Clockwork Muse. The Predictability of Artistic Change*, New York 1990.
- ⁴¹ Vgl. dazu beispielsweise auch Leo A. Nefiodow, *Der fünfte Kondratieff. Strategien zum Strukturwandel in Wirtschaft und Gesellschaft*, zweite Auflage, Wiesbaden 1991.
- ⁴² Vgl. dazu auch Fred Spier, *The Structure of Big History. From the Big Bang until Today*, Amsterdam 1996.
- ⁴³ Zu diesem Jahr-2000-Problem vgl. übersichtsweise Karl H. Müller, Peter Purgathofer u. Rudolf Vymazal, *Chaos 2000. Das globale Zeitbeben*, Wien 1999.
- ⁴⁴ Vgl. detaillierter Francis Fukuyama, *Das Ende der Geschichte. Wo stehen wir?*, München 1992.
- ⁴⁵ Die bisherigen Musteranwendungen dieser Modelle liegen im Bereich »lebender Organisationen« beziehungsweise der »Organisationen des Lebens« und wären speziell nachzulesen bei Robert M. Rosen, *Life Itself*, New York 1991; oder bei John L. Casti, *Metaphors for Manufacturing: What Could it be Like to Be a Manufacturing System*, in: *Technological Forecasting and Social Change* 29 (1986), 241-270; ders., *Linear Metabolism-Repair Systems*, in: *International Journal of General Systems* 14 (1988), 143-167, ders., *(M,R) Systems as a Framework for Modelling Structural Change in a Global Industry*, in: *Journal of Social and Biological Structures* 12 (1989), 17-31; oder ders., *Reality Rules*, 2 Bde., New York 1992.
- ⁴⁶ »Eines Tages gab es diesen ganz großen Stromausfall an der Ostküste. New York, Connecticut, der ganze »Atlantic seashore« war ohne Licht. Und der Ross (Ashby) ist strahlend herumgegangen und hat gesagt: »Paßt einmal auf, in ein paar Tagen werden wir eine Ursache für das finden. Eine Ursache! Wir brauchen doch eine Ursache für diese Sache.« In ein oder zwei Tagen ist er triumphierend mit einer New York Times gekommen, dort war ein Bild von einer verbrannten Sicherung, und er sagt: »Da ist es, da haben wir die Ursache. Diese Sicherung ist abgebrannt und die gesamte Ostküste hat kein Licht mehr gehabt.« Er hatte bereits diese ganze Fixierung

auf »single-cause«-Argumentationen vorausgesehen und hatte gewußt, die können nichts anderes machen, als eine Ursache, eine abgebrannte Sicherung, zu finden ... Er selbst hat sich immer wieder mit Konnex und Verbindung beschäftigt, mit Netzwerken, Ursachen gibt's da gar nicht, es ist eine Dynamik, die kooperiert.« (Heinz von Foerster, Albert Müller, Karl H. Müller, Im Goldenen Hecht. Über Konstruktivismus und Geschichte, in: Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaften 10 (1997) 1, 140f.

- ⁴⁷ Somit eröffnen die beiden MR-Theoreme eine radikal veränderte Sichtweise von Robustheit und evolutionär stabilen Ensembles. John L. Casti fasst einige dieser Neuorientierungen prägnant zusammen. »Um ›robust‹ gegenüber unvorhergesehenen Störungen zu sein, möchte man in der Regel Systeme so aufbauen, dass sie aus einer möglichst großen Anzahl an wiederherstellbaren Komponenten bestehen. Andererseits verdeutlicht aber gerade das bisherige Ergebnis, dass im Falle nur weniger nicht-wiederherstellbarer Elemente die Wahrscheinlichkeit groß wird, dass eines davon ein »zentrales Element« darstellt, dessen Fehler zu einem Kollaps des Gesamtsystems führen kann. Daher wird ein System mit vielen wiederherstellbaren Bestandteilen in der Lage sein, viele Arten von Störungen und »Schocks« zu überstehen. Und dennoch wird es einige Typen von Störungen geben, welche zu einem effektiven Zusammenbruch des Gesamtsystems führen.« So Casti, (M,R) Systems, wie Anm. 45, 26.