

## **Gleichzeitige Ungleichzeitigkeit Emergenz und die Parallelität aggregierter Dynamiken**

Manfred Füllsack

### Abstract:

The paper endeavors to illuminate the term emergence in its significance for debates on the “reducibility” of phenomena such as “cooperation” which commonly are perceived as consequences of aggregated dynamics. An extension of the Demographic Prisoner’s Dilemma-simulation by Joshua M. Epstein will serve as a base on which the significance of parallel or co-evolutionary processes for the “reductionist question” are discussed.

Der vorliegende Aufsatz sucht den mit der Komplexitätsforschung wieder in Umlauf gekommenen Emergenzbegriff in seiner Bedeutung für die Frage der „Erklärbarkeit“ beziehungsweise „Reduzierbarkeit“ von Phänomenen, die sich als Folge aggregierter Einzeldynamiken darstellen, zu beleuchten. Anhand einer Erweiterung einer von Joshua M. Epstein vorgeschlagenen Simulation zum Gefangenen-Dilemma wird die Bedeutung paralleler oder ko-evolutiver Prozesse für die Reduktionismusproblematik diskutiert.

Forschungen zum Verhalten komplexer Systeme haben den Emergenzbegriff neu auf den Plan gerufen (u.a. Luhmann 1984, Beckermann/Flohr/Kim 1992, Holland 1998, Sawyer 2001, 2005, Stephan 2005). Obwohl unterschiedlich interpretiert und in seiner Brauchbarkeit nach wie vor diskutiert (u.a. Kim 1999, Gilbert 1995, 2002, Epstein 2006: 2), findet dieser Begriff zunehmend auch in der Philosophie Verwendung, oder zumindest Aufmerksamkeit (Kim 1999, Woodward 2003, Mitchell 2008). Angesprochen sind dezentralisierte, sich selbst organisierende Aggregationen von Dynamiken oder Komponenten, die erst in ihrem *Zusammenwirken* das beobachtete Phänomen entstehen, es eben „emergieren“ lassen. Die analytische Reduktion auf für sich betrachtete, „isolierte“ („lokale“) Einzelkomponenten, auf „Letzterklärungsatome“, reicht - so die Annahme - nicht aus, um emergente Phänomene adäquat zu erfassen. In ihrer „Globalität“ erfordern diese Phänomene „holistische“ Herangehensweisen, die die klassischen wissenschaftstheoretischen Kategorien von Kausalität, Erklärbarkeit oder Reduzierbarkeit problematisieren. (vgl. auch u.a. Churchland 1985, Beckermann/Flohr/Kim 1992, Fodor/Lepore 1992)

Neben einer Reihe bekannter Komplexitätstheoretischer Aspekte – Beobachterabhängigkeit, multiple Realisierbarkeit, Stochastik, Nicht-Linearität etc. - gibt insbesondere die Parallelität, die Gleichzeitigkeit oder Koevolution einander bedingender, unterschiedlicher Dynamiken - man könnte sagen die „gleichzeitige Ungleichzeitigkeit“ dieser Dynamiken - Anlass, den Emergenzbegriff als Ausdruck für reduktionistisch nicht erklärbare Phänomene heranzuziehen. Synchronitätsforschungen zum Beispiel zum rhythmischen Pulsieren von Glühwürmchen oder Herzzellen (Mirolo/Strogatz 1990, Strogatz 2003), oder auch Studien zum Entstehen und Verhalten von Herden und Schwärmen (Hamilton 1971, Sawyer 2005), zur Entwicklung von Verkehrsstaus (Weiss 1999) oder von Siedlungs- und Stadtentwicklungsmustern (Schelling 1971, Krugman 1996) etc. stellen diese Parallelität und die damit nahe gelegte „zirkuläre Kausalität“ heraus. Und auch die Kooperationsforschung (u.a.: Rapoport/Chammah 1965, Axelrod 1984, 1997, Epstein 1998) führt vor Augen, wie sehr die von ihr untersuchte Form von Kooperation auf die Gleichzeitigkeit multipler Prozesse angewiesen ist. Die damit angesprochene Parallelität multipler Dynamiken scheint eine Abkehr von linearen Kausalitätsrelationen und eine grundsätzliche erkenntnistheoretische Orientierung an dem, wofür Emergenz steht, nahezu legen.

Der folgende Text versucht, die Grundsätzlichkeit dieser epistemologischen Bedingung zu beleuchten. Nach einem einleitenden Überblick über historische Debatten zur Frage der Emergenz, werde ich anhand einer einfachen Erweiterung eines von Joshua M. Epstein

vorgeschlagenen Simulationsmodells zur „Emergenz von Kooperation“ die Relevanz der Gleichzeitigkeit oder Parallelität multipler Prozesse vorführen, um von da aus anhand einer Überlegung von Niklas Luhmann abschließend am Emergenzbegriff eine ins Grundsätzliche zielende Wendung zu markieren.

## I. Der Emergenzbegriff und seine Geschichte

Zur Illustration dessen, wofür Emergenz steht, wird gerne auf Tom Schellings berühmtes Segregationsexperiment verwiesen. Um 1970 herum untersuchte Schelling (1971) Niederlassungsvorlieben von Einwohnern unterschiedlicher ethnischer Herkunft in US-amerikanischen Städten und schlug zur Erklärung der dabei festgestellten Segregation ein einfaches Modell vor. Auf einem Schachbrett verteilte er in zufälliger Anordnung Münzen zweierlei Größen (*Pennies* und *Dimes*) und legte sodann jede einzelne Münze entsprechend der Zahl ihrer unmittelbar angrenzenden Nachbarmünzen um. Wenn eine Münze weniger als einen festgelegten Prozentsatz Nachbarn der eigenen Art hatte, wurde sie auf ein freies Feld verlegt und dies solange für alle Münzen wiederholt, bis nach dieser Regel keine Münze mehr bewegt werden konnte. Als Resultat ergab sich auch bei relativ „toleranten“ Nachbarschaftsvorlieben von unter 50 Prozent der eigenen Art eine trennscharfe Segregation in unterschiedliche Münzdistrikte.

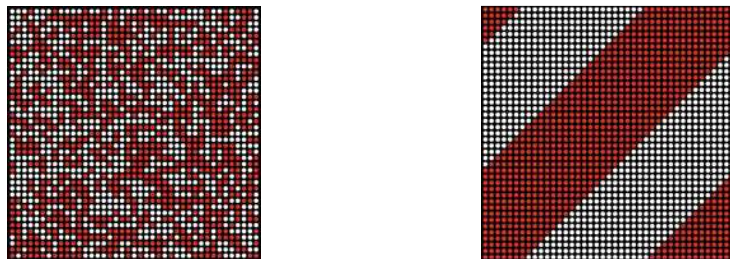


Abb. 1. Simulation einer Schelling-Segregation mit 40-prozentiger „Toleranz“. links: initiale Zufallsverteilung, rechts: nach 230 Spielzügen<sup>1</sup>

Obwohl also auf „Mikro-Ebene“ keiner der individuellen Münzen übermäßig „rassistische“ Nachbarschaftsvorlieben angelastet werden konnten, ergab sich auf „Makro-Ebene“ ein Muster, das eher starke Durchmischungsresentiments vermuten ließ. Die Aggregation verteilter Individualdynamiken erzeugte eine *emergente Ordnung*, die die Aristoteles zugeschriebene<sup>2</sup> Äußerung, wonach das Ganze mehr als die Summe seiner Teile sei, assoziiert.<sup>3</sup>

Die Frage, die sich an diese, mittlerweile einigermaßen strapazierte Äußerung knüpft, ist die nach der analytischen Erklärbarkeit *emergenter Ordnungen*, die Frage also, ob emergente Phänomene im Sinne des Kausalitätsprinzips auf eindeutige Ursachen zurückzuführen sind.

<sup>1</sup> Die Variante des Modells, das die hier abgebildeten Verteilungen generiert, ist unter <http://homepage.univie.ac.at/manfred.fuellsack/applets/diffusion-tutorial.htm> als Applet ausgestellt und kann mit unterschiedlichen Werten getestet werden.

<sup>2</sup> In Metaphysik 1041b 10 (VII. Buch (Z)) heißt es (in der Übersetzung von Franz F. Schwarz Stuttgart 1970: Reclam) „Das, was in der Weise zusammengesetzt ist, daß das Ganze Eines ist, ist nicht wie ein Haufen, sondern wie eine Silbe. Die Silbe aber ist nicht dasselbe wie ihre Buchstaben, BA ist nicht dasselbe wie B und A [...]“. Es geht Aristoteles an dieser Stelle um das Wesen der Dinge und im Speziellen um das Wesen des Menschen.

<sup>3</sup> Weitere berühmte Beispiele hierfür wären etwa die Diskrepanz zwischen Gebrauchs- und Tauschwerten, die Debatten um die Smith'sche „invisible hand“, das Durkheim'sche „fait sociale“, die Merton'schen „unanticipated consequences of purposive social actions“, die Cournot-Effekte, die Eigenlogik selbstreferentiell geschlossener operierender Systeme und vieles mehr.

Gemäß einfacher wissenschaftstheoretischer Vorstellungen sollte dies, zumindest „*in the long run*“ der Fall sein. So wie sich die Bewegung der Gestirne etwa aus den Gesetzen der Newtonschen Physik erklärt, sollten auch psychologische Phänomene wie etwa Angst oder Zuneigung letztendlich auf neurologisch-organische Zustände des Gehirns und des Körpers zurück zu führen sein. Auch die Freiheit des Willens (Libet 2004) etwa oder die Bereitschaft zur Kooperation (s.u.) oder auch Bewusstsein schlechthin (Koch/Crick 2001) sollten sich letztendlich auf spezifisch neurologische und damit möglicherweise physikalische, wenn nicht informatische<sup>4</sup> Konstellationen zurückführen lassen. Im Prinzip beruhen auf dieser Annahme die neuzeitlichen Projekte von Wissenschaft und Aufklärung. „*Rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux.*“ (Laplace 1840: 4)

Dass uns solche Aufklärung freilich gelingt, wird seit langem bestritten.<sup>5</sup> Im 19. Jahrhundert wird zur Bezeichnung von Phänomenen, die nicht ohne weiteres erklärbar erscheinen, die sich also nicht vollständig aus den Eigenschaften zugrunde liegender, bzw. als zugrunde liegend vermuteter Teile herleiten lassen, der Emergenzbegriff vorgeschlagen. Die Flüssigkeit oder Nässe des Wassers zum Beispiel sei ein emergentes Phänomen, weil sie sich aus den offensichtlich „nicht-flüssigen“ oder „nicht-nassen“ Wasserstoff-Sauerstoff-Teilchen nicht herleiten lässt. (vgl.: McLaughlin 1992) Auch Gefühle, Schmerzen und sonstige „Qualia“ gelten als emergent. Vor allem aber beschäftigen Phänomene wie das Leben oder das Bewusstsein Philosophen und Forscher als Gegebenheiten, die sich beharrlich als nicht reduzierbar erweisen.<sup>6</sup> Interessanterweise teilen auch viele überzeugte Materialisten diese Sicht. Nicht zuletzt Friedrich Engels etwa und mit ihm dann die Philosophen des „Dialektischen Materialismus“ erheben den nicht reduzierbaren Umschlag von Quantität in Qualität zum philosophischen und letztlich gar staatstragenden Dogma (vgl. Engels 1940: 26, Levins/Lewontin 1985).

Als es den Naturwissenschaften des 20. Jahrhunderts dann aber gelingt, manche der für emergent gehaltenen Phänomene doch auf grundlegendere Ursachen zu „reduzieren“, gerät der Emergenzbegriff allmählich aus dem Gebrauch. Insbesondere die Quantenmechanik erlaubt nun eine Fassung chemischer Bindungen, die die für emergent gehaltenen Eigenschaften des Wassers analytisch erklärt. Wenig später liefert auch die Biochemie der DNA Erklärungen für verschiedene Merkmale lebender Organismen (vgl. Schaffner 1993). Dass der Emergenzbegriff nun überdies mitunter dazu herangezogen wird, emergente Phänomene als nicht mehr weiter erklärens-wert zu klassifizieren, gibt ihm einen schalen Beigeschmack.<sup>7</sup> Von 1920 an in etwa bis in die 1960er Jahre wird er in den Naturwissenschaften nicht mehr verwendet. Noch Ende der 1950er Jahre formulieren Paul Oppenheim und Hilary Putnam (1958) die „Einheit der Wissenschaften“ als hoffnungsfrohe „Arbeitshypothese“ für eine Zukunft, die die uralte Vorstellung, beliebige Phänomene und Ordnungen analytisch auf einheitliche Prinzipien zurückführen zu können, zu verwirklichen glaubt. 1968 bietet Ludwig von Bertalanffy die *Allgemeine Systemtheorie* als universelles Erklärungsprinzip dafür an<sup>8</sup> - nicht ohne damit freilich einen analytischen Kontext zu begründen, in dem sich die Frage der Reduzierbarkeit alsbald von Neuem vehement stellt.

---

<sup>4</sup> Vgl. dazu die Debatten um die Rückführbarkeit physikalischer auf informatische Gegebenheiten, wie sie im Anschluss an die Quantentheorie geführt werden. U.a.: Lloyd 2006: 65f.

<sup>5</sup> Zur Geschichte dieser Diskussion vgl. u.a.: James 1984, Nagel 1961.

<sup>6</sup> Vgl. diesbez. u.a. noch die berühmte Diskussion zwischen Teilhard de Chardin und Jacques Monod in Monod 1975.

<sup>7</sup> Vgl. dazu u.a. die Kritik von Bertrand Russell an Conwy Lloyd Morgan's Emergent Evolution (1923), in: Russell 1931.

<sup>8</sup> Vgl.: Bertalanffy 1968: 32: “It seems legitimate to ask for a theory, not of systems of a more or less special kind, but of universal principles applying to systems in general.”

## II. Emergenz und Sequenzialität

Das eingangs erwähnte Simulationsbeispiel zur Schellingschen Segregation hilft, die damit verbundene Problematik zu beleuchten. Eine Computersimulation zu verwenden, um Emergenz im hier besprochenen Sinn zu illustrieren, scheint auf den ersten Blick widersprüchlich, werden doch Computer in der Regel als deterministische Maschinen betrachtet, die auch wenn sie sehr umfassende Zusammenhänge in kurzer Zeit bearbeiten können, nichts anderes tun, als einen Rechenschritt nach dem anderen zu vollziehen. Auch wenn die Musterbildung im Schellingschen Beispiel komplex wirkt, so wäre es demnach nicht ausgeschlossen, die beobachtete Entwicklung in einzelne Teilschritte aufzulösen und in einer – möglicherweise langen, aber nicht unendlichen - Ursache-Wirkungs-Liste zu reihen. Genau dies tut ja im Prinzip ein Computerprogramm. Die relative Endlichkeit der Züge am Schellingschen Schachbrett macht dies noch deutlicher. Der Laplace'sche Dämon scheint hier unübersehbar am Werk.

Allerdings lassen sich schon auf dieser Ebene des sequenziellen Kalkulierens auch eine Reihe von Umständen anführen, die die Reduzierbarkeit in Frage stellen und dem Emergenzbegriff damit Berechtigung einräumen. Einige davon seien hier kurz – da vielfach besprochen – erwähnt.

1.) Ein erster grundsätzlicher Punkt, der vielleicht anhand des Beispiels einer Computersimulation nicht unmittelbar ins Auge sticht, betrifft den Umstand, dass die Unterscheidung von Ursache und Wirkung, ebenso wie die von Teilen und Ganzem analytischer Natur ist, also von einem Beobachter abhängt, der sie vornimmt. Moritz Schlick hat diesbezüglich 1935 in einem kurzen Aufsatz auf die Willkür von Begrifflichkeiten wie „Ganzheit“ oder „Summe“ hingewiesen, die losgelöst von konkreten Definitionen der ihnen gegenüber betrachteten „Teile“ verwendet werden, losgelöst also von der Referenz auf ihren Beobachter. Pragmatistischen, auch späteren entscheidungs-<sup>9</sup> und systemtheoretischen Überlegungen vorgreifend hat er damit die Kontextabhängigkeit solcher Unterscheidungen markiert.<sup>10</sup> Aktueller verweist diesbezüglich die Systemtheorie Niklas Luhmanns (u.a. 1984: 25) in sehr grundsätzlicher Weise auf die Beobachterabhängigkeit von Unterscheidungen, die auch den Beobachter selbst noch (also die Frage in welcher Hinsicht der Beobachter als solcher unterschieden wird) betreffen. Die Annahme der Reduzierbarkeit von Phänomenen wird damit „perspektiviert“, also *relativiert*. Gleichzeitig scheint damit aber auch die Rede von Emergenz selbst zur Ausweisung ihres Bezugs aufgefordert, das heißt zur Angabe der Festlegung, in Bezug auf welche Teile das Ganze mehr als deren Summe sein soll. Bei Luhmann – und daran orientiert sich die hier in Teil III beschriebene Simulation – wird diese Problematik „zirkulär“ bearbeitet. Das heißt, auch die mit dieser Festlegung definierten Teile werden ihrerseits als emergente Phänomene markiert, die damit ebenfalls die Ausweisung jener Teile erfordern, denen gegenüber nun ihr Ganzes mehr als deren Summe sein soll. Der späte Luhmann (u.a. 1997: 190ff) schlägt für diese prinzipiell unabschließbare „Ineinanderschachtelung“ von Bezügen die Medium-Form-Unterscheidung vor, in der Formen als (an sich unwahrscheinliche, aber von anderen Formen wahrscheinlich gemachte, nämlich *in-form*-ierte) temporäre Realsierungen spezifischer Konstellationen in Medien vorgestellt werden, die – so wie Buchstaben in Wörtern, Wörter in Sätzen, Sätze in Texten

---

<sup>9</sup> Vgl. etwa die Diskussionen zu „frames“ beginnend vielleicht bei Schütz 1972, aber dann insbesondere bei Herbert A. Simon (u.a. 1964), dessen Konzept der „bounded rationality“ dem angenommenen „maximizing“ des *homo oeconomicus* ein „satisficing“ im jeweiligen Kontext gegenüberstellt. Vgl. dazu insbesondere auch die zahlreichen Studien von Daniel Kahnemann und Amos Tversky (etwa 2000).

<sup>10</sup> Vgl.: Schlick 1935: 556: „Es ist nie die eine [Art der Unterscheidung] richtig, die andere falsch, sondern es sind stets beide möglich, nur dass in vielen Fällen die eine sehr viel zweckmäßiger oder praktischer ist als die andere und daher durch die Erfahrung nahegelegt wird.“

etc. – ihrerseits wieder – auf jeweils nächster analytischer Ebene – als in Medien realisierte Formen gedacht werden.

Das hier (siehe Teil III) vorgestellte Modell einer Emergenz von Kooperation wird – orientiert an dieser „Ineinanderschachtelung“ (die freilich stets „Gleichzeitigkeit“, oder eben genauer „gleichzeitige Ungleichzeitigkeit“ impliziert) – von „Teilen“, nämlich computergenerierten spieltheoretischen Akteuren, ausgehen, die eben *nicht* als bereits „fertig vorliegende Teile“ konzipiert sind, denen gegenüber ihr „Ganzes“ Emergenz zeigt, sondern als ihrerseits – im Zuge der Simulation – erst emergierende Entitäten, die damit erst *retrospektiv* (von einem Beobachter) als „Teile“ unterschieden werden und so dem simulierten Phänomen auch in dieser Hinsicht nicht ursächlich im Sinne des Reduktionismus vorausgesetzt werden können.

2.) Ein weiterer Umstand, der – noch vor jeglicher Beobachterabhängigkeit – den Reduktionismus problematisiert, betrifft die „multiple Realisierbarkeit“ bestimmter Entwicklungen. Gemeint ist damit, dass sich aggregierte, also aus multiplen Einzelwirkungen entstehende Zustände unterschiedlichen Vorgänger-Konstellationen dieser Einzelwirkungen verdanken können. Daniel C. Dennett (2003: 68) hat dies anhand des einfachen Replikatoralgorithmus *Game of Life*<sup>11</sup> von John Horton Conway veranschaulicht. In diesem streng deterministischen „Spiel“ kann zum Beispiel ein aus vier Zellen bestehendes Quadrat sowohl aus der dreizelligen Vorgängerfigur eines nach rechts-oben zielenden Dreiecks, wie auch aus der Vorgängerfigur eines nach links-unten zielenden Dreiecks entstehen. (Abb. 2)

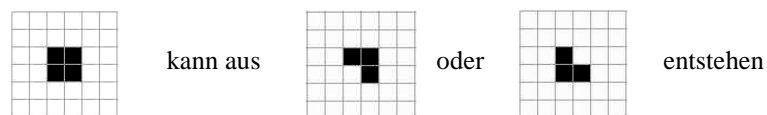


Abb. 2. Mögliche Entstehungssequenz eines Musters aus Conway's *Game of Life*

Eine eindeutige „Rückführung“ des Quadrates auf seine „Ursache“ ist damit nicht möglich. Analog dazu stellte Hilary Putnam (1967) mentale Zustände von Menschen und einfachen Tieren als „multipel realisierbar“ heraus. Menschliche und tierische Kopfschmerzen etwa ließen sich kaum in gleicher Weise auf analoge neuronale Zustände des Gehirns eines Menschen und eines einfachen Tiers zurückführen. Jerry Fodor leitete daraus 1974 eine vieldiskutierte Existenzberechtigung der Einzelwissenschaften ab. Deren Objekte und Gesetzmäßigkeit ließen sich, so Fodor, nicht eindeutig auf physikalische Prinzipien zurückführen. Was phänomenologisch für die Kommunikationsforschung zum Beispiel ein Schreibwerkzeug ist, lässt sich physikalisch in Form eines Computerkeyboards wie auch in Form eines Federkiels realisieren.<sup>12</sup> Physik trägt hier nichts zur analytischen Klärung bei. Die Einzelwissenschaften würden, so Fodor, in ihrer eigenen, je spezifischen (im Hinblick auf Punkt 1: beobachtend erzeugten) *emergenten* Erklärungswelt operieren.

3.) Analog zur „multiplen Realisierbarkeit“, bei der zwei oder mehrere Ursachen ein und dieselbe Wirkung erzeugen, lassen sich auch Entwicklungen aufzeigen, in denen *einer* Ursache *unterschiedliche* Wirkungen folgen. Unter anderem setzt diesbezüglich die

<sup>11</sup> *Game of Life* ist ein Zellularer Automat, in dem jede „Zelle“ zwei Aktivitätszustände – „tot“ oder „lebendig“ – besitzt, die sich von Generation zu Generation, das heißt von Spielzug zu Spielzug, nach zwei einfachen Regeln im Hinblick auf ihre acht Nachbarzellen verändern. Die erste Regel lautet: eine „tote“ Zelle wird „lebendig“ (wird „geboren“), wenn sie genau drei „lebendige“ Nachbarn hat. Die zweite Regel lautet: eine „lebendige“ Zelle „stirbt“, wenn sie weniger als zwei und mehr als drei „lebendige“ Nachbarn hat. Das Internet ist voll mit Simulationen und Beschreibungen zum *Game of Life*. Die beste mir bekannte Simulation bietet die Open Source-Software „Golly“ von Andrew Trevorrow und Tomas Rokicki, unter: <http://golly.sourceforge.net/>

<sup>12</sup> Dieses Beispiel, das mir intuitiv eingänglicher erscheint als Fodors Währungsbeispiel, beziehe ich von Niklas Luhmann, bei dem es „funktionale Äquivalenz“ illustriert.

Stochastik der Reduzierbarkeit Grenzen. Insbesondere die Quantenmechanik (u.a. Lloyd 2006) und in ihrem Anschluss Überlegungen wie die zur „Many-World-Theory“ (DeWitt/Graham 1973) liefern hier aktuelle Beispiele. Aber schon im Schellingschen Segregationsbeispiel bringt etwa – über die zufällige Initialverteilung hinaus – eine Nachbarschaftsvorliebe von 50% den Zufall ins Spiel. Die bekannte Polya-Urne und im Anschluss daran die Arthur’schen Lock-ins<sup>13</sup> veranschaulichen diesbezüglich, wie aggregierte „*path dependencies*“ schnell zu gewichtigen Quasi-Determinanten werden können. Robert K. Merton (1988) sprach diesbezüglich vom „Matthäus-Effekt“. Die neuere Netzwerktheorie (u.a. Barabasi 2003) nennt dies „*preferential attachments*“. Vom Ergebnis solcher Zufallsentwicklungen her besehen (- also etwa vom Zustand der im zweiten Bild von Abbildung 1 gegebenen Rot-Weiß-Rot-Verteilung -) lässt sich die zugrundeliegende Stochastik intuitiv nicht erkennen. Der Reduktionismus würde hier andere „Ursachen“ suchen.

4.) Neben dem Zufall sorgt aber auch die *Nicht-Linearität* von Entwicklungen für Ambiguitäten (u.a. „*Bifurkationen*“), die eindeutige Rückführung verhindern. Bereits Henry Poincare und andere hatten diesbezüglich auf das seit Charles-Eugène Delaunay bekannte „N-Körper-Problem“ verwiesen, in dem die Interaktion mehrerer Dynamiken zur nicht-linearen Verstärkung bestimmter Entwicklungen führt (vgl. Devaney 2003). Weithin bekannt wurde das Phänomen in den 1960 Jahren, als Edward N. Lorenz (1963) anhand der Auswirkungen kleinster Veränderungen im Nachkomma-Bereich meteorologischer Parameter auf „chaotisches“ Verhalten der Wetterentwicklung, beziehungsweise ihrer Prognosen hinwies. Etwas später machten Robert May (1973) und andere im Anschluss an Überlegungen von Pierre François Verhulst auf das „deterministische Chaos“ in Populationsdynamiken aufmerksam, das seinerseits für Bifurkationen und katastrophentheoretische „Singularitäten“, also für abrupte Verhaltensänderungen komplexer Entwicklungen sensibilisierte (vgl. u.a. Zeeman 1974). Automaten-Theorie und in ihrem Windschatten die Multi-Agenten-Simulation (u.a.: Epstein/Axtell 1996, Epstein 2006) begannen daraufhin die nicht-deterministische Aggregation determinierter, aber multipler Prozesse zu erkunden – unter anderem, wenn auch umstritten, im Hinblick auf die berühmte „*Rule 110*“ (vgl. Wolfram 2002).

Im Anschluss an diese und viele weiterer<sup>14</sup> Forschungen hat sich der Emergenzbegriff in der zeitgenössischen Wissenschaftersprache relativ stabil etabliert<sup>15</sup> - auch wenn ihm dabei nicht selten selbst „emergenter“ Erklärungswert zu zukommen scheint. Zwar wird nach wie vor diskutiert, ob Zufall, Nicht-Linearität und Aggregation die Rede von Emergenz in Bezug auf die in der Philosophie für emergent gehaltenen Phänomene rechtfertigen.<sup>16</sup> Zuletzt scheinen aber eine Reihe von Philosophen wie etwa James Woodward (2003) oder Sandra Mitchell (2008) bereit, die klassischen Bedingungen für Kausalität und Erklärung abzuschwächen und

---

<sup>13</sup> Simulationen und Literatur dazu unter: <http://homepage.univie.ac.at/manfred.fuellsack/applets/lockin.htm>

<sup>14</sup> Erwähnt sei nur etwa die Vielzahl biologischer und sociobiologischer Untersuchungen etwa zum Verhalten sozialer Insekten etc. Dazu und mit Verweisen auf weitere Forschungen u.a. auch Mitchell 2008.

<sup>15</sup> Vgl. vor allem aber natürlich auch seine Verwendung in so populären Schriften wie: Lewin 1992 oder Kauffman 1993, Vgl. vor allem aber natürlich auch seine Verwendung in Systemtheorie und Komplexitätsforschung.

<sup>16</sup> Jaegwon Kim beispielsweise, der dem Begriff 1999 eine größere Abhandlung widmet, hält keine der Eigenschaften, die die Naturwissenschaften aktuell als emergent diskutieren – etwa die Farbmuster oder das Schwarmverhalten von Tieren – für emergent im Sinn von nicht-reduzierbar. Im Hinblick auf ihre Funktion ließen sich diese Phänomene sehr wohl reduzieren. Als emergent sieht Kim dagegen etwa phänomenale Eigenschaften des Bewusstseins an, beispielsweise das Gefühl Schmerzen zu haben, nicht aber die Ursachen und Folgen dieser Schmerzen. Die höchst subjektive Empfindung von Schmerzgefühlen sei der Naturwissenschaft grundsätzlich nicht zugänglich. Sie ist für die Zwecke einer kausal erklärenden Theorie weitgehend nutzlos. Wenn die Phänomene dagegen in irgendeiner Weise einer Erklärung zugänglich seien, so seien sie aber eben nicht emergent. Reduzierbare Eigenschaften seien eben keine Eigenschaften höherer Ordnung mehr (Kim 1999: 33, vgl auch Kim 2005).

dem Emergenzbegriff Erklärungswert einzuräumen. Auch Joshua M. Epstein (2006: 2) plädiert diesbezüglich für eine Unterscheidung von „Erklärung“ und „Reduktion“. Analytisch „erklärbar“ sei das Zustandekommen von Vogelschwärmen oder Tierherden– etwa entlang der von William D. Hamilton (1971) oder Robert Keith Sawyer (2001) vorgeschlagenen Linie – sehr wohl. „Reduzierbar“ im Sinne Descartes seien diese Phänomene aber ob der Komplexität der involvierten Prozesse nicht. Dieser Umstand rechtfertige zwar keinen Hype um den Begriff Emergenz, wohl aber seinen Gebrauch.

Einen oft genannten Grund für die Abkehr von klassischen Kausalitätsvorstellungen liefert in diesem Zusammenhang die Komplexität der entstehenden und involvierten Prozesse. Zwar wird der Komplexitätsbegriff nicht selten nur stellvertretend für den Begriff der Emergenz verwendet. In vielen Darstellungen verweist Komplexität einfach ihrerseits auf die Unerklärbarkeit beobachteter Phänomene.<sup>17</sup> Allerdings ist mit Komplexität in der Regel auch die grundlegende *Aggregiertheit* eines Phänomens angesprochen, dessen einzelne Komponenten als *nicht voneinander unabhängig* gefasst werden. Komplexität weist damit auf die spezifische *Korrelation*, in der die Komponenten eines komplexen Systems zueinander stehen oder sich bewegen und sich damit in ihren Freiheitsgraden einschränken. Komplexität weist also auf das *gleichzeitige* Stattfinden *unterschiedlicher* Vorgänge hin, und Emergenz bezeichnet in diesem Zusammenhang die Entstehung oder den Verlauf der Korrelation dieser Vorgänge.

Ein Beispiel für die Untersuchung solcher Entstehungsprozesse liefern spieltheoretische und informatisch-generative Experimente zur Emergenz von Kooperation, wie sie im Hinblick auf das so genannte Gefangenen-Dilemma unternommen werden.

### III. Kooperation als emergentes Phänomen

Analytisch scheint Kooperation zunächst ein sperriges Phänomen. Die Schwierigkeit, ihr Zustandekommen zu erklären, besteht darin, dass der Nutzen oder der Effekt einer kooperativen Handlung (in der Sprache der Spieltheorie: der *pay-off*) zwar deutlich höher sein kann als der einer individuellen, nicht-kooperativen Handlung. Dieser höhere Nutzen hängt dabei aber davon ab, ob *alle* Beteiligten mitmachen, das heißt, ob *alle* kooperieren. In vielen Situationen, in denen Kooperation möglich wäre, reicht ein einziger Beteiligter, der nicht mitmacht, der also nicht kooperiert – der „betrügt“ –, aus, um die individualistische („egoistische“) Handlung höher punkten zu lassen. Im Risiko, im Nicht-Wissen, ob alle Beteiligten mitmachen, würden also rationale Akteure *nicht kooperieren*. Schon Jean Jacques Rousseau (1755/1964) hat dieses Problem am Beispiel einer Hirschjagd beschrieben.<sup>18</sup> Mancur Olson (1965) hat diesbezüglich unter anderem das Entstehen von Gewerkschaftsbewegungen problematisiert und Garrett Hardin (1968) hat die „Tragödie“ aufgezeigt, die dies für Gemeingüter bedeutet.

Das aktuell wohl bekannteste Beispiel für diese Kooperationsproblematik liefert das Gefangenen-Dilemma (vgl. u.a. Rapoport/Chammah 1965). In seiner ursprünglichen, von Albert William Tucker formulierten Form werden hierbei zwei Verdächtige von der Polizei verhaftet und voneinander isoliert inhaftiert. Es liegen eine Reihe von Indizien, aber keine Beweise gegen sie vor. Die Polizei beschließt folgenden Handel: wenn ein Verdächtiger

---

<sup>17</sup> Nach Warren Weaver's (1948) berühmter Definition zum Beispiel ist mit Komplexität die Unvorhersagbarkeit einer Entwicklung gemeint, deren Einzelfaktoren bekannt sind.

<sup>18</sup> „S'agissoit il de prendre un cerf, chacun sentoit bien qu'il devoit pour cela garder fidellement son poste; mais si un lièvre venoit à passer à la portée de l'un d'eux, il ne faut pas douter qu'il ne le poursuivit sans scrupule, et qu'ayant atteint sa proye il ne se souciât fort peu de faire manquer la leur à ses Compagnons.“ Rousseau 1755/1964: 166f.

gegen den anderen aussagt (ihn „*betrügt*“), so dass dieser verurteilt werden kann, dieser seinerseits aber nicht gegen den anderen aussagt, so geht der Aussagende frei, während der Verurteilte 10 Jahre Haft erhält. Wenn beide gegeneinander aussagen, so erhalten beide eine Gefängnisstrafe von 5 Jahren. Wenn dagegen beide schweigen („*kooperieren*“), so können sie beide nur zu einer geringen Haftstrafe von sechs Monaten verurteilt werden. Beide können „*kooperieren*“ oder „*betrügen*“. Sie müssen sich dazu aber *gleichzeitig* entscheiden ohne sich vorab zu verständigen. Sie wissen also im Vorhinein nicht, wie sich der je Andere verhält. Die Nutzenbilanz bei fehlender Information über das Verhalten des Anderen reiht eindeutig den „*einseitigen Betrug*“ (mit 0 Jahren Gefängnis) vor „*Kooperation*“ (mit ½ Jahren Gefängnis), diese allerdings vor „*gegenseitiges Betrügen*“ (5 Jahre Gefängnis) und vor „*Betrogen-Werden*“ (10 Jahre Gefängnis).<sup>19</sup> Das heißt, es ist für jeden Spieler unabhängig vom Verhalten des Anderen vorteilhaft zu „*betrügen*“. Betrug ist die „*dominante Strategie*“. Die Frage lautet: *wie kann sich Kooperation unter diesen Bedingungen als verbreitete (nicht nur zufällige) Verhaltensweise durchsetzen?*

Robert Axelrod (1984, 1997) hat diese Frage in seinem berühmten „*Tournament*“ im Hinblick auf die (– zugegeben anhand des Beispiels nicht sehr wahrscheinlich scheinende –) *Wiederholung* von Gefangenen-Dilemma-Situationen beantwortet. Was bei einmaligen Konfrontationen höchst unwahrscheinlich und damit *unerklärbar* ist –, nämlich dass rationale Akteure Kooperation nachhaltig zur Strategie ihrer Interaktionen wählen – wird, wenn diese Akteure *mehrmals* (und in vorab unbekannter Zahl von Konfrontationen) aufeinander treffen und dabei auf das in früheren Konfrontationen gezeigte Verhalten ihres Gegenübers reagieren können, hinreichend wahrscheinlich. Kooperation kann als stabile, das heißt nicht nur zufällig gewählte Strategie emergieren.

Für das „*Reagieren*“ auf das Verhalten des Gegenübers ist freilich so etwas wie ein „*Gedächtnis*“ notwendig. Computertechnisch ist dies kein großes Problem. Mittlerweile liegen unzählige Simulationen vor, in denen sich die Akteure über zahlreiche Konfrontationen, also mehrere Spielgänge hinweg, „*erinnern*“. Im Hinblick auf eine evolutionstheoretisch schlüssige Erklärung des Entstehens von Kooperation lässt sich dagegen allerdings einwenden, dass Gedächtnisse, die solch weitreichende „*Erinnerungen*“ erlauben, wohl kaum dem Phänomen der Kooperation *vorausgesetzt* werden können. Im Gegenteil, Akteure, die ihre Handlungen mit Hilfe von Gedächtnissen orientieren, lassen sich ihrerseits als *verteilt operierende Systeme* beschreiben, die damit auf eine, wie auch immer rudimentäre „*Kooperation*“ ihrer Bestandteile angewiesen sind (vgl. dazu Füllsack 2008).

#### **IV. Das demographische Gefangenen-Dilemma**

Um diesem Einwand zu begegnen, hat Joshua M. Epstein das *Demographische Gefangenen-Dilemma* als Modell vorgeschlagen (Epstein 1998, 2006), das die Kooperationsproblematik gewissermaßen „*verräumlicht*“ und damit die *Gleichzeitigkeit* der involvierten Prozesse deutlich herausstellt. Auf den ersten Blick kommt dieses Modell ohne komplexe Gedächtnisleistungen aus.

Die (computer-simulierten) Akteure sind in diesem Modell auf einem 30x30-Felder großen schachbrettartigen Gitternetz („*grid*“) zufällig verteilt angeordnet, bewegen sich nach Start der Simulation auf ein beliebiges freies Feld innerhalb ihrer Sichtweite („*vision*“) und

---

<sup>19</sup> In der Spieltheorie, und damit auch in der Simulation, haben sich, dem Vorschlag Axelrods (1984) folgend, für diese Möglichkeiten die Bezeichnungen „*temptation*“, „*reward*“, „*punishment*“ und „*sucker's pay-off*“ eingebürgert. Spieltheoretisch ist ein Gefangenen-Dilemma dann gegeben, wenn die Bedingung  $T > R > P > S$  erfüllt ist.

„spielen“ ein Gefangenen-Dilemma mit allen Von-Neumann-Nachbarn, die sie dort antreffen (das heißt mit allen anderen Akteuren auf den Feldern unmittelbar Nord, Ost, Süd oder West ihrer eigenen Position). Sie folgen dabei einer von zwei fest zugeschriebenen Strategien: sie „kooperieren“ oder sie „betrügen“.

		Spieler B	
		Kooperation	Defektion
Spieler A	Kooperation	R = 5, R = 5	S = -6, T = 6
	Defektion	T = 6, S = -6	P = -5, P = -5

Tabelle 1. Pay-offs des Demografischen Gefangenen-Dilemmas nach Epstein 2006: 201

Die von Epstein vorgeschlagenen *Pay-offs* (siehe Tabelle 1) sehen, anders als die Axelrodschen, auch negative Ergebnisse vor. Wenn das aus den einzelnen Konfrontationen akkumulierte Guthaben der Agenten - ihre „wealth“ - allerdings unter Null sinkt, „sterben“ sie, das heißt sie werden vom Spielfeld entfernt. Wenn ihr Guthaben dagegen über einen bestimmten Wert steigt - in Epsteins Versuchen 10 Pay-off-Punkte -, können sie sich „vermehren“. Dazu wird auf einem freien Feld in ihrer Von-Neumann-Umgebung ein neuer Agent generiert, der die Strategie seines Elternteils („kooperieren“ oder „betrügen“), sowie einen Teil von dessen „wealth“ erbt. Dieser „wealth“-Anteil - in Epsteins Versuchen 6 Pay-off-Punkte - wird vom Guthaben des Elternteils abgezogen.

Die Agenten sind zusätzlich mit einem maximalen „Höchstalter“ ausgestattet, nach dessen Ablauf sie „sterben“. Bei „Geburt“ wird ihnen ein zufallsgeneriertes Anfangsalter zugewiesen.

Der Ablauf der Simulation zeigt, dass Kooperation in diesem Setting - auch mit sehr niedrigen Initialraten zufällig generierter „Kooperatoren“ - hinreichend wahrscheinlich „emergiert“. In der Mehrzahl der Fälle wird sie sogar zur vorherrschenden Strategie. Ein typischer Ablauf ergibt nach einigen Spielzügen eine von einzelnen „Betrüger“-Inseln durchbrochene „Kooperatoren“-Population mit einem Verhältnis von einem „Betrüger“ zu zirka fünf „Kooperatoren“ (siehe Abbildung 2).<sup>20</sup>

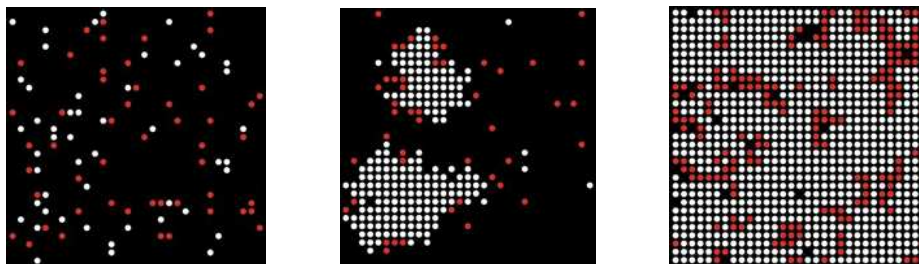


Abb. 2 Simulation des Demografischen Gefangenen-Dilemmas nach Joshua M. Epstein: „Kooperatoren“ weiß, „Betrüger“ rot; Links: initiale Zufallsverteilung von 100 Agenten, Mitte: nach 15 Spielzügen, Rechts: nach 50 Spielzügen.

Theoretisch betrachtet verlagert das Epsteinsche Modell die Axelrodsche Iteration, das heißt das wiederholte Aufeinandertreffen der Agenten, einfach von der Zeitdimension in die Raumdimension. Was in der Zeitdimension das „Gedächtnis“ der Agenten leistet, nämlich die iterative statistische Steigerung des Kooperationsnutzens (des *Pay-offs* für Kooperation), leistet in der Raumdimension die Möglichkeit der Reproduktion der Agenten. Genaugenommen entspricht damit die „Vorentscheidung“, die Agenten die Strategie ihrer Eltern erben zu lassen, sie also je nach Herkunft entweder als „Kooperatoren“ oder als

<sup>20</sup> Für eine genaue statistische Analyse siehe Epstein 2006: 210. Eine vom Autor nach-programmierte Version des Modells steht unter <http://homepage.univie.ac.at/manfred.fuellsack/applets/coop.htm> als Applet online und kann dort getestet werden.

„Betrüger“ zur Welt kommen zu lassen, der Fähigkeit der Axelrodschen Agenten, sich an frühere Konfrontationen zu „erinnern“. Im Hinblick auf eine evolutionstheoretisch schlüssige Erklärung der Emergenz von Kooperation scheint diese „Vorentscheidung“ also nicht ganz stimmig.

In einer weiteren Version seines Modells zieht Epstein deswegen *Mutation* in Betracht. „Neugeborene“ Agenten erben nicht immer, sondern nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit, die Strategie ihrer Eltern. Mit den oben angegebenen Pay-off-Werten bleibt Kooperation dabei trotz hoher Mutationswahrscheinlichkeit erstaunlich persistent. Sie kann sich freilich nie ähnlich nahezu flächendeckend auswachsen wie bei geringen Mutationsraten.

## V. Immanenz

In Epsteins Modell kommt Mutation nur als eine Art „Störung“ der gleichsam als „normal“ unterstellten „Vererbung“ der Elternstrategie zu stehen. Entwicklungsgeschichtlich scheint dies nicht plausibel. Simple Akteure, die in einem solchen Setting „geboren“ werden, würden ohne zusätzliche Annahmen wohl eher nur zufällig als Kooperatoren zur Welt kommen. Dem „Normalfall“ würde eher eine Mutationswahrscheinlichkeit von 100% entsprechen.

Wenn einer solchen durchschnittlichen 50:50-Chance, die Strategie des Elternteils zu erben, freilich etwas weniger üppige *Pay-off*-Werte (etwa  $t = 9$ ,  $r = 2$ ,  $p = -5$ ,  $s = -7$ ), das heißt also eine „rauhere Umwelt“ gegenüber gestellt werden, so hat Kooperation keine Chance. Die Kooperatoren „sterben“ nach wenigen Spielzüge aus und mit ihnen, weil sie alleine nicht „überleben“ können<sup>21</sup>, etwas später auch die „Betrüger“.

Andererseits ließe sich aber auch vorstellen, dass die zunächst 100-prozentige Mutationswahrscheinlichkeit in dem Ausmaß, in dem sich die Spieler mit einer bestimmten Strategie konfrontiert sehen, sinkt. Oder anders herum formuliert, die Wahrscheinlichkeit, dass neugeborene Spieler die Strategie ihrer Eltern annehmen, könnte in Abhängigkeit der Häufigkeit von Konfrontationen mit der eigenen Art steigen. Die Spieler würden ihre Strategie damit gleichsam evolutionär, sprich über Generationen hinweg, „lernen“.

Das heißt, nicht mehr nur das soziale Setting sorgt für die *Emergenz* von Kooperation, sondern diese Emergenz wirkt *gleichzeitig* auf die beteiligten Akteure zurück und verändert deren ursprüngliches Verhalten. Solche Rückwirkungen wurden unter anderem als „*second order emergence*“ beschrieben und simuliert (Gilbert 1995, 2002). Cristiano Castelfranchi (1998) spricht diesbezüglich auch von *Immergenz*, mit der die emergenten Effekte sich auf „kognitiver“ Ebene der individuellen Akteure – also in deren Verhaltensorientierungen – niederschlagen.

In Versuchen mit dem beschriebenen Modell genügte dieser sehr rudimentäre „Lernvorang“, um in einer geringen, aber doch stabilen Zahl von Fällen, die Mutationswahrscheinlichkeit *rechtzeitig* auf ein zum Überleben der Population hinreichend niedriges Niveau zu senken, *bevor* die Population „ausstarb“. Es reichte, wenn sich in einem Teil des Spielfeldes, in einer Nische, eine kleine Insel von Kooperatoren per Zufall so lange hielt, bis ihre Mutationswahrscheinlichkeit auf ein Niveau sank, das zumindest einigen ihrer Nachkommen relativ hohe Chancen bot, ebenfalls als „Kooperatoren“ geboren zu werden.

---

<sup>21</sup> Die Konfrontation von „Betrügern“ mit anderen „Betrügern“ ergibt in diesem Setting stets negative Pay-off-Werte. Wenn also keine „Kooperatoren“ mehr vorhanden sind, an denen die „Betrüger“ verdienen können, entziehen sie sich gegenseitig ihren Wohlstand und sterben sobald dieser unter Null sinkt.

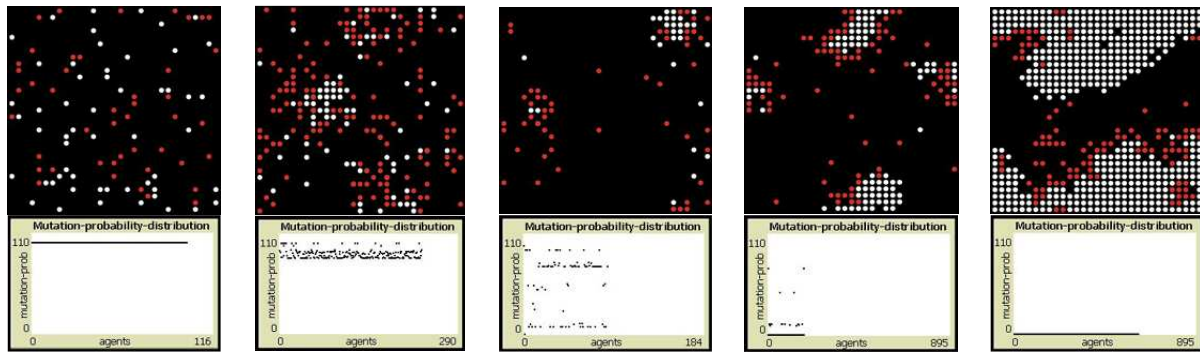


Abb. 3 Simulation des Demografischen Gefangenen-Dilemmas mit „Lernvorgang“ nach (von links nach rechts) 0, 15, 100, 200 und 500 Spielzügen. Die Ploter darunter illustrieren die Entwicklung der Verteilung der einzelnen Mutationswahrscheinlichkeiten. Jedem Agenten entspricht ein schwarzer Punkt. In den Spielzügen 0 und 500 liegen die Wahrscheinlichkeiten für alle Agenten gleich bei 100%, beziehungsweise bei 0% (eine schwarze Linie).

Abbildung 3 zeigt diese Entwicklung. Das Bild ganz links zeigt die Initialverteilung von 100 Agenten mit zufällig zugewiesenen unterschiedlichen Strategien. Die Mutationswahrscheinlichkeit liegt für alle gleich hoch bei 100% (eine durchgehende schwarze Linie<sup>22</sup>). Im zweiten Bild rechts daneben haben sich nach 15 Spielzügen einige lockere Cluster von Kooperatoren und Betrügern gebildet, die bereits zu einer leichten, aber ungleichmäßigen Senkung der Mutationswahrscheinlichkeit führen. Im dritten Bild ist diese Mutationswahrscheinlichkeit bei Spielzug 100 für einige Spieler bereits auf nahezu Null gesunken. Oben rechts hat sich eine deutliche Kooperatoren-Insel gebildet. Allerdings nimmt die Zahl der Agenten schnell ab. Im vierten Bild bei Spielzug 200 hat sich die Kooperatoren-Insel (auf dem zu einem Torus<sup>23</sup> geschlossenen Spielfeld) ausgeweitet. Nur mehr wenige Agenten „mutieren“ ihre Strategie bei Geburt. Und im fünften Bild ganz rechts beträgt die Mutationswahrscheinlichkeit nach 500 Spielzügen für alle Agenten Null, das heißt die Agenten „erben“ zu 100% die Strategie ihres „Erzeugers“. Die Pay-off-Werte erlauben zwar noch immer keine stabile Dominanz der Kooperation - die Populationskurve zeigt eine typische Lotka-Volterra-Entwicklung (Abb. 4). Aber die Population bleibt in der Regel bestehen und Kooperation hat in ihr stabilen Bestand.

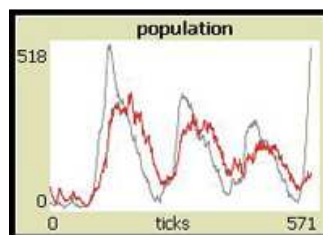


Abb. 4. Populationsentwicklung über 500 Spielzüge mit deutlich erkennbarer Lotka-Volterra-Oszillation.

Die Simulation führt ein Phänomen vor Augen, das verschiedentlich als „Ko-Evolution“ einander bedingender Wirkungen bezeichnet wird (vgl. u.a.: Jantsch 1980: 207) und das unter anderem Forschungsansätzen wie dem Konnektionismus und der Netzwerktheorie (u.a. Bechtel/Abrahamsen 2002) zugrunde liegt und damit vom „Atomismus“ kausaler Letztbegründungseinheiten auf den „Holismus“ *verteilter*, also „gleichzeitig ungleichzeitiger“ Repräsentationen umstellt. Emergenz und Immergenz der Kooperation im Sinne des gerade

<sup>22</sup> Die missverständliche Angabe „110“ daneben verdankt sich einer kleinen „Unschärfe“ des Simulationsprogramms Netlogo. Die Angabe bezieht sich auf das obere Ende des Darstellungsbereichs etwas über der 100%-Marge.

<sup>23</sup> Das Spielfeld ist oben und unten und links und rechts „informatisch“ zu einem Torus zusammen geschlossen, d.h. die Agenten an den Rändern haben die Agenten an den jeweils gegenüberliegenden Rändern zum unmittelbaren Nachbarn. Epistemologisch gibt es für sie keine Spielfeldgrenzen.

Besprochenen finden *gleichzeitig* statt. Keines lässt sich dem anderen kausal voraussetzen. Die Immergenz, also die „Verinnerlichung“ des Kooperationshabitus, wäre nicht ohne Emergenz kooperativer Cluster möglich. Gleichzeitig kann aber auch diese Emergenz nicht ohne Immergenz reüssieren. Das eine ist auf das andere angewiesen, ohne einander im Sinn eines klassischen Kausalverhältnisses vorausgesetzt oder aufeinander „reduziert“ werden zu können.

Auch im Hinblick auf das von Moritz Schlick und anderen (siehe oben Teil II, Punkt I) angesprochene Teil-Ganzes-Verhältnis impliziert dies eine prinzipielle Nicht-Ursächlichkeit des einen vor dem anderen. Es werden hier nicht „Teile“ zunächst als solche definiert, um dann an ihrer Summe festzustellen, dass sie dem „Ganzen“ nicht entspricht. Teile und Ganzes sind hier *nicht* ohne einander. Sie werden erst ko-evolutiv zu dem, als was sie erscheinen.

Dass freilich *retrospektiv* sodann sehr wohl festgestellt werden kann, dass, was zu Teilen wurde, in seiner Aggregation ein aus der bloßen Summe nicht erklärbares Phänomen erzeugt, gibt Anlass, auf jenen *Beobachter* zu rekurrieren, den die *Second-order*-Kybernetik (allen voran etwa Foerster, vgl.: 1993: 320f) und im Anschluss daran Niklas Luhmann konzeptioniert, einen Beobachter also, der selbst in der bezeichneten Weise als ko-evoluiert betrachtet wird, als solcher aber erst die Unterscheidung von Teil und Ganzem, von Ursache und Wirkung vorzunehmen im Stande ist. Mit diesem (konzeptuellen) Beobachter erhält der Emergenzbegriff eine konstruktivistische Wendung. Mit ihm wird deutlich, dass Emergenz – ebenso wie übrigens die seit Donaldson (1980) intensiv diskutierte „*supervenience*“ (vgl. u.a. Kim 1993, Chalmers 1996) – kein „Außenweltphänomen“ ist, sondern von einem *Beobachter* in Bezug auf seine je eigenen Wahrnehmungs- beziehungsweise Komplexitätsreduktionskapazitäten „konstruiert“ wird.

Um diesen Umstand deutlich zu markieren, sei hier abschließend noch kurz auf die Theorie Luhmanns und ihre Fassung von Emergenz eingegangen.

## VI. Autopoiesis

In seiner Konzeption geht Luhmann (vgl. u.a. 1984: 22) bekanntlich von „selbstreferentiell geschlossen“ („autopoietisch“) agierenden Systemen aus, die die sie konstituierende System/Umwelt-Differenz gewährleisten, indem sie sie auf Dauer stellen. „Selbstreferentiell geschlossen agieren“ bedeutet dabei, dass die Systeme die *für sie* relevanten Komponenten *selbst als solche festlegen*, dass sie also auch ihre eigenen Bedingungsverhältnisse, ihre „Ursachen“ nur nach Maßgabe ihrer eigenen Möglichkeiten als solche wahrnehmen. Den Grund dafür liefert die Komplexitätsproblematik.

Systeme würden in der Weise, wie wir dies wahrnehmen, schlichtweg nicht funktionieren, sprich weitermachen oder weiterbestehen, wenn sie mit den ihnen „entwicklungsgeschichtlich“ zugrunde liegenden Ursachen in all ihren Details zurande kommen müssten. Der Homeostasis endothermischer Lebewesen etwa mögen zwar einfache Sinnesrezeptoren für Temperaturwechsel, das heißt einzelne Nervenzellen und ihre Funktionsweise zugrunde liegen. Für die unzähligen Detailbedingungen dieser Einzelkomponenten - etwa die Versorgung mit Nährstoffen, die Grenzziehung und -erhaltung etc. - hat die Homeostasis selbst aber keinen Bedarf. Sie würde – etwas flapsig formuliert – schlichtweg überfordert sein, müsste sie sich um all die damit verbundenen, auf Ebene der Zellen wirksamen Aspekte kümmern. Sie hat, kurz gesagt, keinen „Sensor“ für diese Einzelaspekte. Sie funktioniert eben „selbstreferentiell geschlossen“. Das heißt, sie nimmt nur die *für sie* relevanten Komponenten *als solche wahr* und gewinnt erst damit ihre Operabilität.

Ähnlich die Märkte, denen ursprünglich wohl Tauschbedürfnisse einzelner Überschussproduzierender Individuen „zugrunde liegen“, die aber nicht so, wie wir dies kennen, funktionieren würden, müssten sie all die Details, die für diese Individuen relevant sind, im

Einzelnen prozessieren. Auch Märkte haben, kurz gesagt, keinen Sensor für diese Details. Die Marktteilnehmer leiden unter dieser „Entfremdung“ und nehmen die Märkte als „unmenschlich“ wahr. Gleichwohl funktionieren diese nur deshalb als Märkte, weil auf *ihrem* emergenten Niveau die Einzelschicksale der Tauschenden nicht existieren. Für die Marktteilnehmer mag dies eine unzulässige, etwa. „überzogen Nutzen-optimierende“ Abstraktion sein, die durch „Reduktion“ - etwa durch arbeitswerttheoretische Hinweise auf „wahre“ Grundbedürfnisse (vgl. dazu Füllsack 2008) etc. - „richtig“ gestellt werden könnte. Für die Märkte freilich ist ihre „*bounded*<sup>24</sup> *rationality*“ funktional.<sup>25</sup> Sie sehen nur, was sie sehen, sie operieren „selbstreferentiell geschlossen“. Das heißt, allgemein gilt: was solche Systeme als jeweils zugrundeliegende Elemente oder Ursachen wahrnehmen, unterliegt *ihrer eigenen spezifischen Perspektive*.<sup>26</sup>

Die Frage der Kausalität, der „echten Ursache“ eines Effektes, stellt sich damit für jedes System - und somit auch auf jeder emergenten Beobachtungsebene - *anders*. Nur so lässt sich mit Komplexität zurande kommen. Emergente Ordnungen definieren sich also geradezu dadurch, dass sie Komplexität reduzieren und so dem jeweiligen Zusammenhang ermöglichen, auf seiner spezifischen Ebene in der Zeit zu bestehen, sprich zu *funktionieren*. „Emergenz ist demnach nicht einfach Akkumulation von Komplexität, sondern Unterbrechung und Neubeginn des Aufbaus von Komplexität“ (Luhmann 1984: 44)

Dieser Umstand markiert eine erkenntnistheoretische Grenze für die Diskussion um Erklärbarkeit und Reduktion. Weil nach diesem Bild auch wir, die Beobachter der Emergenz, „selbstreferentiell geschlossen“ agieren und also Sensoren für bestimmte Ursache-Wirkungs-Beziehungen haben *und für andere nicht*, „reduzieren“ wir stets nur auf jene Ursachen, die wir überhaupt wahrnehmen. Zwar schaffen wir es mitunter, überaus unwahrscheinliche Ordnungen wie die des modernen Wissenschaftsbetriebs zu generieren, in dem die ihrerseits äußerst unwahrscheinliche Möglichkeit auf Dauer gestellt ist, handlungsentlastet die *Funktion* spezifischer evolutionärer Errungenschaften zu untersuchen und sie genau damit zu „*entfunktionalisieren*“. Uns gelingen damit immer wieder verblüffende „Reduktionen“, die auch vor „scheinbar“ überwältigender Komplexität nicht kapitulieren. Allerdings räumt dies das Problem der prinzipiellen Nichtwahrnehmbarkeit keineswegs aus. Es bleibt auf allen Ebenen im Spiel – und zwar ohne als solches unmittelbar sichtbar zu sein. Auch wir sehen nicht, was wir nicht sehen.

Für den Emergenzbegriff bedeutet dies, dass den Phänomenen nicht nur - gleichsam *objektivistisch*, sprich den Phänomenen als „Gegenstand“ -, eine spezifische, eben emergente *Ordnung* zugeschrieben werden kann, sondern dass diesen emergenten Ordnungen stets eine eigene *Logik*, gleichsam eine eigene Erkenntnisweise innewohnt. Emergente Ordnungen sind in diesem Sinn nicht nur beobachtete Phänomene, sondern Wahrnehmungsuniversen, *Epistemen*, aus denen nicht auszubrechen ist. Die Komplexitätsproblematik zwingt in ihnen zu Kausalketten und Versuchen der Reduktion. Ihr Beobachter freilich, in seiner wie immer nur temporären und instabilen Distanz, kann sehen, dass das kausale Dual von Ursache und Wirkung in ihnen oft „gleichzeitig ungleichzeitig“ agiert.

---

<sup>24</sup> Der epistemologisch *für sie* selbstverständlich nicht „bounded“ ist (und auch nicht „abstrakt“, im Hinblick auf eine dahinter vermutete nicht-abstrakte Realität), sondern einfach *ihre* genuiner Horizont.

<sup>25</sup> Ein weiteres, für Programmierer anschauliches Beispiel liefert diesbezüglich übrigens die Objekt-orientierte Programmierung. Gerade die Multi-Agenten-Simulation wäre in älteren nicht-objekt-orientierten Programmiersprachen mit der Vielzahl der einzelnen Parameter-feed-backs und ihren nicht-linearen Wirkungen restlos überfordert.

<sup>26</sup> Ein anderes anschauliches Beispiel für diese erkenntnistheoretische Bedingung liefert die Klimaanlage, die das brennende Haus, in dem sie steht, nur in Form steigender Temperatur wahrnehmen kann und damit als Anlass dafür, das Kühlsystem anzuwerfen.

## Literatur:

- Axelrod, Robert. (1984): *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books.
- Axelrod, Robert. (1997): *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration* New Jersey: Princeton University Press.
- Barabasi, Albert-Laszlo (2003): *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. New York (Plume)
- Bechtel, William / Abrahamsen, Adele (2002): *Connectionism and the Mind: Parallel Processing, Dynamics, and Evolution in Networks*. Cambridge, MA: Blackwell.
- Beckermann, Ansgar / Flohr, Hans / Kim, Jaegwon (eds.) (1992): *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*. Berlin: De Gruyter.
- Bertalanffy, Ludwig von (1968): *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, New York: George Braziller
- Castelfranchi, Cristiano (1998): *Simulating with Cognitive Agents: The Importance of Cognitive Emergence*; in: Sichman, Jaime S. / Conte, Rosaria / Gilbert, Nigel (eds.), *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*. Berlin/Heidelberg: Springer, p. 26-44.
- Chalmers, David (1996): *The Conscious Mind*. New York: Oxford UP.
- Churchland, Paul M. (1985): *Reduction, Qualia, and the Direct Introspection of Brain States*; in: *The Journal of Philosophy* 82, p. 8-28.
- Davidson, Donald (1980): *Essays on Actions and Events*. Oxford, Oxford University Press.
- Dennett, Daniel C. (2003): *Freedom Evolves*. London: Pinguin.
- Devaney, Robert L. (2003): *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems (2<sup>nd</sup> edition)* Boulder, CO Westview.
- DeWitt, Bryce Seligman / Graham, R. Neill (eds.) (1973): *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press.
- Fodor, Jerry (1974): *Special sciences*, in: *Synthese* 1974/28, p. 97-115
- Fodor, Jerry / Lepore, Ernest (1992): *Holism: A Shopper's Guide*, Cambridge: Blackwell.
- Engels, Friedrich (1940): *The Dialectics of Nature*, New York, International Publishers.
- Epstein, Joshua M. / Axtell, Robert (1996): *Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up*. Cambridge, MA: MIT Press
- Epstein, Joshua M. (1998): *Zones of Cooperation in Demographic Prisoner's Dilemma*, in: *Complexity* 4 (2): p. 36-48.
- Epstein, Joshua M. (2006): *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton.
- Foerster, Heinz von (1993): *Was ist Gedächtnis, daß es Rückschau und Vorschau ermöglicht?*; in: ders. *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke* (Hrsg. v. S.J. Schmidt), Frankfurt/M (stw), S. 299-336.
- Füllsack, Manfred (2008): *Aus dem Ruder ... Gehirn und Person aus systemtheoretischer Sicht*; in: Fürstl, Martina / Gombocz, Wolfgang / Hiebaum, Christian (Hrsg.): *Gehirne und Personen*. Heusenstamm: ontos, S. 305-317.
- Gilbert, Nigel (1995): *Emergence in Social Simulation*; in: Gilbert, Nigel / Conte, Rosaria (eds.) *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*. London: UCL Press. p. 144-156.
- Gilbert, Nigel (2002): *Varieties of Emergence*; in Internet unter: [http://www.soc.surrey.ac.uk/staff/ngilbert/ngpub/paper148\\_NG.pdf](http://www.soc.surrey.ac.uk/staff/ngilbert/ngpub/paper148_NG.pdf) (17.3.2009)
- Hamilton, William D. (1971): *Geometry for the Selfish Herd*; in: *Journal of Theoretical Biology*. 31: p. 295-311.
- Hardin, Garrett (1968): *The Tragedy of the Commons*; in: *Science* 162, 1243-1248.
- Hewitt, Carl (2009): *Client cloud computing: The Paradigm Shift from "Inconsistency Denial" to "Semantic Integration"*, unter <http://carlhewitt.info> (26.2.2009).
- Holland, John H (1998): *Emergence. From Chaos to Order*. Oxford-New York. Oxford University Press.
- James, Susan (1984): *The Content of Social Explanation*. Cambridge MA: Cambridge University Press.
- Jantsch, Erich (1980): *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*. New York: Pergamon Press.
- Kahneman, Daniel / Tversky Amos (2000): *Choices, Values and Frames*. Cambridge, Mass.: Cambridge UP.
- Kauffman, Stuart (1993): *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Kim, Jaewong (1993): *Supervenience and Mind: Selected Philosophical Essays*. Cambridge/New York, Cambridge University Press.
- Kim, Jaewong (1999): *Making Sense of Emergence*; in: *Philosophical Studies* 95/1999, p. 3-36.
- Kim, Jaegwon (2005): *Physicalism, or something near enough*, Princeton: Princeton University Press.
- Koch, Christof / Crick, Francis (2001): *The Zombie within*; in: *Nature* 411, p. 893.
- Krugman, Paul (1996): *The Self-Organizing Economy*. Cambridge, MA (Blackwell Publishers Inc.).
- Laplace, Pierre Simon (1840) *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris: Bachelier.
- Levins, Richard / Lewontin, Richard (1985): *The Dialectical Biologist*, Cambridge, Harvard University Press.

- Lewin, Roger (1992). *Complexity: Life at the Edge of Chaos*. New York: Macmillan Publishing Co.
- Libet, Benjamin (2004): *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness*. Cambridge MA: Harvard University Press.
- Lloyd, Seth (2006): *Programming the Universe. A Quantum Computer Scientist takes on the Cosmos*. New York: Vintage Books.
- Lorenz, Edward N. (1963): Deterministic Nonperiodic Flow; in: *Journal of the Atmospheric Sciences*. Boston Vol. 20.1963/2, p. 130–141.
- Luhmann, Niklas 1984: *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Luhmann, Niklas (1997): *Die Gesellschaft der Gesellschaft*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- May, Robert M. (1973): *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton: Princeton University Press.
- McLaughlin, Brian P. 1992. The Rise and Fall of British Emergentism; in: Beckermann/Flohr/Kim (eds.): *Emergence or Reduction?* Berlin: De Gruyter, p. 49-93.
- Merton, Robert K. (1988): The Matthew Effect in Science, II: Cumulative Advantage and the Symbolism of Intellectual Property; in: *ISIS* 79/1988, S. 607-623.
- Mirollo, Renato E. / Strogatz, Steven H. (1990): Synchronization of pulse-coupled Biological oscillators; in: *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol. 50, no. 6, p. 1645–1662.
- Mitchell, Sandra (2008): *Komplexitäten. Warum wir erst anfangen, die Welt zu verstehen*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Monod, Jacques (1975): *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie*. München: dtv.
- Nagel, Ernest: (1961): *The Structure of Science*. New York: Harcourt, Brace and World.
- Olson, Mancur, Jr. (1965): *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Goods*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Oppenheim, Paul / Putnam, Hilary (1958): The Unity of Science as a Working Hypothesis; in: *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 1958/2, pp. 3-36.
- Putnam, Hilary (1967): Psychological Predicates, in: Captain, William H. / Merrill Daniel D. (eds.): *Art, Mind and Religion*. Pittsburgh: Pittsburgh UP, p. 37-48.
- Rapoport, Anatol / Chammah, Albert M. (1965): *Prisoner's Dilemma*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Rousseau, Jean-Jacques (1755/1964): *Discours sur l'Origine et les Fondements de l'Inégalité, Seconde Partie, 3 Oeuvres Complètes* (Jean Starobinski ed.) Paris: Pléiade.
- Russell, Bertrand (1931): *The Scientific Outlook*, New York: W.W. Norton, S. 129-30.
- Sawyer, Robert Keith (2001): Emergence in Sociology: Contemporary Philosophy of Mind and some Implications of Sociological Theory; in: *American Journal of Sociology* 107: 551-585.
- Sawyer, Robert Keith (2005): *Social Emergence: Societies As Complex Systems*. Cambridge MA: Cambridge University Press.
- Schaffner, Kenneth F. (1993): *Discovery and Explanation in Biology and Medicine*. Chicago: University of Chicago Press.
- Schelling, Tom C. (1971): Dynamic Models of Segregation; in: *Journal of Mathematical Sociology* 1/1971, p. 143-186.
- Schlick, Moritz (1935/2008): Über den Begriff der Ganzheit; in: Moritz Schlick, *Gesamtausgabe. Die Wiener Zeit. Aufsätze, Beiträge, Rezensionen 1926-1936*, Wien: Springer, S. 553-557.
- Schütz, Alfred (1972): Der Fremde. Ein sozialpsychologischer Versuch; in: Schütz, Alfred, *Gesammelte Aufsätze. Band 2: Studien zur soziologischen Theorie*. Den Haag, S. 53-69.
- Simon, Herbert A. (1964): *Models of Man. Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*. New York London.
- Stephan, Achim (2005): *Emergenz. Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation*, Paderborn: Mentis.
- Strogatz, Steven (2003): *Sync. How Order emerges from Chaos in the Universe, Nature and Daily Life*. New York: Hyperion.
- Weaver, Warren (1948): Science and Complexity; in: *American Scientist* 36, p. 536.
- Weiss, Peter (1999): Stop-and-go science; in: *Science News* 156, p. 8-10.
- Wolfram, Stephen (2002): *A New Kind of Science*. Wolfram Media, Inc.
- Woodward, James (2003): *Making things Happen. A Theory of Causal Explanation*. Oxford-New York. Oxford University Press.
- Zeeman, Eric Christopher (1977): *Catastrophe Theory – Selected Papers 1972-1977*. Reading Mass.