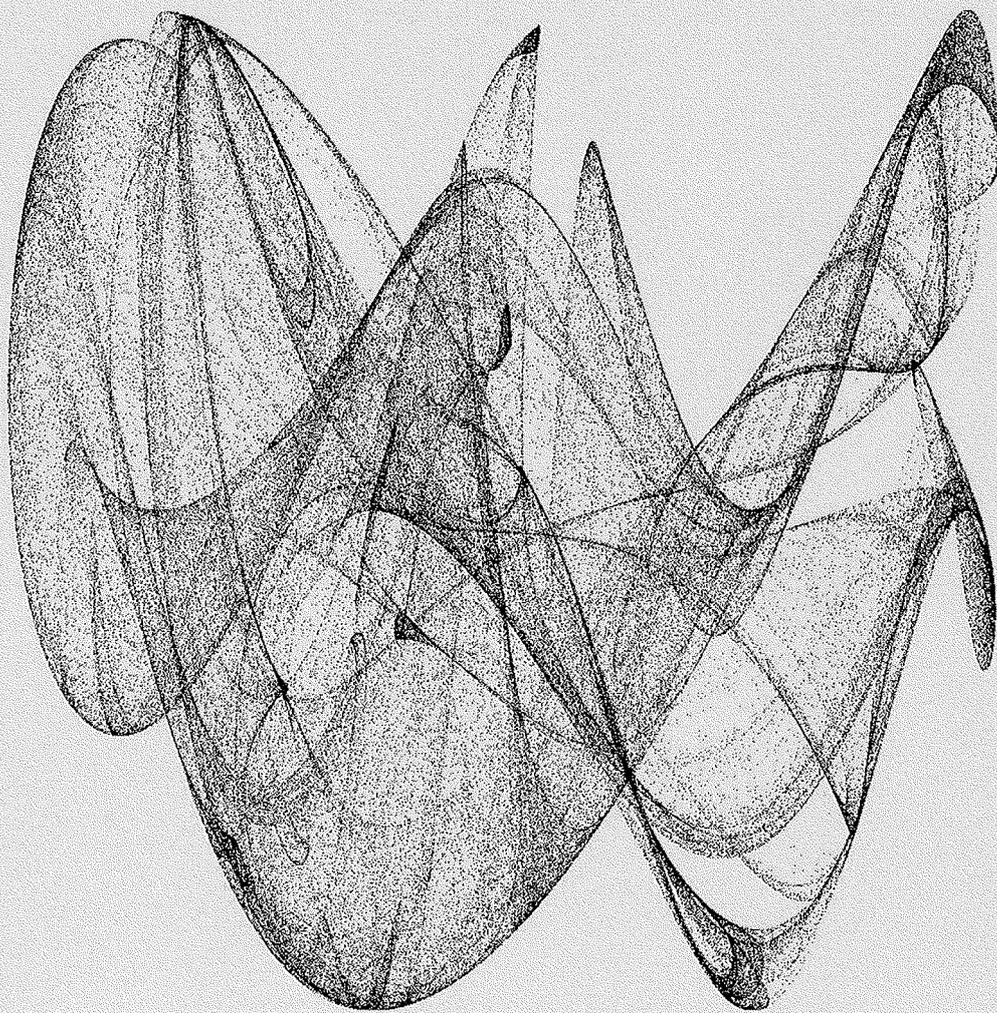


# Die Simulation komplexer Systeme

Forschen in der Von-Neumann-Galaxie



# IWK

## Die Simulation komplexer Systeme Forschen in der Von-Neumann-Galaxie

HRSG. VON MANFRED FÜLLSACK

Manfred Füllsack VORWORT .....	2
Wolfgang Radax, Bernhard Rengs ANWENDUNG VON MULTIAGENTENSIMULATIONEN IN DER KOOPERATIONSTHEORIE .....	4
Roman Seidl SEGREGATION ALS SELF-ORGANIZED-CRITICALITY: EIN TOLERANZBASIERTES NACHFRAGEMODELL FÜR GENTRIFICATION .....	13
Ernst Gebetsroither DIE KOMBINATION VON MULTI-AGENTENBASIERTER MODELLIERUNG MIT <i>SYSTEM DYNAMICS</i> .....	20
Volker Hafner SINNVERLUST DURCH KOMPLEXITÄTSREDUKTION: DIE AUSWIRKUNGEN DES TECHNISCHEN FORTSCHRITTS AUF DAS TECHNOKRATIE-TABU IN POLITIK UND RECHT .....	28
Peter Karl Fleissner MATHEMATISCHE MODELLIERUNG UND COMPUTERSIMULATION ALS WIDERSPIEGELUNGSPROZESSE .....	32
Manfred Füllsack DIE ARBITRARITÄT DER ZEICHEN. ODER: WAS WIDERSPIEGELT EIN GLIDER? SIMULATIONEN UND DIE UNTERSCHIEDUNG VON BEOBACHTETEM UND EIGEN-VERHALTEN KOMPLEXER SYSTEME .....	47
AUTORENVERZEICHNIS .....	56

ISSN: 0020 - 2320

MITTEILUNGEN DES INSTITUTS FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST  
65. JAHRGANG, 2010, NR. 1-2, EURO 12,50

Linie des Blattes: Verständigung der Öffentlichkeit über die Arbeit des Instituts für Wissenschaft und Kunst sowie Veröffentlichungen von wissenschaftlichen Arbeiten, die damit in Zusammenhang stehen. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben die Meinung der AutorInnen wieder und müssen nicht mit der redaktionellen Auffassung übereinstimmen. Umschlagbild: Die Abbildung am Cover zeigt einen sogenannten Peter De Jong-Attraktor, der sich durch Iteration der Gleichungen  $x_{n+1} = \sin(a y_n) - \cos(b x_n)$  und  $y_{n+1} = \sin(c x_n) - \cos(d y_n)$  ergibt.

Eigentümer, Herausgeber und Verleger: Institut für Wissenschaft und Kunst. Redaktion und Layout: Thomas Hübel. Covergestaltung: Martina Gaigg. Alle: 1090 Wien, Berggasse 17/1, Telefon / Fax: (1) 317 43 42, email: [iwk.institut@aon.at](mailto:iwk.institut@aon.at), Homepage: <http://www.univie.ac.at/iwk>

Druck: AV + Astoria Druck, 1030 Wien, Faradaygasse 6, Telefon: (1) 797 85-0 / Fax: (1) 797 85-218

## VORWORT

Noch 1996 konnte Stephan Hartmann vom „Beginn der Simulations-Ära“ sprechen. Heute, vierzehn Jahre später, scheinen wir einigermaßen weit in diese Ära vorgedrungen. Computer-gestützte Simulationen sind zu allgegenwärtigen Test-, Analyse-, Kontroll-, Lern- und Unterhaltungsinstrumenten geworden. In den Wissenschaften werden sie mittlerweile in nahezu allen wissenschaftlichen Disziplinen verwendet. In vielen Fächern sind sie sowohl aus der Forschung, wie auch immer mehr aus der Lehre kaum wegzudenken. Ihr Einsatzgebiet reicht von den technischen Fächern über die Physik, die Biologie, die Medizin, die Ökonomie, die Sozialwissenschaften bis hin zu so (scheinbar) Technik-fernen Disziplinen wie der Kunstwissenschaft, der Geschichtsforschung oder der Philosophie. Die Beiträge in diesem Heft vermitteln einen Eindruck von der Bandbreite ihres Einsatzgebietes vor allem in sozialwissenschaftlichen und philosophischen Fächern.

Die Anwendungsbereiche und Vorteile der Computer-gestützten Simulation lassen sich heute kaum noch erschöpfend aufzählen. Neben ihrem nicht zu verachtenden Unterhaltungseffekt und ihrer ebenfalls kaum hoch genug einzuschätzenden didaktischen und pädagogischen Wirkung, punktet sie in den Wissenschaften vor allem da, wo es um die analytische Erfassung von Dynamiken geht, die in ihrem Zusammenwirken *Komplexität* generieren. Von einer *Simulation komplexer Systeme* zu sprechen, kommt in diesem Zusammenhang allerdings beinahe einem Pleonasmus gleich, gehört es doch zum Wesensmerkmal komplexer Systeme, vielen herkömmlichen wissenschaftlichen Methoden – allem voran der Intuition – unzugänglich zu bleiben (für ein Beispiel solcher kontra-intuitiver Effekte vgl. etwa Abb. 1 und 2). Dass sich soziale Kooperation etwa in der Aggregation vieler eigennütziger Akteure stabilisiert, scheint auf den ersten Blick nicht nahe zu liegen (vgl. dazu den Beitrag von Wolfgang Radax und Bernhard Rengs in diesem Heft). Und auch wenn sich das Zusammenwirken einiger weniger Dynamiken – etwa nach dem Vorbild von Räuber-Beute-Beziehungen – noch mittels mathematisch-analytischer und im Anschluss daran graphischer Methoden (siehe IWK-Themenheft „Tabellen – Kurven – Piktogramme. Techniken der Visualisierung in den Sozialwissenschaften“, Nr. 1-2/2009) untersuchen lässt, so stößt die Methode spätestens bei Aggregationen, wie sie für sozialwissenschaftliche, mehr noch für physikalische Settings typisch sind, schnell an ihre Grenzen. Vielen gewöhnlichen Differenzialgleichungssystemen (ODEs) und fast allen partiellen Differenzialgleichungen (PDEs) bleibt ein analytischer Lösungsweg versagt. Solche Zusammenwirkungen erschließen sich nur mehr iterativ. Hier punktet die Computersimulation.

Freilich birgt die Simulation auch Risiken, die insbesondere in den Sozialwissenschaften bedacht werden wollen. Die Möglichkeit, mittlerweile auch sehr viele Parameter in Verbindung zu setzen und damit der Vorstellung zu erlie-

gen, einer Abbildung der „Wirklichkeit“ nahezukommen, verleitet dazu, die Simulation, mehr als ihr gut tut, zur *Prognose* heran zu ziehen. Schon die ersten größeren „Erfolge“ dieser Methode in den 1970er Jahren erlagen dieser Gefahr. In der berühmten Studie *The Limits to Growth* (Meadows et al. 1972) etwa aus dem Jahr 1972 wurden erstmals Computer eingesetzt, um ökonomische und ökologische Entwicklungen im globalen Maßstab zu prognostizieren, nur um in Folge schnell festzustellen, welche komplexes Phänomen die Vorhersage selbst ist. Ähnlich ambitioniert wurde in Chile zu Zeiten Allendes versucht, die gesamte Wirtschaft des Landes einem Computersystem namens *Cybersyn* anzuvertrauen (Medina 2006). Und auch dieses Vorhaben scheiterte kläglich an seiner Komplexität. Zwar wird nach wie vor diskutiert, inwiefern die schwache empirische Basis, die politischen Gegebenheiten oder auch die mangelnde Leistungsfähigkeit damaliger Rechner am Scheitern dieser und ähnlicher Projekte schuld waren. Die grundsätzliche Problematik der Vorhersagbarkeit bleibt aber bestehen. Zum einen sitzen Prognosen, sofern sie nicht-lineare Dynamiken betreffen – wie spätestens seit dem Lorenz'schen Schmetterlingseffekt bekannt ist (Lorenz 1963) – der Schwierigkeit auf, kaum jemals hinreichend exakte Ausgangsdaten zur Verfügung zu haben. Selbst vernachlässigbar scheinende Datenunterschiede zeigen höchst unterschiedliche Wirkungen. Das „deterministische Chaos“ widersetzt sich jedem Versuch, es zu fassen.

Zum zweiten erliegt die Prognose in der Regel auch einer für komplexe Systeme typischen Selbstbezüglichkeit. Je erfolgreicher die Simulation nämlich eine Entwicklung vorhersagt – gedacht sei etwa an Börsenwerte oder Wechselkurse –, umso attraktiver wird es, sie zu verwenden und entsprechende Transaktionen daran zu orientieren. Genau dies unterspült den Erfolg der Prognose. Börsenwerte verhalten sich, wenn sie *massenhaft* vorhergesagt werden, garantiert anders als prognostiziert.

Für Prognosen wäre die Simulation also mit Bedacht zu verwenden. Dass sie in Maßen trotzdem durchaus erfolgreich sein kann, zeigt der tägliche Wetterbericht. Und natürlich liegt es nahe, Simulationen in begrenztem Rahmen auch zur Untersuchung etwa des Verhaltens von Systemen zu verwenden, in die in einer Weise eingegriffen wird, wie sie die Realität kaum erlaubt, beziehungsweise nicht ohne gravierende Beeinträchtigungen übersteht. Ökologische Zusammenhänge etwa vorab auf die Folgen massiver Eingriffe – dem Bau einer Autobahn, das Aussetzen Genmanipulierter Pflanzen etc. – hin zu überprüfen, kann keinesfalls schaden. Genauso wie es Sinn macht, Stadtentwicklungen in Bezug auf Verkehrsaufkommen, Gentrifikation, Größenwachstum etc. zu planen. Oder auch zu versuchen, den Möglichkeitsraum teurer Experimente – etwa in der Teilchenphysik, der Medizin, der Pharmazie – vorab mit Hilfe von Simulationen einzuschränken.

Ihren größten Nutzen dürfte die Simulation freilich als Werkzeug zur Hypothesenbildung entfalten. Zwar liefert sie, weil niemals alle Faktoren zu erfassen sind, keine strengen Beweise. Wenn aber Zusammenwirkungen genau kontrollierbarer Parameter ein Verhalten erzeugen, dem bisher andere Ursachen zugeschrieben wurden, so ist dies in der Regel doch in der Lage, wissenschaftliche Suchrichtungen erfolgreich zu orientieren. „If you did'nt grow it, you did'nt explain it“ meinte Joshua Epstein (2007: xii) diesbezüglich zur Erklärungskraft von Simulationen. Zumindest wissen Simulanten gewöhnlich, welche Aspekte eines Zusammenhangs in ihrem Modell (noch) *nicht* berücksichtigt wurden. Und schon dies liefert nicht selten den entscheidenden Mehrwert.

Das vorliegende Heft versammelt die Beiträge einer seit dem Wintersemester 2009 am Wiener *Institut für Wissenschaft und Kunst* durchgeführten Vortragsreihe mit unterschiedlichen disziplinären und inhaltlichen Ansätzen. Die Palette reicht von der Analyse der Simulationsspezifika spieltheoretischer Interaktionen im Demographischen Gefangenendilemma (Wolfgang Radax und Bernhard Rengs) über den Entwurf eines Gentrifikationsmodells, das die selbst-organisierte Kritizität entsprechender Entwicklungen zu fassen sucht (Roman Seidl), einem Projekt zur Integration unterschiedlicher Modellierungsparadigmen (Ernst Gebetsroither), einen systemtheoretisch-orientierten Befund zum epistemologischen Status von Simulationen unter

weltgesellschaftlichen Bedingungen (Volker Hafner), einer marxistisch-inspirierten Deutung von Computersimulationen als „Widerspiegelungen“ einer externen „Realität“ (Peter Fleissner) bis hin zum Versuch, die Stimmigkeit von Widerspiegelungstheorien mithilfe eines simulierten Kommunikationsprozesses zu hinterfragen (Manfred Füllsack).

LITERATUR:

Epstein, Joshua M. (2007): *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling* (Princeton Studies of Complexity). Princeton University Press, Princeton, NJ.  
 Füllsack, Manfred (2011): *Gleichzeitige Ungleichzeitigkeiten. Eine Einführung in die Komplexitätsforschung*. Wiesbaden. VS-Verlag.  
 Hartmann, Stephan (1996): *The World as a Process: Simulations in the Natural and Social Sciences*; in: Hegselmann, Rainer et.al. (eds.), *Simulation and Modelling in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View. Theory and Decision Library*. Kluwer: Dordrecht 1996, pp. 77-100.  
 Lorenz, Edward N. (1963): *Deterministic Nonperiodic Flow*; in: *Journal of the Atmospheric Sciences*. vol. 20, No. 2, pp. 130–141.  
 Meadows, Dennis L. / Meadows, Donella H. / Randers, Jørgen / Behrens, William W. III (1972): *The Limits to Growth*. Universe Books.  
 Medina, Eden (2006): *Designing Freedom, Regulating a Nation: Socialist Cybernetics in Allende's Chile*; in: *Journal for Latin American Studies* 38, p. 571–606.

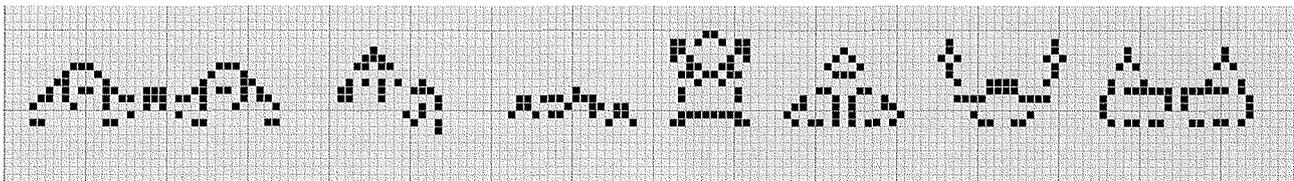


Abb. 1a. Sieben unterschiedliche *Game-of-Life*-„Space ships“ bei „Spielzug“  $t = 0$  (erzeugt mit *Golly*, der *Game-of-Life*-Applikation von Tomas Rokicki, Andrew Trevorrow, Dave Greene, Jason Summers und Tim Hutton, abrufbar unter <http://golly.sourceforge.net/>).

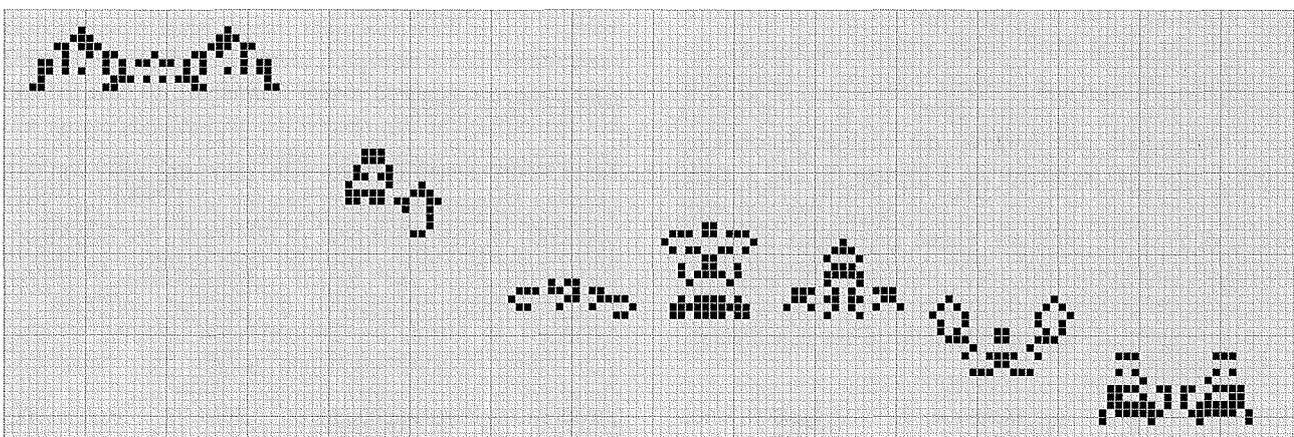


Abb. 1b. Dieselben *Game-of-Life*-„Space ships“ bei „Spielzug“  $t \approx 150$  (Fortbewegungsrichtung nach oben).

Das von John H. Conway um 1970 vorgeschlagene *Game of Life* stellt (in seiner Computer-technischen Umsetzung) ein bekanntes Beispiel für eine Simulation eines Systems dar, das im Kern sehr einfachen, deterministischen Regeln gehorcht, aber hoch-komplexe Entwicklungen generieren kann. Die beiden obigen Abbildungen zeigen sogenannte *Space ships*, die sich im *Game of Life* herstellen lassen und – obwohl das System selbst nur einer einzigen, stets gleichen Taktung unterliegt – unterschiedliche „Geschwindigkeiten“ annehmen. Das heißt, das System, das selbst nur *einer Zeit* unterliegt, diskriminiert (für einen Beobachter) *Zeitunterschiede* (vgl. ausführlicher zum *Game of Life* und zur Theorie komplexer Systeme: Füllsack 2011).

WOLFGANG RADAX, BERNHARD RENGES

**ANWENDUNGEN VON MULTIAGENTENSIMULATION IN DER KOOPERATIONSTHEORIE<sup>1</sup>**

Die Evolution von Kooperation zwischen egoistischen Individuen hat einige Aufmerksamkeit von Wissenschaftlern verschiedenster Disziplinen auf sich gezogen – von der Biologie über die Politikwissenschaften bis zur Ökonomie. Aus diesen Bemühungen resultierte der Bereich der Kooperationstheorie, angeführt vor allem durch die bahnbrechenden Arbeiten von Robert Axelrod (vgl. Axelrod 1984 und Axelrod 1997). Üblicherweise als Gefangenendilemma formuliert, besteht die Herausforderung darin, Umstände zu finden, welche die Entstehung von Kooperation ermöglichen, oder Strategien zu finden, die in einer Vielzahl von Situationen einen hohen Nutzen bringen.

Das ursprüngliche Gefangenendilemma nach Tucker beschreibt ein spieltheoretisches Nicht-Nullsummenspiel, in dem zwei straffällige Komplizen erstmals (d.h. ohne gemeinsam eine vergleichbare Situation durchgemacht zu haben) und ohne die Möglichkeit einer vorherigen Absprache, getrennt voneinander gleichzeitig eine strategische Entscheidung treffen müssen. Es ist dies die Wahl, die Tat zu verschweigen oder den Anderen zu verraten. Aus den beiden Handlungsoptionen der zwei Spieler resultieren somit vier mögliche Ausgänge. Wenn beide Spieler schweigen, kann ihnen kein schweres Verbrechen nachgewiesen werden und sie dürfen sich nach Absitzen einer kleinen Strafe ihrer Freiheit sicher sein. Wenn sich jedoch die beiden Spieler gegenseitig verraten, so werden beide zu einer nicht unbeträchtlichen Haftstrafe verurteilt. Schweigt ein Spieler, während der Andere die Tat gesteht, so erhält der Schweigende das volle Strafmaß und der Geständige erhält als Dank für seine Hinweise die Freiheit. Das gemeinsame optimale Resultat wäre beidseitiges Schweigen, doch es zeigt sich, dass ohne die Möglichkeit von Koordination und aufgrund der Angst davor, selbst verraten zu werden, gegenseitiger Verrat die „individuell optimale“ Entscheidung darstellt. Verrat ist individuell optimal, da er in Unkenntnis der Entscheidung des Anderen die höchste Auszahlung liefert: Freiheit (V) ist besser als 6 Monate (S) und 5 Jahre (V) sind besser als 10 Jahre (S), man spricht hier von einer streng dominanten Strategie. Diese Diskrepanz zwischen individuell optimalem und sozial optimalem Ausgang gibt dem Gefangenendilemma denn auch seinen Namen. Abbildung 1 illustriert diese Zusammenhänge als spieltheoretische Normalform.

	Spieler 2 schweigt	Spieler 2 verrät
Spieler 1 schweigt	Jeder sitzt 6 Monate	Spieler 1: 10 Jahre Spieler 2: Freiheit
Spieler 1 verrät	Spieler 1: Freiheit Spieler 2: 10 Jahre	Jeder sitzt 5 Jahre

Abbildung 1: Normalform des Gefangenendilemmas

Die verallgemeinerte Version des Gefangenendilemmas betrachtet nun lediglich die Grundvorstellung von Kooperation und Nicht-Kooperation (Defektion). Aufgrund der Analogie dieser hypothetischen Situation mit einer Vielzahl von real relevanten Phänomenen erfreut sich dieses einfache Modell großer Beliebtheit über viele wissenschaftliche Disziplingrenzen hinweg. Das Gefangenendilemma wurde in etwa zur Illustration des atomaren Wettrüstens (abrüsten/aufrüsten) oder auch für Kartelle (Kartellpreis halten/unterbieten) herangezogen. Spieltheoretisch gesehen ist jedes Spiel mit der in Abbildung 2 dargestellten Auszahlungsstruktur ein Gefangenendilemma.

	Spieler 2 kooperiert	Spieler 2 defektiert
Spieler 1 kooperiert	Spieler 1: R Spieler 2: R	Spieler 1: S Spieler 2: T
Spieler 1 defektiert	Spieler 1: T Spieler 2: S	Spieler 1: P Spieler 2: P

Abbildung 2: Normalform des verallgemeinerten Gefangenendilemmas

Die Auszahlungen (Nutzensgewinne) müssen dabei folgende Bedingungen erfüllen:  $T > R > P > S$ .<sup>2</sup> Wie oben bereits indiziert, führt diese Konstellation für ein einmaliges Spiel zum Resultat gegenseitiger Defektion, wir sind also mit einer Ausgangssituation konfrontiert, in welcher Kooperation nicht zustande kommt.

WIEDERHOLTE SPIELE

Neue Möglichkeiten ergeben sich, wenn das Spiel von den gleichen Spielern wiederholt gespielt wird. Wird das Spiel unendlich oft wiederholt bzw. ist die Anzahl der Begegnungen a priori den beiden Spielern nicht bekannt, so erweist sich beidseitige Kooperation als optimale Strategie. Ist hingegen die Anzahl der Begegnungen bekannt, so lässt sich mittels Rückwärtsrechnung zeigen, dass beidseitige Defektion in allen Runden resultiert. Doch auch auf diese Situation hat die Kooperationstheorie eine optimistisch stimmende Antwort gefunden. Nimmt man an, dass die Spieler über ein Erinnerungsvermögen hinsichtlich der vergangenen Runden verfügen, können nun Strategien angewendet werden, welche auf das bisherige Verhalten des anderen Spielers reagieren können. D.h., es können komplexere Strategien aus den elementaren Strategien Kooperieren und Defektieren zusammengesetzt werden. Für solche wiederholten Spiele hat Axelrod gezeigt, dass

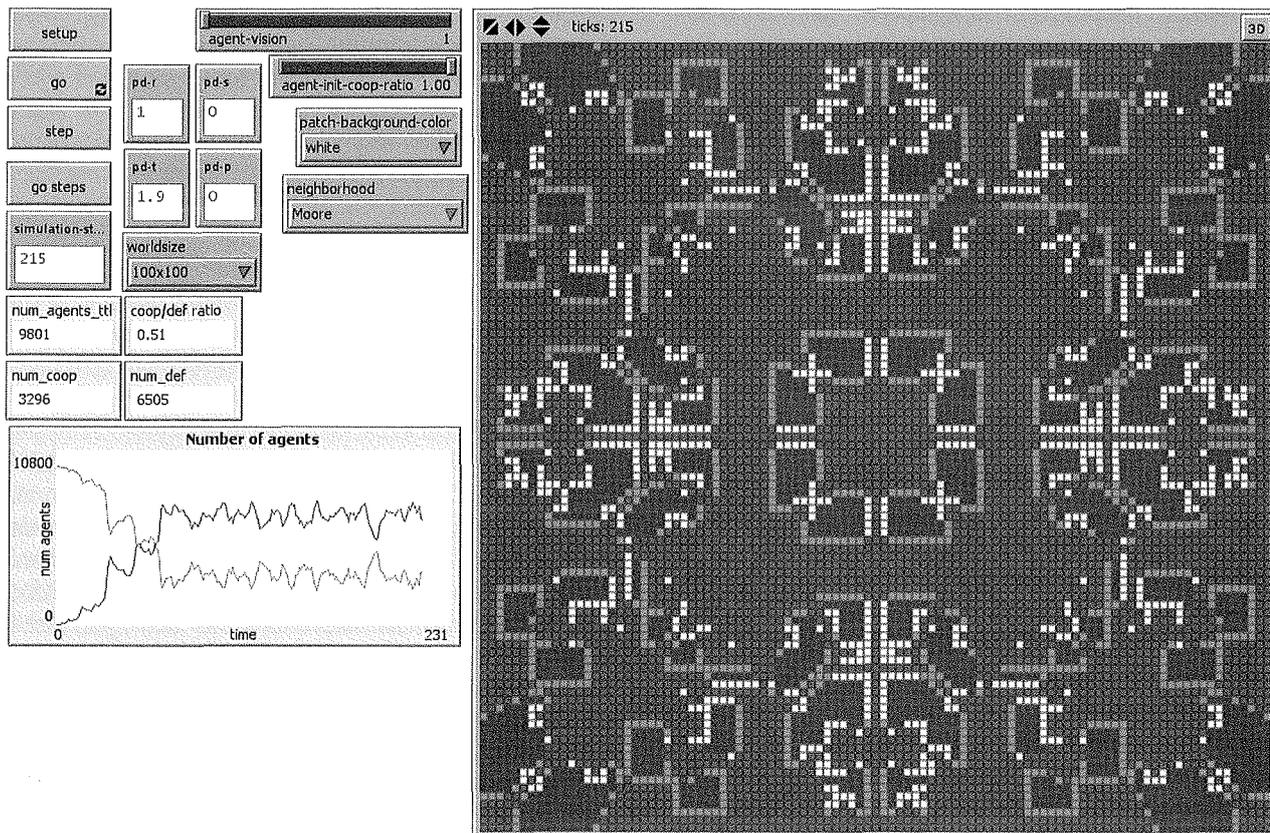


Abbildung 3: Räumliches Gefangenendilemma nach Novak und May, reimplementiert in Netlogo

Tit-for-Tat (kurz TFT, sinngemäß „Wie du mir, so ich dir“) eine sehr effektive Strategie darstellt, da sie sich sowohl gegen Verräter als auch Kooperatoren, sowie gegen eine große Anzahl zusammengesetzter Strategien (wie auch TFT selbst), gut bewährt. Ein TFT-Spieler beginnt ein Spiel immer mit Kooperation. Wie der Name der Strategie bereits erahnen lässt, erwidert der Spieler in jeder folgenden Runde die vorangegangene Aktion des Gegners. Defektion des Gegners wird somit in der folgenden Runde mit eigener Defektion vergolten, während Kooperation mit Kooperation belohnt wird. In Gegenwart dieser Strategie erweisen sich nur kooperationsbereite Strategien als erfolgsträchtig; auf diese Weise kann Kooperation bei endlich oft wiederholten Spielen bestehen.

Nowak und May (Nowak / May 1993) präsentierten einen weiteren interessanten Ansatz und versuchten zu zeigen, dass in einem räumlichen Kontext mit mehreren Spielen langfristige Kooperation auch mit erinnerungslosen Strategien möglich ist. Das dabei eingesetzte Simulationsmodell war jedoch aus mehreren Gründen nicht unproblematisch. Die Kombination einer starren Aktivierungsreihenfolge und dieser rigiden Kontrolle der Anfangsbedingungen führt zu einer sehr künstlichen Ordnung, welche die Robustheit der Ergebnisse in Frage stellt. Für eine gegebene Anfangsaufstellung führt das Modell immer zum selben Ergebnis/Muster.

Abbildung 3<sup>3</sup> zeigt den Zustand der Simulation des räumlichen Gefangenendilemmas nach Nowak und May nach 215 Perioden (reimplementiert in Netlogo<sup>4</sup>). Die Muster zeigen deutlich den stark geordneten, deterministischen Charakter der Simulation.

Kurz darauf zeigten Huberman und Glance (Huberman / Glance 1993), dass das Überleben von Kooperation in diesem Modell tatsächlich sehr stark von dieser sehr speziellen zeitlichen Abfolge/Reihenfolge abhing. In dem plausibleren Fall, dass es keine völlig gleichzeitigen Aktionen mit konstanter Aktivierungsreihenfolge gibt (also asynchrones Updating mit zufälliger Reihenfolge), konnten sich keine Kooperations-Cluster bilden.

Einige Zeit später zeigte Epstein (Epstein 1998), dass ein räumlicher Kontext sehr wohl der richtige Weg ist, um langfristige Kooperation zwischen Fremden mit einfachsten Mitteln zu ermöglichen. Im Gegensatz zu früheren Ansätzen, können sich Agenten (Spieler) frei innerhalb eines definierten Raumes bewegen und sich außerdem vermehren. Wenn sie einen anderen Agenten treffen, dann spielen sie gegen diesen eine Runde Gefangenendilemma, wobei ein Agent immer seine angeborene Strategie (Kooperation oder Defektion) spielt. Obwohl die Agenten keine Erinnerung haben und die anderen Agenten nicht erkennen können, zeigt sich, dass Kooperation bestehen kann. Im folgenden Teil betrachten wir das demographische Gefangenendilemma etwas genauer, welches technisch gesehen eine sehr überschaubare Multiagentensimulation ist. Dabei halten wir uns eng an die ursprüngliche Version aus Epsteins Artikel.

#### DAS DEMOGRAPHISCHE GEFANGENENDILEMMA (DGD)

Das demographische Gefangenendilemma wird auf einer zweidimensionalen Ebene (30x30 Matrix) mit überlappen-

den Rändern gespielt, was topographisch gesehen einem Torus entspricht. Zu Beginn werden 100 Agenten an zufälligen Punkten auf diesem Torus verteilt. Jeder dieser Agenten wird bei der Geburt mit einer Grundausstattung an Ressourcen und einer fixen Strategie (kooperieren (C) oder defektieren (D)) ausgestattet. Diese Strategie wird zum Startzeitpunkt mit gleicher Wahrscheinlichkeit zufällig auf die Anfangspopulation verteilt. In jeder Runde kann sich jeder Agent zufällig auf eines der vier benachbarten Felder innerhalb seiner Von-Neumann-Nachbarschaft bewegen<sup>5</sup> (Abbildung 4), falls eines dieser Felder unbesetzt ist.

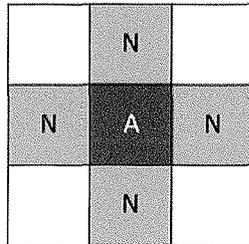


Abbildung 4: Von-Neumann-Nachbarschaft

Andernfalls kann sich dieser Agent nicht bewegen, da sich auf jedem Feld nur ein Agent befinden darf. Wenn sich nach der Bewegung andere Agenten in der Von-Neumann-Nachbarschaft befinden, dann spielt der Agent eine Runde Gefangenendilemma gegen jeden seiner Nachbarn. Dabei entsprechen die Auszahlungen jenen des verallgemeinerten Gefangenendilemmas (Abb. 2), wobei jedoch diesmal  $T > R > 0 > P > S$  sowie die (üblicherweise für wiederholte Spiele gebräuchliche) zusätzliche Bedingung  $R > (T + S) / 2$  gelten. Die Auszahlungen der einzelnen Spiele werden akkumuliert, wobei diese Summe negativ werden kann, da  $P$  und  $S$  negativ sind. Wenn dies geschieht, dann stirbt der Agent sofort und wird aus dem Spiel entfernt. Erreicht oder übertrifft ein Agent jedoch eine vorgegebene Schranke an kumulierten Auszahlungen, dann kann dieser Agent einen neuen Agenten innerhalb eines zufälligen freien Platzes seiner Von-Neumann-Nachbarschaft zeugen. Ein solcher neugeborener Agent erbt die Strategie seines Erzeugers und wird mit eben jenen, zur Zeugung nötigen, Ressourcen ausgestattet. Wenn alle Felder innerhalb der Von-Neumann-Nachbarschaft bereits von Agenten besetzt sind, dann ist eine Zeugung nicht möglich.

Nachdem ein Agent all diese Schritte durchgeführt hat, ist der nächste Agent an der Reihe, dieselben Schritte durchzuführen usw., solange bis alle Agenten einmal aktiv waren; dies entspricht einer Zeiteinheit. Diese Art des Ablaufs wird als asynchrones Updating mit Aktivierung pro Agent bezeichnet. Anstatt eine Art externen Zeitgeber zu unterstellen, welcher die individuellen Aktionen synchronisiert ablaufen lässt,<sup>6</sup> setzt ein Agent alle Aktionen, sobald er an der Reihe ist. Wie bereits von Huberman und Glimco (vgl. Huberman und Glimco 1993), sowie von Radax und Rengs (vgl. Radax / Rengs 2009 und Radax / Rengs 2010) gezeigt wurde, ist die Wahl der Art des Ablaufs und der Aktivierung von großer Bedeutung. Wie Erstere sehr treffend bemerkt haben: "If a computer simulation is to mimic a

real world system with no global clock, it should contain procedures that ensure that the updating of the interacting entities is continuous and asynchronous. This entails choosing an interval of time small enough so that at each step at most one individual entity is chosen at random to interact with its neighbors. During this update, the state of the rest of the system is held constant. This procedure is then repeated throughout the array for one player at a time, in contrast to a synchronous simulation in which all the entities are updated at once". Um darüber hinaus durch eine konstante Reihenfolge möglicherweise verursachte Artefakte zu vermeiden, wird diese Reihenfolge der Aktivierung am Ende jeder Periode zufällig verändert.

Mit Hilfe dieser einfachen Annahmen untersucht Epstein das Verhalten des Modells für fünf verschiedene Läufe (Settings). Bei Setting 1 wird angenommen, dass kein maximales Alter existiert, d.h. Agenten können nur an den Auswirkungen des Gefangenendilemmas sterben (Bankrott). Die folgenden Screenshots (Abbildung 5 bis Abbildung 12) wurden mit einer Replikation des demographischen Gefangenendilemmas angefertigt<sup>7</sup>. Um die Screenshots auch in S/W gut erkennen zu können, werden Kooperatoren und Defektoren mit den folgenden Symbolen repräsentiert:

Kooperatoren:

Defektoren:

Darüber hinaus wird bei den Zeitreihen der Agentenzahl die Reihe der Kooperatoren heller und jene der Defektoren dunkler dargestellt (ein Blick auf den Gesamtzustand des Spielfelds erleichtert die Unterscheidung, welche Teilpopulation von welcher Linie repräsentiert wird).

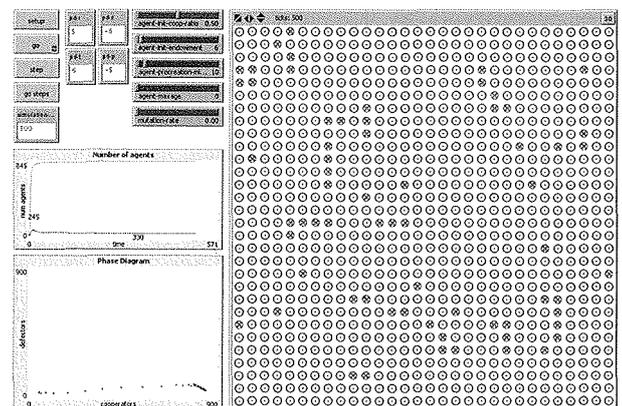


Abbildung 5: Screenshot DGD mit Setting 1, relativ statische Entwicklung

Bereits dieses erste Setting unterstreicht Epsteins Hauptaussage, dass in diesem demographischen Setting Kooperation entstehen und gedeihen kann, obwohl nur die „gedächtnislosen“ Strategien Kooperation und Defektion zum Einsatz kommen. Bereits nach einigen Perioden entwickelt sich ein stabiles Muster, und Kooperatoren dominieren die Landschaft, wobei diese einen Anteil von 90% stellen und Defektoren den Rest des Platzes aufbrauchen (Abbildung 5). Die kooperierenden Agenten fördern sich dabei perma-

nennt gegenseitig und bilden große Flächen von Kooperatoren. Da sie nicht an Altersschwäche sterben, bleibt das Bild stabil, jene Agenten, die direkt an Defektoren angrenzen haben unsterbliche Kooperatoren im Rücken und bleiben dadurch am Leben. Trotz ihres Einkommensvorteils gegenüber den Kooperatoren können die Defektoren keine größeren Flächen/Inseln bilden, da sie sich gegenseitig zerstören.

AGENTENBASIERTE SIMULATIONSMODELLE

Bereits die Beschreibung des demographischen Gefangenendilemmas zeigt, dass dieses Simulationsmodell, im Gegensatz zu der Simulation von Nowak und May, einige Zufallsgrößen/-elemente<sup>8</sup> wie bspw. zufällige Startpositionen, zufällige Bewegung auf der Karte u.ä. beinhaltet. Dies wirkt den Problemen entgegen, die von einer künstlichen und willkürlichen Ordnung verursacht würden. Es führt jedoch – wie bei jedem Simulationsmodell mit Zufallsgrößen – dazu, dass mehrere Simulationsläufe trotz gleicher Parameter zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.<sup>9</sup> In Abhängigkeit der der Simulation zugrunde liegenden Fragestellung variiert auch der Umgang mit einer solchen Simulation. Eine tiefere Analyse des Modellverhaltens kann jedenfalls nur durch vielfache Wiederholung der Simulation mit jeweils unterschiedlich initialisiertem Zufallsgenerator durchgeführt werden.

Wie stark sich die Ergebnisse solcher Wiederholungen voneinander unterscheiden, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. In jedem Fall gilt jedoch: Je größer diese Abweichung ist, desto aufwändiger/schwieriger wird es, Rückschlüsse aus den Simulationsergebnissen zu ziehen. Eine starke Abweichung kann einerseits auf eine instabile Dynamik hinweisen, welche zu unpräzisen Ergebnissen führt (schlecht haltbare Annahme, außerhalb des beschriebenen Bereichs), oder auch die Widerspiegelung mehrerer unterschiedlicher möglicher Trajektorien sein. Letzteres würde bedeuten, dass das System bei den untersuchten Parametern in möglicherweise qualitativ unterschiedliche Entwicklungspfade kippen kann. Welcher Pfad davon realisiert wird, hängt nun von den kleinen Unterschieden ab, welche von den Zufallsgrößen erzeugt werden. Einzelne Screenshots solcher Simulationen sind daher immer nur als beispielhafte Schnappschüsse zu verstehen, welche die beschriebenen Dynamiken verdeutlichen sollen.<sup>10</sup>

DEMOGRAPHIE

Nachdem sich nun gezeigt hat, dass Kooperation bereits unter einfachsten Bedingungen überleben kann, betrachten wir ein Setting, welches eine der unrealistischeren Annahmen aufgibt. In Setting 2 wird ein maximales Alter von 100 Zeitschritten eingeführt, wodurch die Agenten auch an Altersschwäche sterben können.

Wie auch in Abbildung 6 gut zu erkennen ist, kann Kooperation auch unter diesen Voraussetzungen weiterhin langfristig sehr erfolgreich bestehen. Betrachtet man die Aggregatsdimension, so führt die Änderung in diesem Set-

ting zu einer etwas größeren Volatilität der Dynamik in Form von leichten Oszillationen der Zeitreihen von Kooperatoren und Defektoren. Betrachtet man die Dynamik genauer, so kann man sehen, dass die Kooperatoren nun einen zusätzlichen Nachteil haben. Da die Agenten nun an Altersschwäche sterben, sind die „Fronten“ zwischen Kooperatoren und Defektoren nicht mehr so stabil wie zuvor. Obwohl Defektoren weiterhin keine großen Gruppen/Flächen bilden, können sie sich im Lauf der Zeit besser verteilen und so langsam in die Kooperatoren-Gruppen hineinwachsen. Dadurch ist langfristig eine etwas größere Defektoren-Population möglich.

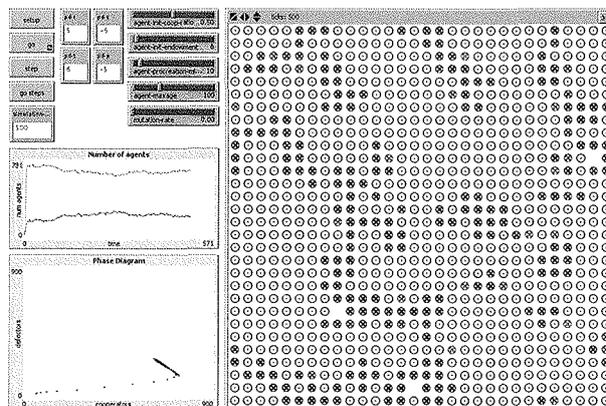


Abbildung 6: Screenshot DGD mit Setting 2, dynamischere Entwicklung

GEFAHR AUS DEN EIGENEN REIHEN

In Setting 5 bringt Epstein einen weiteren Faktor ins Spiel, indem er Mutation ermöglicht. Bei den anderen Settings (1 - 4) wurde die Strategie direkt vom Erzeuger übernommen. Nun gibt es bei jeder Zeugung die Möglichkeit, dass der Nachkomme eine andere Strategie als der Erzeuger hat (Mutationsrate). In diesem Setting testete Epstein, wie das System auf eine Mutationswahrscheinlichkeit von 50% reagiert, d.h. auf den Extremfall, dass die Nachkommen eine völlig zufällige Strategie haben.

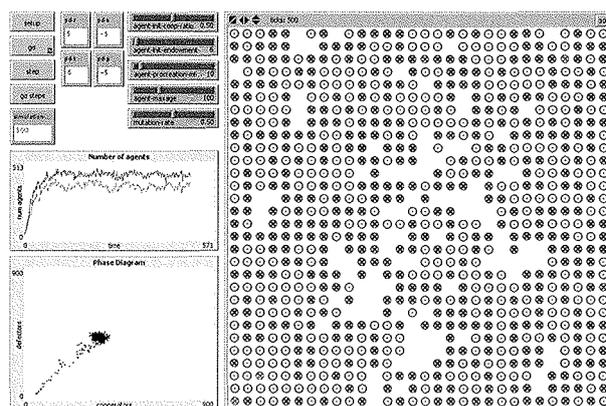


Abbildung 7: Screenshot DGD von Setting 5, Mutationswahrscheinlichkeit 50%

Es zeigt sich, dass Kooperation trotz einer stärker oszillierenden Dynamik auch unter diesen Umständen langfristig bestehen kann. Der Hauptunterschied ist, dass sich die großen, langfristig bestehenden Kooperatorenflächen/-inseln nun nicht mehr bilden können (Abbildung 7). Die Grenzen gegenüber den Defektoren können nun nicht mehr aufrechterhalten werden, da sich Defektoren jetzt innerhalb bilden (in Form von Nachkommen). Das System kippt aber auch nicht, da automatisch auch wieder Kooperatoren als Nachkommen geboren werden und das System so am Laufen halten.

SCHWERE ZEITEN FÜR VERTRAUENSSELIGE

Die Settings 3 und 4 beinhalten wie Setting 2 ein Höchstalter, verändern aber zusätzlich die Auszahlungsstruktur des Spiels, um die Bedingungen für Kooperatoren zu verschärfen. In Setting 3 wird  $R$  von 5 auf 2 herabgesetzt. Der Effekt dieser Änderung ist eine Betonung der Volatilität und der oszillierenden Dynamik. Darüber hinaus gibt es nun gravierend mehr Defektoren als zuvor – selbstverständlich auf Kosten der Kooperatoren, aber auch auf Kosten der Gesamtpopulation.

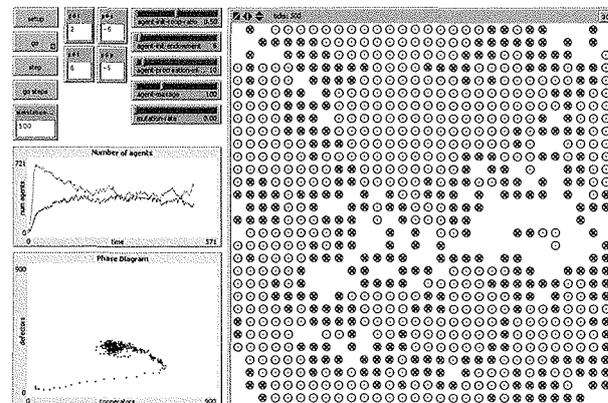


Abbildung 8: Screenshot DGD von Setting 3, größere Volatilität

Wie man in Abbildung 8 sehen kann, bewegt sich das System dennoch in einem relativ stabilen Bereich. Wie auch

im Phasendiagramm zu sehen ist, hält sich die Anzahl der Kooperatoren und Defektoren größtenteils die Waage. Große Flächen von Defektoren können sich selbstverständlich weiterhin nicht bilden. Stattdessen sind nun einige Felder nicht mehr besetzt, da die Kooperatoren relativ schnell Raum verloren haben und die Reihen der Defektoren nicht überwinden können. Immer mehr ist ein Räuber-Beute-Schema zu erkennen, wobei sich jedoch die Defektoren, im Unterschied zu elementaren Räuber-Beute-Beziehungen, auch gegenseitig karnalisieren.

MULTIPLE TRAJEKTORIEN

Die bisher gezeigten Settings führten zu präzisen Simulationsergebnissen, d.h. das Systemverhalten war auch bei mehrfacher Wiederholung qualitativ gesehen sehr ähnlich. Das ist aber nicht für jedes Setting des DGD so – im Folgenden werden wir uns nun einige Settings anschauen, bei welchen das nicht unbedingt der Fall ist.

Um die Dynamik noch etwas zu verstärken, versuchen wir die Bedingungen für Kooperatoren noch ein wenig zu verschärfen und setzen  $R$  auf 0.5, d.h. gegenseitige Kooperation wird gerade noch positiv entlohnt.<sup>11</sup>

Sowohl im Phasendiagramm als auch in den Zeitreihen kann man erkennen, dass sich die Volatilität der Simulation stark erhöht hat und die Zeitreihen der Populationen teilweise extreme Ausschläge zeigen (Abbildung 9). Der Simulationsverlauf zeigt nun Zyklen, welche stark an Räuber-Beute-Systeme erinnern: die Gesamtpopulation ist stark dezimiert, die Kooperatoren in zwei größeren Gruppen zusammengetrieben, welche von Defektoren umzingelt sind. Im Gegensatz zu den vorigen Simulationen ist nach der Laufzeit von 500 Perioden noch keinerlei Konvergenz zu einem bestimmten Kooperatoren-Defektoren-Verhältnis in Sicht. Es gibt bei beiden Läufen nach wie vor starke Ausschläge, die das System bis an die Grenzen bringen.

Wiederholte Simulationen zeigen, was auf diesen einzelnen Screenshots bereits erahnt werden kann: dieses Setting hat nun mehrere qualitativ unterschiedliche Trajektorien. Es steht quasi auf des Messers Schneide, entlang welcher Trajektorie sich das System entwickelt.

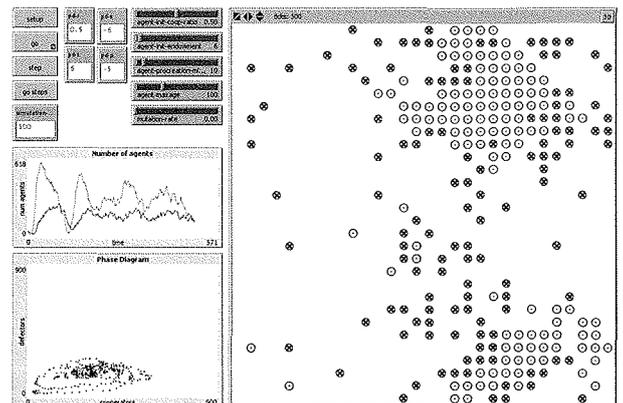
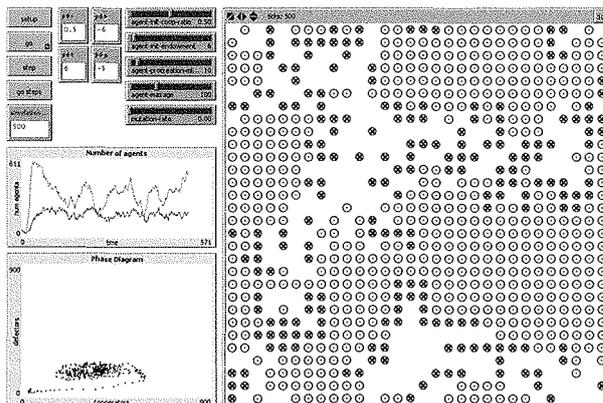


Abbildung 9: Zwei Screenshots DGD mit extremem Setting, Räuber-Beute-Dynamik

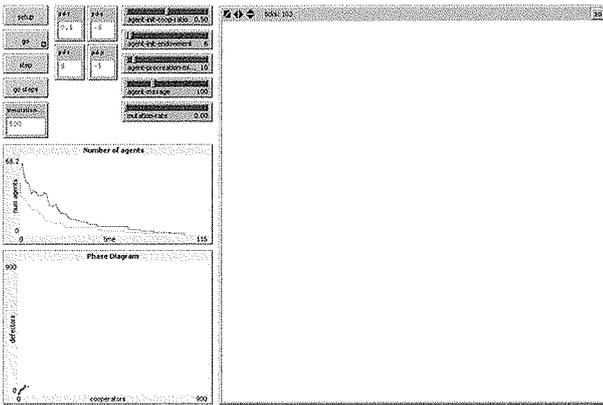


Abbildung 10: Screenshot DGD mit extremem Setting, Schnelles Aussterben

Es besteht sowohl die Möglichkeit, dass sich eine langanhaltende Räuber-Beute-Dynamik entwickelt, aber auch, dass das System schnell kippt und komplett ausstirbt (Abbildung 10).

IST GRÖSSE RELEVANT?

Bei allen Untersuchungen von Epstein waren die Anzahl der Felder und damit die Größe der maximalen Gesamtpopula-

tion auf 30x30 fixiert. Man kann sich nun fragen, ob das Modell auch nach oben skalierbar ist, d.h. ob Größe einen Unterschied macht – eine immer wieder diskutierte Frage. Zu diesem Zweck sehen wir uns die Simulation mit den gleichen Parametern an, verwenden aber ein 90x90 Felder großes Spielfeld.

Trotz der gleichen Parameter wie zuvor zeigt sich nun eine etwas stabilere Dynamik, wie sowohl im Phasendiagramm als auch in der Zeitreihe zu sehen ist (Abbildung 11). Es gibt eine oszillierende Dynamik, aber aufgrund des absolut größeren Platzes und der vielen Ausweichmöglichkeiten führt diese nicht zu einer extremen Abnahme der Kooperatorenpopulation. Auch mehrfache Wiederholung der Simulation führt immer zu diesem stabileren Ergebnis – zu einem Aussterben kam es bei dieser Größe mit diesem Setting hingegen überhaupt nicht. Eine aktuelle Fragestellung ist, ob dies ein Beweis für einen Größeneffekt ist, der das qualitative Systemverhalten ändert oder nicht, was man intuitiv vermutlich bejahen würde. Die Argumentation der Gegner ist jedoch, dass der größere Raum zwar ermöglicht, dass das System in dieser Form eine stärkere Schwächung der Kooperatoren tolerieren kann, aber dass dies lediglich eine leichte Verschiebung des Schwellenwerts bedeutet. Dabei stellt sich dann die Frage, was ist eine qualitative Änderung und was lediglich eine quantitative?

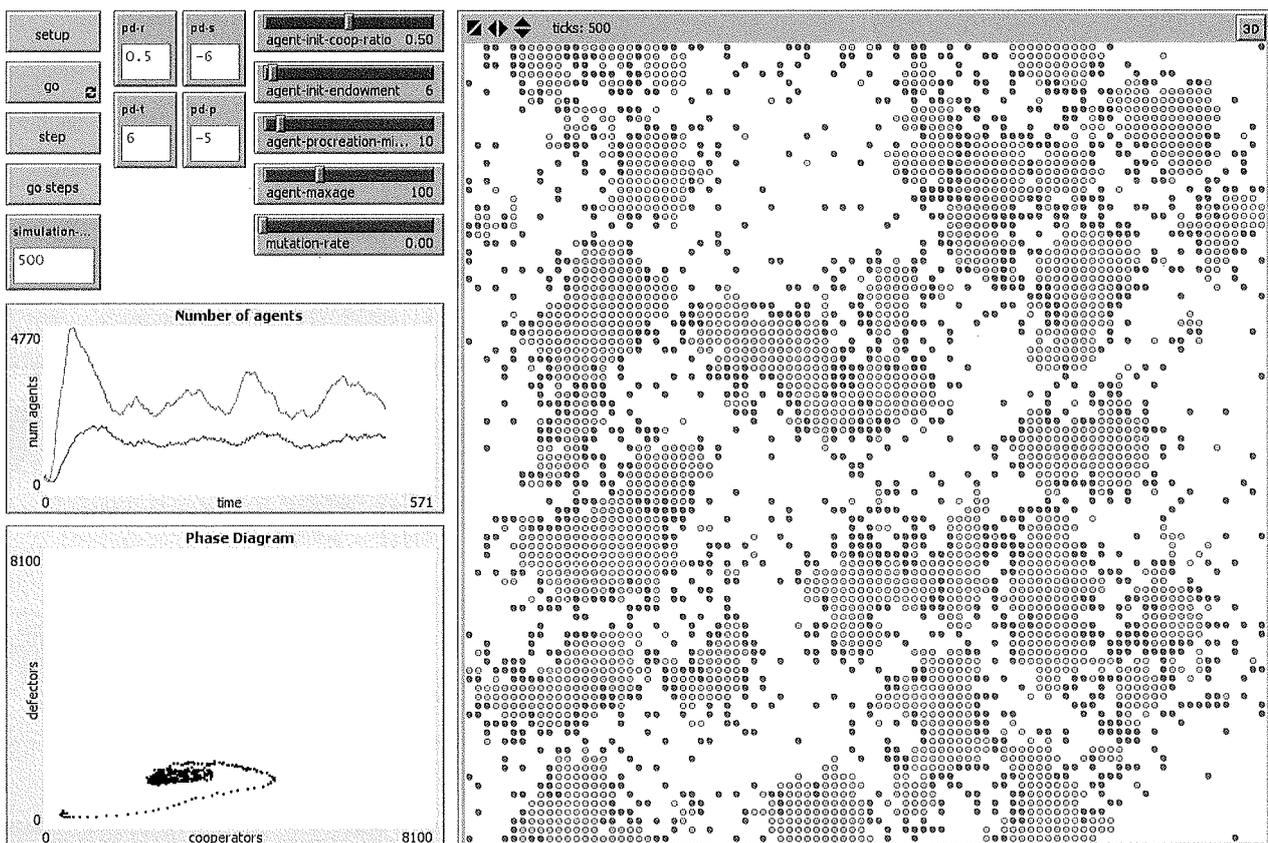


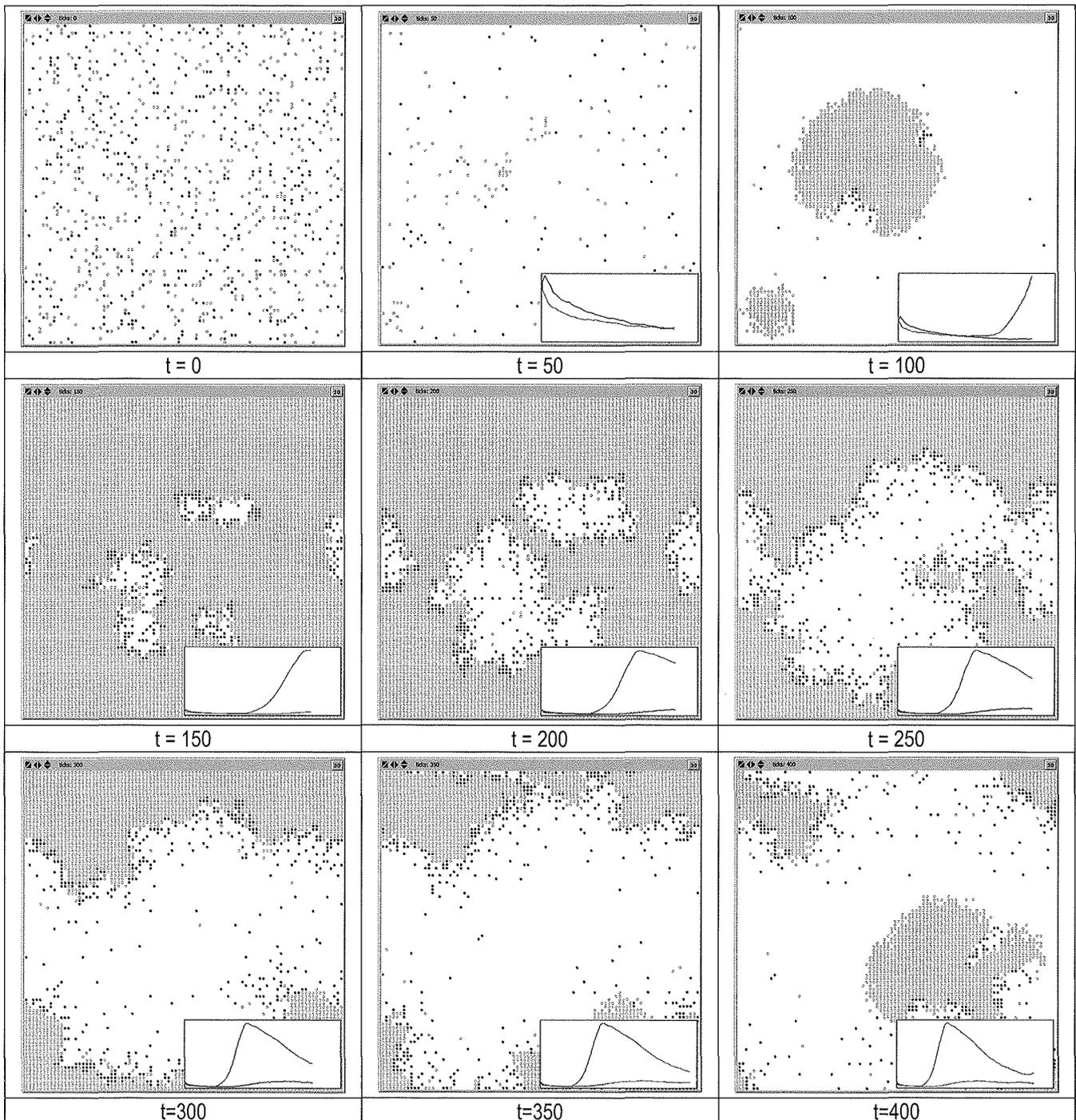
Abbildung 11: Screenshot DGD mit extremem Setting, größeres Spielfeld (90x90)

DGD ALS RÄUBER-BEUTE-SYSTEM

Wie wir bereits zuvor gesehen haben, können sich, je nach Parametersetting und Lauf, sehr unterschiedliche Dynamiken ergeben. Im Folgenden betrachten wir nun ein Setting bzw. einen Lauf, bei welchem die Kooperatoren, selbst auf dem größeren Spielfeld, unter extremem Existenzdruck stehen ( $R = 0.2$ )<sup>12</sup>. Da die Defektoren auf die Kooperatoren angewiesen sind (da sie sich gegenseitig auffressen), sind selbstverständlich auch diese unter extremem Druck. Unter bestimmten Umständen ähnelt das DGD nun sehr stark einem Multiagenten-Räuber/Beute-System. Die folgenden

Bilder sind Schnappschüsse zu unterschiedlichen Zeitpunkten des gleichen Simulationslaufs und zeigen exemplarisch wie eine solche Dynamik im Raum aussehen kann.

Anfänglich sind die Agenten im Raum gleichverteilt ( $t=0$ ) und während ein großer Teil der Agenten von Defektoren aufgefrisst wird, kommt es sehr langsam zu kleinen Gruppierungen von Kooperatoren ( $t=50$ ). Da die Anzahl an Defektoren aufgrund von zu wenig Beute nun sehr klein geworden ist, können sich die Kooperatoren rasant vermehren ( $t=100$ ). Da es genügend Freiraum gibt, breiten sich die Kooperatoren weg von den Defektoren aus, bis sie aufgrund des toroidalen Raums wieder aufeinander treffen ( $t=150$ ).



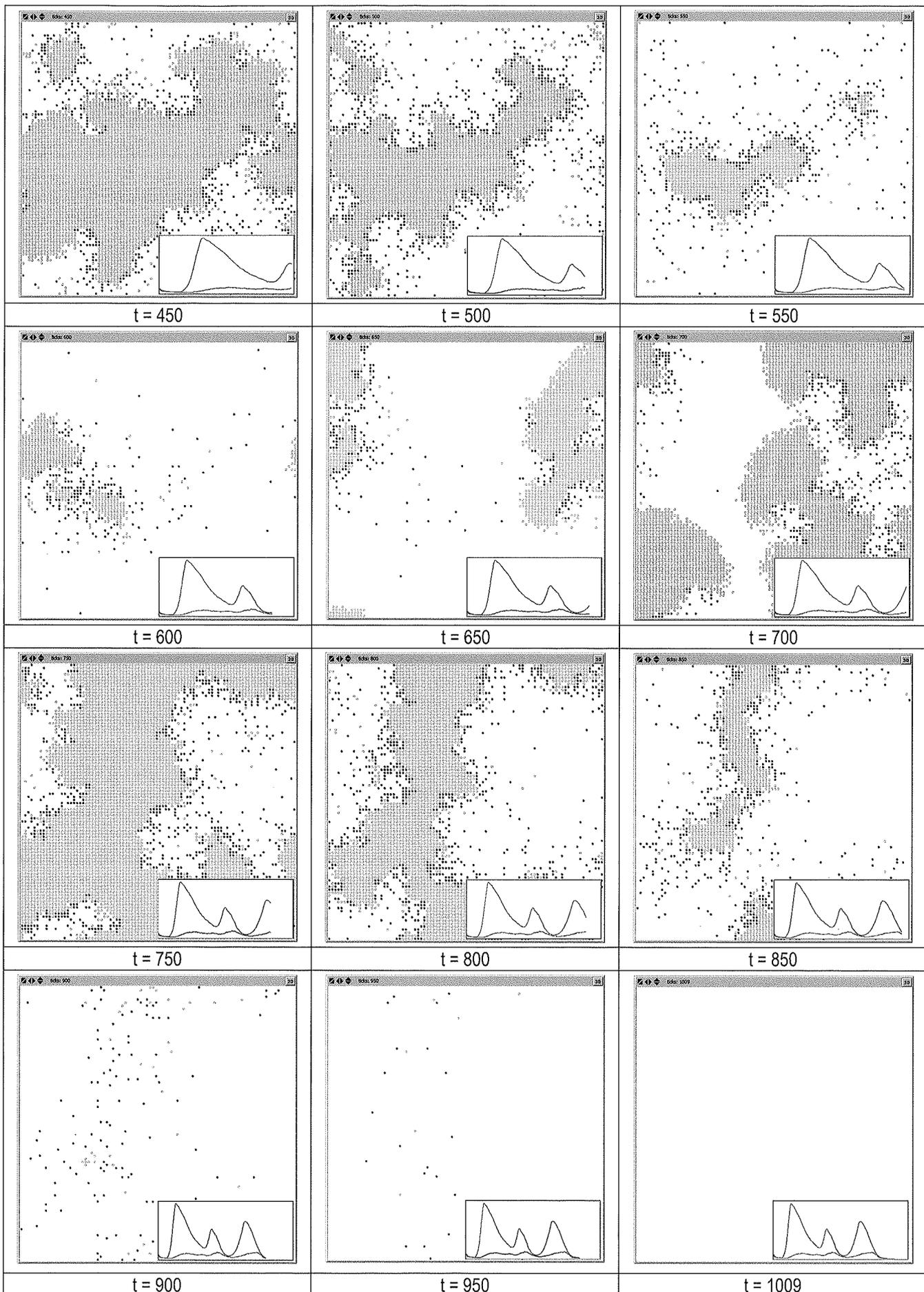


Abbildung 12: Screenshot DGD, Bildergeschichte Räuber-Beute-Dynamik

In diesem Stadium gibt es nur relativ kleine Enklaven von Defektoren, welche sich jedoch immer schneller in die Kooperatorenpopulation hineinfressen ( $t=200$ ). Dabei können sich die Defektoren nun optimal vermehren, da sie sich ringförmig ausbreiten können ( $t=250$ ,  $t=300$ ). Obwohl durch die Dezimierung extrem viel Raum frei wird ( $t=350$ ), können die Defektoren diesen nicht nutzen; im Gegenteil, ihr hoher Anteil führt dazu, dass nicht genügend Beute vorhanden ist und sie sich gegenseitig auffressen ( $t=350$ ,  $t=400$ ). Dadurch können die Kooperatoren die Fronten wieder durchbrechen und sich erneut ausbreiten ( $t=450$ ), doch diesmal nicht so weit wie zuvor, da noch genügend Defektoren übrig waren ( $t=500$ ). Diesmal treiben die Defektoren das System beinahe zum vollständigen Zusammenbruch ( $t=550$ ,  $t=600$ ), doch können sich die Kooperatoren (und dadurch das ganze System) noch ein letztes Mal erholen ( $t=650$ ,  $t=700$ ) und sogar eine größere Ausbreitung als in der letzten Phase erreichen ( $t=750$ ). Bei der darauf folgenden Expansion der Defektoren ( $t=800$ ) können diesmal jedoch nicht genügend Kooperatoren entkommen und die absolut größere Anzahl an Defektoren als Kooperatoren ( $t=850$ ) und die starke Streuung ( $t=900$ ) führt diesmal zum völligen Aussterben ( $t=950$ ,  $t=1009$ ).

Bemerkenswert ist bei diesem Beispiel, dass die Schwankungen in der Anzahl an Defektoren verhältnismäßig gering sind, aber durch die räumliche Verteilung dennoch große Auswirkungen, bis hin zum Aussterben, haben.

#### EPILOG

Das demographische Gefangenendilemma ist ein gutes Beispiel dafür, wie eine neue Betrachtung eines bekannten Problems, mit individuell einfacheren Mitteln als zuvor, neue Einsichten liefern kann. Der Schlüssel waren in diesem Fall einerseits die Lokalität der Interaktion (erzeugt durch den Raum mit begrenzter Sicht- und Interaktionsreichweite), die Möglichkeit der Vermehrung, sowie die Fatalität als Folge nicht-nutzenbringender Entscheidungen (erzeugt durch negative Auszahlungen und Bankrottregel). So konnten mit diesem doch recht einfachen Modell auch komplexe Dynamiken und Populations-Verhaltensmuster erzeugt werden, welche in dieser Form nicht in den Einzelteilen eingebaut sind (emergente Verhaltensmuster).

Die dabei eingesetzte Methode der agentenbasierten Modellierung ist ein vergleichsweise moderner Ansatz, der bei einer Vielzahl von komplexen Problemen verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen neue Einsichten bringt. Der Clou dieser Methode ist, dass sehr komplexes Makroverhalten/Populationsverhalten durch eine große Anzahl kleiner heterogener Einheiten (Agenten) mit einfachen Regeln erzeugt wird – was auch der Struktur von realen Systemen entspricht.

#### ANMERKUNGEN:

- 1 Eine Farbversion dieses Dokuments kann unter folgender Adresse abgerufen werden: [http://www.econ.tuwien.ac.at/rengs/netlogo/vnuniversum/mas\\_kooperationstheorie\\_2010.pdf](http://www.econ.tuwien.ac.at/rengs/netlogo/vnuniversum/mas_kooperationstheorie_2010.pdf)
- 2 Die verwendeten Variablennamen verweisen auf die jeweiligen Spielresultate. *R* (reward) repräsentiert die Belohnung für beidseitige Kooperation, *P* (punishment) ist die Bestrafung für gegenseitige Defektion. *T* (temptation) gibt die Versuchung wieder, den Anderen zu verraten, während *S* (sucker's payoff bzw. von Mehlmann (Mehlmann 1997) als „des Dodels Lohn“ in Deutsche übertragen) die Situation des Hintergangenen treffend bezeichnet.
- 3 Die Replikation des Gefangenendilemmas nach Novak und May, welche zur Erstellung von Abbildung verwendet wurde, ist unter der folgenden Adresse zu finden (sowohl zum Experimentieren als auch zum Download): [http://www.econ.tuwien.ac.at/rengs/netlogo/vnuniversum/pd\\_novak.html](http://www.econ.tuwien.ac.at/rengs/netlogo/vnuniversum/pd_novak.html).
- 4 Die in diesem Artikel gezeigten Screenshots wurden mittels einer von den Autoren reimplementierten Simulation angefertigt. Für die Versionen in dieser Arbeit wurde Netlogo (Wilensky 1999) verwendet. Netlogo ist ein freies Simulationspaket gebündelt mit einer Computersprache, die speziell für die Simulation von agentenbasierten Modellen, zellulären Automaten und dynamischen Netzwerken entwickelt wurde.
- 5 Dies entspricht den möglichen Bewegungsrichtungen eines Turms im Schach, allerdings beschränkt auf eine Entfernung von einem Feld.
- 6 In diesem Fall würden sich alle Agenten gleichzeitig bewegen, danach alle gleichzeitig spielen usw.
- 7 Auch diese Replikation wurde mit Hilfe von Netlogo erstellt und ist unter der folgenden Adresse zu finden (sowohl zum direkten Experimentieren als auch zum Download): [http://www.econ.tuwien.ac.at/rengs/netlogo/vnuniversum/dpd\\_basic.html](http://www.econ.tuwien.ac.at/rengs/netlogo/vnuniversum/dpd_basic.html).
- 8 In Computersimulationen werden Zufallsgrößen durch Zufallsgeneratoren simuliert, welche auf Basis einer zu variierenden Initialisierung (Saat) eine Zahlenreihe erzeugt, die langfristig einer bestimmten Verteilung genügt (Pseudozufallszahlen). So ist bspw. der Mersenne Twister Algorithmus ein sehr häufig verwendeter Generator, welcher bereits mittelfristig gleichverteilte Zahlenreihen erzeugt.
- 9 D.h. es gibt eine extrem hohe Anzahl unterschiedlicher, möglicher Zustände – ähnlich parallelen Realitäten. Welche davon im einzelnen Simulationslauf zustande kommt, hängt von der Saat des Zufallsgenerators ab.
- 10 Die den folgenden Screenshots zugrunde liegenden Simulationen wurden im Zuge weiterführender Analysen mehrfach wiederholt und statistisch ausgewertet – insofern es im Text nicht anders beschrieben ist, sind diese Bilder qualitativ repräsentativ für das simulierte Setting.
- 11 Dies ist keines von Epstein's Settings, es hat aber qualitativ ähnliche Auswirkungen wie Epsteins Setting 4 ( $R = 1$ ).
- 12 Die Simulationen mit diesem Setting können qualitativ unterschiedliche Ausgänge haben, die folgenden Bilder sind einem einzelnen Simulationslauf entnommen und nicht für alle Wiederholungen repräsentativ.

## LITERATUR:

- Axelrod, Robert (1984): *The Evolution of Cooperation*, Basic Books
- Axelrod, Robert (1997): *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton University Press.
- Epstein, Joshua M. (1998): Zones of Cooperation in Demographic Prisoner's Dilemma. In: *Complexity*, 4(2): 36-48.
- Epstein, Joshua M. (2007): *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling* (Princeton Studies of Complexity). Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Huberman, Bernardo A. / Glance, Natalie S. (1993). 'Evolutionary games and computer simulations'. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 90: 7716-7718.
- Mehlmann, Alexander (1997): *Wer gewinnt das Spiel? Spieltheorie in Fabeln und Paradoxa*. Vieweg: Braunschweig.
- Nowak, Martin A. / May, Robert M. (1992): Evolutionary games and spatial chaos. In: *Nature* 359: 826-829.
- Radax, Wolfgang / Rengs, Bernhard (2010): Prospects and Pitfalls of Statistical Testing: Insights from Replicating the Demographic Prisoner's Dilemma. In: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, forthcoming.
- Radax, Wolfgang / Rengs, Bernhard (2009): Replication of the Demographic Prisoner's Dilemma. Plenarvortrag präsentiert bei: 6th Conference of the European Social Simulation Association, Guildford, UK.
- Wilensky, Uri (1999): NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modelling, Northwestern University. Evanston, IL.

## ROMAN SEIDL

## SEGREGATION ALS SELF-ORGANIZED-CRITICALITY: EIN TOLERANZBASIERTES NACHFRAGEMODELL FÜR GENTRIFICATION

## EINLEITUNG

Die Debatte über Gentrification ist bereits über vierzig Jahre alt. Erst in den letzten Jahren wurde versucht, Aspekte des Gentrification-Prozesses mittels Mikro-Modellen abzubilden und zu simulieren (Seidl 2010).

Dangschat definierte 1988 ein Phasenmodell für Gentrification, den doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus. Dieser unterstellt dem Prozess eine regelhafte Abfolge, die jedoch empirisch nicht widerspruchsfrei bewiesen werden konnte. Friedrichs (1996, S. 22f.) hofft, dass die Anwendung von Tipping-Modellen helfen könnte, diese Widersprüche zu erklären. Im Folgenden soll ein Tipping-Modell für den doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus entworfen werden.

Der wesentliche Effekt von Gentrification ist Segregation – es wird angenommen, dass in einem Quartier in dem Gentrification beobachtet werden kann, schließlich eine Gruppe von Gentrifiern annähernd allein zurück bleibt. Der Aspekt der Segregation soll – ähnlich Schellings Segregationsmodell (Schelling 1978, S. 137f.) – auf der Basis von Toleranzen innerhalb einer Nachbarschaft berücksichtigt werden.

Schließlich handelt es sich um einen Prozess, der sich außerhalb eines Gleichgewichtsprozesses bewegt. Die Theorie der Self-Organized-Criticality (Bak, Tang Wiesenfeld 1988) beschreibt Systeme, die sich von sich aus in einen instabilen Zustand bewegen. Daher soll dieser Aspekt auf Basis der die Self-Organized-Criticality beschreibenden Sandpile-Modelle berücksichtigt werden.

## GENTRIFICATION

1964 definierte Ruth Glass Gentrification anhand ihrer Beobachtungen eines Veränderungsprozesses in der Innenstadt von London:

„One by one, many of the working class quarters of London have been invaded by the middle classes – upper and lower – shabby modest mews and cottages ... have been taken over when their leases expired, and have become elegant, expensive residences.“ (Glass 1964, nach Blasius 1993, S. 13)

Dieser eher beschreibenden Definition folgten Versuche, die Ursachen dieses damals neuartigen Phänomens zu ergründen. Dabei bildeten sich relativ schnell zwei verschiedene Lager heraus: Eines, das auf die Nachfrageseite und damit die AkteureInnen im Prozess orientiert und eines, das die Angebotsseite und damit die Bedingungen der Kapitalverwertung am Immobilienmarkt betrachtet.

Die nachfrageorientierten Theorien (s. etwa Ley, 1978) erklären den Prozess aus veränderten Rahmenbedingungen wie der Post-Industriellen Gesellschaft, veränderten Lebensstilen etc. und dem beobachteten Image eines Quartiers und damit auch Nachbarschaftseffekten.

Die gängigste Kritik an den Nachfrage-orientierten Theorien ist, dass diese schwer erklären können, warum Gentrification in etwa zum gleichen Zeitpunkt in den größeren Städten der industrialisierten Staaten einsetzte (Smith 1996, S. 55f.):

Angebotsseitige Erklärungsmodelle orientieren sich an der Re-Investition in innerstädtischen Wohnquartieren:

„gentrification: The reinvestment of Capital at the urban centre, which is designed to produce space for a more affluent class of people than currently occupies that space.“ (Smith 2000, S. 294)

Die Nachfrage-orientierten Theorien werden vor allem für die Tatsache kritisiert, dass Gentrification nicht unbedingt dort zuerst auftritt, wo die potentiellen Renditen am höchsten sind (Lees, Slater, Wylie 2008, S. 103f.), und letztlich dafür, dass sie die veränderte Nachfrage, die überhaupt Bedingung für eine erfolgreiche Verwertung ist, nicht berücksichtigen (Hamnett 2003, S.169).

Die Debatten um Nachfrage- oder Angebotsorientierung haben ab Beginn der 1990er-Jahre zum Konsens geführt, dass beide Seiten Teil des „gleichen Elefanten“ (Hamnett, 1991) sind. Ohne die jeweilige andere Seite fehlen entweder die Investitionen oder die Nachfrager.

PHASENMODELLE

Bereits relative früh wurden Phasenmodelle entworfen, die dem Gentrification-Prozess eine mehrstufige, irreversible Abfolge unterstellen. (s. etwa Clay 1979, S. 57-59).

Ein späteres Modell dieser Art ist der doppelte Invasions-Sukzessions-Zyklus (Dangschat 1988) – eine Abwandlung eines Modells der Chicagoer Tradition der Humanökologie: dem Invasions-Sukzessions-Zyklus (Burgess, Park, McKenzie 1925). Dieser beschreibt einen Bevölkerungsaustausch in einem Wohnquartier. Eine Bevölkerungsgruppe dringt in das Quartier einer anderen ein (Invasion). Deren Anteil steigt an, bis die eindringende Gruppe zur dominanten Gruppe angewachsen ist (Sukzession). Beschleunigt wird dieser Prozess durch Segregationstendenzen – also den Wunsch nach einer Nachbarschaft, die von Angehörigen der eigenen Gruppe bewohnt wird.

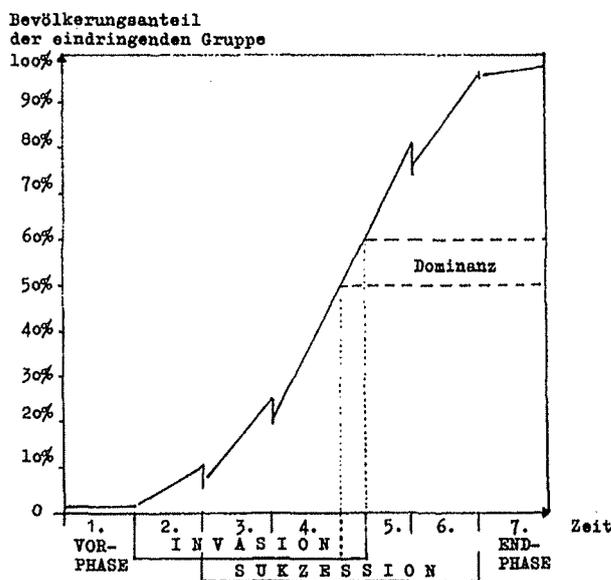


Abbildung 1: Invasions-Sukzessions-Zyklus  
Quelle: Hoffmeyer-Zlotnik, 1976, S. 18

Dieser Prozess verläuft nicht gleichmäßig – vielmehr gibt es einen Punkt, ab dem dieser beschleunigt verläuft. Dies lässt sich mikro-soziologisch erklären, wenn man annimmt, dass die Handlungen einzelner von den beobachteten Handlungen anderer abhängen. Derartige Modelle werden als Tipping-Modelle beschrieben (Schelling 1978, S. 101f.). Dabei gibt es eine „critical-mass“, ab der ein qualitativer Sprung wahrscheinlich wird. Diese Schwellenwerte bewegen sich üblicherweise bei einem Anteil zwischen 5 bis 25% (Friedrichs 1996, S. 24).

In Bezug auf Nachbarschaften und Invasion ist die Rolle von Toleranz wesentlich. Ohne ein hohes Maß an Toleranz der eindringenden Bevölkerung gegenüber der alteingesessenen wird diese nicht zuziehen. Schelling (1978, S. 137f.) entwickelte ein Modell für residentielle Segregation, das auf einem zellulären Automaten basiert und diesen Faktor aufzeigt. Dabei haben die Zellen einen Status, der sie als von einer von zwei Gruppen besetzt oder frei ausweist. Die Zellen besitzen eine gewisse Toleranz gegenüber Angehörigen der anderen Gruppe in ihrer Nachbarschaft. Dabei zeigt sich, dass aufgrund von Rückkopplungseffekten bereits bei einem relativ geringen Maß an Intoleranz homogene Nachbarschaften entstehen. Wird jedoch ein sehr hohes Maß an Intoleranz angelegt, so kommt es zu keiner Invasion.

Im Gentrification-Prozess wird die Funktion der Toleranz von einer Gruppe von „Vermittlern“ übernommen. So beschreibt das Modell des doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus die Invasion einer toleranten Gruppe von Pionieren in ein statusniedriges Wohnquartier. Dadurch verändert sich die Wahrnehmung des Quartiers durch Personen mit höherem ökonomischem Kapital, den Gentrifiern. Diese dringen in Folge in das Quartier ein und bleiben am Ende alleine zurück (vgl. Abbildung 2).

Empirische Untersuchungen auf Basis des doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus haben zu inkonsistenten Ergebnissen geführt. Friedrichs (1996, S. 24) hofft, dass die Kombination mit Tipping-Modellen helfen kann, dies zu erklären. Im Folgenden soll ein Automat vorgestellt werden, der auf Basis von Toleranzen (wie in Schellings Segregationsmodell) ein Tipping-Modell für den doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus abbildet.

SELF-ORGANIZED-CRITICALITY

Per Bak (Bak, Tang, Wiesenfeld 1988) definierte Self-Organized-Criticality als Eigenschaft von Systemen, die sich von sich aus – also aus ihrer inneren Logik – in einen kritischen Zustand bewegen. Dabei ist das kritische Verhalten bei Veränderung der Parameter im Wesentlichen stabil. Das zur Erläuterung verwendete Bild ist das eines Sandhaufens.

Wird auf eine Fläche Sand gestreut, so bilden sich Haufen. Die bei Überschreiten einer gewissen Hangneigung auftretenden Lawinen werden immer größer und können schließlich den Umfang der gesamten Fläche erreichen. Der kritische Zustand zeigt sich darin, dass jenes Sandkorn, das eine Lawine auslöst, gleich groß ist, wie jedes der vorangehenden.

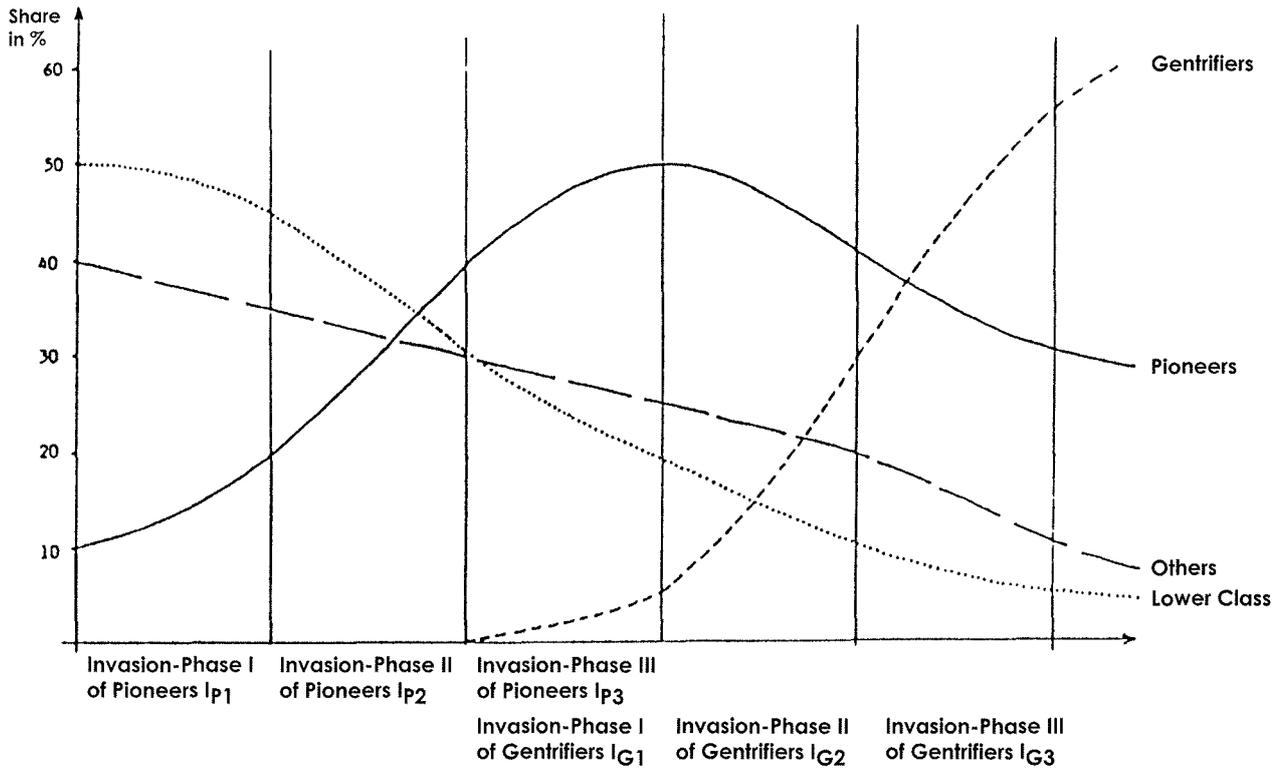


Abbildung 2: Doppelter Invasions-Sukzessions-Zyklus  
 Quelle: Dangschat, 1998, S. 281 nach Blasius, 1993, S. 36

Die Größen der ausgelösten Veränderungen sind Power-Law-verteilt. Diese Verteilung ist Skalen-unabhängig, also nur durch das Verhältnis der jeweiligen Größen definiert. Sie findet sich in einer Reihe anderer Phänomene, die auf Prozessen mit exponentiellem Wachstum basieren. Selbst Conways Game of Life (Gardner 1970) folgt dieser Regel (Bak, Chen, Creutz 1989).

Fulong Wu (2003) entwickelte ein Angebotsmodell für Gentrification, das auf einem Sandpile-Automaten basiert. Es handelt sich um einen zellulären Automaten, bei dem die Zellen durch einen gewissen Entwicklungsstand definiert sind. Wird die Differenz zwischen der Entwicklung einer

Zelle und ihrer Nachbarschaft größer als ein festgelegter Schwellenwert, so wird die Zelle um einen gewissen Betrag „weiterentwickelt“. Dies soll Neil Smiths Annahme über die Rent-Gap (Smith 1996), also einer Differenz zwischen momentaner und potentieller Entwicklung als Ausdruck von Grundrenten, entsprechen. Abbildung 3 zeigt eine derartige Entwicklungsnische.

Nach einer Entwicklung werden die Nachbarzellen der entwickelten Zelle untersucht, da sich dadurch weitere Differenzen ergeben können, die weitere Entwicklungen auslösen. Dadurch ergeben sich Rückkopplungseffekte, ähnlich dem Rutschen der Sandkörner. Wie in einem Sandpile-Automaten streut Wu zufällige Entwicklung, wenn es nicht durch entsprechende Differenzen zu solchen kommt.

Wu kann schließlich anhand der Größenverteilung der ausgelösten Änderungen beweisen, dass sein Modell als eines mit Self-Organized-Criticality gesehen werden kann.

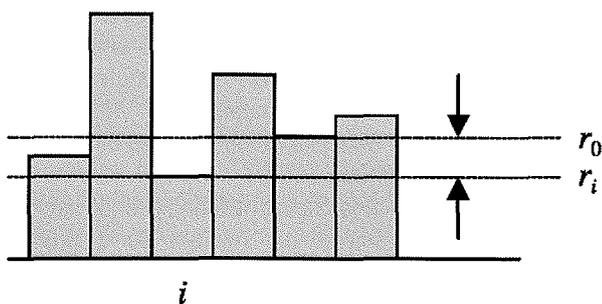


Abbildung 3: Entwicklungsnischen zwischen Zelle und Nachbarschaft  
 Quelle: Wu, 2003, S.198

INVASIONS-SUKZESSIONS-AUTOMAT

Basierend auf der Annahme von Toleranzschwellen zwischen zwei Gruppen soll ein Sandpile-Automat entworfen werden, der den Kriterien der Self-Organized-Criticality entspricht.

Es handelt sich um einen zellulären Automaten, dessen Fläche eine regelmäßige Matrix (von im hier vorgestellten Testfall 50 mal 50 Zellen) ist, die einen Torus bildet. Der

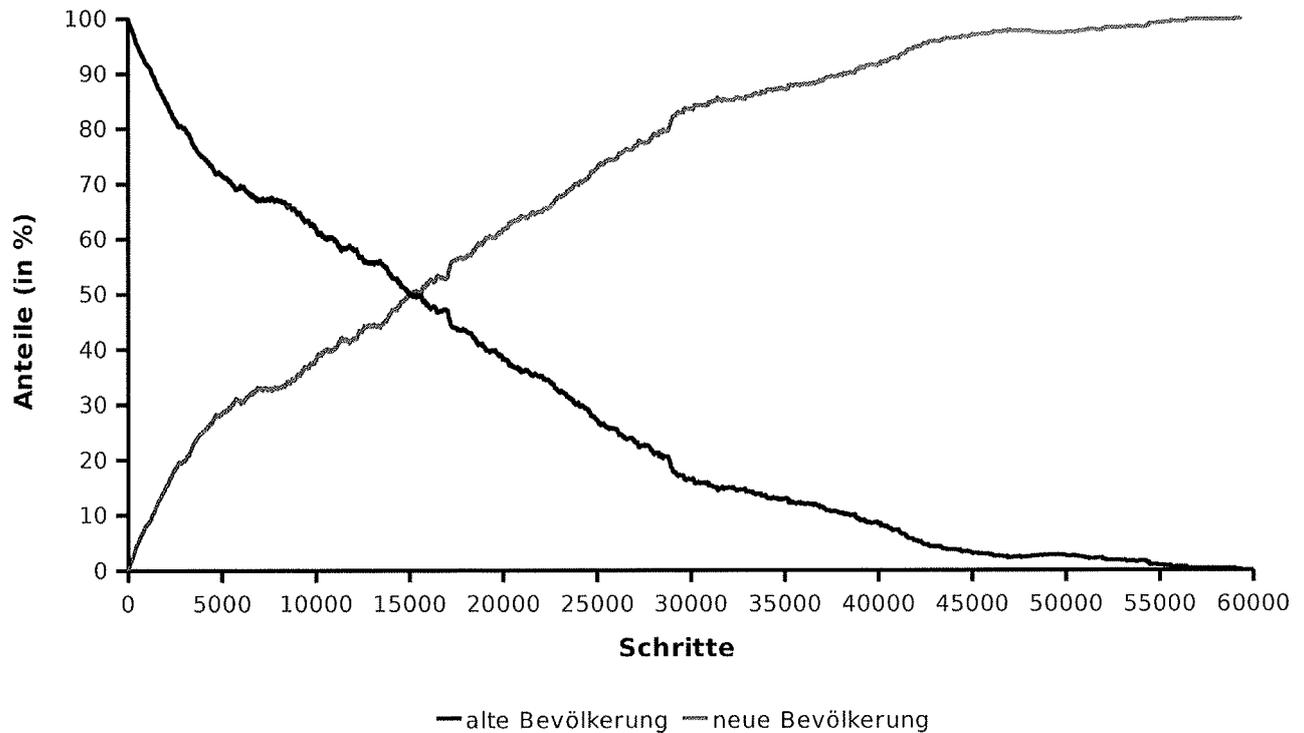


Abbildung 4: Verlauf des Invasions-Sukzessions-Automaten Quelle: eigene Darstellung

Status der Zellen wird durch die Zugehörigkeit zu einer der beiden Gruppen definiert. Motor der Invasion ist – wie im Segregationsmodell von Schelling (1978 S.137f.) – eine Toleranzschwelle der Zelle gegenüber einem gewissen Anteil der anderen Gruppe in der Nachbarschaft.

Wird diese Toleranzschwelle überschritten, so verlässt die Gruppe die Nachbarschaft und diese wird von der anderen Gruppe besetzt. Da dies die Nachbarschaft für die umliegenden Zellen verändert, kann es zu Rückkopplungseffekten kommen. Bei zunehmendem Anteil der Invasions-Gruppe gerät das System immer mehr in einen kritischen Zustand.

Die Übergangsregeln des Automaten werden analog einem Sandpile-Automaten definiert. Dabei wird in jeder Runde in einer zufälligen Zelle die Bevölkerung gegen eine zufällige Gruppe ausgetauscht, sofern diese an diesem Ort zufrieden ist. Anschließend wird für die Nachbarn der Zelle untersucht, ob diese noch zufrieden sind. Ist dies nicht der Fall, so werden diese ebenfalls ausgetauscht und wiederum deren Nachbarschaft untersucht. Dadurch entstehen Wellen, deren Größenverteilung untersucht werden kann, um daran die Kriterien für ein System unter Self-Organized-Criticality zu testen.

Um das Verhalten des Automaten zu testen, wurde angenommen, daß die Toleranz der ursprünglichen Gruppe gegenüber der eindringenden 70% beträgt. Das bedeutet, dass ab einem Anteil von über 30% an Angehörigen der anderen Gruppe in der Nachbarschaft diese Zelle als unzufrieden gilt und sich deren Status verändert. Da die Matrix anfänglich nur mit der ursprünglichen Gruppe befüllt wurde,

muss die Toleranz der eindringenden Gruppe dieser gegenüber 100% betragen, um eine Invasion zu ermöglichen.

Der anfängliche Verlauf des Bevölkerungsaustauschs im Basisszenario ist hauptsächlich dadurch bestimmt, dass für einen Austausch von Zellen für beide Gruppen die gleiche Wahrscheinlichkeit angenommen wurde. Somit verläuft die Veränderung anfangs relativ schnell, und wird dann etwas langsamer. Durch die Verdrängung der ursprünglichen, intoleranten wächst der Anteil der zuziehenden Bevölkerung stetig über die Hälfte und nähert sich schließlich stetig 100% (vgl. Abbildung 4).

Entsprechend den Annahmen der Self-Organized-Criticality wurde die Verteilung der Größen der ausgelösten Änderungen auf eine Power-Law-Verteilung getestet. Abbildung 5 zeigt deren Verlauf und Größenverteilung.

Nach gängigen Annahmen (das Testverfahren folgt Clauset, Shalizi, Newman, 2009) ergibt sich eine Power-Law-Verteilung – auch wenn deren Anpassung nicht sehr gut ist ( $p=0,15$ ). Hier kommt scheinbar die Veränderung zwischen den „reinen“ Sandpile-Automaten und dem Modell zu tragen.

Schließlich wurde eine Sensitivitätsanalyse für die beiden wesentlichen Parameter, der Toleranz der ursprünglichen gegenüber der zuziehenden Bevölkerung und dem Anteil der zuziehenden Bevölkerung an der bei Austausch zufällig gezogenen Bevölkerung, durchgeführt.

Diese zeigt, dass bei gleicher Mischung in der Ziehung bis zu einer Toleranz von 85% eine vollständige Sukzession stattfindet. Bei einer Toleranz von 70% (der Annahme im

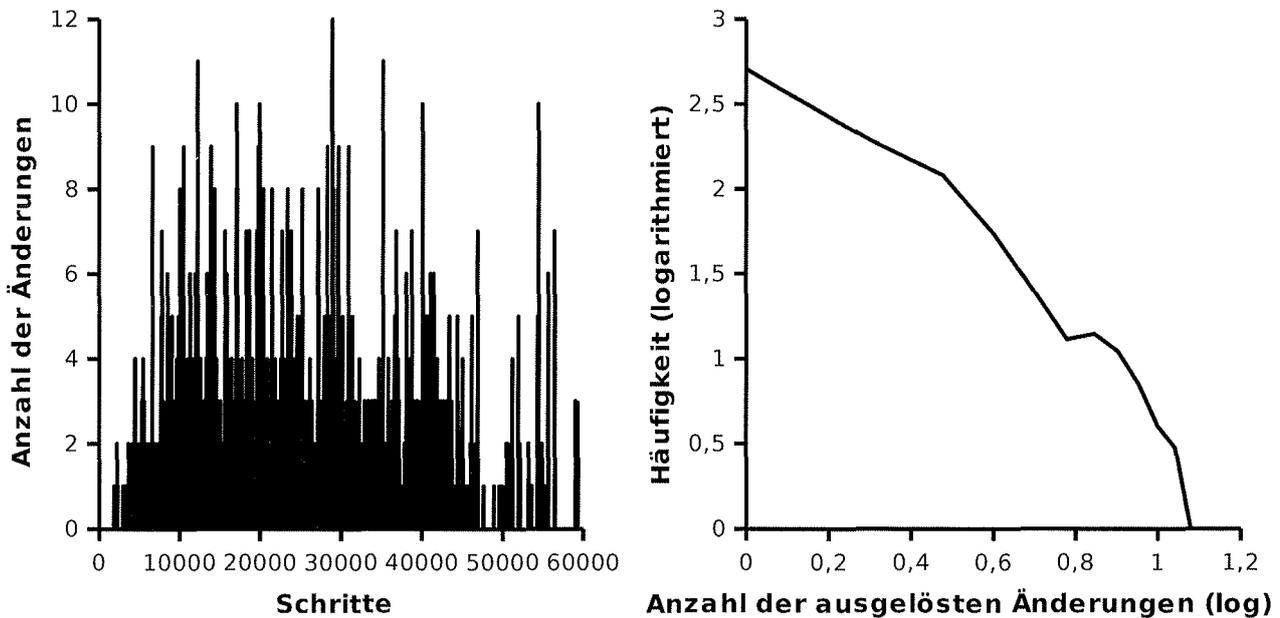


Abbildung 5: Verlauf und Verteilung der ausgelösten Änderungen  
Quelle: Eigene Darstellung

Basisfall und dem Tipping-Point in Schellings Segregationsmodell) kommt es bereits ab dazu einem Anteil von 25% an zuziehender Bevölkerung in der Ziehung. Diese Größe liegt am oberen Ende der oben erwähnten üblichen Tipping-Points zwischen 5 und 25 % für Invasions-Sukzessions-Zyklen. Ein Anteil von 5% wäre kritisch, wenn die Toleranz bei 50% läge – also die ursprüngliche Bevölkerung nicht gegenüber der neuen in der Minderheit sein will.

Somit zeigt sich, dass das Modell das erwartete dynamische Verhalten zeigt. Es handelt sich um ein Modell mit Self-Organized-Criticality, das auch geeignet scheint, die üblichen Schwellenwerte bei Invasions-Sukzessions-Prozessen abzubilden.

#### DOPPELTER INVASIONS-SUKZESSIONS-AUTOMAT

Basierend auf dem einfachen Invasions-Sukzessions-Automaten soll ein doppelter Invasions-Sukzessions-Automat entwickelt werden. Analog der Annahme von ursprünglicher Bevölkerung, Pionieren und Gentrifiern werden drei mögliche Zustände für die Zellen definiert. Die Toleranzen werden nun als Toleranz gegenüber dem Anteil der jeweils anderen Gruppen in der Nachbarschaft angenommen. Dabei addieren sich die Beiträge aller Gruppen in der Nachbarschaft, gegenüber denen die Zelle nicht vollständig tolerant ist. Die Übergangsregeln entsprechen denen des einfachen Automaten. Auch hier wird im Standardfall angenommen, dass bei Austausch einer Zelle die Wahrscheinlichkeit für alle drei Gruppen gleich hoch ist, die Zelle zu besetzen.

Da die Matrix anfangs vollständig von Mitgliedern der ersten Gruppe besetzt ist, wird die Toleranz zwischen der ersten und der zweiten Gruppe und der zweiten und der dritten Gruppe als vollständig (100%) angenommen, um Invasion möglich zu machen. Entsprechend den Ergebnissen für einen Tipping-Point beim einfachen Invasions-Sukzessions-Automaten werden die Toleranzen der ersten gegenüber der zweiten und der dritten und der zweiten Gruppe gegenüber der dritten mit 75% angenommen. Die Toleranz zwischen der letzten und der ersten Gruppe wird mit 0% angenommen. Daher ist eine Invasion der letzten Gruppe nur in Gebieten möglich, die bereits vollständig von Angehörigen der zweiten Gruppe besetzt sind.

Wie in Abbildung 6 zu erkennen, ergibt sich ein Verlauf, bei dem der Anteil der zweiten Gruppe (yellow) zunächst ansteigt. Ab einem gewissen Zeitpunkt wächst der Anteil der letzten Gruppe (blue) auf Kosten der beiden anderen. Schließlich verdrängt diese alle vorhergehenden. Damit ist diese Abfolge der des doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus (Abbildung 2) ähnlich.

Wie im Fall des einfachen Invasions-Sukzessions-Automaten wird die Verteilung der Größen der ausgelösten Änderungen (Abbildung 7) auf eine Power-Law-Verteilung getestet.

Der erreichte Anpassungsgrad ( $p=0,14$ ) ist ähnlich dem des einfachen Automaten. Somit ergibt sich hier keine wesentliche Änderung.

Über Sensitivitätsanalysen wird untersucht, inwieweit Veränderungen der Toleranzen zwischen der ersten und der zweiten, der ersten und der letzten, der letzten und der ersten und schließlich der zweiten gegenüber der letzten Gruppe den Zeitpunkt der vollständigen Sukzession der

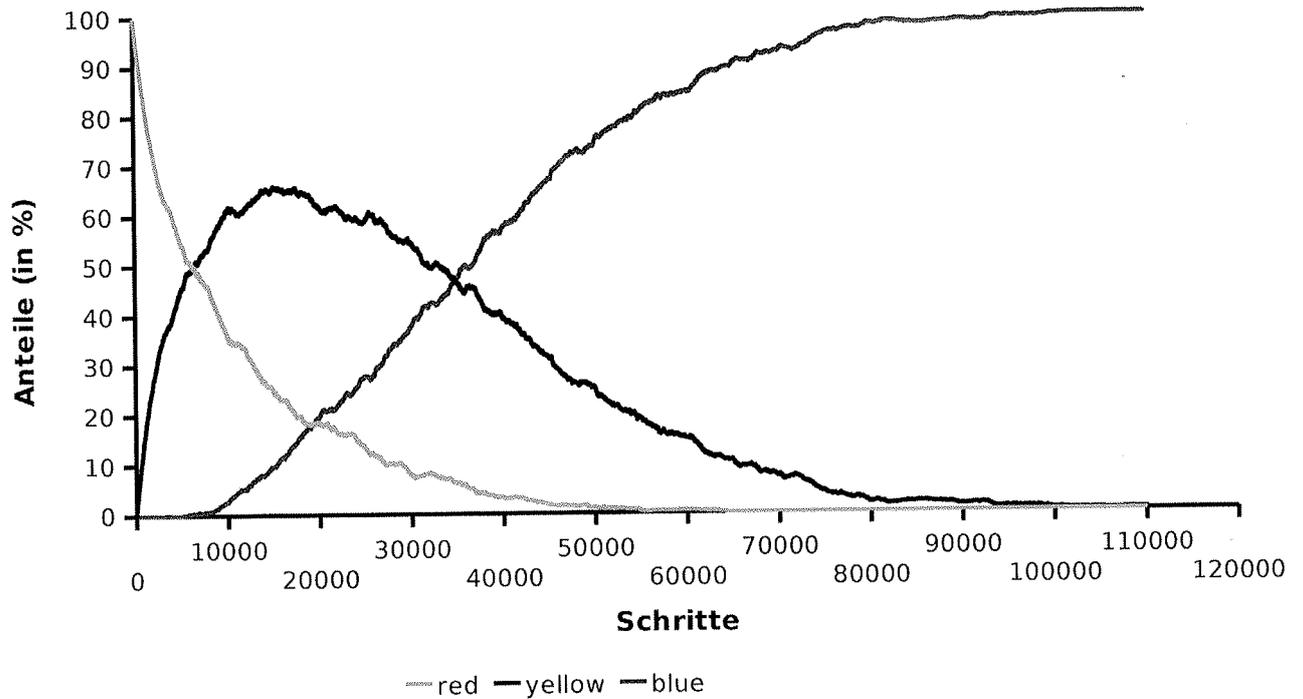


Abbildung 6: Verlauf des doppelten Invasions-Sukzession-Automaten  
 Quelle: eigene Darstellung

letzten Gruppe verschiebt bzw. diese unmöglich macht und wie sich dadurch der maximale Anteil der zweiten Gruppe während des Verlaufs verändert. Es lässt sich zeigen, dass sich durch entsprechende Anpassung der Toleranzen sowohl die Geschwindigkeit verändert als auch der Zeitpunkt

des Einsetzens der Invasion der zweiten und der letzten Gruppe verschiebt. Somit lassen sich verschiedenste Verläufe abbilden.

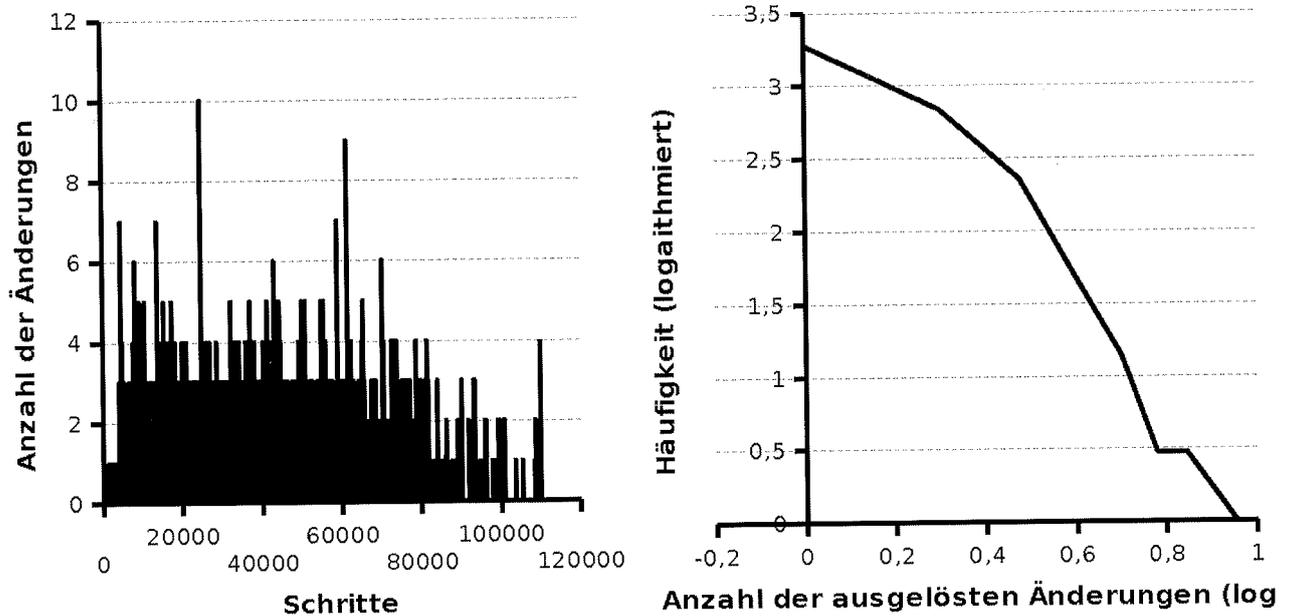


Abbildung 7: Verlauf und Verteilung der ausgelösten Änderungen  
 Quelle: eigene Darstellung

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ähnlich etwa Schellings Segregationsmodell (Schelling, 1978) verwendet das vorgestellte Modell Toleranzschwellen innerhalb einer Nachbarschaft, um einen Tipping-Prozess abzubilden. Daneben basiert es – ähnlich dem Ansatz von Wu (2003) – auf einem Sandpile-Automaten für ein System außerhalb eines Gleichgewichtszustands.

Es zeigt sich, dass auch dieser Automat als einer mit Self-Organized-Criticality gesehen werden kann, da die Größen der ausgelösten Änderungen Power-Law-verteilt sind. Auch ist das Modell imstande, den angenommenen Verlauf eines doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus nachzubilden. Somit erscheinen die Annahmen geeignet, ein solches Systemverhalten zu erzeugen.

Die in beiden Modellen getroffenen Annahmen über Toleranzen und Nachbarschaften sind relativ willkürlich – auch wenn sie auf den Erfahrungen ähnlicher Modelle beruhen. Daher ist das Modell in dieser Form nur geeignet, die Konsistenz der Annahmen in Bezug auf ihre dynamischen Effekte und damit das Systemverhalten zu überprüfen. Allerdings ist das Verhalten – auch durch die zwingende Logik eines Systems mit Self-Organized-Criticality – relativ stabil. Daher sind die konkreten Annahmen über Nachbarschaft und Toleranz relativ leicht durch andere – ähnliche – ersetzbar, ohne die Dynamik grundlegend zu verändern.

Um das Modell darüber hinaus zu entwickeln, bräuchte es empirische Grundlagen für die getroffenen Annahmen. Dann ließen sich die Ergebnisse mit einem empirischen Verlauf in einem Quartier vergleichen und somit das Modell an der Realität testen. Dies wäre auch nötig, um die von Friedrich aufgeworfene Frage, ob ein Modell wie das vorgestellte dazu geeignet wäre, Widersprüche zwischen empirischen Verläufen und den Annahmen des doppelten Invasions-Sukzessions-Zyklus besser zu erklären.

Anders als Wus (2003) Angebots-Modell ist das vorgestellte Modell ein Nachfrage-Modell für Gentrification. Wie alle nachfrageseitigen Simulationsmodelle für Gentrification und auch die Nachfrage-orientierte Theorie ist es imstande einen Aufwertungs-Verlauf darzustellen, aber keinen kompletten Zyklus des Verfalls und der Re-Investition (Seidl, 2010). Daher wäre eine Kombination mit einem Angebots-Modell (wie etwa Diappi, Bolchi, 2006 und Semboloni, 2007) von Interesse.

Auch außerhalb der – bei komplexen Systemen aufgrund ihrer emergenten Eigenschaften nur schwierig möglich – empirischen Anwendung im Sinne traditioneller Prognostik (Gilbert, Troitzsch, 2005) sind auf der Basis eines derartigen Modells oder besser noch eines integrieren Angebots-Nachfrage-Modells durchaus Erkenntnisse möglich. So ließen sich anhand von Modifikationen zu einem Basismodell, die dynamischen Effekte von Regulation (wie etwa unterschiedlicher Mietrechte) untersuchen.

## LITERATUR:

- Bak, Per, Chen, Kan, Creutz, Michael (1989) *Self-organized criticality in the "Game of Life"*. Nature 342: S. 780-782.
- Bak, Per, Tang, Caho, Wiesenfeld, Kurt (1988) *Self-organized criticality*. Physical Review A 38(1): S. 364-374.
- Blasius, Jörg (1993) *Gentrification und Lebensstile*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.
- Burgess, Ernest Watson, Park, Robert Ezra, McKenzie, Roderick Duncan, (1925) *The City*. University of Chicago Press, Chicago
- Clauset, Aron, Shalizi, Cosma Rohilla, Newman, Mark E. J. (2009) *Power-law distributions in empirical data*. SIAM Review 51(4): S. 661-703.
- Clay, Phillip L., (1979) *Neighborhood Renewal. Middle-class Resettlement and Incumbent Upgrading in American Neighborhoods*. Lexington Books, Lexington.
- Dangschat, Jens S. (1988) *Gentrification: der Wandel innensadtnaher Wohnviertel*. S. S. 272-292 in: Friedrichs, Jürgen: *Soziologische Stadtforschung, Sonderheft 29 der der Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*.
- Diappi, Lidia, Bolchi, Paola (2006) *Gentrification Waves in the Inner-City of Milan: A multi agent/cellular automata model based on Smith's Rent Gap theory*. S. 187-201 in: van Leeuwen, Jo P., Timmermans, Harry J.P.: *Innovations in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*. Springer.
- Friedrichs, Jürgen (1996) *Gentrification: Forschungsgegenstand und methodologische Probleme*. S. 13-41 in: Friedrichs, Jürgen und Kecskes, Robert: *Gentrification - Theorie und Forschungsergebnisse*. Leske + Budrich, Opladen.
- Gardner, Martin (1970) *The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life"*. Scientific American 223: S. 120-123.
- Gilbert, Nigel, Troitzsch, Klaus G. (2005) *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, Maidenhead.
- Glass, Ruth, (1964) *Introduction*. S. XII-XVII in: Center for Urban Studies: London: *Aspects of Change*. MacGibbon & Kee, London
- Hamnett, Chris (1991) *The Blind Man and the Elephant: The Explanation of Gentrification*. S. 30-51 in: van Weese, Jan und Musters, Sako: *Urban Housing for the Better-Off: Gentrification in Europe*. Stedelijke Netwerken, Utrecht
- Hamnett, Chris (2003) *Unequal City - London in the Global Arena*. Routledge, London
- Hoffmeyer-Zlotnik, Jürgen (1976) *Der Prozess der Sukzession - Die Unterwanderung von Berlin-Kreuzberg*; Dissertation - Universität Hamburg.
- Lees, Loretta, Slater, Tom, Wyly, Elvin (2008) *Gentrification*. Routledge, New York.
- Ley, David (1978) *Inner city resurgence and its social context*; paper presented at the annual conference of the Association of American Geographers.
- Schelling, Thomas C. (1978) *Micromotives and macrobehavior*. W.W. Norton & Company, New York.
- Seidl, Roman (2010) *Gentrification-Simulation*. Diplomarbeit – Technische Universität Wien.
- Semboloni, Ferdinando (2007) *Gentrification as an emerging phenomenon from a real estate market*. Congress of the European Regional Science Association (47th Congress), PARIS - August 29th - September 2nd, 2007.
- Smith, Neil (1996) *The New Urban Frontier - Gentrification and the revanchist city*. Routledge, Oxon.
- Smith, Neil (2000) *Gentrification*. S. 249-296 in: Johnson, R.J., Gregory, Derek, Pratt, Geraldine, Watts, Michael: *The Dictionary of Human Geography*. Blackwell, Oxford.
- Wu, Fulong (2003) *Simulating Temporal Fluctuations of Real Estate Development in a Cellular Automata City*. Transactions in GIS 7(3): S. 193-210.

ERNST GEBETSROITHER

## DIE KOMBINATION VON MULTI-AGENTENBASIERTER MODELLIERUNG MIT SYSTEM DYNAMICS

### EINLEITUNG

Multi-agentenbasierte Modellierung und *System Dynamics* sind relativ neue Modellierungsparadigmen<sup>1</sup> welche in einer Art Koevolution mit der Entwicklung der *Personal Computer* ihren Durchbruch in der wissenschaftlichen Anwendung gefeiert haben. Die hohe Verfügbarkeit von leistungsfähigen Computern hat wesentlich zur Entwicklung und Verbreitung der Paradigmen beigetragen, dies unter anderem, weil analytische Lösungen<sup>2</sup> komplexer Probleme schwierig und oft nur mit erheblichem Zeitaufwand zu erhalten sind. Zudem wird durch die Computersimulation zumeist eine bessere bzw. anschaulichere Ergebnisdarstellung erreicht, als eine analytische Lösung liefert.

Innerhalb der letzten 5-10 Jahre zeichnet sich ein Trend zu sogenannten multi-paradigmatischen Ansätzen ab. Dies v.a. deshalb weil eine Analyse von komplexen Forschungsfragen, von Problemen der *Natur-Gesellschaft-Interaktionen*, einen hohen Realitätsbezug hat, wenn sie nicht an einen Ansatz oder Methode gebunden sind. Abgesehen von allen anderen Herausforderungen muss ein derartiger pro-

#### *System Dynamics (SD):*

Die unter dem Namen System Dynamics (SD) bekannte Simulationsmethode beruht mathematisch auf der numerischen Lösung gewöhnlicher Differenzialgleichungen beliebiger Ordnung linearer oder nichtlinearer Art. Die Systemelemente sind häufig durch Rückkopplungsschleifen (positiv – verstärkend oder negativ – dämpfend bzw. Schwingungen erzeugend) miteinander verbunden. Es können auch die Wechselwirkungen von einander beeinflussenden dynamischen Teilsystemen analysiert werden, z.B. zwei Planetenbahnen, deren wechselseitige Beeinflussung schon von Kepler bestimmt wurde, oder Räuber-Beute-Systeme in der Ökologie.

#### *Multi-Agenten-Simulation (MAS):*

Die multi-agentenbasierte Modellierung (oder auch Multi-Agenten-Simulation, MAS) geht nicht wie SD vorwiegend von Aggregatsgrößen, sondern von individuellen Akteuren (Agenten) und deren Interaktion auf der Mikroebene aus, deren individuelles Verhalten aggregiert werden kann. MAS bietet die Möglichkeit der Beschreibung von evolutionärem Verhalten in Zeit und Raum (es kann qualitativ Neues auftreten, der Zufall ist dabei zumeist ein wesentlicher Bestandteil in den Simulationen). Typische Beispiele für diese Methode sind die Simulation der Bewegung großer Menschenmassen (Schwarmverhalten), z.B. in Fußballstadien oder in U-Bahn-Stationen, oder auch die Interaktion und Strukturbildung in sozialen Netzwerken.

blemorientierter Ansatz fähig sein, in gleicher Weise mit in Strukturmodellen und Verhaltensmodellen, wie sie z.B. in *Natur-Gesellschaft Interaktionen* vorkommen, umzugehen.

Lorenz und Jost argumentierten, dass Modellierer oft Modellierungsansätze missachten, mit denen sie nicht vertraut sind, oder einfach nicht genau differenzieren können, welche Ansätze für welche Probleme adäquat sind (Lorenz / Jost 2006).

Weiters behaupteten sie, dass die Anwendung multi-paradigmatischer Modellieransätze durch die Entwicklung verfügbarer Modellierungswerkzeuge (Simulationsplattformen) wesentlich vorangetrieben werden kann.

In den vergangenen Jahren wurde spezialisierte Software wie z.B. Anylogic<sup>3</sup> und MASGISmo<sup>4</sup> entwickelt, um unterschiedliche Paradigmen miteinander zu verknüpfen.

Wie Scholl (Scholl 2001a) erwähnte, markieren die hauptsächlichlichen Unterschiede in den Modellierungsparadigmen ihre Stärken und Schwächen. Die multi-agentenbasierte Modellierung zum Beispiel hat Probleme, falls individuelles Verhalten (abgebildet in den Agentenregeln) aus aggregiertem Verhalten abgeleitet werden soll. Dies ist z.B. der Fall, wenn nur aggregierte Informationen bzw. Daten zur Verfügung stehen, aus denen sich kaum disaggregierte Verhaltensregeln ableiten lassen. In der Analyse auf aggregierter Ebene liegt eine der Stärken des *System Dynamics*-Ansatzes. Dieser zeigt dagegen Schwächen bei der Modellierung von Selbstorganisationsprozessen, ausgehend von der Wirkung der Individuen-Ebene auf die Makroebene. Zudem spielt im Fall der agentenbasierten Modelle, im Gegensatz zu den *System Dynamics*-Modellen, der Zufall eine entscheidende Rolle. Durch eine Kombination beider Ansätze innerhalb eines Modells können die Schwächen verringert und die Stärken voll ausgenutzt werden (vgl. Scholl 2001a).

### HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Vor ungefähr zehn Jahren publizierten Akkermann und Scholl die ersten Pionierarbeiten zum Thema (Akkermann 2001, Scholl 2001a und Scholl 2001b). Die Arbeiten von Pourdehnad et al., sowie Schieritz und Milling lieferten in der Folge weitere bedeutende Argumente, wann und wie die Ansätze kombiniert werden könnten und auch sollten (Pourdehnad et al. 2002, Schieritz 2002, Schieritz / Milling 2003).

Gegenwärtig existieren aber noch relativ wenig wirklichte Simulationsmodelle, hinzuweisen wäre auf die Modelle von Schieritz und Größler (Schieritz / Größler 2003), sowie Boroshchev und Filippov (Boroshchev / Filippov 2004). Einen ersten Versuch der Entwicklung von allgemeinen Rahmenbedingungen, wann welcher Modellierungsansatz anzuwenden wäre, liefern Lorenz und Jost (Lorenz /

Jost 2006). Dabei ist anzumerken, dass auch sie keine eindeutigen Kriterien von Rahmenbedingungen liefern konnten. Die nachfolgende Abbildung von Lorenz und Jost zeigt aber eine grobe Einteilung der Ansätze aufgrund ihrer Charakteristika.

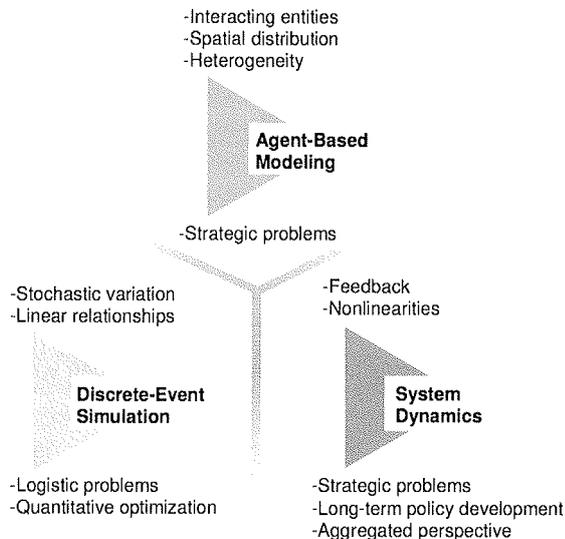


Abbildung 1: Rahmenbedingungen für den Einsatz verschiedener Modellierungsansätze

Wie Abbildung 1 zeigt, ist die Simulation strategischer Probleme sowohl für MAS als auch für SD ein gewöhnliches Anwendungsgebiet. *Top Down*-Entscheidungen auf der Makroebene zeichnen SD aus, der Raumbezug hingegen ist zumeist ein wesentliches Charakteristikum von MAS-Modellen. Rückkopplungsstrukturen und Nichtlinearitäten sind auch in MAS zu finden, wenngleich sie nicht die Rolle spielen wie in SD-Modellen, innerhalb jener sie als wesentliche Eigenschaften der Systembeschreibungen angesehen werden. Lorenz und Jost treten dafür ein, dass das Objekt der Modellierung und der Zweck des Modells die zu verwendende Methode bestimmen sollen und nicht eine Affinität des Modellbauers zu einer der beiden Methoden. Wesentlich dafür wird u.a. sein, dass geeignete Werkzeuge (Software bzw. Modellierungsplattformen) bereitstehen, die eine einfache Integration der verschiedenen Ansätze ermöglichen.

#### ARTEN QUALITATIV UNTERSCHIEDLICHER KOMBINATIONSMÖGLICHKEITEN

Im Wesentlichen können vier qualitativ unterschiedliche Arten differenziert werden, wie sich MAS und SD kombinieren lassen. Im Folgenden werden diese Kombinationstypen kurz vorgestellt.

Die Ergebnisse eines SD-Modells können von einem MAS-Modell benutzt werden, um die Rahmenbedingungen, die Umwelteinflüsse auf die Agenten, im Unterschied zu einer statischen Umwelt zeitlich veränderlich (dynamisch) zu simulieren. Dabei wirken diese Umwelteinflüsse oft we-

sentlich auf die Aktivitäten der Agenten oder verändern zumindest deren Handlungsspielraum. Beispiele dafür können im Management natürlicher Ressourcen gefunden werden. Wobei die Struktur der Umwelt unveränderlich angenommen wird und keine Systembrüche im Umweltmodell abgebildet werden. Dieser Kombinationstyp kann als *einseitige oder unidirektionale Kombination* bezeichnet werden und zeichnet sich dadurch aus, dass keine Rückkopplung zwischen den Subsystemen (MAS- und SD-Modell) modelliert wird. Die Kombination beider Ansätze ohne die Berücksichtigung einer Rückkopplung ist wesentlich einfacher zum einen im technischen Sinne für die Gesamtmodellerstellung, aber zum anderen auch für die Analyse und Evaluierung des Modells. Als Beispiel kann ein SD-Modell, das die klimatischen Veränderungen in einer Region in ihren Auswirkungen auf die natürlichen Ressourcen dieser Region (z.B. Wasser, Biomasseproduktion) simuliert, betrachtet werden. Diese klimatischen Rahmenbedingungen werden dann vom MAS als Entscheidungsgrundlagen verwendet, ohne die Rückwirkungen der Entscheidungen wieder auf die klimatischen Veränderungen zu berücksichtigen. In diesem Fall kann z.B. davon ausgegangen werden, dass die Änderungen in der Region durch ihre Akteure, zumindest im Betrachtungszeitraum des Modells (5-10 Jahre), keine signifikanten Änderungen im Klimasystem hinterlassen. Dadurch wird die Komplexität des Gesamtmodells wesentlich reduziert. SD-Modelle eignen sich sehr gut für die Abbildung derartiger Systeme aus einer Art Makroperspektive. Die Reaktion der Akteure in der Region, deren Selbstorganisation bzw. Anpassung an die geänderten Umweltbedingungen, kann wiederum sehr gut mittels Einsatz Agenten-basierter Modelle abgebildet werden. Als ein Fallbeispiel wurde ein multi-paradigmatisches Modell für das Wassermanagement in der Region um das Tote Meer entwickelt. Darin wurden die detaillierten räumlichen Anpassungen (Selbstorganisation) an die politischen, *top down* geänderten Rahmenbedingungen simuliert. Dieses Fallbeispiel wird später näher beschrieben.

Innerhalb dieses Kombinationstyps kann auch das MAS-Modell als Input für ein SD-Modell verwendet werden. Zum Beispiel könnte eine Güternachfrage, die von der Interaktion und der Selbstorganisation der Agenten geprägt ist, als Input in einem Produktionsmodell (siehe auch *supply chain models*) verwendet werden. Die strukturbedingte Dynamik derartige Produktionsketten lässt sich wiederum sehr gut mit der SD Methode abbilden.

Der zweite Kombinationstyp hingegen inkludiert Rückkopplungen zwischen dem MAS-Modell und dem SD-Modell und kann somit *wechselseitig oder bidirektionale Kombination* benannt werden. Wobei die bestehende Rückkopplung sehr wesentlich für das Systemverhalten ist. So kann in diesem Fall die Umwelt der Agenten, simuliert mittels SD-Modell, durch die Agenten selbst stark beeinflusst werden. Als Beispiel sei ein Waldmanagementmodell angeführt, in dem die Ressource Wald, die mit einem SD-Modell<sup>5</sup> abgebildet wird, unmittelbar von den Handlungen der Agenten am Markt beeinflusst wird. Werden z.B. aufgrund guter aktueller Handelspreise für eine bestimmte Holzart und Altersklasse Flächen gerodet, so stehen in der Zukunft

weniger Bäume zur Verfügung. Auch wenn die gerodeten Flächen aufgeforstet werden, dauert es z.T. 50-100 Jahre, bis wieder die Bäume nachgewachsen sind. Diese strukturbedingten verzögerten Auswirkungen der Handlungen der Agenten sind wesentliche Treiber der Systemdynamik. In diesem Fall beeinflussen sich somit SD- und MAS-Modell wechselseitig und diese Abhängigkeit ist zentral für das Verhalten des Gesamtmodells, kann also nicht vernachlässigt werden. Eine nähere Beschreibung dieses Fallbeispiels ist in Gebetsroither 2010 zu finden. Bei diesem Kombinationstyp kann das Gesamtsystem, im Vergleich zum Beispiel der Klimaveränderungen, als mehr in sich geschlossen charakterisiert werden. Zudem wird hier das System nicht von treibenden Kräften außerhalb des Systems angetrieben, sondern hauptsächlich endogen.

Eine weitere qualitativ unterschiedliche Kombinationsmöglichkeit stellt eine sogenannte *MAS-zu-Multi-SD-Kombination* dar. Hierin wird das MAS-Modell dazu benutzt, um zwischen qualitativ unterschiedlichen SD-Modellen zu wechseln. Hintergrund dafür ist die Gebundenheit der SD-Modelle an eine vordefinierte Systemstruktur, die während der Simulation nicht geändert werden kann. Selbstorganisation im Sinne von Strukturbrüchen (Strukturänderungen bzw. der Entstehung von qualitativ Neuem) ist damit nicht möglich. Dies würde nämlich bedeuten, dass die Stock-Flow-Struktur in einem SD-Modell während der Simulation verändert werden müsste. Diese „Schwäche“ von SD-Modellen kann innerhalb dieses Kombinationstyps umgangen werden. Das MAS-Modell wird als Entscheidungskriterium, welches SD Modell verwendet werden soll, benutzt. Ein Fallbeispiel konnte für diese Kombinationsmöglichkeit nicht realisiert werden. Als Anwendungsmodell wäre es vorstellbar, verschiedene SD-Modelle, für den Individualverkehr und öffentlichen Verkehr, aufgrund der Agentenentscheidungen laufen zu lassen. Es darf angenommen werden, dass auch diese Kombinationsmöglichkeit ihren Mehrwert hat, da Selbstorganisationprozesse, die emergente Phänomene erzeugen, das System nicht nur quantitativ ändern, sondern qualitativ neue Strukturen erzeugen und dies nicht adäquat mit SD-Modellen abgebildet werden kann. Der Einsatz von SD-Modellen bietet auf Makroebene aber oft die einzige Modellierungsmöglichkeit, da eine Simulation auf der Mikroebene aufgrund technischer oder empirischer Probleme (Datenverfügbarkeit etc.) nicht umsetzbar ist.

Ein weiterer, vierter, Kombinationstyp ist jener, in dem SD-Modelle innerhalb der Agenten für ihre Entscheidungsfindung (Abbildung der Agentenregeln) verwendet werden. Der Typ kann als *SD inkludiert in MAS* benannt werden und bedeutet, dass *jeder* Agent im MAS-Modell ein eigenes SD-Modell besitzt. Dies verursacht einige neue Konsequenzen, die im Detail in Gebetsroither 2009 diskutiert werden. Schon Phelan (Phelan 2001) argumentierte, dass sich SD-Modelle sehr gut eignen, die Rückkopplungsstrukturen z.B. eines lernenden Agenten, der sich an seine Umwelt anpasst, abzubilden. Ein Fallbeispiel wie dieser Kombinationstyp implementiert werden kann, wurde schon von Schieritz und Größler (Schieritz / Größler 2003) gegeben. Zusammenfassend zeigt folgende Abbildung eine graphische Darstellung der vier vorgestellten Kombinationstypen.

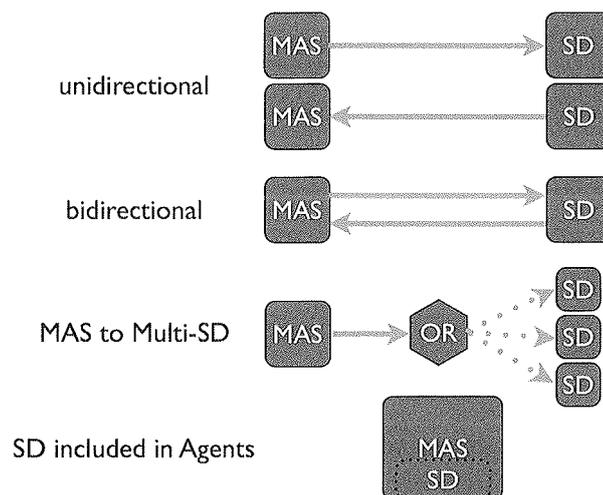


Abbildung 2: Unterschiedliche Kombinationstypen von MAS und SD

Andere Kombinationstypen, wie z.B. ein in ein SD-Modell inkludiertes MAS-Modell, können entweder auf einen der vier Typen zurückgeführt werden (in diesem Fall auf den unidirektionalen Kombinationstyp) oder machen keinen Sinn. Wenn z.B. ein SD-Modell benutzt werden sollte, um zwischen verschiedenen MAS-Modellen zu entscheiden (das Gegenteil zu *MAS to Multi-SD*), fehlt die Grundvoraussetzung, die zur Etablierung dieses Typs geführt hat, nämlich jene der Strukturgebundenheit der SD-Modelle. MAS-Modelle können nicht nur neue Systemqualitäten innerhalb eines Modells erzeugen. Gerade darin (etwa in der Analyse von Selbstorganisationsprozessen) liegt ja eine ihrer Stärken.

Im folgenden Kapitel wird eine in Java programmierte Modellierungsplattform namens MASGISmo vorgestellt, die im Rahmen von mehreren Jahren am AIT entwickelt wurde.

MASGISMO – EINE MULTI-PARADIGMATISCHE SIMULATIONSPLATTFORM

Wie schon eingangs erwähnt, war die Entwicklung und allgemeine Verfügbarkeit leistungsstarker *Personal Computer* sowie Softwareprogramme entscheidend für die rasche Verbreitung der SD- sowie MAS-Modellierungsmethoden. Für SD-Modellierung war die Entwicklung der Simulationssoftware *Dynamo* und später *Vensim*<sup>6</sup>, *Stella* und *Powersim* sehr wesentlich. Die MAS-Modellierung profitierte sehr von der Entwicklung von *SWARM*<sup>7</sup> und später *Repast*<sup>8</sup>.

Eine multi-paradigmatische Simulation legt noch höhere Anforderungen an die Simulationswerkzeuge, da sie zum einen komplexer sind, zum anderen mit dem Umstand zu kämpfen haben, dass etablierte Simulationsmethoden oft von Modellierern für nicht adäquate Probleme verwendet werden und somit der Einstieg bzw. Umstieg erleichtert werden sollte. Die im Folgenden vorgestellte, in Java programmierte Modellierungsplattform wurde im Rahmen mehrerer Projekte weiterentwickelt und getestet.

MASGISmo steht für *Multi-paradigm Agent-based, System Dynamics and GIS modelling platform* und vereint Eigenschaften, wie der Name schon vermuten lässt von SD, MAS und Geographischem Informationssystem (GIS). Ausgangspunkt war die Entwicklung einer Schnittstelle von Vensim zu ArcMap<sup>9</sup> die bereits im Jahre 2004 entwickelt wurde, siehe dazu auch (Gebetsroither / Strebl 2004). Dabei wurde damals die Verbindung zu Vensim mit *Visual Basic for Application (VBA)* programmiert. Die Verbindung funktionierte gut, hatte aber einige Schwachstellen wie die Notwendigkeit, dass ArcView, eine kommerzielle GIS Software, zur Ausführung erworben werden musste und keine Plattformunabhängigkeit gegeben war. Weiters war es nicht möglich, Agenten-basierte Modelle zu integrieren. Innerhalb eines internen Projektes, gefördert durch die AIT, mit dem Namen *Adaptive Forest Management* wurden Erfahrungen mit RepastJ gewonnen (Gebetsroither et al. 2005). Da RepastJ ebenfalls in Java programmiert ist und einen frei verfügbaren *Source Code* besitzt, wurde in der Folge MASGISmo unter der Verwendung von RepastJ für den MAS-Teil der multi-paradigmatischen Modellierungsplattform entwickelt. Die bereits vorher entwickelte Verbindung zu Vensim wurde weiterentwickelt und auf eine Anbindung an eine kommerzielle GIS-Software verzichtet. Vielmehr wurden Methoden zum Import und Export von GIS-Daten in der Form von ASCII-Grids<sup>10</sup> implementiert und zusätzlich einige charakteristische GIS-Funktionalitäten selbst ausprogrammiert. Dadurch ist MASGISmo für die Simulation nicht an den Erwerb von Software gebunden und deshalb leichter einsetzbar. Die Vensim-Modelle laufen dabei während der Simulation im Hintergrund und können auch unabhängig vom Gesamtmodell verwendet, sowie entwickelt werden.

Dies hat den Vorteil, dass die professionelle SD Software bereits viele nützliche Funktionen bereitstellt und die Modelle über den frei verfügbaren Vensim-Modelreader problemlos weitergegeben werden können. Die folgende Abbildung zeigt das generelle Integrationschema von MASGISmo.

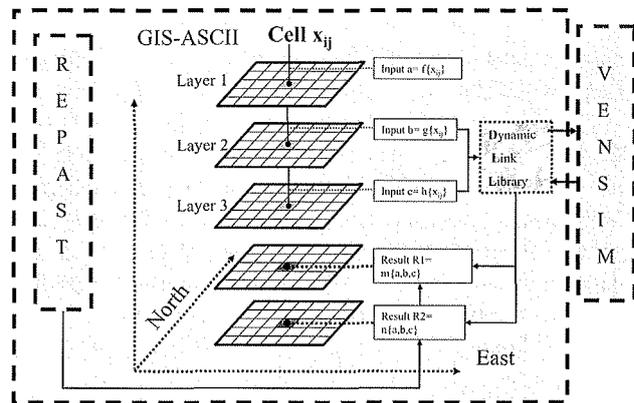


Abbildung 3: Generelles Integrationschema von MASGISmo

DAS GRAPHISCHE BENUTZER-INTERFACE (GUI) VON MASGISMO:

Die GUI wurde entwickelt, um die Benutzung der verschiedenen Eigenschaften der integrierten Simulationsumgebungen von der Benutzeroberfläche aus nutzen bzw. steuern zu können. Abbildung 4 zeigt die GUI anhand des Screenshots eines Simulationsbeispiels.

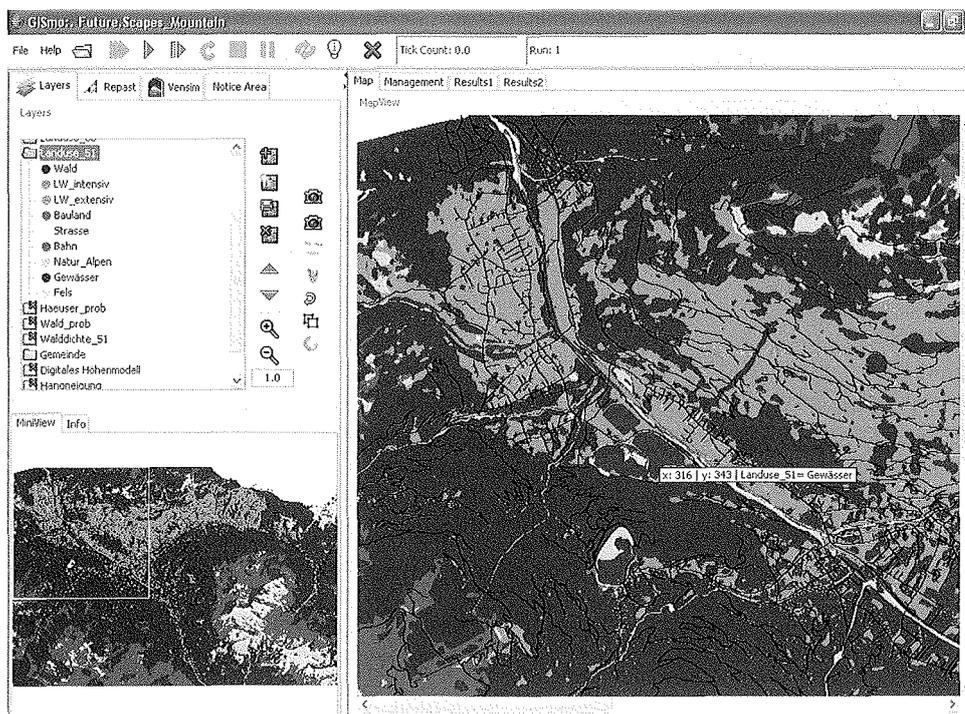


Abbildung 4: Graphische Benutzeroberfläche von MASGISmo

Das Interface beinhaltet wesentliche GIS-Funktionalitäten wie *Zoom in* und *Zoom out*, sowie Änderungen des Layouts (der Legenden) der dargestellten Karten. Weiters sind einige interaktive und Analyse-Werkzeuge integriert. Vom Interface aus kann der Modellbenutzer neben den Werten der Modellparameter auch geographische Informationen abgreifen und während oder vor der Simulation Parameterwerte ändern.

Die folgenden Haupteigenschaften sind in der derzeitigen Version von MASGISmo verfügbar:

#### Generelle Ansichts- und Layout-Features:

- *Zoom in* und *Zoom out*, Auswahl verschiedener Layer (Karten) und Veränderung der Legende, sowie generelle Kartensichtbarkeit
- ein sogenanntes *MiniView* Fenster, das auch die aktuelle Position im Überblick wiedergibt,
- Veränderung der Reihenfolge der Layer (dies ändert auch ihre Sichtbarkeit, angelehnt an professionelle GIS-Software)
- Anzeigen der Werte eines selektierten Karte an jeder Mauszeiger-Position,

#### Interaktive-Features:

- mit Hilfe des Mauszeigers können neue Elemente wie z.B. Straßen, Gebäude etc. auch während der Simulation erzeugt oder gelöscht werden
- die Änderung der Parameterwerte kann mit Schieberegler oder über Inputfelder auch während der Simulation erfolgen
- neue Karten (ASCII-Grids) können importiert oder Simulationsergebnisse als ASCII-Grids exportiert werden
- einfache GIS-Operationen wie die Berechnung von Summenkarten oder Distanzkarten können *dynamisch* berechnet werden. Dies bedeutet, dass bei Änderung einer der Ausgangskomponenten auch ein Update dieser dynamischen Karten erfolgt. Wird z.B. eine neue Straße vom Benutzer während der Simulation hinzugefügt und existiert eine dynamische Distanzkarte zum gesamten Straßenlayer, dann adaptiert sich die Distanzkarte automatisch.

#### Analyse Werkzeuge:

- Screenshots von den ganzen Karten oder nur eines selektierten (vergrößerten) Ausschnittes
- Diagramme und Tabellen der Modellparameter
- Filme des Simulationsverlaufes
- Differenzkarten zur Analyse der räumlichen Veränderungen über die Zeit
- Aufzeichnung der interaktiven Änderungen in den Parametereinstellungen vom Benutzer
- Dokumentationsbereich, in der der Benutzer seine Anmerkungen während der Simulation eintragen kann

#### Vorteile von MASGISmo:

- vollständig in Java programmiert und dadurch sehr flexibel und leicht erweiterbar

- Verwendung spezialisierter SD-Software zur Erstellung der SD-Modelle
- die GUI kann an die Anforderungen des Modells bzw. der Benutzer angepasst werden
- GIS-Visualisierung sowie Analysefunktionen sind integriert und werden nach Bedarf weiterentwickelt
- GIS-Daten können importiert und exportiert werden und damit in spezialisierter GIS-Software weiterbearbeitet sowie vorbereitet werden
- Programmierungsumgebungen wie Eclipse<sup>11</sup> oder Netbeans<sup>12</sup> können leicht verwendet werden
- andere Java-programmierte Erweiterungen sind relativ einfach zu integrieren

#### Nachteile von MASGISmo:

- derzeit existiert noch keine umfassende Dokumentation aller verfügbarer Methoden (für den größten Teil der anwendungsorientierten Methoden gibt es eine Dokumentation)
- nicht sehr oft verwendet (derzeit nur in Projekten des AIT)
- MAS- und SD-Softwarepakete wie (RepastJ und Vensim) sind von verschiedenen Gruppen entwickelt, was z.T. bei neueren Versionen leichte Kompatibilitätsprobleme verursachen kann (bisher traten aber nie größere Schwierigkeiten auf)
- es gibt keinen professionellen Support für Anwender durch die Entwickler

Es existiert auch ein Einführungsvideo von MASGISmo, das die wichtigsten Features demonstriert und einen besseren Eindruck über den Ablauf einer Simulation vermittelt ([http://systemsresearch.ac.at/exchange/gebetsroither/Tutorial\\_von\\_MASGISmo/Welcome.html](http://systemsresearch.ac.at/exchange/gebetsroither/Tutorial_von_MASGISmo/Welcome.html)).

Nachfolgend wird kurz ein Anwendungsbeispiel einer multi-paradigmatischen Simulation unter der Verwendung von MASGISmo beschrieben.

#### FALLBEISPIEL "A MORE SUSTAINABLE DEVELOPMENT FOR THE DEAD SEA BASIN"

Dabei handelt es sich um ein internationales EU-Projekt das von AIT geleitet wurde. Teil des Projektes war die Simulation verschiedener Szenarien, wie sich das Wassermanagement in der Region rund um das Tote Meer entwickeln könnte. Bei diesem Beispiel handelte es sich um eine *unidirektionale Kombination* (vgl. Abbildung 2) von MAS und SD unter der Nutzung von GIS-Daten. In diesem Beitrag kann das Fallbeispiel nur in aller Kürze beschrieben werden, nähere Informationen dazu sind in Gebetsroither / Loibl 2006, sowie Orthofer et al. 2001 zu finden.

Das Hauptproblem kann wie folgt charakterisiert werden: Das Gebiet im *Nahen Osten* mit den angrenzenden Regionen (Libanon, Syriens, Israel, Palästina und Jordanien) ist sehr stark vom Wassereinzugsgebiet des Jordanflusses geprägt. Der obere Jordanfluss und seine Zuflüsse entnehmen Wasser aus dem See Tiberias und dem Yarmoukfluss, beide in der Größenordnung von 500 Millio-

nen Kubikmeter pro Jahr (500 MKM/Jahr). Dieses Wasser gelangte in der Vergangenheit in den unteren Jordanfluss. Durch stete Steigerung der Entnahme in den letzten 80 Jahren gelangt nur mehr eine stark reduzierte Wassermenge in das Tote Meer, ca. 200 MKM/Jahr statt ca. 1200 MKM/Jahr. Das Wasserdefizit von ca. 1000 MKM/Jahr führte zu einem Absinken des Meeresspiegels sowie des Grundwasserspiegels. Gegenwärtig sinkt der Meeresspiegel um mehr als 1 m pro Jahr. Die folgende Abbildung 5 gibt eine graphische Übersicht der Region.

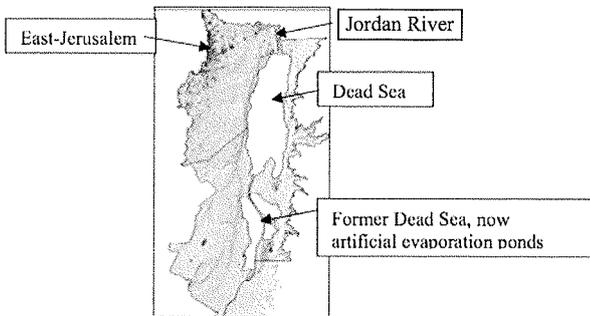


Abbildung 5: Räumliche Beschreibung der Fallbeispielsregion Totes Meer

Innerhalb des Projektes wurde mit MASGISmo analysiert, wie sich politische (*top down*) Entscheidungen auf die Region und deren Akteure auswirken können. Dazu wurde ein SD-Modell der allgemeinen Wasserverfügbarkeit entwickelt, welches aufgrund der politischen Entscheidungen (den Annahmen in den einzelnen Szenarien) das gesamte Wasserangebot für unterschiedliche Sektoren wie Landwirtschaft, Tourismus, Industrie, Siedlungsentwicklung und Natur simuliert. Dieser Output, die Ergebnisse des SD-Modells auf der Makroebene, wurde dann im agentenbasierten Modell als Input für die Analyse der kleinräumlichen Auswirkungen verwendet. Dabei wurde simuliert, wie die einzelnen Akteure wie z.B. Landwirte das Wasserangebot nutzen. Abbildung 6 zeigt Ergebnisse eines Szenarios (*Demand Managed Basin – Scenario*). Die Ausgangssituation im Jahre 2005 ist links und die Veränderungen im Jahr 2025 rechts im Bild dargestellt.<sup>13</sup>

Aufgrund der Ergebnisse aus der multi-paradigmatischen Simulation konnten wesentliche Entwicklungspfade für die Region aufgezeigt werden und im Prozess der Expertendiskussionen innerhalb des Projektes wichtigen Input liefern. Vor allem die Regionalisierung der Auswirkungen der politischen *top down*-Entscheidungen und die räumliche Visualisierung haben sich als sehr hilfreich erwiesen.

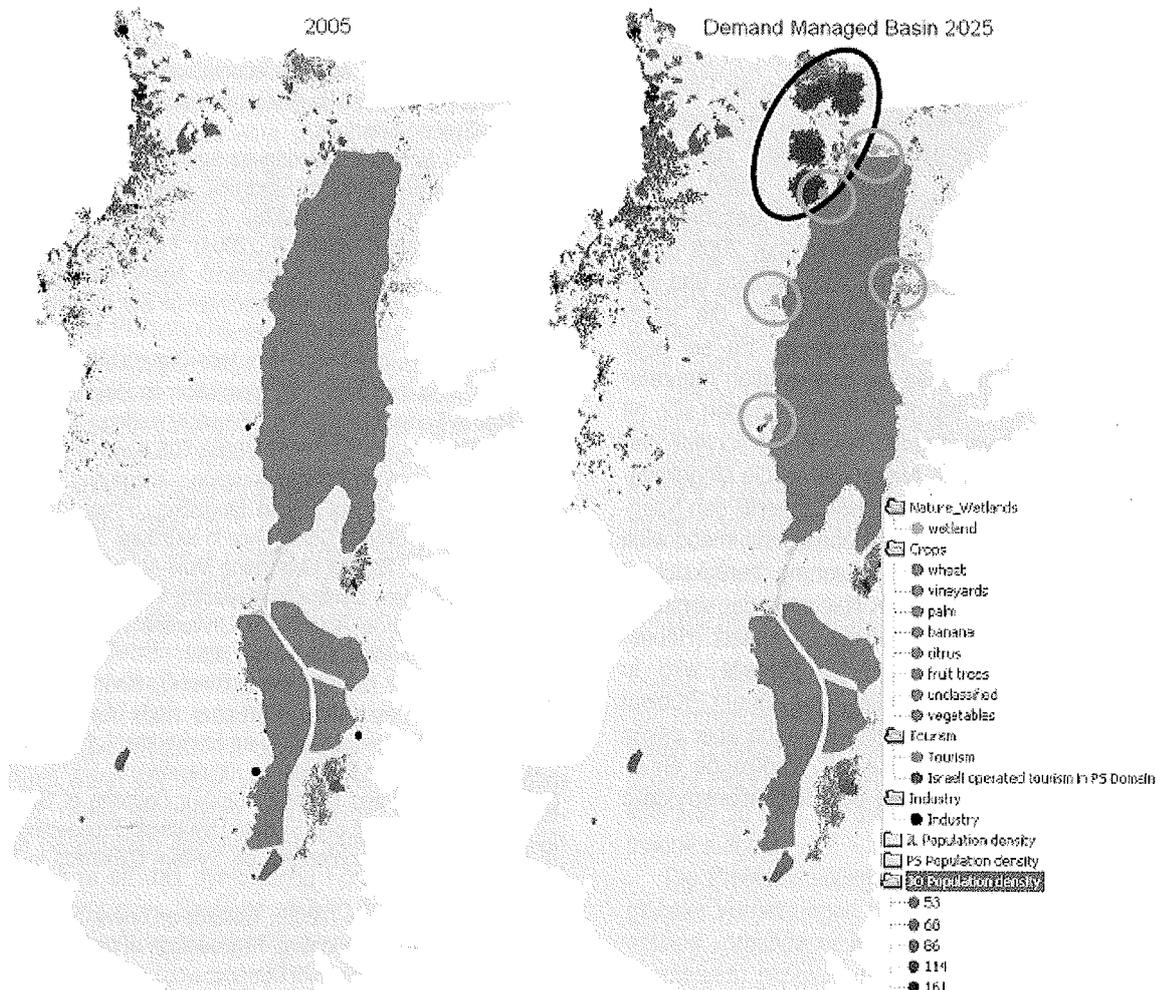


Abbildung 6: Landnutzungsveränderungen zwischen 2005-2025

Eine genauere Beschreibung der Ergebnisse kann aus Orthofer et al. 2001, sowie aus Gebetsroither / Loibl 2006 und Loibl / Gebetsroither 2006 entnommen werden.

#### RESÜMEE

Wie eingangs erläutert, plädieren einige Experten für eine verstärkte Anwendung multi-paradigmatischer Modelle, da dadurch die Vorteile der einzelnen Ansätze kombiniert und Nachteile eliminiert werden können. Eine Abkehr von der oft vorherrschenden Bindung der Modellbauer an vertraute Modellierungsmethoden hin zu Methoden, die für die jeweiligen Problemstellungen adäquat erscheinen, wird immer stärker als notwendig erachtet. Komplexe Problemstellungen vor allem im Bereich Gesellschaft-Natur-Interaktionen erfordern Methoden, die auf verschiedenen Aggregationsstufen ansetzen. So wirken sich politische Entscheidungen auf der Makroebene dann auf die Mikroebene der handelnden Akteure aus, welche ihrerseits aufgrund ihrer Fähigkeit zur Selbstorganisation oft neue emergente Lösungsansätze entwickeln, die in einem *Top Down*-Simulationsmodell normalerweise nicht erfasst werden können. Dass die Akzeptanz eines multi-paradigmatischen Ansatzes wesentlich von den vorhandenen Werkzeugen abhängt, zeigt die Historie der bis dato etablierten Methoden (Paradigmen). Die entwickelte Plattform MASGISmo ist ein Beispiel für ein derartiges Werkzeug, das auf vorhandene spezialisierte Software wie Vensim oder RepastJ aufsetzt und zudem die Fähigkeit besitzt, GIS-Daten zu verwenden und zu erzeugen. Es existieren auch noch andere Plattformen, die multi-paradigmatische Simulation ermöglichen, unter denen Anylogic hervorzuheben ist. Eine detaillierte Beschreibung wesentlicher Plattformen wird in Gebetsroither 2009 gegeben. In der Zukunft ist anzunehmen, dass weitere und verbesserte Werkzeuge entwickelt werden, die die multi-paradigmatische Modellierung vorantreiben. Es sei aber auch darauf hingewiesen, dass die Kombination mehrerer Ansätze nicht nur Vorteile bringt. Nachteile ergeben sich oft im Bereich der Modellevaluierung, da die unterschiedlichen Methoden auch verschiedene Ansprüche an die Modellevaluierung stellen. So haben MAS Modelle generell den Nachteil, dass der Zufall im System oft ergebnisbestimmend wirkt und dies auch bei der Modellevaluierung berücksichtigt werden muss. Eine Diskussion der Nachteile der verschiedenen Kombinationen, sowie einen ersten Ansatz (Heuristik) für die Evaluierung kombinierter Modelle wird in Gebetsroither 2009 gegeben. Da dies nicht nur ein Problem von multi-paradigmatischen Modellen ist, kann aber davon ausgegangen werden, dass in Zukunft Werkzeuge entwickelt werden, die die Evaluierung der Simulationsmodelle vereinfachen.

#### ANMERKUNGEN:

- 1 Unter Paradigma wird im folgenden Kontext eine Methode oder Ansatz verstanden.
- 2 Z.B. eine analytische Lösung von Differentialgleichungssystemen
- 3 <http://www.xjtek.com/>
- 4 Eine eigene Entwicklung am AIT unter der Leitung des Autors, die später etwas detaillierter vorgestellt wird.
- 5 Dabei wird der Waldvorrat mittels Stock und Flow Modell für die verschiedenen Altersklassen (ähnlich den Ertragstafeln in der Forstwirtschaft) simuliert
- 6 eine professionelle SD Software von Ventana System inc. <http://www.vensim.com/>
- 7 [http://www.swarm.org/index.php/Main\\_Page](http://www.swarm.org/index.php/Main_Page)
- 8 Recursive Porus Agent Simulation Toolkit; RepastJ ...J steht für Java [http://repast.sourceforge.net/repast\\_3/index.html](http://repast.sourceforge.net/repast_3/index.html)
- 9 eine professionelle GIS software von ESRI <http://www.esri.com/>
- 10 [http://en.wikipedia.org/wiki/ESRI\\_grid](http://en.wikipedia.org/wiki/ESRI_grid)
- 11 <http://www.eclipse.org/>
- 12 <http://netbeans.org/>
- 13 Die Ellipsen im linken Teil des Bildes markieren sogenannte Hot Spot Regionen
- 14 <http://www.xjtek.com/>

#### LITERATUR:

- Akkermans, H. (2001): Emergent supply networks: System dynamics simulation of adaptive supply agents. System Sciences, Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences.
- Arcos, J. L., Norieg, P., Rodriguez-Aguilar, J. A., and Sierra, C. (2008): E4MAS through Electronic Institutions. Environments for Multiagent Systems III, 4389, S. 184–202
- Borshchev, A. and Filippov, A. (2004): From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Proceedings of the 22<sup>nd</sup> International Conference on System Dynamics.
- Gebetsroither, E., Kaufmann, A., and Gigler, U. (2005): Agent-Based Modelling of Self-Organisation Processes to Support Adaptive Forest Management. Springer-Verlag.
- Gebetsroither, E., and Loibl, W. (2006): GIS based water resource management of the Dead Sea region – integrating GIS, System Dynamics and Agent Based Modelling., Proceedings of the AGIT special GI4dev Conference in Salzburg
- Gebetsroither, E. (2009): Combining Multi-Agent Systems modelling and System Dynamics Modelling in theory and practice. Dissertation an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Fakultät für Technische Wissenschaften, 2009.
- Gebetsroither et al. (2010) Gebetsroither, E., Rodríguez-Aguilar, J. A., Rosell, B., and Sierra, C. A case study of a situated Electronic Institution embedded in an Environment. Int. J. of Agent-Oriented Software Engineering. (in review).
- Gebetsroither, E., and Strebl, F. (2004): Coupling of Geographic Information System and System Dynamics, Proceedings of the 18<sup>th</sup> international conference on System Dynamics in Bergen, Norway.
- Lorenz, T., and Jost, A. (2006): Towards an orientation-framework for multiparadigm modeling. Proceedings of the 24<sup>th</sup> international conference on System Dynamics.
- Loibl, W., and Gebetsroither, E. (2006). Supporting Decision and Negotiation Processes through Modelling Land Use Change

- Probability in the Dead Sea Area, Considering Alternative Water Supply Policies. Proceedings of the AGIT special GI4dev Conference in Salzburg.
- Orthofer, R., Gebetsroither, E., and Lehrer, D. (2001): Scenarios for a more sustainable water management in the dead sea basin. Springer-Verlag.
- Phelan, S. E. (2001) What Is Complexity Science, Really? *Emergence* 3(1), S. 120-136.
- Pourdehnad, J., Maani, K., and Sedehi, H. (2002): System dynamics and intelligent agent-based simulation: where is the synergy. Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society.
- Schieritz, N. (2002): Integrating System Dynamics and Agent-Based Modeling. Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society.
- Schieritz, N., and Größler, A. (2003): Emergent Structures in Supply Chains A study Integrating Agent-Based and System Dynamics Modeling. Proceedings of the 36<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences. S. 9.
- Schieritz, N., and Milling, P. (2003): Modeling forest or Modeling the Trees. Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference of the System Dynamics Society.
- Scholl, H. (2001a): Agent-based and system dynamics modeling: a call for cross study and joint research. *System Sciences*, Proceedings of the 34<sup>th</sup> Annual Hawaii International Conference on System Dynamics. S. 8.
- Scholl, H. (2001b): Looking across the fence: Comparing findings from SD modeling efforts with those of other. Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society.

VOLKER HAFNER

## SINNVERLUST DURCH KOMPLEXITÄTSREDUKTION: DIE AUSWIRKUNGEN DES TECHNISCHEN FORTSCHRITTS AUF DAS TECHNOKRATIE-TABU IN POLITIK UND RECHT

Einleitend möchte ich kurz den Arbeitszusammenhang erläutern, in welchem der vorliegende Text entstanden ist, um damit die subversive Perspektive des Beitrages erklären zu können. Das Motiv für eine solche Perspektive ist keineswegs gegen die engagierten Versuche gerichtet, komplexe Systeme - im Besonderen auch soziale Systeme - zu simulieren, sondern dem Versuch geschuldet, diese Methode wissenschaftssoziologisch zu reflektieren.

Die Wissenschaftssoziologie, die Wissenssoziologie, aber auch die Philosophie maßen sich nun einmal an, innerhalb des Wissenschaftsbetriebs auch die wissenschaftlichen Leistungen der anderen Disziplinen selbst zum Gegenstand ihrer Forschung zu machen. Es kann nicht oft genug betont werden, dass damit – zumindest im Fall der Wissenssoziologie – kein Anspruch auf Überlegenheit verbunden ist; dies kann nicht zuletzt dadurch unter Beweis gestellt werden, als die je eigene Arbeit davon nicht angenommen ist.<sup>1</sup> (vgl. Kieserling 2004, S. 8)

In Anbetracht der für jede wissenschaftliche Aussage notwendigen Bewährung vor dem Falsifikationskriterium darf auch nicht vergessen werden, dass wissenschaftliche Leistungen erst nach entsprechenden Versuchen, sie zu widerlegen, die Möglichkeit bekommen, bestätigt zu werden. Auch wenn auf diese Weise zu der hier verhandelten Thematik nichts unmittelbar Produktives, sondern nur Reflexives beigetragen werden kann, hoffe ich einen sinnvollen Anschluss an das dynamische Forschungsfeld der Simulation komplexer Systeme dahingehend aufbauen zu können, als die Auseinandersetzung mit Fragen nach Grenzen von Systemen bzw. wie sich Systeme gegen ihre Umwelt schließen, für Modellierungen eine unerlässliche Voraussetzung darstellt.

Der zu Grunde liegende disziplinäre Zusammenhang der folgenden Überlegungen fällt zwar zunächst weitgehend in den Arbeitsbereich der Politikwissenschaft; dieser Bereich scheint aber – so die zentrale These - zu eng zu sein, um einigen der zur Verhandlung stehenden Fragen ein zureichend weites Referenzschema zur Verfügung zu stellen, um diese überhaupt erst formulierbar machen zu können. Die methodischen Grenzen dieser Disziplin sollen deshalb hier selbst teilweise zum Gegenstand der Reflexion werden und sind daher mit Hilfe epistemologischer Generalisierungen operationalisierbar zu machen.

Offene Fragen – besonders in Hinblick auf die Problemstellung, die in der Politikwissenschaft unter dem Stichwort „Globalisierung“ verhandelt wird – erfordern demnach abstraktere Zugänge, um mit den damit verbundenen Herausforderungen angemessen umgehen zu können.

### THEORIE DER WELTGESELLSCHAFT

Dieses Vorhaben ist zunächst an der Weltsystemtheorie von Immanuel Wallerstein und der Theorie der Weltgesellschaft orientiert. Für die hier behandelte Problemstellung scheint jedoch besonders die Theorie der Weltgesellschaft instruktiv zu sein, da diese explizit auf einer Komplexitätstheorie aufbaut.

Die Problemstellungen, die sich in Folge zunehmender globaler Vernetzungen ergeben, werden hier somit nicht nur entlang vorhandener Kontexturen (Wirtschaft, Politik, Massenmedien) rezipiert, sondern diese werden durch einen weiteren Theoriestrang, dem der Theorie funktionaler Differenzierung, selbst – wenngleich als bedeutsame Strukturen

der Weltgesellschaft – auf die Seite des zu reflektierenden Gegenstandes verschoben (vgl. Stichweh 2000, S. 260 ff.).

Diese Theorie wird gegenwärtig vor allem von Rudolf Stichweh – einem Schüler von Niklas Luhmann – weiterentwickelt, ist also selbst kein abgeschlossener Theorierahmen, sondern befindet sich auch ihrem Selbstverständnis nach bzw. dem Verständnis von Stichweh nach „in progress“. Das hier Dargestellte ist daher primär in Richtung Theorieentwicklung orientiert, und nicht so sehr auf die unmittelbare Lösung konkreter empirischer Fragen oder gar darauf ausgerichtet, praktische Vorschläge für politische Programme zu entwerfen.

An dieser Stelle soll auch gleich vorweggenommen werden, dass die hier vertretene Position sich selbst durchaus in Nähe der Haltung, die als „Steuerungspessimismus“ bezeichnet werden kann, versteht. Das ist insofern hier von Bedeutung, als dies die Perspektive markiert, aus der ich mich im Folgenden der Frage nach der Möglichkeit, komplexe Systeme simulieren zu können, zu nähern beabsichtige.

Diese Position soll aber keinesfalls gepflegt oder stilisiert werden, sondern ganz im Gegenteil: Wird der Versuch, komplexe Systeme zu simulieren, dennoch unternommen, ist das Ausmaß der Herausforderung und der daraus resultierende extrem hohe Forschungsbedarf nachdrücklich hervorzuheben (vgl. Hafner 2009, S. 28).

Was aber einer optimistischen Haltung in Bezug auf Modellierbarkeit (großer) sozialer Systeme entgegensteht, beruht auf der Annahme, dass zu wenig Klarheit darüber besteht, was überhaupt die Elemente solcher Systeme sind (vgl. Luhmann 2005, S. 59). Unterschiedliche soziologische Theorien, die mehr oder weniger gleichberechtigt nebeneinander im Wissenschaftsbetrieb etabliert sind – für die aber diese Frage ein zentrales Forschungsinteresse darstellt – konnten sich – trotz jahrzehntelanger Auseinandersetzungen – bisher darüber nicht einigen.

So sehr selbstverständlich die Möglichkeit besteht, sich einer der diesbezüglich referierten Sichtweisen anzuschließen, so wenig kann man diese als gesicherte wissenschaftliche Tatsache, etwa für politische Planung, unmittelbar zu Grunde legen.

Ich möchte auch noch vorweg nehmen, dass die soziologische Systemtheorie eine recht eigenständige Sprache entwickelt hat, auf die ich im Folgenden nicht vollständig verzichten kann – und von der man auch nicht so leicht in eine inklusivere Sprache übersetzen kann, weil sie ihre Eigenständigkeit nicht über ungewöhnliche oder neue Termini aufbaut, sondern vielmehr durch einen eigenwilligen Gebrauch von sonst auch üblicher Terminologie. (vgl. Kieserling 2004: S. 291 ff.) Es handelt sich natürlich nicht um vollkommen andere Bedeutungen, aber doch teilweise um deutlich anders gesetzte Akzentuierungen. Das zu erwähnen erscheint mir gerade im Kontext von Problemstellungen, in die sehr unterschiedliche Disziplinen involviert sind, besonders wichtig. In diesem Zusammenhang möchte ich kurz an das Projekt von Hermann Haken erinnern, der unter dem Namen Synergetik versucht hat, dieses Problem zu lösen. Leider dürfte diesem Anliegen heute nicht mehr die zureichende Aufmerksamkeit zukommen.<sup>2</sup>

## KOMPLEXITÄT

Selbst für den zentralen Begriff der Komplexität ist die Bedeutung überhaupt nicht klar. Ich möchte hier nicht die einzelnen vorliegenden Definitionen aufzählen, sondern nur jene Interpretation von Komplexität kurz vorstellen, die in der soziologischen Systemtheorie üblich ist.

Die soziologische Systemtheorie versteht Komplexität in erster Linie nicht als Eigenschaft, die einem System anhaftet, sondern als entfaltungsbedürftige Paradoxie. Komplexität ist demnach die Einheit einer Vielheit. Komplexität entsteht, wenn ein Beobachter kontingente Verknüpfungen von Elementen nach Maßgabe eines Selektionskriteriums beobachtet und daraus eine Einheit konstruiert (vgl. Luhmann 2005, S. 61). Wenn man von Komplexität spricht, meint man immer schon, dass man vorhat auf etwas selektiv – d.h. mit einer kontingenten Unterscheidung – zuzugreifen. Die Beschreibung von etwas – z.B. eines Systems – als komplex impliziert somit, dass die auf diese Weise vorgenommene Beschreibung kontingent ist, also auch anders möglich wäre. Das verweist insbesondere auf die notwendige Unvollständigkeit der je eigenen Perspektive.

Anders formuliert kann man Komplexität als die Quelle der Weisung verstehen, wie sie von George Spencer Brown jeder Beobachtung als *conditio sine qua non* vorangestellt wird: „Draw a distinction“.

## KOMPLEXITÄT FORDERT ALSO AUF, SIE ZU REDUZIEREN

Dies gelingt aber nur für den Augenblick einer Sequenz einer Beobachtung, denn das auf diese Weise Ausgeschlossene bleibt als die andere Seite der Unterscheidung erhalten und kann sich im nächsten Schritt wieder bemerkbar machen. Die vorgenommene Selektion generiert aber auch eine Form mit einer Innen- und einer Außenseite. Die markierte Innenseite – die sich zwar zunächst nur ihrer Differenz zur Außenseite verdankt – kann aber durch ihre Selektivität als Operation beobachtet und zugerechnet werden und steht somit als anschlussfähiger Wert oder Datum zur Verfügung.

Wenn ein solcher selektiver Zugriff beobachtet wird, kann darauf Bezug genommen werden. Dieser Zugriff kann im Modus der Rekursion, der Iteration oder der Negation erfolgen. Für soziale Systeme heißt das, dass Sinn generiert wird. Auf dieser allgemeinen Ebene halten wir zunächst fest: Soziale Systeme operieren im Medium Sinn, das durch eine selektive Auswahl aus einem Überschuss an Möglichkeiten Form annimmt: Dies als kurze Skizze der Komplexitätstheorie, die der Theorie sozialer Systeme zu Grunde liegt.

Die Theorie sozialer Systeme baut aber nicht nur auf einer Komplexitätstheorie, sondern auch auf einer Evolutionstheorie auf. Darauf kann hier nicht näher eingegangen werden, wenngleich dennoch benannt werden soll, was für das Verständnis des Weiteren erforderlich scheint: Man geht davon aus, dass das Gesellschaftssystem schon eine lange Evolution hinter sich hat und dass sich im Laufe dieser Entwicklung Strukturen entwickelt haben, die es ermög-

lichen, sinnvoll zu kommunizieren, ohne jedes Mal all die Sinn generierenden Unterscheidungen explizit benennen zu müssen. Die Möglichkeit, sich an Kommunikation beteiligen zu können, ist also limitiert, aber erst dieser Umstand macht es auch hinreichend wahrscheinlich, dass dies auch passiert bzw. gelingt. Wir haben also die Komplexitätstheorie, die die Unwahrscheinlichkeit des Anfangs betont und eine Evolutionstheorie, die die Transformation von Unwahrscheinlichkeit in Wahrscheinlichkeit nachvollziehbar machen soll.

Die Gesellschaft wird demnach als ein Resultat von Evolution beschrieben. Die Strukturen, die wir vorfinden, sind somit nicht auf (etwa politische, oder gar göttliche) Entscheidungen zurückzuführen. Um Missverständnissen vorzubeugen, muss hier erwähnt werden, dass diese Evolutionstheorie nichts und niemanden ausnimmt, also dass alle und alles gleichermaßen der Selektion unterworfen sind. Insofern ist diese Perspektive vom Sozialdarwinismus besonders weit entfernt, weil sich hier niemand dem Mechanismus der Selektion entziehen kann (vgl. Baecker 2007, S. 237 f.).

Der dritte – neben Komplexitäts- und Evolutionstheorie – die Theorie sozialer Systeme tragende Baustein ist eine Medientheorie. Auch darauf kann ich hier nicht näher eingehen, sondern möchte nur darauf verweisen, um zu zeigen, was alles als Voraussetzung für erfolgreiche Kommunikation in diesem Kontext angenommen wird. Aufbauend bzw. hergeleitet über diese Theoriestränge lässt sich dann die moderne Gesellschaft bekanntlich als ein in sich in Subsysteme differenziertes, umfassendes Kommunikationssystem darstellen. Die primäre Differenzierungsform ist – am aktuellen Entwicklungsstand der Gesellschaft – demnach diejenige in Funktionssysteme, die je exklusiv via binärer Codierung Sinnzusammenhänge ordnen. Die Funktionssysteme sind demnach Recht, Politik, Wissenschaft, Wirtschaft usw., die auch als exklusive Problemlösungsmechanismen verstanden werden können.

Darüber hinaus wird des Weiteren von einer Sozialstruktur ausgegangen, die es ermöglicht, zwischen der Gesellschaft selbst, den Funktionssystemen, Organisationen und Interaktionssystemen, die auf Kopräsenz beruhen, zu unterscheiden (vgl. Kieserling 2004, S. 215).

Ich werde jetzt vor allem auf die sozialstrukturelle Differenzierungsform zugreifen, weil ich vermute, dass darüber vielleicht eine Annäherung an die gesuchte Grenze der Möglichkeit der Simulation komplexer Systeme erreicht werden kann.

## ORGANISATION

Mit dem bisher Gesagten, sollte bereits gezeigt worden sein, dass diese Theorie sehr umfassende Zusammenhänge und nicht nur konkrete Systeme zu thematisieren beabsichtigt. Besonders durch den Hinweis auf eine inkorporierte Evolutionstheorie soll auch auf Unterschiede zu systemischen Methoden, die sich in den verschiedenen Disziplinen etabliert haben – wie systemische Organisationsberatung bzw. Organisationsentwicklung, systemische Psychotherapie, Familientherapie usw. – aufmerksam gemacht werden.

Der zentrale Unterschied liegt darin, dass die Theorie sozialer Systeme alle Systeme immer nur als System-Umwelt-Unterscheidung behandelt und sich somit nicht so leicht in den Dienst bestimmter Systeme stellen lässt (vgl. Kieserling 2004, S. 214).

Ich habe diese systemischen Methoden hier jetzt vor allem deshalb erwähnt, weil für die diesbezügliche Praxis von vornherein Modellbildungen konstitutiv sind und ich daher vermute, dass es weitgehend unstrittig ist, dass in diesem Zusammenhang durch Computersimulationen enorm viel Verbesserung erzielt werden kann. Es muss aber auch gesehen werden, dass es sich hier in all den Fällen, wo Beratung möglich ist, um bestimmte Systemtypen entlang der genannten sozial-strukturellen Unterscheidung handelt.

Es handelt sich um Organisationen oder Familien, die u.a. über klare Mitgliedschaftsregeln geschlossen sind (vgl. Luhmann 2005, S. 189 ff.). Es ist für solche Systeme klar wer dazugehört und wer nicht. Insofern ist es möglich, Kalkulationen, Szenarien usw. anfertigen zu können und je höher die Rechenleistung des dem Beobachter bzw. Berater zur Verfügung stehenden Instrumentes ist, desto genauer können die Simulationen ausfallen.

Als Beispiel zu nennen, ist etwa das hier schon in einigen Vorträgen erwähnte, iterierte Gefangenendilemma. Es kann damit gezeigt werden, welche Strategie für den einzelnen Gefangenen bzw. für das von ihnen begründete System günstiger ist. Genauso kann ein Unternehmen Daten aus Marktbeobachtungen in strategische Planungen überführen und Szenarien entwickeln. Auch in solchen Fällen kann sicher nicht die gesamte Umwelt in allen Aspekten berücksichtigt werden, man kann aber wissen, was man gegebenenfalls unberücksichtigt gelassen hat und auch das noch kalkulatorisch berücksichtigen, und auf diese Weise sukzessive zumindest einen Approximationswert generieren.

Da auch Organisationen und Familien, dargestellt als soziale Systeme, nicht auf ihre Mitglieder zu reduzieren sind, sondern der gesamte Möglichkeitsraum potentieller Kommunikationen zwischen den Mitgliedern als Operationen des jeweiligen Systems miteinbezogen werden müssen, handelt es sich auch hier jeweils um komplexe Systeme. d.h. die Elemente sind die einzelnen Kommunikationen, die jedenfalls zu zahlreich sind, als dass sie vollständig relationiert werden könnten. Auch in diesem Fall sind also nur selektive Relationierungen möglich.

Dennoch glaube ich, dass der Sinnverlust, der zwar durch eine Modellierung unweigerlich eintritt, ausreichend kontrolliert werden kann – zu mindestens dann, wenn klar gestellt wird, in welchem Problemzusammenhang das System im Modell eingezeichnet werden soll. Zusammengefasst kann gesagt werden: Ein soziales System, das über Mitgliedschaftsregeln geschlossen ist, kann zumindest in Hinblick auf definierte Problemstellungen in einem abgegrenzten Zeitrahmen bei entsprechender Rechenleistung so simuliert werden, dass zumindest die Aussagekraft von Laborexperimenten der Naturwissenschaften erreicht werden kann (vgl. Füllsack 2010).

Dies vor allem deshalb, weil Organisationen und Familien jeweils schon sehr viel ausschließen (z. B. fast alle

Menschen) und somit schon viel vorselektiert ist, was auf der darzustellenden Innenseite möglich ist (vgl. Luhmann 1973: S. 179 ff.). Der Umweltkontakt ist dann auf einige strukturelle Kopplungen reduziert, die es erlauben die Simulation so zu programmieren, dass sie trotz zureichender Berücksichtigung der Umwelt nachvollziehbar bleibt.

Für Organisationen ist es beispielsweise typisch, dass sie konkrete Zwecke verfolgen, die es ermöglichen, Ereignisse in der Umwelt zielgerichtet zu filtern. Das Rauschen<sup>3</sup> der unzähligen Umweltereignisse kann dann selektiv in Information transformiert werden.

#### FUNKTIONSSYSTEME

Funktionssysteme sind hingegen explizit nicht über Mitgliedschaftsregeln geschlossen, sondern über einen hoch abstrakten binären Code.

Zum Funktionssystem des Rechts muss dann jede Kommunikation, die an der Unterscheidung Recht/Unrecht orientiert ist, gezählt werden. Diese Kommunikationen sind zwar über Konditionalprogramme, welche die Zurechnung auf einen der beiden Werte letztlich ermöglichen sollen, strukturiert, aber diese Programme binden nicht die Entscheidungen, sondern sind nur Rahmenbedingungen für notwendigerweise ergebnisoffene Verfahren. Ähnliches gilt z.B. auch für demokratische Wahlen in der Politik oder den Reputationsmechanismus in der Wissenschaft usw. (vgl. Luhmann 1995, S. 195).

Nun scheint ein kurzer Rückblick zur Organisation angebracht, um das Argument nochmals zu verdeutlichen: Es ist durchaus gut vorstellbar, dass man die Lage einer Partei im Wahlkampf quasi experimentell sinnvoll simulieren, oder eine konkrete Prozessstrategie nachstellen oder planen kann und, dass sich auf diese Weise valide Daten generieren lassen. Unvorstellbar erscheint hingegen, dass man das Rechtssystem, die Politik oder Wissenschaft insgesamt darzustellen vermöchte, ohne dass der Sinnverlust unkontrollierbar würde. Ich möchte nicht bestreiten, dass grundsätzlich ähnlich komplexe Systeme programmiert werden können, insbesondere wenn, wie z.B. bei Online-Spielen Publikumsbeteiligung oder indeterminierte bzw. nicht vollständig determinierte Komplementärrollen vorgesehen sind, die das Programm irritieren können. Aber das hat dann trotzdem nicht viel mit dem zu simulierenden System zu tun. Solche Programme können zwar helfen, Komplexität vorzuführen und sind insofern oftmals auch sehr lehrreich, aber sie können den je konkreten Mechanismus zur Reduktion von Komplexität, der erst den spezifischen Sinn generiert, nicht abbilden (vgl. Hafner, Merschitz 2007, S. 193 ff.).

Und selbst wenn es durch entsprechenden technischen Fortschritt möglich werden sollte, würde das Ergebnis entweder selbst genauso wenig durchschaubar sein, also die Simulation genauso komplex wie das zu simulierende System sein, oder aber es würde dem Funktionssystem seine Ordnungsleistung nehmen.

Dieses Risiko ist aber schon eine altbekannte Problematik, wenn man an religiöse Abbildverbote Gottes denkt. Auch hier wird schon darauf hingewiesen, dass die umfas-

sende Ordnungsleistung, die von Gott ausgeht nur darüber erbracht wird, dass er nicht unmittelbar verfügbar ist.

Die Funktionssysteme stellen der Gesellschaft mithin ein hohes Maß an nur latent vorhandenen Orientierungswerten zur Verfügung, die aber gerade darüber ein enormes Potential bereithalten. Wenn man zum Beispiel an den rechtstaatlichen Grundsatz denkt, dass alles, was nicht verboten ist, erlaubt ist, oder auch an das Recht der Vertragsfreiheit.

Dennoch haben die funktionalen Codes die Fähigkeit auszuschließen und somit Grenzen zu setzen. Wenn man davon ausgeht, dass Grenzen irgendeiner Art – so wie es Differenztheorien nahelegen – eine nicht hintergehbare Voraussetzung für das Generieren von Sinn und somit in weiterer Folge von Verständigung darstellen, liegt meiner Meinung nach in der funktionalen Differenzierung der Gesellschaft die Ursache für die Möglichkeit, andere Grenzziehungen, wie z.B. die nach Nationalstaaten, zu substituieren (vgl. Teubner 2007, S. 177 ff.).

Ich will in diesem Zusammenhang v.a. danach fragen, ob die Leistungen die durch Nationalstaaten gegenwärtig erbracht werden, für den nicht auszuschließenden Fall eines weiteren Bedeutungsverlustes von Staaten, erhalten bleiben könnten, wenn ja wie und von wem.

#### SIMULATION ALS FORM DER KOMMUNIKATION

Ich möchte abschließend noch versuchen, wenigstens anzudeuten, wie man soziologisch Computersimulationen betrachten könnte. Vorweg kann zunächst festgestellt werden, dass es sich aus dieser Perspektive jedenfalls um einen Fall von wissenschaftlicher Kommunikation handelt, die neben anderen quasi als Angebot auf den Markt wissenschaftlicher Arbeiten kommt.

Um zu verdeutlichen, was damit gesagt werden soll, ist es erforderlich, kurz den in dieser Theorie gebräuchlichen Informationsbegriff, der von Gregory Bateson stammt, zu skizzieren. Demnach hängt es vom Empfänger ab, ob eine Mitteilung als Information verarbeitet wird oder nicht. Es wird also angenommen, dass das, was kommuniziert wird, beim Empfänger etwas verändern muss, damit man von Information sprechen kann. Darüber hinaus besteht aber noch ein erhebliches Maß an Unsicherheit, wie der Empfänger die Information verarbeitet.

Wenn nun Simulationen eine folgenreiche Wirkung erzielen sollen, müssen sie kommuniziert werden und setzen sich somit der Fremdbeobachtung aus. Es ist davon auszugehen, dass die Beobachter unterschiedlich darauf reagieren, und spätestens das erfordert dann eine Selbstbeschreibung.

In Folge muss dann angegeben werden, welcher Anspruch erhoben wird und was mitgeteilt werden soll. In Anbetracht der enormen Suggestionskraft von bewegten Bildern könnte dies jedoch stark autologisch erfolgen, was mit der Gefahr verbunden ist, dadurch nicht leicht kontrollierbare performative Wirkungen zu erzielen.

Auf diese Weise könnte das Auseinanderdriften zwischen dem Sinn des darzustellenden Systems und dem

Sinn seiner plausiblen Darstellung noch beschleunigt werden. Jedenfalls muss das durch Simulation darzustellende System zunächst nach kontingenten Selektionskriterien beobachtet werden, um seine Komplexität auf ein programmierbares Maß zu reduzieren. (vgl. Füllsack 2010: S. 12) Diese können primär am Sinn des Systems oder aber an der Effektivität der Darstellung orientiert sein.

ANMERKUNGEN:

- 1 Insbesondere ist in diesem Zusammenhang an Karl Mannheim zu erinnern, dem zu verdanken ist, dass die Bedingungen wissenschaftlicher Wissensproduktion reflektiert werden können, ohne deshalb in jedem Fall Ideologieverdacht unterstellen zu müssen. Vielmehr betont die Wissenssoziologie dieses Typs die unvermeidbare soziale Bindung jeder Wissensproduktion.
- 2 Der Hinweis auf das Werk von Hermann Haken, soll hier v.a. auf die Vermutung verweisen, dass möglicherweise viele der üblichen Missverständnisse zwischen z.B. TechnikerInnen, PhilosophInnen oder SoziologInnen in erster Linie auf unterschiedliche semantische Traditionen der jeweiligen Disziplinen zurückzuführen sind.
- 3 Der Begriff „Rauschen“ im Sinne von Heinz von Foerster, dazu genauer Luhmann (1997, S. 65) und Füllsack (2010, S. 11 f.).

LITERATUR:

Baecker, Dirk (2007): Form und Formen der Kommunikation. Frankfurt am Main.

Füllsack, Manfred (2010): Die Arbitrarität der Zeichen. Oder: Was widerspiegelt ein Glider? Simulation und die Unterscheidung von beobachtetem und Eigen-Verhalten komplexer Systeme. In diesem Heft S. 47-55. Vgl. auch: <http://homepage.univie.ac.at/manfred.fuellsack/> [Stand 06/2010].

Hafner, Volker / Merschitz, Peter (2007): Systemtheoretisch – konstruktivistische Überlegungen zur Darstellung von Politik in Computerspielen. In: Bevc, Tobias (Hg.): Zur Konstruktion von Politik und Gesellschaft in Computerspielen. Berlin/München. S. 193-219.

Hafner, Volker (2009): Zur Frage nach der gesellschaftsstrukturellen Relevanz des Internet. Wie aktuell ist die Theorie Niklas Luhmanns noch?. In: Wissenschaft in Progress. Heft: 1/09. Rostock. S. 22-39.

Kieserling, Andre (2004): Selbstbeschreibung und Fremdbeschreibung. Frankfurt am Main.

Luhmann, Niklas (1973): Zweckbegriff und Systemrationalität. Frankfurt am Main.

Luhmann, Niklas (1995): Das Recht der Gesellschaft. Frankfurt am Main.

Luhmann, Niklas (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Frankfurt am Main.

Luhmann, Niklas (2005 [1990]): Haltlose Komplexität. In: Soziologische Aufklärung 5. Konstruktivistische Perspektiven. Wiesbaden. S. 58-75.

Luhmann, Niklas (2005 [1990]): Sozialsystem Familie. In: Soziologische Aufklärung 5. Konstruktivistische Perspektiven. Wiesbaden. S. 189-210.

Stichweh, Rudolf (2000): Die Weltgesellschaft. Frankfurt am Main.

Teubner, Gunther (2007): Globale Zivilverfassungen: Alternativen zur staatszentrierten Verfassungstheorie. In: Die Staaten der Weltgesellschaft. Baden-Baden. S. 117-147.

**österreichische gesellschaft für politische bildung**

**pb**

**NEU!**

**www.politischebildung.at**

PETER KARL FLEISSNER

## MATHEMATISCHE MODELLIERUNG UND COMPUTERSIMULATION ALS WIDERSPIEGELUNGSPROZESSE

### EINFÜHRUNG

Innerhalb der letzten Jahrzehnte haben sich in den Naturwissenschaften mathematische Simulationsmodelle als wichtiges Erkenntnismittel in den Vordergrund geschoben. Zusätzlich zum klassischen Experiment mit der Natur stellen sie heute eine nicht mehr zu vernachlässigende Quelle für Einsichten in komplexe Zusammenhänge dar (gute Beispiele dafür finden sich in der Klimaforschung, der Gravitationsphysik, der Genetik und im Molecular Modelling<sup>1</sup>). Dieser Entwicklung haben sich auch die Sozialwissenschaften nicht verschließen können. Im vorliegenden Text werden im Rahmen einer Widerspiegelungstheorie die philosophischen Grundlagen von Simulation als einer jungen Erkenntnis- methode diskutiert. Inspiriert durch Herbert Hörz, Rainer Thiel und John Erpenbeck werden die formalen Grundstrukturen von Simulationsmodellen Schritt für Schritt entfaltet und die Leistungsfähigkeit der Modelle zur Widerspiegelung bestimmter Aspekte der Wirklichkeit aufgezeigt (vgl. Erpenbeck 1986; Hörz 1980, 1988, 2008, 2009; Thiel 1975). Dabei wird auf den mathematischen Apparat weitgehend verzichtet, um die Allgemeinverständlichkeit des Textes zu erhalten. In zwei Exkursen in die Ökonomie werden die Vergegenständlichungsformen einer statischen Volkswirtschaft von Karl Marx und Wassily Leontief miteinander verglichen und eine Rekonstruktion kapitalistischer Ökonomien vorgenommen, die zu einem erweiterten dynamischen Input-Output Modell führt. Weitere Beispiele für Agentenbasierte Simulationsmodelle, die aus dem Internet bezogen werden können, runden die Darstellung ab.

### SIMULATIONSMODELLE ALS VERGEGENSTÄNDLICHE NACHBILDUNG UND KONSTRUKTION

Worum geht es bei der mathematischen Simulation? Aus einer Perspektive der menschlichen Praxis können Simulationsmodelle als Teil eines gesellschaftlichen Veränderungszyklus (siehe Abbildung 1) gesehen werden, der neben dem notwendigen praktischen Handeln wesentliche erkenntnisrelevante Grundfunktionen, Widerspiegelung und Vergegenständlichung, enthält.

Wir beginnen die Beschreibung der einzelnen Komponenten des Veränderungszyklus mit der Widerspiegelung<sup>2</sup> der Welt im menschlichen Bewusstsein. Die Menschen spiegeln ihre Umwelt zunächst in geistigen Vorgängen wider, indem sie Bilder und Zusammenhänge des Wahrgenommenen, mentale Modelle, im Kopf erzeugen. Dabei handelt es sich um vereinfachte, weniger komplexe und manchmal auch verfälschte Annäherungen an das zugrunde liegende System, das aufgrund der menschlichen Praxis

in den Fokus der menschlichen Aufmerksamkeit geraten ist. Diese Widerspiegelungsprodukte sind nie bloß „objektive“ Wiedergabe der Realität (zu der es keinen direkten Zugang gibt), sondern immer gleichzeitig Abbildung und Entwurf, also menschliche Konstruktionen bestimmter Aspekte der Umwelt. Diese Konstruktionen sind aber nicht beliebig. Sie geben bestimmte Eigenschaften der Umwelt korrekt wider, die vom individuellen Bewusstsein als wesentlich erachtet werden. In diese Konstruktionen gehen die bisherigen Erfahrungen der Einzelnen genauso ein wie deren Interessenslagen, Lebensbedingungen, ja auch die genetische Disposition. Durch Interaktion mit anderen Menschen oder mit der sonstigen Umwelt kann sich die Sicht der Dinge durchaus verändern. Die Konstruktionen sind daher im Zeitverlauf nicht unbedingt invariant, sondern potentiell variabel. Die Widerspiegelungen im Kopf sind dem menschlichen Bewusstsein zugänglich, sie stellen sozusagen die Innensicht auf die Dinge dar (die in diesem Text natürlich nur in einer Außensicht dargestellt werden können, die bei Ihnen, geneigte/r Leser/in, zur Innensicht wird).<sup>3</sup> Natürlich gilt ganz allgemein, dass für uns alle Wirklichkeit über unser Bewusstsein angeeignet werden muss, was aber nicht heißt, dass die ganze Welt bloß im Bewusstsein existieren würde. Wissenschaft und Forschung, praktische Experimente, technische Konstruktionen und langjährige menschliche Erfahrungen verweisen auf eine „realistische“ Interpretation der Welt. Außenwelt existiert danach auch unabhängig vom individuellen Bewusstsein.

Auf den Widerspiegelungsprozess im Kopf folgen im Zuge des Modellbaus verschiedene Stufen von Vergegenständlichung. Übliche Formen davon sind die Versprachlichung, die Verschriftlichung und die graphische Repräsentanz. Während die Versprachlichung noch den fluiden Charakter des Denkprozesses beibehält, ist die Verschriftlichung mit einer Verfestigung von Ideen verbunden, die von anderen Menschen nur in sequentieller Form angeeignet werden können. Aus einer Graphik lässt sich im Idealfall eine Idee mithilfe eines einzigen Blicks aufnehmen. Die besondere Art der Vergegenständlichung prägt die besondere Art des Zugangs durch andere Menschen und beeinflusst den Grad des Verständnisses und der Evidenz. Jede Vergegenständlichung von Ideen benötigt einen materiellen Träger (stofflich, z. B. Luft, Papier, oder energetisch, z. B. ein Computerbildschirm) und eine Reihe von Symbolen (z. B. Wörter als Phoneme, Wörter als Buchstabenkombinationen, graphische Grundelemente), die von den anderen Menschen in einer ähnlichen Weise interpretiert werden können wie von den IdeenproduzentInnen intendiert. Die erwähnten Formen von Vergegenständlichung sind in unserem Kulturkreis unter der Voraussetzung bestimmter Lernprozesse allgemein verständlich. Auch der Zugang zu den

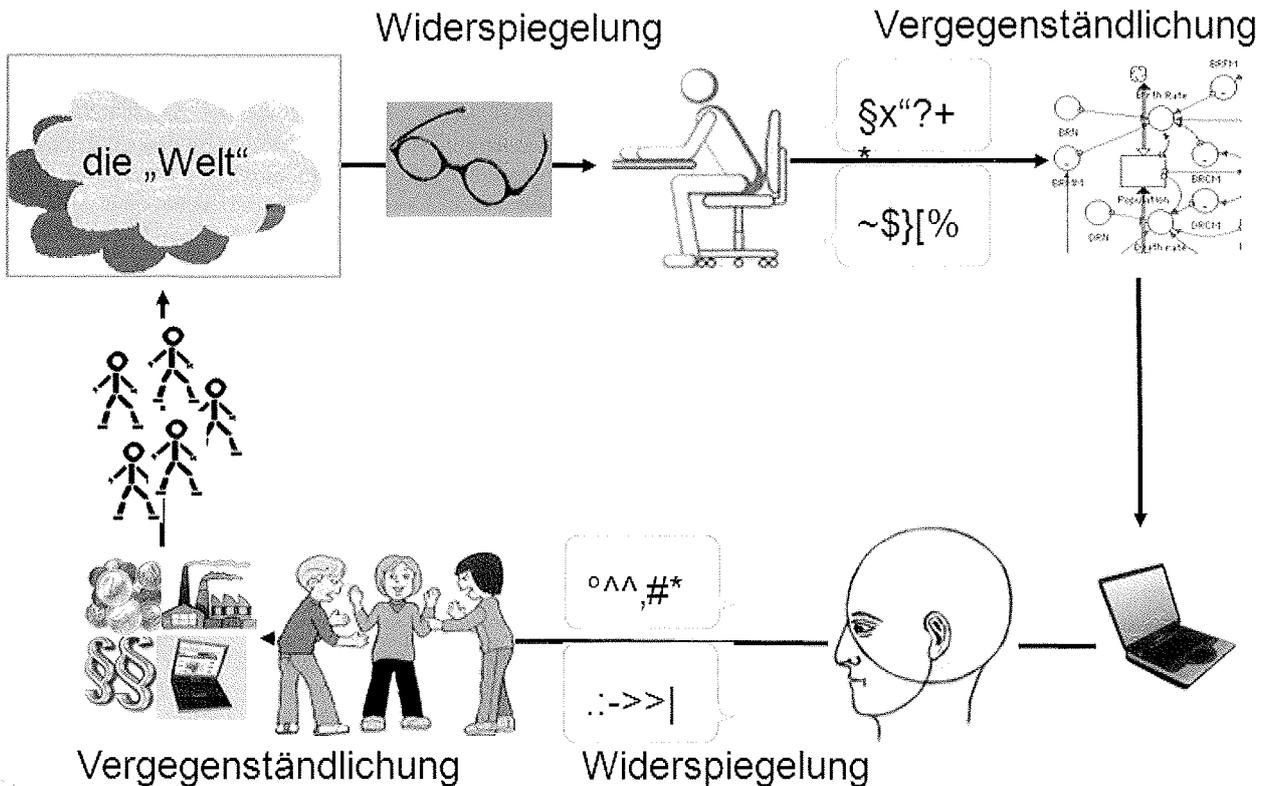


Abbildung 1: Simulation im Veränderungszyklus  
 Quelle: Diese und alle weiteren Abbildungen ohne Quellenangabe wurden vom Autor erstellt.

Ideen ist nicht immer voraussetzungslos möglich (man denke z. B. an Bücherpreise oder an Studiengebühren, die an vielen Universitäten bezahlt werden müssen).

Während die oben beschriebenen Vergegenständlichungen von Menschen mit durchschnittlichem Bildungsniveau verstanden werden können, ist die Verständlichkeit der Vergegenständlichungen von Ideen im formalen Apparat von Mathematik und Statistik oder als Simulationsmodell in einer Computersprache nur für SpezialistInnen möglich, die besondere Lernprozesse durchlaufen haben. Die Formelsprachen von Mathematik und Statistik und von Computersprachen sind durch Axiomatisierung und Präzision gekennzeichnet. Um ihre Vorteile nutzen zu können, muss aber ein Preis gezahlt werden: Werden Ideen formalisiert, bleiben die jeweiligen Qualitäten, die eine Idee ausmachen, der Formalisierung äußerlich. Der Formelapparat ist blind gegenüber den meisten qualitativen Bestimmungen der Realität.<sup>4</sup> Die jeweiligen Qualitäten müssen von den Benutzern der formalisierten Idee selbst in die Vergegenständlichung hineininterpretiert werden, ja mehr noch, wird einer Variablen einmal eine Qualität zugeschrieben (z. B. Geschwindigkeit), so behält diese Variable diese Qualität immer bei, wie sehr sich auch die quantitative Ausprägung der Variablen ändern möge.

Von einem marxistischen Standpunkt lassen sich Beiträge zur modernen Naturwissenschaft in Physik, Chemie (Prigogine/Stengers 1990) oder Biologie (Steigerwald 1994) durchaus als Widerspiegelungsprozesse deuten, wie sie schon in Friedrich Engels „Dialektik der Natur“ (Engels 1971) in einer frühen Form interpretiert wurden.

Mathematische Simulationsmodelle stellen im Kontext des Veränderungszyklus eine spezielle Form von Vergegenständlichung dar, indem Teile der theoretischen Widerspiegelung der Welt auf Papier oder in den Computer transferiert werden. Danach kann mit den vergegenständlichten Ideen beinahe so „gearbeitet“ werden, als ob sie „die Wirklichkeit“ selbst wären. Von Bedeutung ist auch, dass die Modelle auf dem Computer in der Regel dynamisch sind, d. h., dass die Veränderungen der Modellkenngrößen in der Zeit beobachtet werden können, oft in anderen zeitlichen Größenordnungen als in der Realität. So können Prozesse der Wirtschaftsentwicklung in der Simulation, die in der Wirklichkeit Jahrzehnte brauchen würden, innerhalb weniger Minuten ablaufen. Umgekehrt lassen sich molekulare Bewegungen<sup>5</sup>, die sich in der Realität im Nanosekundenbereich abspielen, in der Simulation so verlangsamt darstellen, dass sie menschlicher Beobachtung zugänglich werden.

Auf dem Computer können die Eingriffe in die (simulierte) Umwelt verschiedenster Natur sein, sie können politisch, ökonomisch, ökologisch, sozial, rechtlich, künstlerisch, religiös sein und/oder physikalische, chemische, biologische, physiologische oder psychologische Aspekte beinhalten und vereinen.

Bei den Resultaten der Simulation (z. B. Wirtschaftsprognosen) handelt es sich um Möglichkeitsfelder, die unter bestimmten Umständen zur Wirklichkeit werden können (siehe etwa Fleissner 2004). Von einem Standpunkt des passiven Beobachters können die Resultate mit der Realität verglichen werden, was entweder zur Veränderung des Si-

mulationsmodells oder zur Veränderung der Wirklichkeit genutzt werden kann. Die Ergebnisse der Simulationsmodelle müssen erst interpretiert werden, wobei auch hier Widerspiegelungs- und Vergegenständlichungsprozesse dazwischentreten, bevor aus den Möglichkeitsfeldern eine Variante in mehr oder weniger demokratischen Vorgängen ausgewählt und in die Tat umgesetzt werden kann. Damit wäre der Veränderungszyklus durchlaufen und kann wieder von vorne beginnen.

Welche Methoden der Simulation stehen derzeit zur Verfügung und nach welchen Grundzügen funktionieren sie? Die Methoden hängen natürlich immer von den entsprechenden Fragen ab, die mit dem Simulationsmodell bearbeitet oder – wenn es hoch kommt – sogar beantwortet werden sollen. Ohne auf die Inhalte der Fragestellungen näher einzugehen, soll hier eine Klassifikation der Vergegenständlichungsarten vorgestellt werden, die ausschließlich auf den Eigenschaften der formalen Strukturen aufbaut, in denen das mentale Modell wiedergespiegelt wird. Anwendungsbeispiele werden herangezogen, um diese Klassifikation zu illustrieren. Die folgenden Abschnitte sind sozusagen kumulativ zu lesen. Sie steigen von einfachen zu komplexeren Formen auf. Modelle auf der jeweiligen Stufe setzen meist die Strukturen der davorliegenden Stufen voraus.

**MATHEMATISCHE VERGEGENSTÄNDLICHUNG 0:  
DEFINITIONSGLEICHUNGEN**

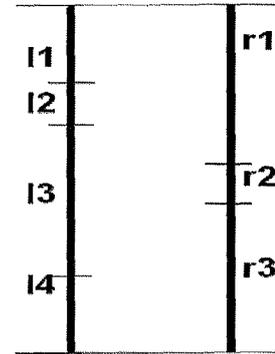
Die einfachste Form mathematischer Vergegenständlichung bilden Definitionsgleichungen, die in zwei Gruppen unterteilt werden können. Die einfachste Art von Definitionsgleichungen verbindet Größen gleicher Qualität auf quantitativer Basis miteinander (z. B. ist der Umfang eines Dreiecks die Summe der Längen der Seiten), eine etwas komplexere Form sind Definitionsgleichungen, die neue Qualitäten im Modell festlegen (z. B. wird die Fläche eines Rechtecks aus dem Produkt der Längen der Seiten bestimmt). Letztere Form kann komplexere Qualitäten aus einfacheren konstruieren. Die formale Schreibweise ist durch einen definierenden Doppelpunkt charakterisiert:

$Z := X + Y$   
oder  
 $Z := X \cdot Y$

**MATHEMATISCHE VERGEGENSTÄNDLICHUNG 1:  
STATISCHE BILANZGLEICHUNGEN**

In den Naturwissenschaften bilden Bilanzgleichungen den Kern der mathematischen Darstellung. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass sie Variablen, die eine bestimmte Qualität besitzen, mit Variablen einer anderen Qualität quantitativ in Zusammenhang bringen. Das Prinzip einer Bilanzgleichung ist von einer Definitionsgleichung wesentlich verschieden (siehe Abbildung 2). Während eine Definitionsgleichung Größen gleicher Qualität auf der quantitativen Ebene (üblicherweise mithilfe der Grundrechnungsarten)

zusammenfasst („Ungleiche Quantitäten gleicher Qualitäten verbinden sich zu einer Quantität gleicher Qualität“) oder neue komplexere Qualitäten aus einfachen erzeugt, werden bei einer Bilanzgleichung ungleiche Qualitäten auf der quantitativen Ebene gleichgesetzt („Nur das Ungleiche kann gleichgesetzt werden“).



**$I1+I2+I3+I4 =: L = R := r1+r2+r3$**

Abbildung 2: Statische Bilanzgleichung

In der Physik kennen wir z. B. die Erhaltungssätze von Masse, Energie oder Impuls. In der Chemie sind die sogenannten stöchiometrischen Gleichungen<sup>6</sup> verbreitet. Diese Gleichungen beschreiben qualitativ und quantitativ die Wechselwirkung zwischen chemischen Verbindungen/Elementen. Auf der linken Seite einer solchen Gleichung werden die Ausgangsverbindungen angeführt, auf der rechten Seite die entstehenden Reaktionsprodukte. Anzahl und Art der Atome müssen auf beiden Seiten der Gleichung identisch sein. Wieder gilt, dass qualitativ Verschiedenes quantitativ gleich sein muss.

Analoges gibt es in der Betriebswissenschaft und in den Wirtschaftswissenschaften. Die Einnahmen- und Ausgabenrechnung in einem Betrieb setzt die Einnahmen den Ausgaben unter Hinzuziehung eines Ausgleichspostens (Betriebsüberschuss) gleich. Auf der volkswirtschaftlichen Ebene lassen sich sogar mehrere Bilanzgleichungen finden. Da die Aktivitäten einer Volkswirtschaft in einer bestimmten Zeitperiode nach dem System of National Accounts (SNA) nach der Entstehung, der Verwendung und der Verteilung des Reichtums klassifiziert werden können, muss die Summe aller Umsätze im Wesentlichen gleich sein der Summe aller Ausgaben, die auf der Verwendungsseite getätigt werden, bzw. die Summe aller Kosten und Erträge dem Wert aller Produkte (siehe Abbildung 2).

**EXKURS: MARX UND LEONTIEF**

Marx hat schon im Kapital weitere volkswirtschaftliche Bilanzgleichungen herausgearbeitet: So muss in einem vereinfachten Modell einer kapitalistischen Wirtschaft die Summe aller Konsumgüter wertmäßig gleich sein dem gesamten vorgeschossenen variablen Kapital, und ebenso die

Wertsomme aller Produktionsmittel der Summe aller Vor-materialien und Investitionsgüter gleich sein. Sind diese Bilanzgleichungen verletzt, sind krisenhafte Erscheinungen zu erwarten.

Es scheint interessant, die Arbeiten von Marx und Leontief auf der Ebene von mathematischen Strukturen miteinander zu vergleichen (vgl. Leontief 1951; Marx 1969a, 1969b). Beide Autoren haben eine idealisierte Volkswirtschaft nicht nur im Aggregat, sondern gleichzeitig auch nach Sektoren unterteilt beschrieben, wobei sich Marx (zumindest im Band I des „Kapital“) auf den Wertaspekt konzentriert hat, während Leontief den Gebrauchswertaspekt (als primales Problem) gleichzeitig mit der Preisproblematik (als duales Problem) behandelt hat.<sup>7</sup>

Als Leontief sein Input-Output-Modell konstruierte, war er sicher von den ersten sowjetischen Wirtschaftsplänen inspiriert. Sein Verdienst war es nicht nur, eine Verflechtungsbilanz der US-Volkswirtschaft mit 42 Sektoren zu erstellen, sondern er konnte seine Methode zum Ausbau der ökonomischen Theorie einsetzen. Besonders erfolgreich war die Idee, die Volkswirtschaft nicht nur durch direkt gewonnene Branchenkenngößen wie Brutto-Produktionswert oder Wertschöpfung zu charakterisieren, sondern durch Normierung aller Inputs einer Branche auf die jeweiligen Brutto-Produktionswerte ein quadratisches System von Zahlen ableiten zu können, das als Leontief-Matrix  $A$  (auch Matrix der technischen Koeffizienten genannt) in die Wirtschaftswissenschaften eingegangen ist. Damit ist es möglich, auf Branchenebene die eingesetzten Technologien verschiedener Länder zu vergleichen. Multipliziert man die so genannte Leontief-Inverse  $(E-A)^{-1}$  mit dem (gegebenen) Mengenvektor der Endnachfrage, lässt sich der Mengenvektor der Brutto-Produktionswerte errechnen.

Das Input-Output-Schema von Leontief vereinigt in eleganter Weise die Darstellung einer Volkswirtschaft unter dem Gesichtspunkt von beobachteten Preisen und von umgesetzten Mengen und erlaubt überdies die Berechnung und Darstellung der Marx'schen Arbeitswerte sowie der Produktionspreise (Preise unter der Bedingung ausgeglichener Profitraten). Nach Marx geht die Transformation von Arbeitswerten (in Geldeinheiten) in Produktionspreise unter der Beibehaltung der gesamten im jeweiligen Bewertungssystem ausgedrückten Masse aller Güter vor sich (Wertsomme gleich Produktionspreissomme). Gleichzeitig hat Marx m. E. fälschlich postuliert, dass die Mehrwertmasse (vor der Transformation) gleich der Profitmasse (nach der Transformation) wäre, ein Postulat, das nur unter sehr speziellen Bedingungen erfüllt werden kann und im Allgemeinen im Widerspruch zur ersten Voraussetzung (Wertsomme gleich Produktionspreissomme) steht.

Es scheint interessant, wie die Mathematik auf dieser Basis durch eine Hinwendung zur Geometrie zu einem vertieften Verständnis des Transformationsproblems beitragen kann. Dazu sind einige einfache gedankliche Schritte notwendig: Zunächst stellen wir uns die einzelnen Branchen und die ihnen zugeordneten Indikatoren nicht wie in Abbildung 5 nebeneinander angeordnet vor, sondern denken uns die Indikatoren einer Branche jeweils auf einer eigenen Koordinatenachse dargestellt (siehe Abbildung 3).

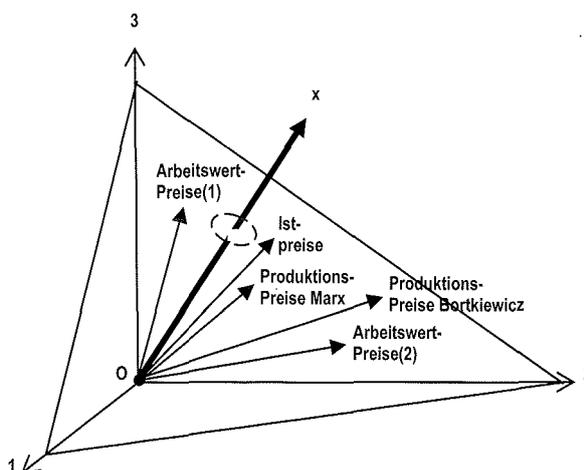


Abbildung 3: Die Hyperebene als geometrischer Ort aller möglichen relativen Preise

Anschaulich gelingt uns das natürlich nur mit bis zu drei Wirtschaftszweigen, z. B. Konsumgüter, Produktionsmittel und Luxusgüter oder Landwirtschaft, Industrie und Dienstleistungen. Mathematisch ist aber die Ausdehnung der Anzahl der Branchen auf mehr als drei kein Problem. Nehmen wir zusätzlich an, die Mengen, die in der Wirtschaft produziert werden, wären konstant, nur die Preise könnten sich ändern, dann bedeutet die Marx'sche Annahme „Wertsomme gleich Produktionspreissomme“, dass alle möglichen Preissysteme, die mit den gegebenen Mengenrelationen verträglich sind, auf einer Hyperebene liegen müssen (in Abbildung 3 ist die Hyperebene für den Fall  $n = 3$  als Dreieck angedeutet). Dies gilt sowohl für den Vektor der (wie auch immer berechneten) Arbeitswerte, für den Vektor der Produktionspreise und für den Vektor der Ist-Preise, die wir tatsächlich beobachten. Das Transformationsproblem besteht unter diesem Gesichtspunkt in einer Verschiebung der Spitze des Vektors der Arbeitswerte in der Hyperebene in einen Vektor der Produktionspreise. Nun hat Marx eine Lösung vorgelegt, die die Bewertung der Outputs zu Preisen vornimmt, die den einzelnen Sektoren ausgeglichene Profitraten zuweist, die Inputs werden aber weiterhin zu Arbeitswerten berechnet (vgl. Marx 1979b). Diese für das Gleichgewichtsdenken der Ökonomenzunft provokante Diskrepanz kritisierte vor allem Ladislaus von Bortkiewicz in konstruktiver Weise, indem er eine alternative Lösung für die Produktionspreise vorlegte, die in der linearen Algebra als Eigenvektorproblem bekannt ist (vgl. Bortkiewicz 1906/07). Es lässt sich aber zeigen, dass die Marx'sche Berechnungsmethode iterativ auf das jeweilige Ergebnis angewandt gegen die von-Bortkiewicz-Lösung konvergiert. Alle Zwischenergebnisse liegen natürlich wieder in der Hyperebene. Und überdies gilt, dass man von einem beliebigen Preisvektor ausgehen kann: Die Marx'sche Methode führt von beliebigen Ausgangs-Preisvektoren iterativ zur von-Bortkiewicz-Lösung.

Mit gewissem Recht konnte deshalb Paul Samuelson sagen: „Betrachte zwei alternative widersprüchliche Systeme. Schreibe das eine hin. Zur Transformation nimm einen

Radiergummi und radiere es aus. Schreib dann stattdessen das andere hin. Voilà! Damit ist der Transformationsalgorithmus beendet“ (Samuelson 1971: S. 400).

Insofern ist das System der Produktionspreise ein besonderes idealtypisches Preissystem, das ohne Bezugnahme auf irgendwelche Arbeitszeiten quantitativ bestimmt werden kann, da die Festlegung ausgeglichener Profitraten zur eindeutigen Berechnung relativer Preise hinreicht. Aber obwohl Samuelson mathematisch Recht hat, vernachlässigt er den inneren Zusammenhang der Preise mit der menschlichen Arbeit. Es geschieht in der Evolution häufig, dass ein älteres Regime (z. B. ein idealtypisches System kleiner WarenproduzentInnen) durch ein neues (idealtypisch kapitalistisches System mit gleichen Profitraten in allen Zweigen, die sich durch vollkommene Konkurrenz mittels Kapitalwanderungen ergeben) ersetzt wird und dass die ältere Schicht im neuen System nicht erhalten bleibt. Wenn die Arbeitswerttheorie Richtigkeit beanspruchen soll, genügt aber die plausible Annahme, dass sich das kapitalistische System aus einem anderen, einfacheren Regime (logisch – und vielleicht auch historisch – gemeint) herausgebildet hat, von dem sich allerdings an der Oberfläche der empirischen Daten keine Spuren mehr finden lassen. Die Preisstruktur eines älteren Regimes kann aber durch mathematische Transformationen idealtypisch erschlossen werden. Wie eine Zeitmaschine erlaubt es die Mathematik, hinter die Oberfläche des Konkurrenzkapitalismus zu sehen. Wie ich weiter unten zeigen werde, ist die Rekonstruktion der logischen Vergangenheit nicht notwendigerweise eindeutig. Es wären verschiedene Modelle der logischen Vergangenheit möglich, die alle durch Transformationen in Richtung ausgeglichener Profitraten gegen das gleiche Ergebnis der Produktionspreise konvergieren.

Der polemische Vorschlag von Samuelson erscheint aus diesem Blickwinkel als Aufruf zur Reduktion der ökonomischen Theorie auf abstrakte Zusammenhänge. Durch diese Reduktion wird jegliche historische Entwicklung eines Wirtschaftssystems ausgeblendet und der status quo zur Richtschnur für die Verewigung herrschender Verhältnisse.

Folgt man dem Vorschlag Samuelsons nicht, sondern versucht, auf theoretischer Basis spezielle idealtypische Vorläuferstrukturen für die Produktionspreise zu identifizieren, ist die erste Wahl die Arbeitswerttheorie, die Marx im ersten Band des „Kapital“ beschreibt (vgl. Marx 1969a). Die Matrizenrechnung erlaubt es, bei Kenntnis der Leontief-Inversen (die mit Hilfe einer zeilennormierten Verflechtungsbilanz konstruiert wurde) und der Arbeitszeiten die Arbeitswerte  $w$  zu berechnen. Wird die lebendige Arbeit  $n$  als Zeilenvektor dargestellt, ergeben sich die Arbeitswerte  $w$  wie folgt:

$$w = n (E - A)^{-1}.$$

Abbildung 4 zeigt das Resultat dieser Rechnung für eine konkrete Input-Output-Tafel für Österreich 2003 mit 57 Wirtschaftszweigen<sup>8</sup> in Form der Wertstruktur aufgeteilt nach konstantem Kapital  $c$ , variablem Kapital  $v$  und Mehrwert  $m$ :

$$w = c + v + m.$$

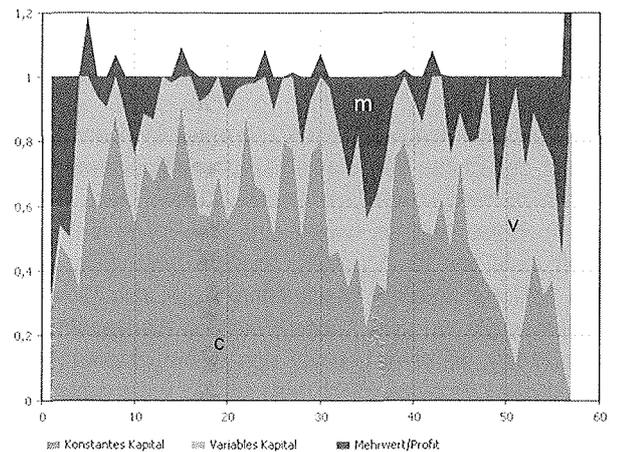


Abbildung 4: Struktur der Arbeitswerte (alle Sektoren wertbildend;  $c$  – konstantes Kapital,  $v$  – variables Kapital,  $m$  – Mehrwert), Österreich 2003: 57 Sektoren (in Prozent)

Dieses Bild lässt sich direkt mit der Preisstruktur nach Wirtschaftszweigen zu Ist-Preisen vergleichen (siehe Abbildung 5).

Vergleicht man nicht die Wert- bzw. Preiszusammensetzung, sondern die Wertmasse (bzw. Preismasse) je Wirtschaftszweig, lässt sich die Übereinstimmung zwischen diesen beiden Bewertungssystemen durch eine Kenngröße, den Korrelationskoeffizienten  $r$ , berechnen. Ist der als linear angenommene Zusammenhang perfekt, besitzt  $r = 1$ , sind die zu vergleichenden Werte gegenläufig, ist  $r = -1$ . Ist der Zusammenhang rein zufällig, ist  $r = 0$ . Für Österreich 2003 ergibt sich ein Korrelationskoeffizient  $r$  von 0.883<sup>9</sup> zwischen den errechneten Arbeitswerten und den beobachteten Preisen. Obwohl ein statistisch signifikanter Zusammenhang besteht, finden sich gegenüber den Ist-Preisen auf der Wertstrukturebene einige merkwürdige Abweichungen: wie Abbildung 4 zeigt, sind die Mehrwertanteile in relativ vielen Branchen negativ, obwohl negativer Mehrwert (hier als Betriebsüberschuss ausgedrückt) in der Wirklichkeit (siehe Abbildung 5) nur in einer einzigen Branche (Private Haushalte) auftritt.

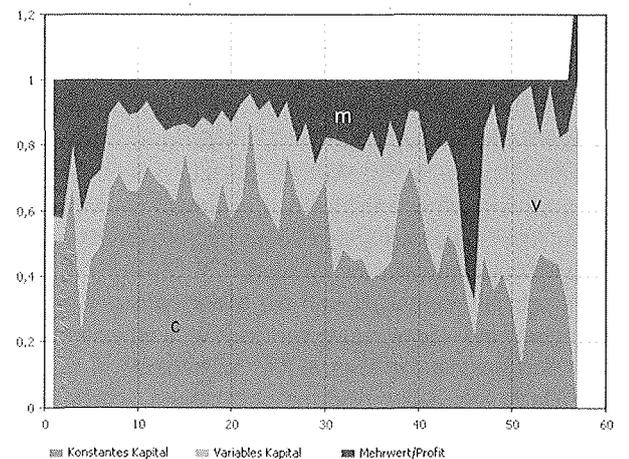


Abbildung 5: Struktur der Brutto-Produktionswerte (Ist-Preise;  $c$  – konstantes Kapital,  $v$  – variables Kapital,  $m$  – Mehrwert) Österreich 2003: 57 Sektoren (in Prozent).

Eine andere Methode der Wertberechnung geht nur von jenen Wirtschaftszweigen aus, die positive Beiträge zum Mehrprodukt leisten können. Wenn alle anderen Zweige (meist Dienstleistungssektoren) in einer Input-Output-Tafel zu ihren Reproduktionskosten (unabhängig von der dort geleisteten Arbeitszeit) bewertet werden, sind sie aus eigener Finanzkraft nicht in der Lage, zu investieren. Sollten sie dennoch investieren, müssten sie die Investitionsgüter von jenen Zweigen beziehen, die sie tatsächlich herstellen. Dann aber könnten die Zweige, die das Mehrprodukt herstellen, nicht mehr das ganze von ihnen erzeugte Mehrprodukt investieren. Es tritt in diesem Fall eine Verletzung des sogenannten Äquivalententausches auf. Die Wertstruktur wird verzerrt. Tauschakte verlaufen dann so, dass eine Seite Waren oder Geld anbietet, die nicht die gleiche Arbeitszeit verkörpern wie die Waren oder das Geld des Tauschpartners. Dies ist in der kapitalistischen Praxis eher die Regel als die Ausnahme. Aber für den Aufbau einer widerspruchsfreien Theorie, die auf dem gerechten Tausch beruht, wäre eine solche Ungereimtheit tödlich.

Wie ließe sich ein System aufbauen, in dem ausschließlich äquivalenter Tausch zugelassen ist und an dem auch Sektoren teilnehmen, die nichts zum Mehrprodukt beitragen? Die Lösung ist relativ einfach: Jene Sektoren, die nichts zum Mehrprodukt beitragen, werden unter der Annahme in die Verflechtungsmatrix eingefügt, dass deren Arbeit keinen Mehrwert produziert. Unter diesen Bedingungen können Arbeitswerte berechnet werden, die den Dienstleistungssektoren zwar keinen Mehrwert ermöglichen, aber deren Output zu Reproduktionskosten bewertet wäre (siehe Abbildung 6).

Die Korrelation der Arbeitswerte mit den Ist-Preisen ist mit einem  $r$  von 0.802 etwas niedriger als im Falle der Annahme, alle Sektoren wären wertbildend, aber m. E. bedeutet dies kein Problem. Nach der Marx'schen Theorie wären ja in einer kapitalistischen Wirtschaft die Produktionspreise die Drehpunkte der beobachtbaren Preise und nicht die wie immer berechneten Arbeitswerte.

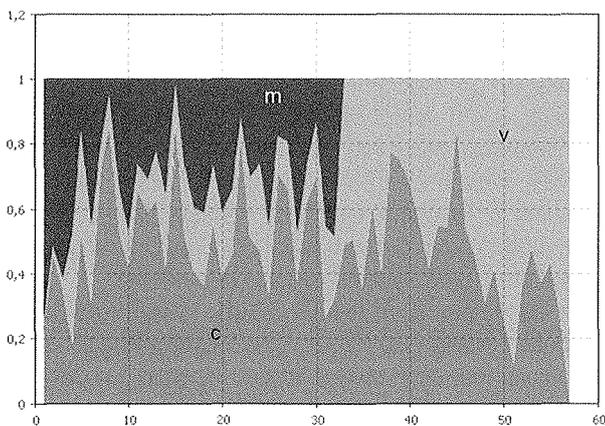


Abbildung 6: Struktur der Arbeitswerte (Dienste nicht wertbildend, ungleiche Mehrwertraten; c – konstantes Kapital, v – variables Kapital, m – Mehrwert), Österreich 2003: 57 Sektoren (in Prozent)

Geht man von Arbeitswerten aus, die ausschließlich in den Wirtschaftszweigen der materiellen Produktion erzeugt werden, wobei die Dienstleistungen als nicht-wertbildend und zu Reproduktionskosten bewertet werden, und wendet die Marx'sche Methode der Transformation in Richtung ausgeglichener Profitraten an, erhält man einen Korrelationskoeffizienten, der mit  $r = 0.901$  schon höher ist als jedes der beiden Wertrechnungsergebnisse (vgl. Fleissner 2008). Die entsprechende Wertzusammensetzung zeigt Abbildung 7.

Weitere Iterationen ergeben bis zur Iteration 4 ( $r = 0.9537$ ) immer größere Korrelationskoeffizienten zwischen den iterativ ermittelten Produktionspreisen und den Ist-Preisen. Mit jeder Iteration fällt der Korrelationskoeffizient interessanterweise wieder, wenn auch nur noch schwach, und konvergiert von oben gegen  $r = 0.95235$  (vgl. die entsprechende Wertzusammensetzung in Abbildung 8).

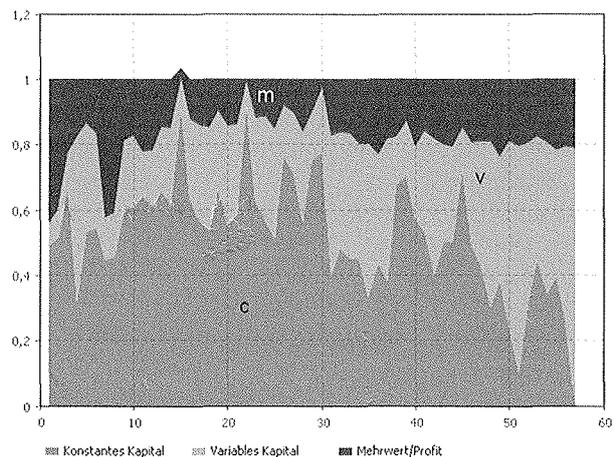


Abbildung 7: Produktionspreise: Marx'sche Methode, eine Iteration (c – konstantes Kapital, v – variables Kapital, m – Mehrwert), Österreich 2003: 57 Sektoren (in Prozent)

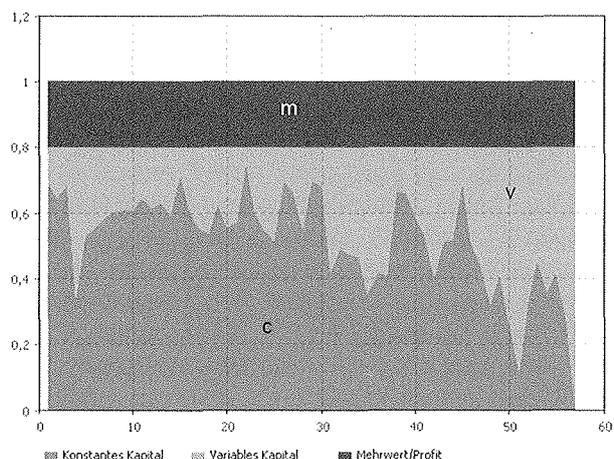


Abbildung 8: Produktionspreise: Methode nach Bortkiewicz (c – konstantes Kapital, v – variables Kapital, m – Mehrwert); Österreich 2003: 57 Sektoren (in Prozent)

Dieses Ergebnis ist in Übereinstimmung mit den Überlegungen von Emmanuel Farjoun und Moshe Machover, die schon vor einem Vierteljahrhundert aufgrund thermodynamischer Methoden zum Schluss kamen, dass die beobachteten Profitraten nicht gleich sein sollten, sondern eher permanent ungleich sein müssten. Sie haben auch den Typ der Wahrscheinlichkeitsverteilung angegeben (vgl. Farjoun / Machover 1983). Marx hat das Transformationsproblem auf einer ziemlich abstrakten Ebene unter Konstanz der soziotechnischen Bedingungen einer Wirtschaft untersucht, d. h. die technischen Koeffizienten bleiben ebenso konstant wie die Konsumkoeffizienten (Konsum an Gebrauchswerten einer bestimmten Branche pro Outputseinheit). Was sich verändert, sind die relativen Preise, die unter der Annahme, dass die Märkte geräumt werden, zu Veränderungen bei den Gewinnen und Investitionen führen müssen.

Der hohe Grad der Abstraktion des Transformationsproblems lässt sich ein wenig reduzieren, wenn man annimmt, dass sich z. B. der Konsum bei veränderten Preisen ebenfalls ändern wird. Nimmt man eine Transformation unter diesen Bedingungen vor, gibt es nicht mehr bloß eine einzige Lösung für den Produktionspreisvektor, sondern deren zwei, mit zwei verschiedenen (aber ausgeglichene) Profitraten und einem dazugehörenden Konsumniveau, das bei niedriger Durchschnittsprofitrate hoch ist und umgekehrt – umgekehrt (vgl. Fleissner 2008).<sup>10</sup>

MATHEMATISCHE VERGEGENSTÄNDLICHUNG 2:  
VERHALTENSGLICHUNGEN

Die dritte Methode der Vergegenständlichung, die sich großer Verbreitung in allen Wissenschaften erfreut, ist die Verhaltensgleichung. Sie geht zunächst von einer Teilung von Variablen in Inputs und Outputs aus, die oft auch als exogene oder endogene Variablen bezeichnet werden (siehe Abbildung 9). Sie ist darauf ausgerichtet anzugeben, welche Werte  $y$  bei bestimmten Werten von  $x_1, x_2$  usw. annehmen wird. Die Variablen können dabei völlig unterschiedliche Qualitäten ausdrücken. Verhaltensgleichungen kommen in allen quantitativ arbeitenden Wissenschaften und in der Technik vor.

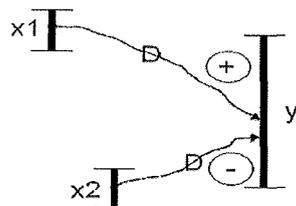


Abbildung 9: Verhaltensgleichungen

Sie bringen oft Ergebnisse zum Ausdruck, die experimentell gewonnen wurden, z. B. Kennlinien von elektronischen Bauteilen, Zusammenhänge zwischen Kraftausübung

und Verformung einer metallischen Feder, Ausgaben für Konsum in einer Volkswirtschaft als Funktion von Einkommen und Preisniveau etc. Anwendungen finden sich in der Psychologie, Soziologie und der Volkswirtschaft genauso wie in Physik, Chemie und Biologie.

Um dem dahinterliegenden Prinzip des Zusammenhanges näherzukommen, werden auf die experimentell gewonnenen Messdaten, die immer zu einem gewissen Grad fehlerbehaftet sind, häufig Fehlerausgleichsmethoden angewandt. Ein gutes Beispiel dafür ist die Regressionsrechnung und ihre Weiterentwicklung im Rahmen der Ökonometrie. Hier kommt zum ersten Mal der Zufall in die Widerspiegelung herein, allerdings eher in der Form eines Fehlers, einer unangenehmen Größe, die möglichst eliminiert werden müsse. Tatsächlich besteht Regressionsrechnung darin, die quadrierte Summe aller Fehler zu minimieren und sich so möglichst stark an den „reinen“ und systematischen, nicht fehlerbehafteten Zusammenhang der Ideenwelt anzunähern.

Auf dieser Grundlage hat sich nach dem Zweiten Weltkrieg<sup>11</sup> eine eigene Disziplin, die Ökonometrie, etabliert, die angibt, wie Modelle ökonomischer Systeme konstruiert und die speziellen Parameter der darin vorkommenden Gleichungen auf empirischem Wege bestimmt werden können. Die Ökonometrie ist auf weite Strecken eine Disziplin der mathematischen Statistik, erlaubt aber auch, spezielle Fragestellungen aus dem Bereich der Wirtschaftstheorie praktisch anzuwenden. Ökonometrische Modelle wurden und werden zur Prognose von Wirtschaftsdaten und zur Bestimmung der Effekte wirtschaftspolitischer Entscheidungen verwendet (vgl. als ein Beispiel unter vielen Bruckmann/Fleissner 1989). Ökonometrische Modelle können aus einem simultanen Gleichungssystem bestehen, das die Werte der endogenen Variablen unter Vorgabe der exogenen bestimmt. Die Art des Zusammenhangs zwischen Input und Output kann gleichzeitig sein, es kann zwischen Input und Output aber auch eine zeitliche Verzögerung (in Abbildung 9 als Delay D gekennzeichnet) geben. Eine einzelne Gleichung hat häufig die folgende Gestalt

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n + u$$

$y$  verkörpert die endogene Variable,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  die exogenen Variablen und  $u$  eine Zufallsvariable. Die Parameter  $a_0, a_1, a_2, \dots$  werden so bestimmt, dass die Fehlerquadratensumme über alle vorliegenden Beobachtungen minimiert wird. Sind einige der  $x_i$  verzögerte endogene Variable, kann durch iterative Lösung der dadurch entstehenden Differenzgleichung bereits eine Dynamik beschrieben werden.

In der Praxis, z. B. bei der Erstellung von Wirtschaftsprognosen, werden die Fehler normalerweise weggelassen, so dass nur der dem ideellen Modell folgende Teil der Vergegenständlichung in die Berechnung eingeht und die Prognose dadurch einen Anschein der Präzision erhält, der aber – wie die Geschichte der ökonomischen Fehlprognosen leidvoll zeigt – nicht gerechtfertigt ist.

MATHEMATISCHE VERGEGENSTÄNDLICHUNG 3:  
DYNAMISCHE BILANZGLEICHUNGEN

Ein weiterer Schritt in der mathematischen Vergegenständlichung ist durch dynamische Bilanzgleichungen gegeben, die sich von den statischen Bilanzgleichungen dadurch unterscheiden, dass der einzige qualitative Unterschied zwischen linker und rechter Seite der Gleichung in ihrer Lage in der Zeit besteht (siehe Abbildung 10). Die dynamische Bilanzgleichung hat vielfältige Anwendungen in allen Wissenschaften, z. B. zunächst in Differenzgleichungen in der Physik, die den Übergang vom Zeitpunkt  $t$  nach  $(t+\Delta t)$  beschreiben, als Lagerhaltungsgleichung, als dynamische Bevölkerungsbilanz oder als dynamische Buchhaltungssysteme. Lässt man  $\Delta t$  gegen Null gehen, lässt sich aus dem Differenzenquotienten der Differentialquotient bilden, der in der mathematischen Beschreibung der Dynamik mechanischer oder elektronischer Systeme eine zentrale Rolle spielt.

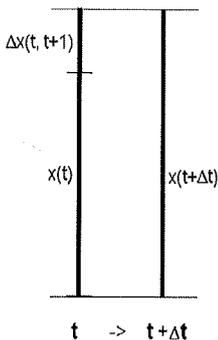


Abbildung 10: Dynamische Bilanzgleichung

Die dynamische Bilanzgleichung erlaubt es, mit Bestandsgrößen und Flussgrößen zu arbeiten, die in Simulationsprogrammen (wie z. B. in DYNAMO, STELLA oder VENSIM) weit verbreitet sind. Die graphische Vergegenständlichung von Bestands- und Flussgrößen eines STELLA-Modells auf dem Bildschirm eines Computers zeigt Abbildung 11. Man kommt in den systemdynamischen Modellen, wie sie von Jay Forrester in den USA entwickelt worden sind, mit vier graphischen Elementen aus: STOCK (Bestandsgröße), FLOW (Flussgröße), AUXILIARY (Hilfsgröße, später auch Converter genannt) und ACTION CONNECTOR (verbindet zwei Variablen miteinander, kann eine Verhaltensgleichung oder Definitionsgleichung erzeugen). Das gezeigte System in Abbildung 11 aus einer Bestands- und zwei Flussgrößen ist nichts anderes als die graphische Vergegenständlichung einer dynamischen Bilanzgleichung, wobei allerdings Zugänge und Abgänge getrennt dargestellt werden.

Durch Einfügen von Hilfsgrößen, die durch Pfeile verbunden sind, und weitere Bestandsgrößen-Flussgrößen-Kombinationen lassen sich komplexe Rückkopplungsstrukturen aufbauen, die unvorhergesehene Verhaltensweisen der endogenen Variablen des Simulationsmodells erzeugen. Abbildung 12 zeigt das Ergebnis eines Durchlaufes von fünf Variablen (Kapitalinvestitionen, Bevölkerung, Um-

weltverschmutzung, Agrarinvestitionen und natürliche Ressourcen, die laufend schrumpfen) des Forrester'schen Weltmodells (vgl. Forrester 1971) über 200 Jahre (1900 bis 2100).

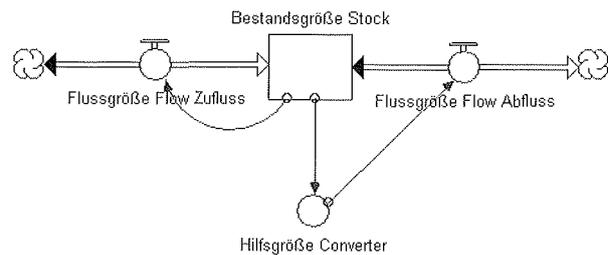


Abbildung 11: Grundelemente von Forresters Systemdynamik. Quelle: Eigene Darstellung nach dem Softwarepaket STELLA.

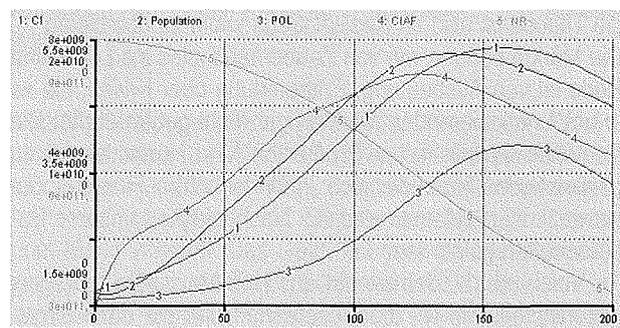


Abbildung 12: Weltmodell von Forrester: Teilergebnisse  
Quelle: eigene Darstellung mithilfe des Softwarepakets STELLA.

EXKURS: DIE WIRTSCHAFT – EINE KOMPLEXE KONSTRUKTION

Auf Basis der nun schon weiter entfaltetten mathematischen Möglichkeiten zur Widerspiegelung der Welt soll zur Illustration wieder die Wirtschaft als konkretes Anwendungsfeld herangezogen werden. Diesmal geht es darum, auf dem Skelett der Arbeitswerte, die oben besprochen wurden, aufzubauen und weitere Schritte der Konkretisierung zu unternehmen, um so weit wie möglich die Oberfläche der wirtschaftlichen Erscheinungen in ihrer Dynamik zu erreichen, wie sie unserer direkten Beobachtung zugänglich sind, aber nun nicht mehr in blinker Unwissenheit, sondern auf Grund eines vertieften Verständnisses. Abbildung 13 zeigt eine Version eines logischen Aufbaus einer kompletten kapitalistischen Volkswirtschaft. Methodisch folge ich dem Konzept der Abstraktion. Alles für die Problematik unwesentliche wird weggelassen, nur das Wesentliche bleibt erhalten. Es soll dabei aber nicht unterschlagen werden, dass die Methode der Abstraktion nicht zu eindeutigen Ergebnissen führen muss. Es könnte ja von den unterschiedlichsten Zügen der Erscheinungsebene abstrahiert werden. So gab es schon im 19. Jahrhundert Ökonomen, die nicht die menschliche Arbeit ins Zentrum der Betrachtung gerückt haben, sondern die Energie – eine Vorgangsweise, die wir bei mo-

deren ÖkonomInnen wiederfinden. Aus meiner Sicht wird die Ökonomie dadurch entmenschlicht und versachlicht, was vielen konkreten Eigenschaften der Ökonomie nicht gerecht wird, man denke etwa an das Geld, das nur dadurch seinen Wert behält, dass an seinen Wert geglaubt wird. Und überdies kann man sich fragen, woher der Wert überhaupt kommt. Die aus meiner Sicht zentrale Grundlage der Wirtschaft, die schon oben angedeutete Mutualität menschlicher Handlungen und ihr Verhältnis zueinander, das sich in gegenständlicher Weise über Dinge, in Marktwirtschaften über Waren ausdrückt, kann ohne den Bezug auf menschliche Verhältnisse nicht hinreichend erklärt werden. So karikiert die heutige Wirtschaftstheorie des mainstreams, die Neoklassik, die Menschen als rationale Optimierer von Gewinn oder persönlichem Nutzen, als homines oeconomici, als perfekte Maschinen, die durch Angebot und Nachfrage ein automatisches Gleichgewicht erreichen würden. Interessanterweise ist der Profit, der sich durch eine solche Maximierung ergibt, immer gleich Null, die Theorie ist also an Realitätstreue kaum zu überbieten ;-). Die Märkte bringen wie von Zauberhand alles ins Lot. Keine Rede ist von Ausbeutung, Entfremdung oder Krisen, die es ja bei funktionierenden Märkten gar nicht geben dürfte. Die Anarchie kapitalistischer Produktion führt immer wieder zu Ungleichgewichten, die sich in Wirtschafts-, Finanz- oder Umweltkrisen entladen und die Nachhaltigkeit unserer Gesellschaften gefährden.

Vor rund 150 Jahren hat uns Karl Marx eine Anleitung hinterlassen, wie wir die Gesellschaft und die darin eingebettete Wirtschaft besser verstehen können. Da wir mit un-

serer Gesellschaft kaum Experimente machen sollten, wie das die Naturwissenschaften seit vielen Jahrzehnten sehr erfolgreich tun, und weil wir nicht wie die Medizin in den Gesellschaftskörper hineinschneiden dürfen, um zu sehen, was drinnen ist, schlug er anstelle von Experimenten und Skalpellen als Methode die gedankliche Abstraktion vor. Folgen wir seinem Rat und wenden wir ihn auf die Wirtschaft an. Dabei soll herauskommen, was die wesentlichen Bestimmungsgründe für die ökonomische und soziale Ungleichheit und für die derzeitige Krise sind.

Abstraktion ist als Methode nicht unproblematisch. Es kommt sehr darauf an, wie und wovon abstrahiert wird. Hier kommen immer die Interessen ins Spiel, die den Erkenntnisprozess leiten. Was nicht interessiert, wird weggelassen. Ein gutes Beispiel ist jene Form der ökonomischen Theorie, die an den Universitäten beinahe ausschließlich gelehrt wird und die mainstream economics genannt wird. Da kommen soziale Klassen gar nicht vor, das Grundmodell für alle Menschen ist der „homo oeconomicus“, der sich rational verhält und seinen Eigennutz oder den Profit maximiert.

Solche ökonomische Theorien wären ja folgenlos, solange sie nicht durch gesellschaftliche Mächte in die Praxis umgesetzt werden. Es ist daher nicht unerheblich, welchen Interessen die Theorien dienen, im Guten wie im Schlechten. Marx hat schon angemerkt: „...allein auch die Theorie wird zur materiellen Gewalt, sobald sie die Massen ergreift.“ (Marx 1844: S. 385) Das heißt natürlich auch, dass um die entsprechenden Theorien von Seiten derer, die nicht auf der Butterseite des Lebens angesiedelt sind, eine Auseinandersetzung geführt werden sollte.

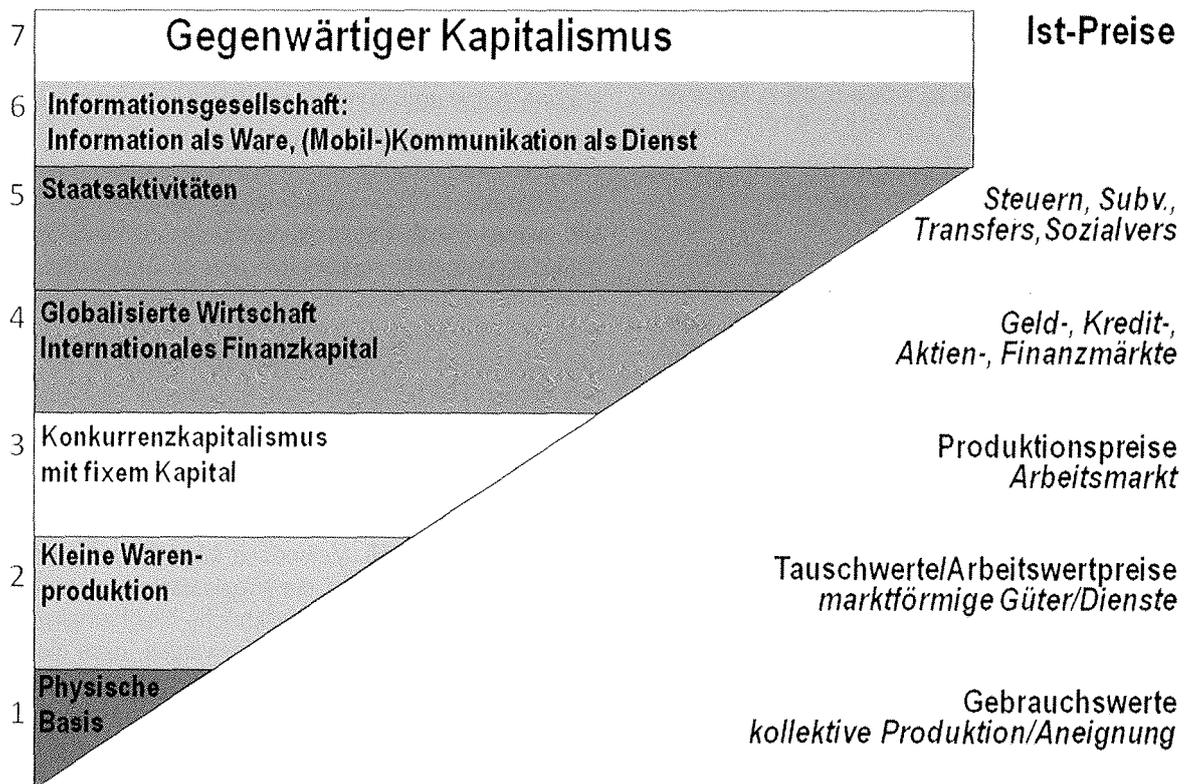


Abbildung 13: Die Wirtschaft – eine komplexe Konstruktion

Ich wähle hier eine besondere Art der Abstraktion, indem ich ökonomische Prozesse als Kreislauf darstelle. Schon der Leibarzt von Ludwig dem Vierzehnten, François Quesnay, hat den Blutkreislauf als Beschreibung der Ökonomie gewählt (siehe Abb. 14), ein Vorbild sowohl für Marx, aber auch für den Nobelpreisträger Wassily Leontief.

**Tableau Économique**

Objets à considérer: 1°. Trois sortes de dépenses; 2°. leur source; 3°. leurs avances; 4°. leur distribution; 5°. leurs effets; 6°. leur reproduction; 7°. leurs rapports entr'elles; 8°. leurs rapports avec la population; 9°. avec l'Agriculture; 10°. avec l'Industrie; 11°. avec le commerce; 12°. avec la masse des richesses d'une Nation.

DÉPENSES PRODUCTIVES relatives à l'Agriculture, &c.	DÉPENSES DU REVENU, l'impôt prélevé, se partageant aux Dépenses productives et aux Dépenses stériles.	DÉPENSES STÉRILES relatives à l'Industrie, &c.
Avances annuelles pour produire ou revendre de 600 <sup>ll</sup> sont 600 <sup>ll</sup>	Revenu annuel de 600 <sup>ll</sup>	Avances annuelles pour les Ouvrages des Dépenses stériles, sont 100 <sup>ll</sup>
Productions des terres cultivées		Ouvrages, &c.
300 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	300 <sup>ll</sup>	300 <sup>ll</sup>
150 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	150 <sup>ll</sup>	150 <sup>ll</sup>
75 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	75 <sup>ll</sup>	75 <sup>ll</sup>
37 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	37 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup>	37 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup>
18 <sup>ll</sup> 15 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	18 <sup>ll</sup> 15 <sup>ll</sup>	18 <sup>ll</sup> 15 <sup>ll</sup>
9 <sup>ll</sup> 7 <sup>ll</sup> 6 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	9 <sup>ll</sup> 7 <sup>ll</sup> 6 <sup>ll</sup>	9 <sup>ll</sup> 7 <sup>ll</sup> 6 <sup>ll</sup>
4 <sup>ll</sup> 13 <sup>ll</sup> 9 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	4 <sup>ll</sup> 13 <sup>ll</sup> 9 <sup>ll</sup>	4 <sup>ll</sup> 13 <sup>ll</sup> 9 <sup>ll</sup>
2 <sup>ll</sup> 6 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	2 <sup>ll</sup> 6 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup>	2 <sup>ll</sup> 6 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup>
1 <sup>ll</sup> 3 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	1 <sup>ll</sup> 3 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup>	1 <sup>ll</sup> 3 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup>
0 <sup>ll</sup> 11 <sup>ll</sup> 8 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	0 <sup>ll</sup> 11 <sup>ll</sup> 8 <sup>ll</sup>	0 <sup>ll</sup> 11 <sup>ll</sup> 8 <sup>ll</sup>
0 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	0 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup>	0 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup> 10 <sup>ll</sup>
0 <sup>ll</sup> 2 <sup>ll</sup> 11 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	0 <sup>ll</sup> 2 <sup>ll</sup> 11 <sup>ll</sup>	0 <sup>ll</sup> 2 <sup>ll</sup> 11 <sup>ll</sup>
0 <sup>ll</sup> 1 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup> reproduisent net.....	0 <sup>ll</sup> 1 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup>	0 <sup>ll</sup> 1 <sup>ll</sup> 5 <sup>ll</sup>
Etc.		

REPRODUIT TOTAL..... 600 ll de revenu; de plus, les frais annuels de 600 ll et les intérêts des avances primitives du Laboureur, de 300 ll que la terre restitue. Ainsi la reproduction est de 1500 ll compris le revenu de 600 ll qui est la base du calcul, abstraction faite de l'impôt prélevé, et des avances qu'exige sa reproduction annuelle. &c. Voyez l'Explication à la page suivante.

Abbildung 14: François Quesnays Tableau Économique  
Quelle: [http://en.wikipedia.org/wiki/Tableau\\_Économique](http://en.wikipedia.org/wiki/Tableau_Économique)

Obwohl meine Darstellung anders aussieht, ist der Kreislaufgedanke in beiden Abbildungen von zentraler Bedeutung.

Der erste Kreislauf beruht auf der Tatsache, dass die Menschen arbeiten müssen, wenn sie leben und überleben wollen. Das trifft bereits auf einfache Gesellschaften in steinzeitlichen Kulturen zu, die keine Geldwirtschaft, sondern nur den Tausch kennen. So weit zurück in die Frühgeschichte möchte ich hier nicht gehen. Ich abstrahiere zwar in einem ersten Schritt von der heute vorhandenen kapitalistischen Wirtschaftsstruktur, aber nicht vom Vorhandensein eines Marktes, und greife auf die Produktionsprozesse zurück, die auch für die heutige Wirtschaft von zentraler Bedeutung sind. Durch die Arbeit der Menschen, sei sie körperlich, geistig oder eine Kombination von beiden, werden in

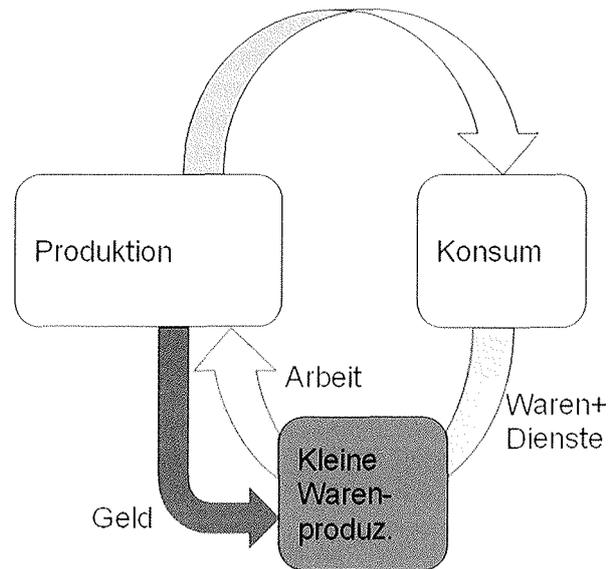


Abbildung 15: Erster Kreislauf: Reproduktion der Arbeitskraft

dieser abstrahierten Wirtschaft, die nur aus kleinen WarenproduzentInnen (das sind selbstständige Kleinbetriebe wie z.B. Bauern und Bäuerinnen, Handwerker, Rechtsanwälte) bestehen soll, Waren und Dienste bereitgestellt und auf dem Markt verkauft. Das Geld, mit dem die Waren bezahlt werden, fließt an die ProduzentInnen zurück, die damit andere Waren kaufen können. Auf dem Markt herrschen bereits die Konkurrenz der Anbieter und eine Konkurrenz der Käufer. Der Markt wirkt unter diesen Umständen wie ein Motor zur Steigerung der Effizienz der Produktion und zur Verbesserung der Produktionsmethoden, der individuellen Geschicklichkeit und der eingesetzten technischen Hilfsmittel. Kurzum, die Produktivität der Arbeit<sup>12</sup> wird steigen, solange auf dem Markt einigermaßen gleich gute ProduzentInnen auftreten. Denn durch die Konkurrenz werden die „schlechten“, die mit viel Arbeits-, Material- und Energieaufwand produzieren, schließlich vom Markt verdrängt und bauen Verluste, während die „guten“ Profite machen, ihren Produktionsapparat erneuern und mit immer laufend verbesserten Methoden arbeiten können. Gibt es aber eine Produzentin, die sehr viel besser und mit innovativer Technologie ihre Produkte herstellen kann, werden alle anderen ins Hintertreffen geraten. Sie wird eine Monopolstellung einnehmen, welche die Gleichheit am Markt zerstört und alle anderen verdrängt. Dann funktioniert der Markt nicht mehr wie er sollte: die Monopolistin kann beliebig hohe Preise verlangen und kann überdies ungestraft schlechte Qualität liefern. Die KonsumentInnen haben das Nachsehen. Diese Verzerrungen des Marktes können schon ohne Kapitalisten auftreten.

Eingedenk des Rates von Marx führt die Methode der Abstraktion erst dann zu einem Erkenntnisgewinn, wenn wir uns von einem hohen Abstraktionsniveau aus Schritt für Schritt in Richtung auf ein konkreteres und realistischeres Modell der Wirtschaft hin bewegen. Er nannte dieses Verfahren „Aufsteigen vom Abstrakten zum Konkreten“, ein Verfahren, das in allen Wissenschaften häufig angewendet

wird, ob sich die ForscherInnen dessen bewusst sind, dass dieser Vorschlag auf Marx zurückgeht oder nicht.

Abbildung 16 schließt daher folgerichtig die UnternehmerInnen mit ein, in deren Betrieben lohnabhängige ArbeiterInnen und Angestellte die Waren und Dienstleistungen erzeugen, die über den Markt verkauft werden. Die Rückflüsse an Geld vom Markt gehen an die UnternehmerInnen, die ArbeiterInnen und Angestellten erhalten von ihnen als Entgelt für ihre Arbeitsleistung Löhne und Gehälter.

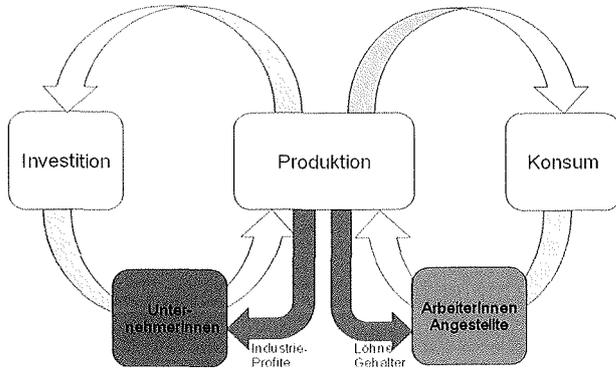


Abbildung 16: Kapitalistische Reproduktion

Obwohl die beiden Kreisläufe symmetrisch aussehen, erfüllen sie unterschiedliche Funktionen. Ich nenne den linken den Akkumulationskreislauf, der für die KapitalistInnen gilt, den rechten den Reproduktionskreislauf, der für die Lohnabhängigen gilt: Unter üblichen Verhältnissen werden die ArbeiterInnen und Angestellten einen mehr oder weniger konstanten Anteil am jeweiligen Produktionsniveau erhalten, während die Unternehmen die Investitionen zu ihrem Realkapitalstock hinzufügen können, der in ihrem Eigentum bleibt. Die Kapitalisten akkumulieren, die Lohnabhängigen konsumieren. Das ist das Prinzip der Spaltung der Gesellschaft in zwei Hauptklassen. Das Eigentum an den Produktionsmitteln ist einer Minderheit – eben den KapitalistInnen – vorbehalten. Man wird durch diese beiden Kreisläufe an eine Pumpe erinnert, die dauernd ein Ungleichgewicht in die Gesellschaft hineinbringt, bis die nächste Krise kommt, wenn nämlich die Unternehmen solche Überkapazitäten aufgebaut haben, dass die Nachfrage nicht mehr nachkommt, die Waren und Dienst zu kaufen. Wir haben dann eine Überakkumulationskrise vor uns. Solche Krisen traten und treten in der Geschichte immer wieder auf. Als

### Ber. Lohnquote und Arbeitslosenquote in Österreich, in % des Volkseinkommens

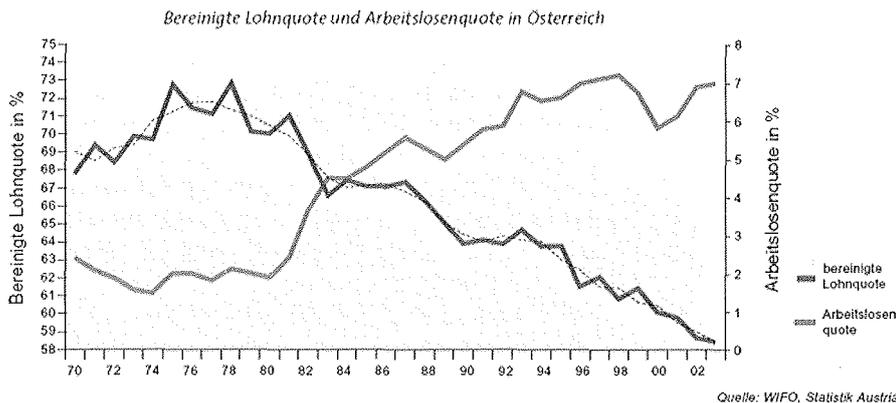


Abbildung 17: Lohnquote und Arbeitslosenquote in Österreich  
Quelle: Sozialbericht 2007-2008, Bundesministerium für soziale Sicherheit, Generationen und Konsumentenschutz, S. 258

### Gewinn- und Investitionsquote in Österreich

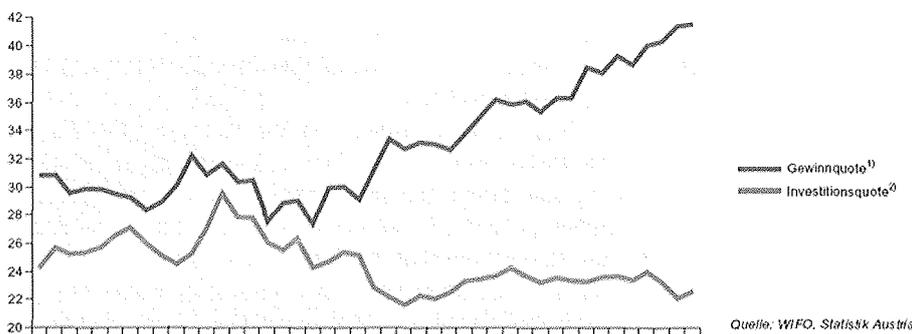


Abbildung 18: Gewinn- und Investitionsquote in Österreich  
Quelle: Sozialbericht 2007-2008, Bundesministerium für soziale Sicherheit, Generationen und Konsumentenschutz, S. 263

Beispiele möge die Landwirtschaft dienen, wo regelmäßig Gemüse oder Milch vernichtet wurde und wird, oder das Überangebot an Fremdenzimmern, die dann aber leer stehen, oder die Erzeugung von Stahl in der Europäischen Union. Der übliche Ausweg, der dann von den Unternehmen in den meisten EU Ländern gewählt wird, ist, die Waren zu exportieren, soweit es nur möglich ist, was aber gerade in weltweiten Krisen nur schwer gelingt. Die Einbrüche beim Export sind gute Indikatoren für die Tiefe der Krise

Abbildung 17 zeigt die Aufteilung des gesamten neu geschaffenen Reichtums für Österreich auf Kapital und Arbeit. Der Anteil der Einkommen der Lohnabhängigen am Volkseinkommen (= Lohnquote) ist seit der Mitte der 70er Jahre von 73 Prozent auf 59 Prozent im Jahr 2003 gefallen ist. Gleichzeitig ist die Arbeitslosenquote von 2 Prozent auf 7 Prozent gestiegen, im 1. Quartal 2009 betrug sie sogar 8 Prozent (was nach Statistik Austria mit 291.500 Arbeitslosen die höchste Zahl seit 1950 bedeutet).

Spiegelbildlich zur Lohnquote ist die Gewinnquote von 28 Prozent in der Mitte der 1970er Jahre auf ca. 40 Prozent angestiegen, d.h. die UnternehmerInnen erhalten grob gesprochen rund 13 Prozent mehr am Volkeinkommen als 30 Jahre zuvor (vgl. Abb. 18). Obwohl die Industriellenvereinigung und die Wirtschaftskammer uns immer versichern, dass Gewinne nötig sind, damit investiert wird: „Geht's der Wirtschaft gut, geht's uns allen gut“, zeigt sich, dass die Investitionen, die Arbeitsplätze schaffen könnten, seit Beginn der 1980er Jahre stagnieren, obwohl die Gewinneinkommen buchstäblich explodierten. Wohin gehen denn dann die hohen Gewinne?

Die Antwort liegt im dritten Kreislauf verborgen, dem Kreislauf des Finanzkapitals (vgl. Abb. 19). Gewinne wurden in immer stärkerem Ausmaß in den verschiedensten Finanzprodukten veranlagt, die höhere Gewinnmargen versprachen als die Investitionen in das Realkapital. Durch diese alternative Verwendung der Gewinne wird das Wachstum der realen Wirtschaft und damit die Zunahme des Mehrprodukts gebremst, was aber die Grundlage für alle Gewinne in der Volkswirtschaft darstellt.

Die gegenwärtige Auseinandersetzung um die Reform des Kapitalismus wird hauptsächlich zwischen den zwei Kapitalfraktionen, dem Realkapital und dem Finanzkapital, ausgetragen. Obwohl der Arbeiterbewegung derzeit der Wind ins Gesicht bläst und die Durchsetzungsmöglichkeiten gering sind, wird es an der Zeit, grundlegendere Vorschläge, die auf die Besitzverhältnisse abzielen (z.B. Sozialisierung der Geschäftsbanken, Annullierung der Staatsschuld) in die Diskussion einzubringen.

Die letzten beiden Schichten in Abbildung 13 harren noch der Beschreibung. Europäische Wirtschaften wären sicher unzureichend dargestellt, würde nicht der öffentliche Sektor berücksichtigt werden (vgl. Abb. 20). Der öffentliche Sektor hat ebenso wie der Finanzsektor (wenn man von verstaatlichten Industrien absieht) eine ausschließliche Verteilungsfunktion.

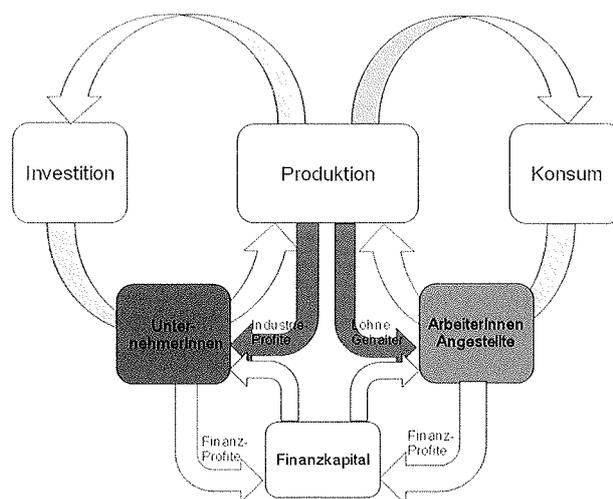


Abbildung 19: Kapitalistische Reproduktion mit Finanzsektor

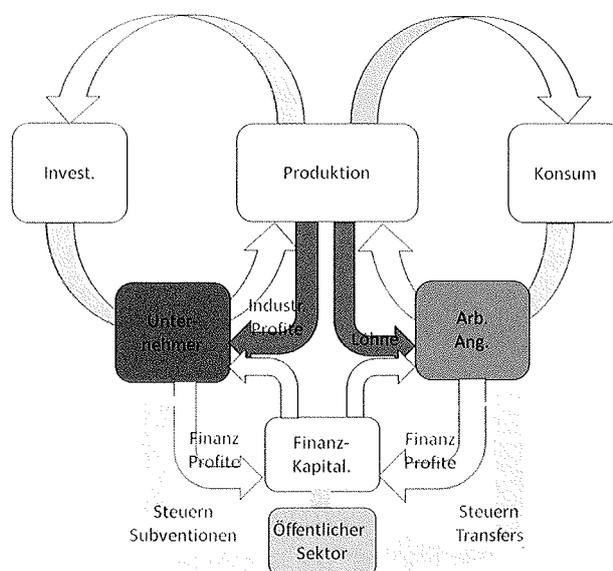


Abbildung 20: Kapitalistische Reproduktion mit Finanzsektor und Staat

Die sechste Schicht in Abb. 13 stellt eine Besonderheit des Kapitalismus der Gegenwart dar. Die USA, die Europäische Union, Japan und China betreiben teilweise programmatisch, teilweise in ihrer Praxis eine Politik, die das Entstehen der Informationsgesellschaft fördern soll. Der Ausbau des Internets einerseits und der Mobilkommunikation andererseits ermöglicht es, die Transaktionskosten stark zu senken. Dadurch werden die Karten für die Unternehmen neu gemischt. Die Post, die Telefongesellschaften (früher staatliche Monopole), die Reisebüros, der Buchhandel erleben gravierende Veränderungen. Neue Konkurrenten treten auf und gestalten die Märkte um. Aber auch die privaten Haushalte erleben eine neue Einbindung über Internet und Mobilkommunikation, und Vereine wie das IWK sind in der

## 6-SECTOR MODEL

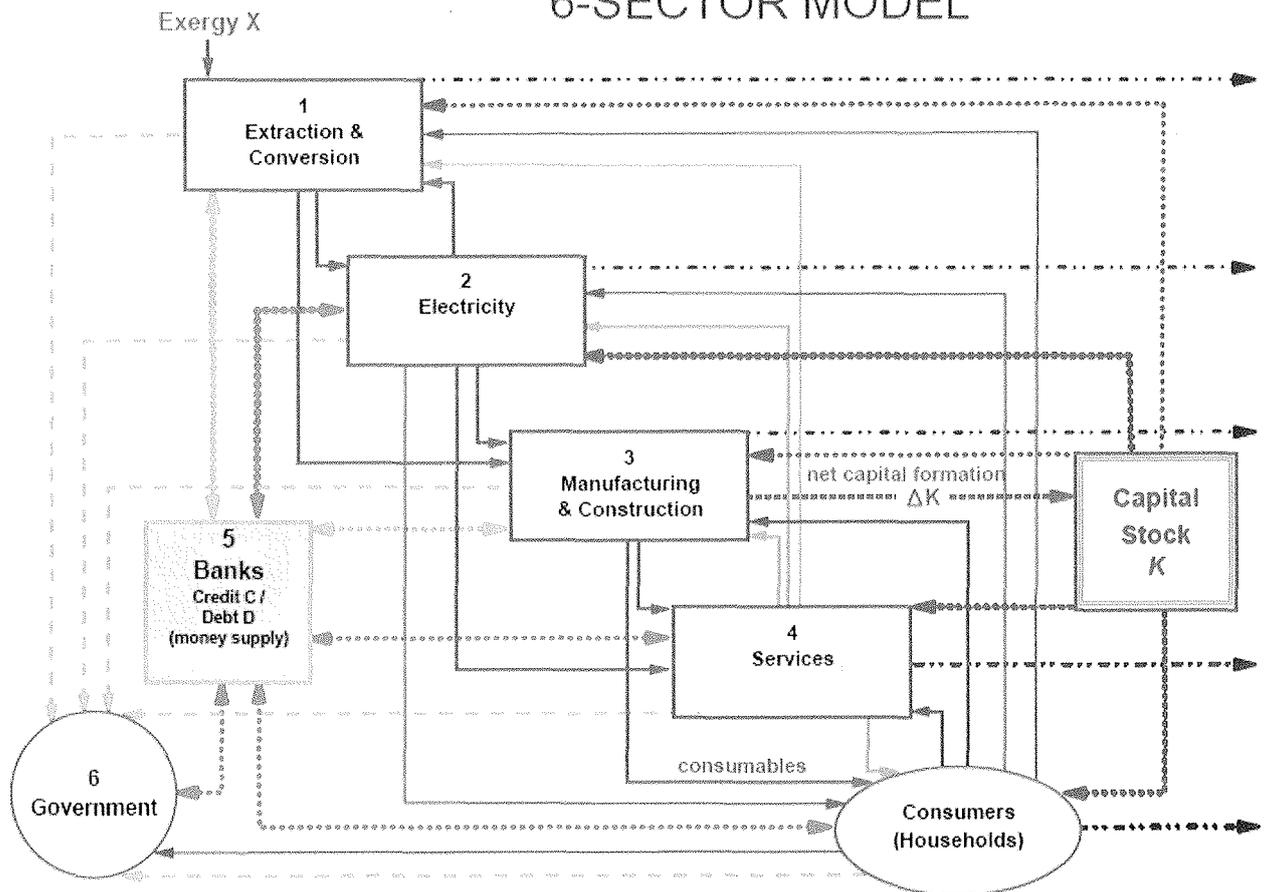


Abbildung 21: Ein dynamisches Input-Output Modell mit Banken und Staat  
 Quelle: Ayres/Fleissner 2009

Lage, Organisations-, Administrations und Kommunikationsprozesse wesentlich günstiger als vorher durchzuführen. Eine andere Seite der Informationsgesellschaft wird üblicherweise kaum beachtet: Die technischen Möglichkeiten des Einfrierens und der Wiedergabe von kulturellen Vorgängen, die sich digitalisieren lassen, erlauben es, sozusagen aus dem Nichts neue Märkte für Informationsgüter zu konstruieren, die es vorher nur in beschränkten Bereichen (Buchhandel, Schallplatte) gab. Allerdings bieten die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien auch die Möglichkeit, Informationsgütermärkte durch Kopieren und Weitergabe an Dritte zu unterlaufen und so den objektiv vorhandenen Überfluss an Wissen, den Zugang zu künstlerischen Werken verschiedenster Art einer großen Mehrheit von Menschen kostenlos zugänglich zu machen. Unsere Gesellschaft hat das Problem einer drohenden Überflussgesellschaft durch ein trickreiches Zusammenspiel von rechtlichen (Intellectual Property Rights) und technischen Verfahren (Kopierschutz) gelöst und neue Märkte erzeugt, die heute an die 10 Prozent des BIP in den USA ausmachen. Die Gesellschaft produziert aus Profitgründen für Informationsgüter einen künstlichen Mangel, wie er für traditionelle Güter typisch ist. (vgl. Fleissner 2009)

Dynamisiert man Input-Output Modelle durch die methodische Erweiterung mit dynamischen Bilanzgleichungen und Verhaltensgleichungen, die eventuell auf ökonomischer Grundlage gewonnen wurden, einerseits und das systematische Einbeziehen von Bestandsgrößen für Real- bzw. Geldkapital/Schulden andererseits, und modelliert man den Banken- und öffentlichen Sektor so, dass die Umsätze dieser beiden Sektoren aus den umverteilten Einkommen anderer Wirtschaftszweige gespeist werden, lässt sich ein idealtypisches dynamisches Wirtschaftsmodell aufbauen, das sowohl den Marx'schen Ansatz enthält als auch Preise, Geld und den Bezug zur Umwelt (durch explizites Berücksichtigen der Gebrauchswertebene 1 in Abb. 13). Abbildungen 21 zeigt die Grundstruktur des Modells mit sechs Sektoren (Ayres/Fleissner 2009). In Ayres/Fleissner /Martinas (2010, 30-31) finden sich vorläufige Simulationsergebnisse.<sup>13</sup>

Das Simulationsmodell hat noch eine wesentliche Schwäche: Es ist nicht in der Lage, die spekulativen Vorgänge auf den Aktienmärkten abzubilden. Wahrscheinlich geraten hier die bisher besprochenen mathematischen Widerspiegelungsformen an ihr Ende. Wie das Buch „Why Stock Markets Crash“ (Sornette 2003) zeigt, sind Zufallsprozesse, die mehr oder weniger stark voneinander abhängen

gig sein können, für derartige Zusammenbrüche verantwortlich. Daher müssen wir eine Erweiterung der Widerspiegelungsformen vornehmen, die dem Zufall größere Bedeutung zuschreibt.

#### MATHEMATISCHE VERGEGENSTÄNDLICHUNG 4: DER ZUFALL WIRD WESENTLICH

Systemdynamische Modelle eignen sich sehr gut zur Beschreibung dynamischer Vorgänge, seien sie linear oder nichtlinear, ihr Einsatz ist aber in den meisten Fällen auf die Darstellung von Makrozusammenhängen beschränkt. Ein Beispiel soll den Unterschied erläutern: Während in der Makroökonomie die Konsumfunktion eine wichtige Rolle spielt, die den Zusammenhang zwischen dem gesamten Lohnneinkommen, dem Preisniveau (etwa dem Verbraucherpreisindex) und dem nachgefragten Konsum beschreibt und die Systemdynamik genau diesen Zusammenhang auf einem sehr hoch aggregierten Beschreibungsniveau abzubilden erlaubt, bleiben die einzelnen Entscheidungen der Konsumenten außer Betracht, auch ihre individuelle Lage bezüglich der Höhe ihres Einkommens, oder ihre Neigung, wie rasch und in welcher Höhe sie bei einem erhöhten Einkommen Konsumgüter kaufen werden etc. Die Gründe für den hohen Aggregationsgrad lagen in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg in den Beschränkungen der Rechentechnik und dem hohen Preis von schnellen Computern, die meist nur in großen Institutionen verfügbar waren. Der Siegeszug des Personal Computers hat demgegenüber neue Möglichkeiten geschaffen. Rechenzeit und Speicherplatz wurden immer billiger, die Arbeit wurde über das Internet dezentralisiert, sodass es heute relativ einfach ist, bei der Vergegenständlichung eines Problems nicht nur Aggregate zu berücksichtigen, sondern einzelne Entscheidungseinheiten, Institutionen oder Individuen direkt abzubilden. Diese, je nach Anwendungsfeld Mikrosimulationen oder Agent Based Modells genannten Simulationsverfahren haben gegenüber Systemdynamik-Modellen einen erhöhten Datenbedarf und einen vermehrten Rechenaufwand. Letzterer fällt aber wegen der verbesserten Hard- und Software und ihrer Verbilligung kaum ins Gewicht, ersterer wird durch die Verfügbarkeit elektronischer Datenbanken technisch bewältigbar.

Agentenbasierte Modelle sind insofern besonders interessant, da sie mindestens zwei verschiedene Ebenen enthalten, die betrachtet werden können, die Ebene der Individuen (Mikroebene) und die Aggregatsebene (Makroebene). Wie in der Quantenmechanik kann bei einer großen Zahl von Individuen von der präzisen Zuordnung von Parameterwerten zu bestimmten Individuen abgesehen werden. Es genügt, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung auszuwählen (die der beobachteten Verteilung möglichst nahe kommt) und aus ihr für die individuellen Parameter eine Stichprobe zu ziehen. Auf diese Weise erhält der Zufall eine neue und wesentliche Funktion, und dies in doppelter Weise:

(a) Die Zufallsauswahl der Parameter in jedem Simulationsdurchlauf führt dazu, dass jeder Durchlauf unterschiedliche Ergebnisse aufweist. Dadurch ist eine punktgenaue Prognose nicht mehr möglich. Wiederholt man die Simulation viele Male, lassen sich die Verteilungen der Ergebnisse in eindrücklicher Weise bestimmen. Damit sind aber die Möglichkeiten für agentenbasierte Modelle nicht ausgeschöpft.

(b) Die Wahrscheinlichkeitsfunktionen selbst können einer systematischen Veränderung unterworfen werden, wodurch sich auf dem Computer qualitativ anderes und neues Verhalten erzeugen lässt, das nicht prognostiziert werden kann (außer durch den Simulationsprozess selbst).

Anstelle weiterer theoretischer Überlegungen sollen praktische Beispiele angeführt und kurz beschrieben werden, die direkt aus dem Internet heruntergeladen werden können.

Das erste Beispiel, das Fall (a) illustrieren soll, beschreibt eine Menschenmenge, die unter verschiedenen Bedingungen einen Raum verlassen möchte.<sup>14</sup> Wird der Raum in Ruhe (Durchschnittsgeschwindigkeit = 1m/s) und ohne Panik<sup>15</sup> verlassen, kann dies durch gute Koordination effizient vor sich gehen. Gerät die Menge in Panik (Durchschnittsgeschwindigkeit = 5m/s), entsteht Bogen- und Klumpenbildung am einzigen Ausgang. Die Individuen können den Raum nur irregulär und ineffizient verlassen.<sup>16</sup> Berücksichtigt man den Druck, den die Individuen aufeinander ausüben (ab 1.600N/m gibt es Verletzte im Modell), blockieren die Verletzten, die sich nicht mehr bewegen, zusätzlich den Ausgang.<sup>17</sup> Interessant ist, dass bei Vorhandensein einer Säule in Ausgangsnähe das Verletzungsrisiko nicht steigt, wie man erwarten sollte, sondern geringer wird, da die Säule Teile des Drucks auffängt.<sup>18</sup>

Ein Beispiel<sup>19</sup> für Fall (b) zeigt zwei interagierende Individuen, einen Blinden und einen Lahmen, die eine gemeinsame Umwelt besitzen und miteinander in Kontakt treten können. Der Blinde hat die Aufgabe, eine Barriere, deren Länge wechselt, korrekt zu überspringen, kann die Barriere aber nicht sehen. Er kann jedoch Töne unterschiedlicher Höhe hören, die aus der Trompete des Lahmen kommen, der die Barriere sehen kann. Zunächst sind die jeweiligen Reize und Reaktionen der beiden Akteure völlig unkoordiniert. Durch praktische Erfahrungen lernen aber der Blinde und der Lahme, die Wahrscheinlichkeiten zwischen den Reizen und Reaktionen in Richtung auf größeren Erfolg zu verändern. Der Prozess konvergiert gegen eine degenerierte Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion, die für einen bestimmten Reiz mit Wahrscheinlichkeit 1 eine bestimmte Reaktion festlegt. Bei jedem neuen Simulationsdurchlauf kann sich aber ein anderes Resultat einstellen. Die Bedeutung der Tonhöhen, die sich schließlich ergeben, können von den UserInnen verstanden werden (Bitte Lautsprecher einschalten!). Damit sind die wesentlichen Züge eines emergenten Prozesses nachgebildet, der zu einer neuen Qualität der Interaktion der Individuen führt.

ANMERKUNGEN:

- 1 Siehe etwa die Explorationsstudie „Computersimulationen in den Wissenschaften – Neue Instrumente der Wissensproduktion“ von Gabriele Gramelsberger an der FU Berlin; URL: [http://www.sciencepolicystudies.de/dok/explorationsstudie\\_computersimulationen/Computersimulation-4.pdf](http://www.sciencepolicystudies.de/dok/explorationsstudie_computersimulationen/Computersimulation-4.pdf).
- 2 Im Unterschied zu Todor Pawlow (vgl. Pawlow 1973) behandle ich Widerspiegelung und Vergegenständlichung als zusammengehörig, aber getrennt.
- 3 Dieser doppelte Zugang liegt auch aller Wissenschaft zugrunde. Wissenschaft vermittelt Objektivität aufgrund subjektiver Gewissheit. Sie bietet eine auf der Innensicht gegründete Außensicht.
- 4 Ausnahmen wären qualitative Unterschiede, die dem Formelapparat selbst eigentümlich sind, wie z. B. der Differenzialquotient  $dx/dt$ , der aus Manipulationen zweier Variablen (z. B.  $x$  mit der Qualität „Ort“ und  $t$  mit der Qualität „Zeit“) gebildet werden kann und in diesem Beispiel die Qualität „Geschwindigkeit“ trägt, oder bestimmte Strukturen, die mathematisch beschrieben werden können (vgl. Thiel 1975).
- 5 Ein anschauliches Beispiel gibt: [http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more\\_stuff/Applets/brownian/brownian.html](http://galileoandstein.physics.virginia.edu/more_stuff/Applets/brownian/brownian.html).
- 6 Vgl. <http://sciencesoft.at/equation/index;jsessionid=oj3wfh0qzy?lang=de>.
- 7 „Primales“ und „duales“ Problem beziehen sich auf die Mengen bzw. die Stückpreise (analog zur Dualität zwischen Welle und Teilchen in der Quantenphysik).
- 8 Vgl. [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/volkswirtschaftliche\\_gesamtrechnungen/input-output-statistik/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/volkswirtschaftliche_gesamtrechnungen/input-output-statistik/index.html).
- 9 Unter der Annahme normalverteilter Fehler lässt sich die Hypothese (bloß zufälliger Zusammenhang zwischen den beiden Bewertungen) statistisch testen. Die Teststatistik für den Fisher'schen F-Test ergibt für den Wert  $F(1,55) = 194.65$  und damit mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Ablehnung der Hypothese.
- 10 Vgl. [http://peter.fleissner.org/petergre/documents/Transformations\\_Problem\\_Beijing2.pdf](http://peter.fleissner.org/petergre/documents/Transformations_Problem_Beijing2.pdf). [Stand 10/06/2010].
- 11 Jan Tinbergen and Ragnar Frisch erhielten im Jahr 1969 als erste den Ökonomie-Nobelpreis für die Anwendung dynamischer Modelle auf ökonomische Prozesse. Ihre Vorarbeiten dazu reichen bis in die 1920er Jahre zurück.
- 12 Die Produktivität der Arbeit kann durch die Zahl der erzeugten Stück von Waren oder Dienstleistungen pro Person gemessen werden.
- 13 Ayres, R U; Fleissner, P; Martinas, K (2010): Energy, Money and Production. mimeo. <http://peter.fleissner.org/MathMod/Energy, Money and Production.pdf>
- 14 Mein Dank gilt den ungarischen KollegInnen, die dieses Modell ins Internet gestellt haben.
- 15 [http://angel.elte.hu/~panic/pedsim/sim/No\\_Panic.html](http://angel.elte.hu/~panic/pedsim/sim/No_Panic.html). [Stand 10/06/2010].
- 16 <http://angel.elte.hu/~panic/pedsim/sim/Panic.html>. [Stand 10/06/2010].
- 17 [http://angel.elte.hu/~panic/pedsim/sim/Stampede\\_N0200\\_Fc1600.html](http://angel.elte.hu/~panic/pedsim/sim/Stampede_N0200_Fc1600.html). [Stand 10/06/2010].
- 18 [http://angel.elte.hu/~panic/pedsim/sim/Column\\_5.html](http://angel.elte.hu/~panic/pedsim/sim/Column_5.html). [Stand 10/06/2010].
- 19 <http://igw.tuwien.ac.at/peterf/springer/default.htm>, eine genauere Beschreibung findet sich unter <http://peter.fleissner.org/petergre/documents/techpolitik.html>. [Stand 10/06/2010].

LITERATUR:

- Ayres, R U; Fleissner P (2009): A Simple hybrid 6 sector I-O model. International Institute of Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg. mimeo.
- Bortkiewicz, L von (1906/7): Wertrechnung und Preisrechnung im Marxschen System. In: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik, T. 1: Jg. XXIII, S. 1-50; T. 2: Jg. XXV, S. 10-51; T. 3: Jg. XXV, S. 445-488.
- Bruckmann, G; Fleissner, P (Hg.) (1989): Am Steuerrad der Wirtschaft. Ein ökonomisch-sozialkybernetisches Modell für Österreich. Wien.
- Engels, F (1971): Dialektik der Natur. Dietz. Berlin.
- Erpenbeck, J (1986): Das Ganze denken. Zur Dialektik menschlicher Bewußtseinsstrukturen und -prozesse. Berlin.
- Farjoun, E; Machover, M (1983): Laws of Chaos. A Probabilistic Approach to Political Economy. London.
- Fleissner, P.(2004): Can religious belief systems influence technological and social innovations? In: International Journal of Information Ethics. Vol 2 11, pp. 1-11. [http://container.zkm.de/ijie/ijie/no002/ijie\\_002\\_11\\_fleissner.pdf](http://container.zkm.de/ijie/ijie/no002/ijie_002_11_fleissner.pdf) [Stand 10/06/2010].
- Fleissner, P (2007): The Marxian Transformation Problem Revisited. In: Nature, Society, and Thought, vol. 20, no. 3-4, pp. 383-387.
- Fleissner, P (2008): Marx begegnet Leontief. Neuere Gesichtspunkte der Arbeitswertlehre. In: Wirtschaft und Gesellschaft, Jg. 34, H. 3, S. 361-396.
- Fleissner, P (2009): The "Commodification" of Knowledge in the Global Information Society. In: tripleC – Cognition, Communication, Communication Vol 7, No 2. pp. 228-238. [http://peter.fleissner.org/Transform/Commodification\\_of\\_Knowledge.pdf](http://peter.fleissner.org/Transform/Commodification_of_Knowledge.pdf) [Stand 10/06/2010].
- Forrester, J (1971): World Dynamics. Cambridge.
- Hörz, H (1980): Zufall. Eine philosophische Untersuchung. Berlin.
- Hörz, H (1988): Wissenschaft als Prozess. Berlin.
- Hörz, H (2008): Determinismus und Stochastik. Ist die Kluft zwischen den zwei Wissenschaftskulturen zu überwinden? In: LIFIS ONLINE [23.10.08]. – URL: [http://www.leibniz-institut.de/archiv/hoerz\\_23\\_10\\_08.pdf](http://www.leibniz-institut.de/archiv/hoerz_23_10_08.pdf) [Stand 10/06/2010].
- Hörz, H (2009): Materialistische Dialektik: Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung. Trafo Wissenschaftsverlag. Berlin.
- Leontief, W (1951): Input-Output Economics. In: Scientific American, October, pp. 15-21 (Reprint in: Leontief, W: Input-Output Economics. 2d ed. New York 1986, pp. 3-18)
- Marx, K (1844): Zur Kritik der Hegelschen Rechtsphilosophie. Einleitung. In: Marx, Engels, Werke 1 (1971). Berlin. S. 385.
- Marx, K (1979a): Das Kapital. Bd. I. In: Marx, K; Engels, F: Werke. Bd. 23. Berlin.
- Marx, K (1979b): Das Kapital. Bd. III. In: Marx, K; Engels, F: Werke. Bd. 25. Berlin.
- Pawlow, T (1973): Die Widerspiegelungstheorie. Berlin.
- Prigogine, I; Stengers, I (1990): Dialog mit der Natur. Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens. Piper. München.
- Samuelson, P (1971): Understanding the Marxian Notion of Exploitation. A Summary of the So-Called Transformation Problem between Marxian Values and Competitive Prices. In: Journal of Economic Literature, no. 2, pp. 399-431.
- Sornette D (2003): Why Stock Markets Crash – Critical Events in Complex Financial Systems. Princeton, N.J.
- Steigerwald, R (1994): Abschied vom Materialismus? Materialismus und moderne Wissenschaft. Pahl-Rugenstein's Nachfolger. Bonn.
- Thiel, R. (1975): Mathematik – Sprache – Dialektik. Berlin.

MANFRED FÜLLSACK

## DIE ARBITRARITÄT DER ZEICHEN. ODER: WAS WIDERSPIEGELT EIN GLIDER? SIMULATIONEN UND DIE UNTERSCHIEDUNG VON BEOBACHTETEM UND EIGEN-VERHALTEN KOMPLEXER SYSTEME

### EINLEITUNG

Neben vielen anderen Einsichten verdanken wir Heinz von Foerster die Aufmerksamkeit für zwei zentrale Aspekte in der Theorie komplexer Systeme: zum einen für das Eigenverhalten („Eigenbehavior“ oder auch „Eigenlogik“) von Systemen (u.a. 1993a), und zum anderen für die Beobachterabhängigkeit von Ordnung (u.a. 1993b). Während die Eigenlogik auf ein Verhalten aggregierter Dynamiken hinweist, das gleichsam *per se*, selbst-organisiert und damit nicht „von außen“ oder „von oben“ gesteuert, eine bestimmte Regelmäßigkeit, einen „*steady state*“ entwickelt, der schließlich als (zumindest temporär) stabil betrachtet werden kann und damit gegenüber weniger stabilen Gegebenheiten zu einem „Gegenstand“, einem „*object*“ wird, betont von Foersters Beobachterabhängigkeit die prinzipielle Konstruiertheit jeglicher Ordnung, also den Umstand, dass was immer als „*steady state*“ und damit als „Gegenstand“ erscheint, erst für einen Beobachter anhand seiner je eigenen (und unter Umständen auch hoch-spezifischen) Beobachtungsmöglichkeiten zu einem solchen wird.

Wenn wir Zweiteres ernst nehmen, so ließe sich Ersteres, also das Eigenverhalten von Systemen, gar nicht beobachterunabhängig feststellen. Es wäre genaugenommen gar nicht „eigen“, und damit also nicht wirklich selbst-organisiert.

Was wie ein Widerspruch in der von-Foerster'schen Konzeption wirkt, markiert eine erkenntnistheoretische Grundproblematik. Zum einen macht es Sinn, insbesondere komplexe Phänomene, die interessantes (und das heißt nicht-triviales, also nicht ohnehin erwartetes) Verhalten zeigen, analytisch „vor sich“ zu bringen, sie also positivistisch zu einem Untersuchungsgegenstand zu machen, dessen Verhalten „an sich“ untersucht wird, um eben seine Eigenlogik zu erschließen. Zum anderen können wir heute aber auch wissen, dass dieser Positivismus insbesondere in komplexeren Zusammenhängen (Quantenphysik, soziale Systeme etc.) Grenzen hat, die dort beginnen, wo der Beobachter das Beobachtete durch seine Beobachtung beeinflusst. Das Beobachtete zu beeinflussen impliziert, es mit den Erwartungen, Werten, Interessen, kurz den Wahrnehmungsbedingungen des Beobachters aufzuladen, es also eben nicht mehr objektiv zu betrachten. Und dies verursacht, wie wir wissen, nicht selten höchst diskutabile wissenschaftliche Einschätzungen.

Eine Möglichkeit, dieser Problematik zumindest bewusst zu begegnen, wenn nicht sie zu lösen, könnte in bestimmten Zusammenhängen die Computer-basierte Simulation bieten. Insbesondere Phänomenbereiche, aus denen es naturgemäß kaum gelingt, uns auszunehmen, ihr Eigenverhalten also von unseren Interpretationen zu trennen, weil

wir in sie – wie im Fall der im Folgenden näher betrachteten Kommunikation – unvermeidbar involviert sind, könnte der Versuch, sie zu simulieren und damit gleichsam objektiv, weil eben „nur“ in Form eines Computermodells zu betrachten, Einsichten ermöglichen, die sich in herkömmlicher Weise nicht ergeben. Die Reduktion auf die Aktivitäten eines Rechners, dem – bisher zumindest – keinerlei Intentionen, geschweige denn subjektive Interessen unterstellt werden, entbindet gleichsam vom Involvement und den damit verbundenen Interpretationen. Das Eigenverhalten der Rechneraktivitäten, des Modells also, ließe dann bis zu einem gewissen Grad<sup>1</sup> auf jene „*In-form-ationen*“ (siehe dazu unten) rückschließen, die der Beobachter dem Beobachteten hinzufügt.

Die folgenden Ausführungen werden, nach einer kurzen einleitenden Verdeutlichung der Unterscheidung von beobachtetem und Eigen-Verhalten, versuchen, dies anhand eines Multi-Agenten-Modells zu zeigen, das den Prozess der „Konvention“, das heißt des interaktiven Übereinkommensprozesses simuliert, in dem sich Akteure „einigen“, bestimmte Zeichen in der Kommunikation zu verwenden. Gleichzeitig soll dabei die Annahme problematisiert werden, dass Kommunikation wahrscheinlicher wird, wenn in ihr Zeichen Verwendung finden, die das von ihnen Bezeichnete „widerspiegeln“ (Vgl. dazu den Beitrag von Peter Fleissner in diesem Band).

### EIGENVERHALTEN UND BEOBACHTER

Um zunächst die potentielle Bedeutung der Unterscheidung von beobachtetem und Eigen-Verhalten zu verdeutlichen, sei hier kurz ein einfacher Genetischer Algorithmus betrachtet, der (am Computer generierte) Ressourcen vorsieht, anhand deren sich eine Population von (ebenfalls am Computer simulierten) Organismen (Agenten) reproduziert. Die Ressourcen treten dabei nicht gleichverteilt auf, sondern mit einer gewissen Periodizität. Ihr Vorkommen schwankt saisonal. Die Organismen, die zum „Überleben“ auf diese Ressourcen angewiesen sind, verfügen über – per Zufalls-generator gleichmäßig gestreute – Metabolismen, die ihrerseits saisonal unterschiedlich intensiv arbeiten. Kurz: manche der Organismen benötigen viele Ressourcen im „Sommer“, dafür wenig im „Winter“. Andere benötigen mehr im „Winter“ und wenig im „Herbst“ und wieder andere brauchen im „Frühling“ viel, dafür im „Sommer“ wenig, und so weiter. Für alle gilt, dass hohe Stoffwechselintensität gerade in jenen Jahreszeiten, die wenig Ressourcen bieten, die Fitness verringert und damit auch die Überlebens- und Fortpflanzungschancen schmälert.

Beim Lauf dieses Modells passt sich, wie zu erwarten, die Population über einige Generationen hinweg evolutiv an

das jahreszeitliche Ressourcenangebot an. Auf längere Sicht „überleben“ nur solche Agenten, deren Stoffwechsel ideal angepasst ist, deren Stoffwechsel also zum Beispiel dann hoch ist, wenn auch das Nahrungsangebot hoch ist, also etwa im „Herbst“, und dann niedrig, wenn es nichts gibt, im „Winter“.

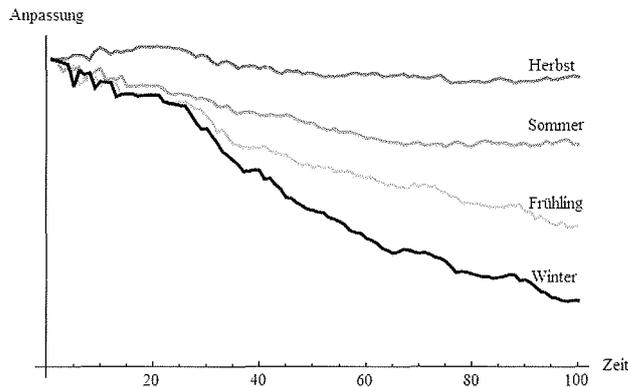


Abbildung 1: Simulierter Anpassungsprozess von Stoffwechselprozessen an saisonales Ressourcenangebot.

Eine „blinde Teleologie“ (Depew, Dawkins) ist hier am Werk. In Analogie zu natürlichen Evolutionsprozessen scheint tatsächlich ein zielgerichteter Prozess abzulaufen, der die Organismen in der gemeinsamen Absicht vorantreibt, sich anzupassen. Erst auf den zweiten Blick wird deutlich, dass es sich hier um nichts anderes als eine Computerberechnung handelt, in der, was als „Anpassung“ erscheint, das Ergebnis des Zusammenwirkens einiger Parameter ist, die aggregiert einem (als solchen wahrgenommenen) Attraktor zustreben - einem Attraktor allerdings, der mit „Anpassung“ selbst nichts zu tun hat. Erst nachträglich wird das Eigenverhalten<sup>2</sup> des Systems, also der in Form des Programmier-Codes vorgegebenen Regeln, von einem Beobachter als „ideal angepasst“ wahrgenommen. Eigenverhalten und Interpretationsleistung des Beobachters lassen sich also unterscheiden.

Auch die Deutung solcher Prozesse als „Abbildungs-“ oder „Widerspiegelungsprozesse“ sitzt meines Erachtens einer ähnlichen Vermischung auf. Zwar scheint es grundsätzlich nicht völlig missverständlich, auf einer Alltagsebene davon zu sprechen, dass die Metabolismen-Intensität der Agenten die Variabilität der Ressourcenverfügbarkeit in gewisser Weise abbildet, sie gleichsam widerspiegelt. Vielleicht ließe sich diesbezüglich im Verweis auf Conant und Ashby's „Good regulator“ (1970) sogar von einer „kontrollierenden Modellierung“ der variablen Ressourcenverfügbarkeit sprechen. Im Hinblick auf die Simuliertheit des Prozesses scheint es mir allerdings stimmiger von einem Eigenverhalten eines komplexen Systems auszugehen und die Selektion von angepassten Metabolismen als Emergenz von Ordnung zu betrachten, die erst durch den Beobachter retrospektiv in das Systemverhalten hineininterpretiert wird. Die Agenten selbst oder ihre Metabolismen haben keinerlei Konzept und keinen Plan für diese Ordnung. Sie tun nur, was sie in Anbetracht ihrer Möglichkeiten tun. „Abbildung“

oder „Widerspiegelung“, ebenso wie Modell-basierte Kontrolle sind in diesem Sinn nur nachträglich vom Beobachter in das System projizierte Interpretationen.

#### GLIDER UND ANT SEARCH

Vielleicht wird diese Unterscheidung am Beispiel eines im strengen Sinn deterministischen Systems noch deutlicher. Die Regeln des von John H. Conway konzeptionierten *Game of Life* (GOL) generieren bekanntlich aus bestimmten Ausgangskonstellationen – dem berühmten f-Pentomino etwa – in Zeit und Raum stabil bleibende Zellmuster, unter ihnen unter anderem den sogenannten *Glider*. Dieser Glider (ebenso wie die anderen Figuren der GOL-Dramaturgie) lässt sich im Sinn des obigen Beispiels (wenn auch ohne den evolutionären Aspekt) als Konstellation von GOL-Zellen betrachten, die ihre Form auf der Basis von spezifischen, durch die GOL-Regeln erzeugten Periodizitäten oder Regelmäßigkeiten gewinnen und behalten. In diesem Sinn ließe sich vielleicht noch davon sprechen, dass der Glider diese spezifischen Regelmäßigkeiten modelliert, sie abbildet oder widerspiegelt (und damit übrigens seinerseits Regelmäßigkeiten generiert, die dann auf nächster Ebene neuerlich genutzt werden können, um zum Beispiel Turing-Maschinen damit zu emulieren, vgl. Rendell 2002).

Die Komplexitätstheorie betrachtet Formen wie den Glider allerdings eher als emergente Ordnungen, die gegenüber den Mikro-Spezifikationen auf einer  $n$ -Ordnungsebene - hier die der GOL-Regeln - eine Makrostruktur auf einer  $n+1$ -Ordnungsebene darstellen. Nach einer berühmten Äußerung von Aristoteles<sup>3</sup> werden solche emergenten Ordnungen oftmals als „mehr als die Summe ihrer Teile“ gepriesen. Anders gesagt, zwischen Ebene  $n$  und Ebene  $n+1$  klafft eine Differenz, ein *gap*, der mitunter auch als „mystery gap“ gesehen wird (vgl. u.a. Epstein 2006, S. 37). Wie ich andernorts (u.a. Füllsack 2010 und 2011, S. 272f) vorgeschlagen habe, verschwindet das „mystery“, wenn man die von der Mikro- (= Ebene  $n$ ) zur Makrostruktur (= Ebene  $n+1$ ) hinzukommende Information, also das „Mehr“ im „Mehr als die Summe der Teile“, einem Beobachter anlastet, der den Glider erst zum Glider macht, indem er ihn als solchen wahrnimmt, der also die Zellkonstellation, die der Glider auf Ebene  $n$  darstellt, anhand seiner eigenen Möglichkeiten und Kapazitäten erst in Form bringt, sie *in-form*-iert. Wenn dieser Beobachter in Rechnung gestellt wird, so erscheint der Glider nicht als „Abbild“ oder „Widerspiegelung“ irgendeiner verborgenen GOL-Regelmäßigkeit, sondern als Aspekt des Eigenverhaltens des Systems, das von den GOL-Regeln aufgespannt wird, dann aber nachträglich vom Beobachter in seine spezifische Form gebracht wird.

Dem vorliegenden Paper liegt nun die Vermutung zugrunde, dass analog zu dieser Ebenen-Unterscheidung auch am Kommunikationsprozess zwei Ebenen analytisch auseinandergehalten werden können<sup>4</sup>: eine gleichsam systemische, in der einfach passiert, was passiert, in der also multiple Dynamiken zusammenwirken und, wenn der Prozess von Dauer ist, ein Eigenverhalten ausbilden, das

schließlich spezifische Strukturen hervorbringt – unter anderem die Zeichen, die in der Kommunikation Verwendung finden; und zum anderen eine beobachtete Ebene, auf der diese Strukturen sodann teleologisch interpretiert werden, also an Erwartungen und Werten gemessen werden, die allerdings eben erst vom Beobachter an diese Strukturen herangebracht werden. In Bezug auf die Kommunikation lässt sich diese Unterscheidung noch einmal anhand des sogenannten *Ant search*-Algorithmus veranschaulichen.

Bekanntlich verwenden Ameisen zur Koordination ihrer Aktivitäten, zum Beispiel ihrer Futtersuche, volatile Kohlenwasserstoffe, sogenannte Pheromone, mit denen sie unter anderem Pfade markieren, auf denen sie Nahrung vom Fundort zum Nest transportieren. Die Attraktivität dieser Duftspuren erhöht die Wahrscheinlichkeit, auch andere, zunächst zufällig streunende Ameisen die Nahrungsquellen finden zu lassen. Indem diese Ameisen nach dem Nahrungsfund ebenfalls Pheromone aussondern, verstärken sie die Duftspur der ersten Ameise und orientieren so, per Zufallsauswahl, mit der Zeit immer größere Teile der Population auf die Nahrungsquelle. Sie „kommunizieren“ gleichsam den Erfolg ihrer Suche. Das Prinzip lässt sich relativ einfach programmieren und zum Beispiel zur Koordination von Roboter-Schwärmen heranziehen, die gemeinsam – nach dem Pheromon-Prinzip – zum Beispiel den kürzesten Weg zwischen zwei Punkten finden sollen (vgl. Russell 2000). Zumindest in Bezug auf diese Rechner-gesteuerte Interaktion (wenn nicht schon in Bezug auf die Ameisen) wird deutlich, dass zu dieser Koordination keinerlei intrinsische Intention, kein Ziel notwendig ist. Die Roboter tun nur, was sie tun. Keiner von ihnen hat ein Konzept von Kommunikation oder Zusammenarbeit. Erst für den Beobachter erscheint das Tun koordiniert und die künstlich simulierten Pheromone ein Mittel zur Kommunikation.

## ZEICHEN

Diese beiden Ebenen einer einerseits systemischen, an sich ablaufenden Eigenlogik und einer andererseits beobachteten und damit bereits gedeuteten, sprich mit Erwartungen und Werten belegten Entwicklung, lassen sich – so die hier beleuchtete These –, unterstützt durch entsprechende Simulationen, analytisch (wenn auch nicht lupenrein) auch am Prozess der menschlichen Kommunikation auseinanderhalten.

Um vorerst die beobachtete Ebene zu betrachten, sei Kommunikation, wie sie mit der Interaktion von Menschen assoziiert wird, zunächst als höchst unwahrscheinliches Phänomen markiert (vgl. dazu u.a. Luhmann 1981), das als solches die Frage, was dann Kommunikation so hinreichend wahrscheinlich werden lässt, dass sie doch statthat, in den Raum stellt. Aus Beobachterperspektive (die hier freilich eher einer Teilnehmerperspektive gleicht) könnte sich die Annahme nahelegen, dass Zeichen, die dem Bezeichneten ähneln, die es abbilden oder widerspiegeln, der Intention<sup>5</sup> zu kommunizieren und damit der Wahrscheinlichkeit von Kommunikation entgegenkommen. So wie die Karte einer Landschaft, die diese Landschaft abbildet, oder das

Modell eines Hauses, das dieses Haus widerspiegelt, ihre Effizienz steigern, wenn sie möglichst detailgenau ihrem Vorbild gleichen, so würden Zeichen, die dem von ihnen Bezeichneten ähneln, den Verständigungsprozess befördern, indem sie das Verständnis assoziativ oder per Analogie erleichtern. Kommunikation würde somit wahrscheinlicher.

In der Tat stellen eine Reihe älterer Semiologien auf diese Annahme ab und verweisen zur Unterstützung der These insbesondere auf sogenannte onomatopoetische Zeichen. Solche onomatopoetischen Zeichen, wie sie auf verbaler Ebene etwa die Worte „zischen“, „krächzen“ oder auch „zirpen“, „zitschern“ etc. darstellen, scheinen das, was sie bezeichnen, in gewisser Hinsicht nachzumachen. Sie ahmen Laute, die sie bezeichnen, in ihrer eigenen Lautstruktur nach. Sie bilden sie ab (dazu u.a. Calvin / Bickerton 2000). Der Schluss legt sich nahe, dass unsere Vorfahren mithilfe solcher Ähnlichkeiten zum Beispiel jagdbare oder gefährliche Tiere „bezeichneten“. Der Umstand, dass unsere Sprache heute nur sehr wenige solcher onomatopoetischen Zeichen aufweist, würde sich gemäß dieser Annahme auf unzählige Variationen und Wiederabbildungen zurückführen, im Zuge deren nicht zuletzt auch die Verschriftlichung dafür sorgte, dass sich Zeichen heute eher durch ihre Arbitrarität, sprich ihre Willkürlichkeit gegenüber dem Bezeichneten, auszeichnen, denn durch ihre Ähnlichkeit. Bis hin zu Ferdinand de Saussure (u.a. 2001), der diese „Arbitrarität der Zeichen“ schließlich als ihr zentrales Charakteristikum markierte, fassten Linguisten die sprachliche Kommunikation gegenüber der Schrift immer wieder als die „natürlichere“ Kommunikationsform auf, in der die Ähnlichkeit von Zeichen und Bezeichnetem zwar überformt und vergessen, aber doch grundlegend sei.

Eine zumindest assoziative Anleihe bei dieser „naturalistischen“ Ähnlichkeitstheorie<sup>6</sup> nahm auch die marxistisch-leninistische „Abbild-“ oder „Widerspiegelungslehre“, die der russische Revolutionär Vladimir Uljanov, genannt Lenin, inspiriert durch eine Äußerung von Karl Marx<sup>7</sup>, zur Basis einer weitreichenden ästhetischen und schließlich sogar staatstragenden sowjetischen Doktrin machte. Was bei Marx eine (nicht notwendig unidirektionale) Beziehung zwischen ökonomischen und ideellen Strukturen, zwischen „Basis“ und „Überbau“ meinte, und bei Engels propagandistisch verflacht zum „Abbild“ wurde, machte Lenin als „*otrashenie*“ – gelegentlich mit leicht anderer Bedeutung auch „*otobraschenie*“ – zur Grundlage einer Doktrin, die ikonografische Kunstwerke hochschätzte und alles Abstrakte und Formalistische verbannte. Das Zeichen – im Speziellen das Kunstwerk – hatte das Bezeichnete – im Speziellen das Dasein der Menschen und noch spezieller das Dasein des Proletariats – widerzuspiegeln, sprich es abzubilden, ihm also so „realistisch“ wie möglich zu ähneln.

In reflektierteren Marx-Interpretationen wurde die simple Abbild- oder Widerspiegelungstheorie des sozialistischen Realismus später zugunsten eines komplexeren dialektischen Abbildungsprozesses aufgegeben, der zwar nun eine Vielzahl widersprüchlicher, am Prozess der Abbildung beteiligter Aspekte zu berücksichtigen sucht, der aber, soviel ich sehe, nach wie vor an einer eindeutigen Beziehung zwi-

schen Abbild und Abgebildetem, an einer Isomorphie festhält, auch wenn diese in den verschiedenen Abbildformen unterschiedliche Gestalt annehmen kann. Mitunter werden die Marx'schen Vorgaben mittlerweile auch mit Aspekten aus Informationstheorie und Kybernetik vermischt und Abbilder als eine Art Codierung der Signale der Umwelt betrachtet, die dann allerdings weiterhin an einer eindeutigen Beziehung und damit an einer Isomorphie von Abbild und Abgebildetem festzuhalten scheint (vgl. u.a. Holz 2003, 2005).

Aus Sicht eines Beobachters (der sich in diesem Fall allerdings ausklammert, sich also unsichtbar macht) mag es Gründe geben, dies so zu sehen. Im Hinblick auf die angesprochene systemische Ebene wird allerdings einerseits deutlich, dass diese Widerspiegelung oder Isomorphie eine retrospektive Projektion des Beobachters sein könnte. Zum anderen scheinen sich auch Gründe dafür anführen zu lassen, dass die Wahrscheinlichkeit von Kommunikation weniger durch Ähnlichkeit, Widerspiegelung oder Isomorphie, sondern im Gegenteil durch Differenz, oder genauer: sogar durch „salience“ („Sich-Abheben“) erhöht wird.

Ich werde im Folgenden versuchen, dies mithilfe einer einfachen Simulation eines Kommunikationsprozesses zu verdeutlichen.

#### DAS MODELL

Die Simulation sieht eine Population von  $p$  computer-generierten Agenten vor, die mit  $n$  „Dingen“ – dem „Zu-Bezeichnenden“ (*signifié* bei Saussure) – konfrontiert werden. Die Agenten fassen diese „Dinge“ als Elemente ihrer „Welt“ auf, über die sie kommunizieren. Die „Dinge“ werden durch zufällig erzeugte binäre Zahlencodes der Länge  $l$  repräsentiert. Auch die „Zeichen“, die die Agenten für diese Dinge festlegen, bestehen aus binären Zahlencodes der Länge  $l$ . Die Agenten wählen diese Zeichen aus einer Möglichkeitsliste, die die  $2^l$  Permutationen der Binärcodes enthält. Sie bezeichnen also die Dinge ihrer Welt mit binär codierten Worten.

Als grundsätzliche Bedingung müssen diese Worte von den Dingen unterscheidbar sein. Das heißt, die Worte benötigen eine minimale informatische Differenz zu den Dingen, die sie bezeichnen. Aus diesem Grund gelten nur Worte,

die zu den Dingen eine Hamming-Distanz<sup>8</sup> ( $hd$  im Weiteren) von mindestens 1 aufweisen, als reguläre Worte.

Mit diesen Worten versuchen die Agenten zu kommunizieren. Nacheinander wählt jeder Agent dazu zufällig einen Kommunikationspartner und bezeichnet ein Ding mit einem ihm adäquat scheinenden Wort. Da alle Agenten in derselben Welt leben, sind die Dinge und ihre Anzahl, vorerst nicht aber die zu ihrer Bezeichnung verwendeten Worte, für alle gleich. Um Worte zu wählen, rekurren die Agenten auf eine individuelle Wahrscheinlichkeitsmatrix, die aus  $n$  Reihen und  $2^l$  Kolumnen besteht. Die Positionen in den Reihen dieser Matrix repräsentieren die in der Welt vorhandenen Dinge, und die in den Kolumnen die zu ihrer Bezeichnung möglichen Worte, beide streng in der Reihenfolge ihrer Positionen in der Liste der Welt-Dinge und in der Liste der Permutationen.

Zu Beginn stehen alle Positionen auf Null. Die anfänglichen Entscheidungen der Agenten für die zur Bezeichnung der Dinge gewählten Worte beruhen damit auf Zufall. Wenn freilich in dieser Zufallswahl ein gewähltes Wort vom Rezipienten des Kommunikationsversuchs ebenso zufällig „richtig“ gedeutet wird, das heißt der Agent das vom Sprecher gemeinte Ding mit dem von ihm gesendeten Wort assoziiert, so nehmen beide Agenten an der diesem Ding und diesem Wort entsprechenden Stelle ihrer Wahrscheinlichkeitsmatrix einen Eintrag vor. Die entsprechende Stelle wird um 1 hinaufgesetzt.

Die weiteren Wortwahlen orientieren sich nun an diesen veränderten Einträgen. Die Agenten wählen zufällig einen Gesprächspartner und ein zu bezeichnendes Ding, sodann betrachten sie die diesem Ding entsprechende Reihe ihrer Wahrscheinlichkeitsmatrix, erzeugen eine Zufallszahl zwischen 0 und 100 und vergleichen diese Zahl mit dem jeweils höchsten Eintrag in dieser Reihe. Ist die Zufallszahl kleiner oder gleich dem Eintrag so wird das entsprechende Wort zur Bezeichnung des Dings an den Rezipienten gesendet. Dieser stellt sodann die Position des Wortes in der Möglichkeitsliste fest, vergleicht diese Position mit den verschiedenen Einträgen in den Reihen seiner Wahrscheinlichkeitsmatrix und entscheidet sich für den höchsten Eintrag. Sodann erzeugt er ebenfalls eine Zufallszahl zwischen 0 und 100, vergleicht diese mit dem höchsten Eintrag und schließt, wenn der Zufallswert kleiner oder gleich dem Eintrag ist, daraus, dass das gesendete Wort das Ding be-

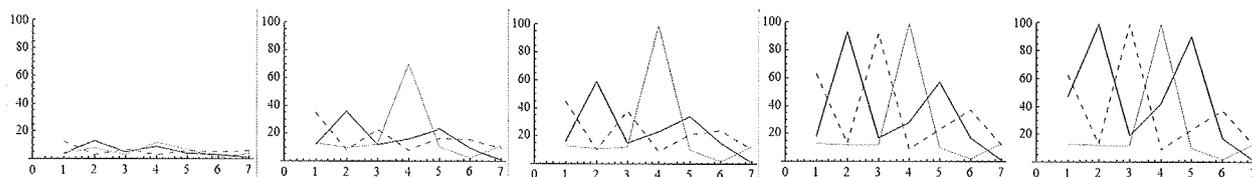


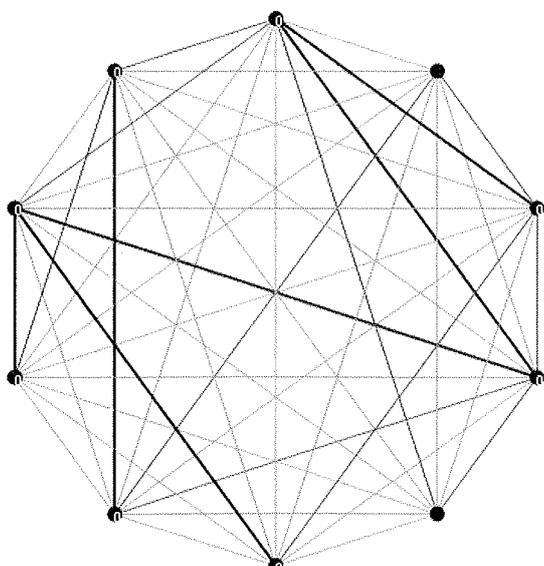
Abbildung 2: Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsmatrix eines Agenten mit  $n = 3$  und  $l = 3$  über (von links nach rechts) 200, 500, 700, 1000 und 2000 Spielzüge. Die drei Kurven indizieren unterschiedliche „Dinge“ bzw. die entsprechende Reihe in der Wahrscheinlichkeitsmatrix. Aufgrund der notwendigen informativen Differenz von  $hd = 1$  beträgt die Länge der Kolumnen  $2^l - 1 = 7$  (und nicht  $2^l = 8$ ).

zeichnet, das der indizierten Reihe entspricht. Wenn dies korrekt ist, wird dies als kommunikativer Erfolg interpretiert und die entsprechende Stelle in den Wahrscheinlichkeitsmatrizen der beiden Agenten erneut um eins hinaufgesetzt - bis zu einem Maximalwert von 100. Ist dieser erreicht, so gilt die Entscheidung der Agenten für die entsprechenden Worte als determiniert. Wenn alle Agenten 100%-Einträge für alle Worte besitzen, so gilt der Verständigungsprozess als abgeschlossen.

Um Unterscheidbarkeit zu gewährleisten, ist es den Agenten verboten, Worte homonym zu verwenden, also dasselbe Wort zur Bezeichnung unterschiedlicher Dinge zu wählen. Damit die Wortwahl allerdings nicht in einer Sackgasse endet, wenn ein und das selbe Wort in zwei Reihen der Wahrscheinlichkeitsmatrix (also zur Bezeichnung zweier Dinge) bereits hohe Einträge erreicht hat und einer davon schließlich auf 100 springt, ist es notwendig, die noch nicht 100-prozentigen Wahrscheinlichkeiten auch wieder sinken zu lassen. Sobald also ein Wort als festgelegt gilt und gleichzeitig auch in einer anderen Matrix-Reihe hohe Wahrscheinlichkeit hat, sinkt diese Wahrscheinlichkeit wieder zugunsten einer anderen Wahl. Worte hingegen, die einmal festgelegt sind (deren Wahrscheinlichkeit also bereits 100% erreicht hat) gelten, da es im vorliegenden Experiment nicht um die Emergenz einheitlicher Sprachen geht, als unveränderbar. Die Simulation endet, wenn alle Agenten Worte für alle Dinge gefunden haben.

EINIGE ERGEBNISSE

In einem ersten Setting wurden die Agenten in einem zirkulären Netzwerk so angeordnet, dass sie mit allen anderen Agenten mit gleicher Wahrscheinlichkeit kommunizierten.

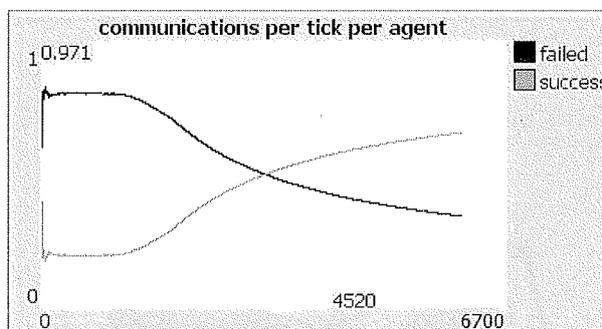


Mit den Parametern  $p = 10$ ,  $n = 5$  und  $l = 5$  etablieren alle Agenten in diesem Setting nach ungefähr 10000 Spielzügen Worte für die von ihnen zu bezeichnenden Dinge. Allerdings einigen sich nicht immer alle Agenten auf die Verwendung derselben Worte für dieselben Dinge. Ihre sprachlichen Übereinkünfte gleichen eher dem, was David Lewis (1969) ein „babbling equilibrium“ nannte. Die Agenten sprechen „Dialekte“, wobei sie in der Regel ein oder zwei Dinge mit demselben Wort bezeichnen, für die restlichen Dinge dagegen unterschiedliche Worte verwenden. Dies ergibt auch noch am Ende des Verständigungsprozesses eine recht hohe Missverstehensrate.

```
(agent 9): [[1 1 1 1 0] [1 1 1 0 1] [0 0 0 0 1] [1 1 1 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 2): [[1 1 0 0 1] [1 1 1 0 1] [1 0 0 0 0] [1 0 0 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 3): [[0 0 1 0 0] [1 1 1 0 1] [1 1 0 0 1] [1 0 0 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 0): [[1 1 1 1 0] [1 1 1 0 1] [0 0 0 0 1] [1 1 1 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 5): [[1 1 1 1 0] [0 1 1 0 1] [1 0 1 0 1] [1 1 1 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 4): [[0 0 0 0 0] [1 1 1 0 1] [0 1 1 0 0] [1 0 0 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 1): [[0 1 1 1 1] [0 1 1 0 1] [1 1 0 0 1] [1 1 1 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 7): [[0 0 1 0 0] [0 1 1 0 1] [1 0 1 0 1] [1 1 1 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 6): [[0 0 1 0 0] [0 1 1 0 1] [0 0 0 0 1] [1 1 1 1 1] [0 0 1 1 0]]
(agent 8): [[1 1 1 1 0] [1 1 1 0 1] [1 0 1 0 1] [1 1 1 1 1] [0 0 1 1 0]]
```

Abbildung 4: Beispiel für von den Agenten zur Bezeichnung der „Dinge“ ihrer Welt „gewählte“ Worte. Im abgebildeten Fall konnten sich nur auf das letzte Wort alle Agenten „einigen“. Über den gesamten Durchlauf von 34792 Spielzügen betrug die Ratio von erfolgreichen zu nicht erfolgreichen Kommunikationen 1.6, oder absolut: 170273 erfolgreiche zu 105757 missglückten kommunikativen Akten.

Die vergleichsweise hohe Binärcode-Länge bei relativ geringer Ding-Anzahl ergibt einen relativ großen Möglichkeitsraum, der dem Zufall, beziehungsweise dem „Nicht-



things (signifie)  
[[1 0 1 1 0] [1 1 1 1 1] [1 1 0 1 1] [0 0 0 1 0] [0 1 0 0 1]]

Abbildung 3: Ansichten des Modells. links: ein stilisierter Kommunikationsprozess, Agenten als schwarze Punkte, erfolgreiche Kommunikationen als schwarze, nicht erfolgreiche als graue Verbindungen. Rechts oben: Kommunikationserfolg in der Zeit. Rechts unten: exemplarische Liste von „Dingen“ ( $n = 5$ ,  $l = 5$ ). Modelliert mit Netlogo (vgl. Wilensky 1999).

Entscheiden-Können“ der Agenten einiges an Platz lässt. Da es verboten ist, ein Wort mehrmals zur Bezeichnung unterschiedlicher Dinge zu wählen, schränkt sich dieser Möglichkeitsraum erst mit dem Festlegen der ersten Worte sukzessive ein. In dem in Abbildung 3 gezeigten Beispiel wird er erst bei der „Wahl“ des letzten Wortes offensichtlich klein genug, um alle das gleiche Wort wählen zu lassen. Eine Reduktion der Wortlänge erbringt dementsprechend auch größere Übereinstimmung. Da in diesem Fall allerdings einige der bereits erreichten Wahrscheinlichkeitsniveaus auch wieder aufgegeben werden müssen, wenn die entsprechenden Worte zur Bezeichnung anderer Dinge festgelegt werden, benötigte der Wortwahlprozess in der Regel mehr Zeit. Abbildung 5 zeigt das Resultat eines Durchlaufs mit  $p = 10, n = 5, l = 4$ .

```
(agent 1): [[0 0 0 1] [0 1 0 1] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 7): [[0 0 0 1] [0 1 0 1] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 4): [[0 0 0 1] [0 0 1 1] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 3): [[0 0 0 1] [0 1 1 0] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 0): [[0 0 0 1] [1 1 0 0] [1 1 0 1] [0 0 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 9): [[0 0 0 1] [0 1 1 0] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 5): [[0 0 0 1] [1 0 1 1] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 6): [[0 0 0 1] [0 1 1 0] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 8): [[0 0 0 1] [0 0 0 0] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
(agent 2): [[0 0 0 1] [0 0 1 1] [1 1 0 1] [1 1 1 0] [1 1 1 1]]
```

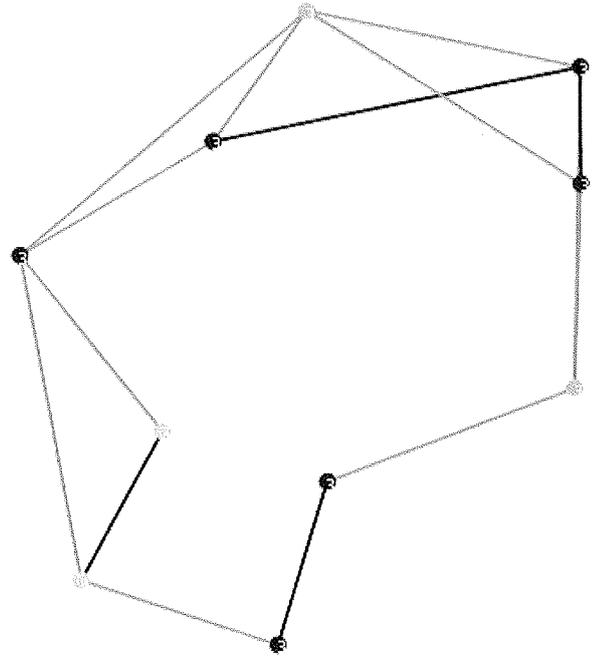


Abbildung 5. Variation des in Abbildung 3 gezeigten Runs, mit  $p = 10, n = 5, l = 4$ . Die Worte 1, 3 und 5 wurden von allen Agenten gleich gewählt. Über den gesamten Durchlauf von 39833 Spielzügen betrug die Ratio von erfolgreichen zu nicht erfolgreichen Kommunikationen in diesem Fall 1.28, oder absolut: 412504 zu 322986.

In einer Variation dieses Settings wurden die Agenten nicht ringförmig, sondern in einem zufallsgenerierten Netzwerk positioniert und konnten ihre Gesprächspartner nur unter den Agenten wählen, zu denen sie über direkte Links verfügten (siehe Abbildung 6).

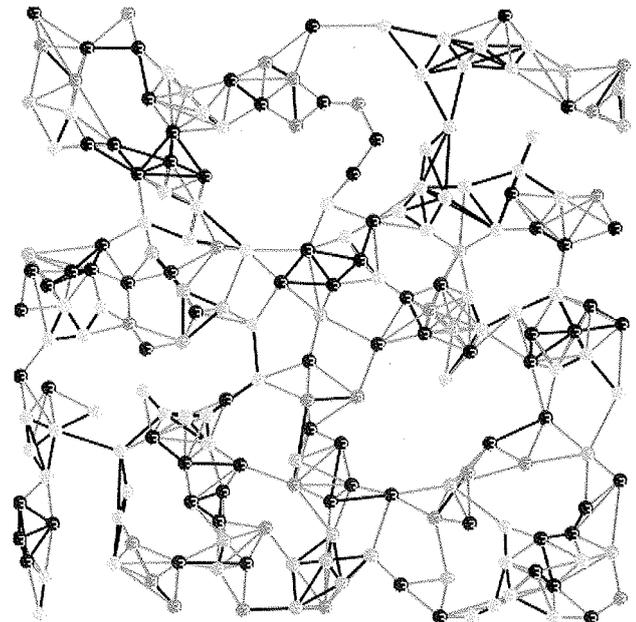
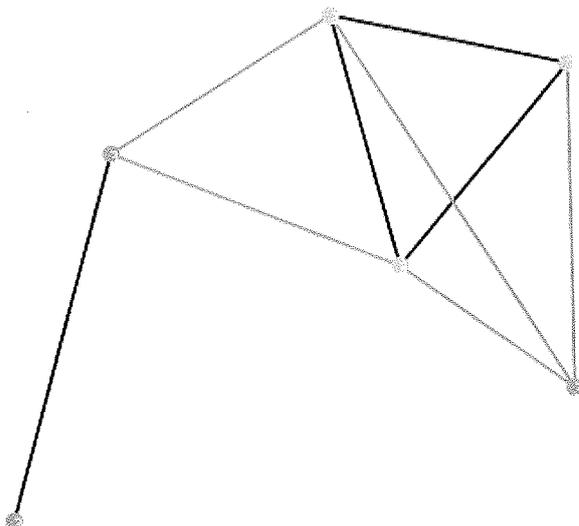


Abbildung 6: Anordnungen in Zufalls-Netzwerken. Agenten kommunizieren nur mit über direkte Links verbundenen Agenten. Linke Spalte unten mit  $p = 6, n = 3, l = 3$ , rechte Spalte oben mit  $p = 10, n = 3, l = 3$ , und rechte Spalte unten mit  $p = 200, n = 3, l = 3$ . Gleichfarbigkeit indiziert Agenten mit vollständig identer Wortwahl, also Agenten, die die gleiche Sprache sprechen.

In einer weiteren Variation wurden die Agenten nicht stationär in Netzwerken angeordnet, sondern zufällig positioniert, mit der Möglichkeit, sich zu bewegen. Als jeweiliger Gesprächspartner wurde zufällig ein Agent aus jener Gruppe von Agenten gewählt, die sich in einem Umkreis mit Radius  $r$  vom jeweiligen Akteur aufhielten. Mit  $r = 5$  erzielte diese Variante die höchste Übereinstimmung an gleich gewählten Worten. Auch Populationsgrößen von 100 und mehr fanden in diesem Setting eine einheitliche Sprache. Die genauere Beschreibung der nicht-zirkulären und bewegten Variante des Modells und seiner Ergebnisse wird andernorts vorgenommen.

Im Sinne der oben angestellten Überlegungen ist freilich zu betonen, dass es sich bei den beschriebenen Entwicklungen natürlich nicht um Kommunikationsprozesse handelt, wie sie Menschen zugeschrieben werden könnten, sondern um das Verhalten eines komplexen Systems, das ein Eigenverhalten ausbildet, welches retrospektiv als Einigungsprozess gedeutet wird. Oder genauer, um ein System, das sich, determiniert durch anfängliche Zufallsselektionen, über zahlreiche Iterationen einem bestimmten Zustand nähert, der sich sodann als spezifische Ordnung Zeichen-verwendender Akteure betrachten lässt, der sich im Prinzip aber durch nichts - außer durch ein differierendes Regelsset und seine Interpretation - von der Entwicklung eines GOL-Runs und den daraus emergierenden Makrostrukturen unterscheiden lässt. Das System zeigt ein Eigenverhalten, das retrospektiv als Ordnung gedeutet wird. Unter Umständen vermitteln die strukturierten Wahrscheinlichkeitsmatrizen zweier interagierender Agenten in Abbildung 7 eine Ahnung dieses systemischen Eigenverhaltens.

#### ARBITRARITÄT ODER WIDERSPIEGELUNG?

Den eigentlichen Anlass für das hier beschriebene Modell gab die mit dem Widerspiegelungstheorem assoziierte Frage, ob Zeichen, die dem von ihnen Bezeichneten ähneln,

die Wahrscheinlichkeit für Kommunikation steigern. Im vorliegenden Modell würde eine solche Ähnlichkeit durch Worte zum Ausdruck kommen, die zu den Dingen, die sie bezeichnen, eine niedrige Hamming-Distanz aufweisen. Gleich vorweg sei gesagt, dass mit dem Modell in der oben beschriebenen Variante keine wie auch immer geartete Tendenz zu niedrigen  $hd$ -Werten festgestellt werden konnte. Die  $hd$ -Werte der gewählten Worte beliefen sich in allen Settings im Durchschnitt auf etwas über den Mittelwert zwischen erlaubtem Minimalwert ( $hd = 1$ ) und maximaler Wortlänge.

Nun verfügen die Agenten dieses Modells natürlich auch über keinerlei Konzept für Ähnlichkeit. Niedrige  $hd$ -Werte haben keinen Wert an sich für sie. Es verwundert daher nicht, dass sich die  $hd$ -Werte ihrer Wortwahlen normalverteilen und im Schnitt damit genau in der Hälfte der erlaubten Minimal- und Maximal-Werte liegen. In Bezug auf die angesprochene systemische Ebene wäre es aber vorstellbar, dass sich der Phasenraum des Modells, der Möglichkeitsraum also, aus dem die Zeichen gewählt werden, einschränkt, wenn den Agenten eine „Vorliebe“ für niedrige  $hd$ -Werte verordnet wird. Würde sich die Dauer des Auswahlprozesses von Worten und die Zahl der unterschiedlichen Dialekte dadurch verringern? Würde die Kommunikation also damit an Wahrscheinlichkeit gewinnen?

Um dies festzustellen, habe ich in einer Variation des Modells die Auswahl der Zeichen mit einem *bias* belegt. Die Agenten bevorzugen, beginnend mit 85 Prozent für  $hd = 1$  jeden folgenden  $hd$ -Wert mit um 15 Prozent niedrigerer Wahrscheinlichkeit. Das heißt, sie überprüfen nach jeder Wortwahl die Hamming-Distanz zum zu bezeichnenden Ding und behalten das Wort mit 85-prozentiger Wahrscheinlichkeit bei, wenn sein  $hd = 1$ , mit 70-prozentiger Wahrscheinlichkeit wenn sein  $hd = 2$ , mit 55-prozentiger Wahrscheinlichkeit wenn sein  $hd = 3$ , mit 40-prozentiger Wahrscheinlichkeit wenn sein  $hd = 4$  und mit 25-prozentiger Wahrscheinlichkeit wenn sein  $hd = 5$  (größere Wortlängen wurden (einstweilen) nicht untersucht).

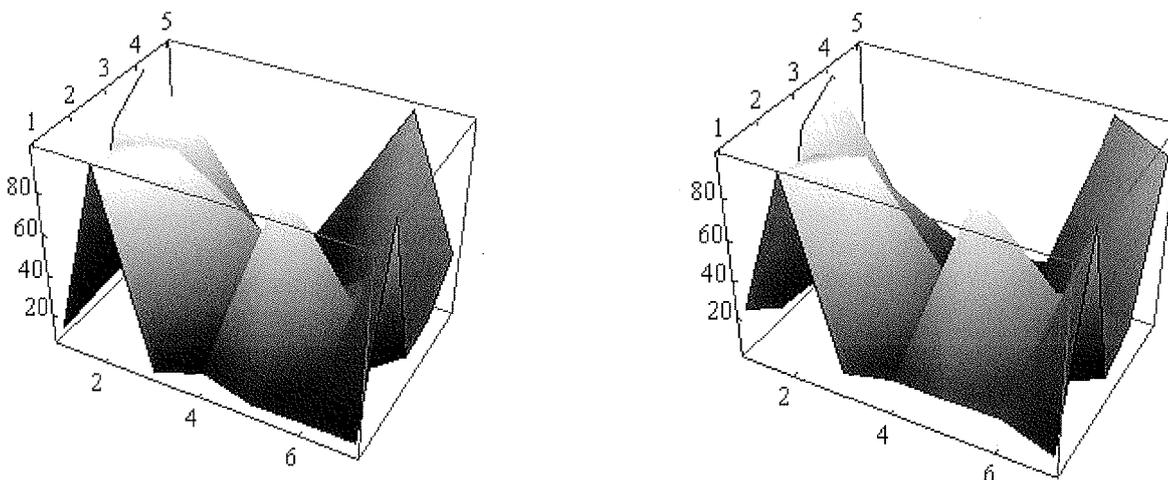


Abbildung 7. Dreidimensionale Darstellung der Wahrscheinlichkeitsmatrizen zweier interagierender Agenten (mit leichten Unterschieden in der Entwicklung), hier als Illustration des Eigenverhaltens eines komplexen Systems.

$p = 5, n = 5, l = 5$	<i>mean hd</i>	<i>sd hd</i>	<i>mean ticks</i>	<i>sd ticks</i>	<i>mean Dialekte</i>	<i>sd Dialekte</i>
ohne <i>bias</i>	2.796	0.2729	48231.8	43828.0	4.8	0.4216
mit <i>bias</i>	2.144	0.4058	49952.7	83926.0	4.8	0.4153

Dieses Setting wurde jeweils zehnmal mit den Werten  $p = 5, n = 2$  und  $l = 3$  bis 6, sowie  $p = 10, n = 2$  bis 3 und  $l = 3$  bis 6, und  $p = 5, n = 5$  und  $l = 5$  getestet. Von den einzelnen *hd*-Werten der gewählten Worte wurden zum einen Mittelwert (*mean* in der Tabelle) und Standardabweichung (*sd*) aller Worte eines Agenten und sodann daraus Mittelwert und Standardabweichung der gesamten Population berechnet. Diese Werte wurden in Beziehung zur Dauer des Auswahlprozesses (in Anzahl der *ticks*) und zur Zahl der von den Agenten gewählten Dialekte, ebenfalls im Schnitt der 10 Durchgänge, gestellt. Die Ergebnisse zeigen zwar (wenig verwunderlich, denn darauf waren die Agenten ja programmiert) deutlich geringere durchschnittliche *hd*-Werte, aber in allen geprüften Varianten keinerlei Tendenz zu kürzeren Auswahlprozessen oder zu größerer Übereinstimmung bei der Wahl der verwendeten Worte. Die oben stehende Tabelle zeigt das Ergebnis für  $p = 5, n = 5$  und  $l = 5$ . (In der Dauer des Auswahlprozesses ergaben sich aufgrund der gelegentlichen Notwendigkeit, bereits weit fortgeschrittene Wahrscheinlichkeiten auch wieder rückgängig zu machen, wenn das entsprechende Wort zur Bezeichnung eines anderen Dings gewählt wurde, sehr große Unterschiede, daher die extrem hohen Werte bei *sd ticks*)

RAUSCHEN

Zwar verringern sich die durchschnittlichen *hd*-Werte in dieser Variante des Modells. Trotzdem wahren sie aber nach wie vor auch einen Abstand, eine Distanz (hier eben Hamming-Distanz) zu den zu bezeichnenden Dingen, der größer ist als die verordnete Mindestdistanz von  $hd = 1$ . Dies lässt auf einen Umstand schließen, den unter anderem Niklas Luhmann (u.a. 1984, S. 198) in seiner Konzeption von Kommunikation betont, den Umstand, dass um die Wahrscheinlichkeit von Kommunikation zu heben, Differenz, wenn nicht gar ein „Sich-Abheben“ („salience“) vorteilhafter sein kann als Ähnlichkeit.

Um dies im Rahmen des beschriebenen Modells zu testen, habe ich in einer weiteren Variante angenommen, dass die Kommunikationen der Agenten mit zunehmendem „Erfolg“ ein Rauschen verursachen, vor dessen Hintergrund, wenn Kommunikation weiterhin statthaben soll, die Wahrnehmbarkeit der gewählten Worte gewährleistet sein muss. Die Wahrscheinlichkeit, die Worte „richtig“ zu verstehen, hängt also von der Unterscheidbarkeit dieser Worte vom Hintergrundrauschen ab, von ihrer „salience“ also. Das Modell erzeugt zu diesem Zweck einen „Lärmpegel“, der aus Zufallsworten besteht, deren Hamming-Distanz die „Lautstärke“ des Rauschens angibt. Die Empfänger eines Kommunikationsversuchs müssen die an sie gerichteten Worte vor dem Hintergrund dieses Rauschens zuordnen, was die Wahrscheinlichkeit „richtigen“ Zuordnens natürlich zugun-

ten von Worten steigert, deren *hd*-Werte über der Lautstärke liegt. Die folgende Tabelle gibt die entsprechenden Ergebnisse wieder, diesmal mit den Parametern  $p = 10, n = 5$  und  $l = 7$ , abermals gemittelt über jeweils 10 Durchläufe.

Lautstärke	<i>mean hd</i>
0	3.12667
1	3.73
2	3.75667
3	4.23667
4	5.01667
5	5.6

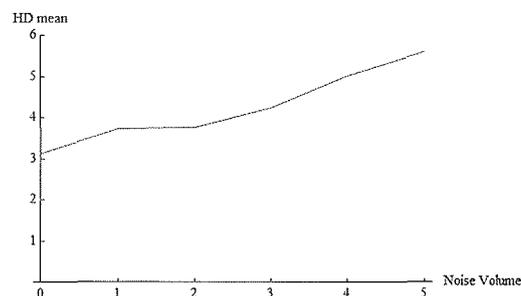


Abbildung 8: Durchschnittliche *hd*-Werte in Relation zu sechs unterschiedlichen Lautstärke-Niveaus, mit  $p = 10, n = 5$  und  $l = 7$ . „*mean hd*“ bezeichnet den durchschnittlichen *hd*-Wert aller *hd*-Werte aller Worte der Agenten gemittelt über jeweils 10 Durchläufe.

Die Bandbreite für die *hd*-Werte, also für die ikonografische Distanz der Worte zu den Dingen, die sie bezeichnen, blieb in diesem Fall zwischen Lautstärke und der Wortlänge von  $l = 7$ . Zwar stiegen, wie die Tabelle zeigt, die durchschnittlichen *hd*-Werte weniger schnell als der Lautstärke-Pegel. Im Vergleich zu den Dingen (mit  $hd = 0$ ) zeigt sich aber doch eine deutliche Tendenz zur „Unähnlichkeit“, also zur „Arbitrarität der Zeichen“.

Die Simulation scheint damit die Vermutung zu bestätigen, dass die Ähnlichkeit von Zeichen und Bezeichnetem, ebenso wie Abbildung, Widerspiegelung, Isomorphie etc. Interpretationen eines Beobachters sind, der seine spezifischen Interessen in die von ihm beobachteten Zusammenhänge projiziert.

## ANMERKUNGEN:

- 1 Selbstverständlich ist, streng genommen, natürlich auch die Interpretation des Modells vom Involvement des Beobachters betroffen und entkommt damit der epistemologischen Grundproblematik nicht. Die Einschränkung ist also notwendig, wenngleich trotzdem unter Umständen gegenüber Modellen *graduell* mehr „Objektivität“ erwartet werden darf als gegenüber den modellierten Prozessen.
- 2 Welches freilich, auf etwas abstrakterer Ebene, ebenfalls erst von einem Beobachter zu einem „Eigenverhalten“ gemacht wird. Der epistemologischen Grundproblematik ist, wie schon gesagt, nicht zu entkommen. Es geht hier aber auch nicht darum, sondern um die Aufmerksamkeit für den unvermeidbaren Einfluss des Beobachters, spricht für die Konstruiertheit jeglicher Struktur.
- 3 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.
- 4 Dabei darf auch hier die erkenntnistheoretische Problematik dieser Unterscheidung nicht übersehen werden. Was ich im Folgenden tentativ als systemische Ebene von der Beobachtungsebene unterscheidet, ist selbst nicht unbeobachtet zugänglich. Auch die scheinbar wertfreien Termini „Dynamiken“, „Zusammenwirken“, „Eigenverhalten“ etc. sind damit natürlich Interpretationen eines Beobachters, wenn auch in dem Fall die eines *second order observers*, der sehen kann, dass er stets nur unter bestimmten Bedingungen sieht.
- 5 Diese Intention wird freilich – worauf unter anderem auch Derrida (1988) in seiner berühmten Auseinandersetzung mit Searle hinweist – ihrerseits retrospektiv in den Kommunikationsprozess projiziert. Soziale Insekten, oder – um hier sicher zu gehen – Roboter, die sich mit Hilfe von sogenannten *Ant search*-Algorithmen koordinieren (Russell 2000), haben keine wie auch immer geartete „Intention zu kommunizieren“.
- 6 Sie erinnert stark an die Position des Cratylus in Platons gleichnamigem Dialog.
- 7 „Das Bewusstsein kann nie etwas anderes sein als das bewusste Sein, und das Sein der Menschen ist ihr wirklicher Lebensprozess.“ MEW 3: 26.
- 8 Die Hamming-Distanz gibt die Zahl der Stellen an, in denen sich zwei Binärcodes derselben Länge unterscheiden.

## LITERATUR:

- Calvin, William H. / Bickerton, Derek (2000): *Lingua ex Machina: Reconciling Darwin and Chomsky with the Human Brain*. MIT Press.
- Conant, Roger C. / Ashby, Ross, W. (1970): Every Good Regulator of a System must be a Model of that System. In: *International Journal of Systems Sciences*, vol. 1, No. 2, S. 89-97.
- Derrida, Jacques (1988): *Limited Inc*. Evanston: Northwestern University Press.
- Epstein, Joshua M. (2006): *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton.
- Foerster, Heinz v. (1993a): Gegenstände: greifbare Symbole für (Eigen-)Verhalten. In: ders.: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. (Hrsg. v. Siegfried J. Schmidt), Frankfurt am Main, S. 103-115.
- Foerster, Heinz v. (1993b): Unordnung/Ordnung. Entdeckung oder Erfindung? In: ders.: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. (Hrsg. v. Siegfried J. Schmidt), Frankfurt am Main, S. 134-148.
- Füllsack, Manfred (2010): Mapping and it's observer; in: Trapp, Robert (ed.): *Cybernetics and Systems 2010*. Vienna: Austrian Society for Cybernetic Studies, p.243-148.
- Füllsack, Manfred (2011): *Gleichzeitige Ungleichzeitigkeiten. Eine Einführung in die Komplexitätsforschung*. VS-Verlag. Wiesbaden.
- Holz, Hans Heinz (2003): *Widerspiegelung*. Bielefeld: transcript-Verlag.
- Holz, Hans Heinz (2005): *Weltentwurf und Reflexion. Versuch einer Grundlegung der Dialektik*. Stuttgart/Weimar: J. B. Metzler.
- Lewis, David (1969): *Convention: A Philosophical Study*. Cambridge. Harvard UP.
- Luhmann, Niklas (1981): Die Unwahrscheinlichkeit der Kommunikation. In: ders. *Soziologische Aufklärung 3. Soziales System, Gesellschaft, Organisation*. Opladen, Westdeutscher Verlag, S. 25-34.
- Rendell, Paul (2002): Turing Universality in the Game of Life; in: Adamatzky, Andrew (ed.): *Collision-Based Computing*. New York Springer.
- Rocha, Luis (1996): Eigenbehavior and Symbols. In: *Systems Research Vol. 13, No 3*, S. 371-384.
- Rocha, Luis (1998): Selected Self-Organization. And the Semiotics of Evolutionary Systems. In: Salthe, S. / Van de Vijver, G. / Delpo, M. (Eds.). *Evolutionary Systems: Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization*. Kluwer Academic Publishers, S. 341-358.
- Russell, Andrew R. (2000): *Odour Detection by Mobile Robots*. River Edge, NJ. World Scientific Publishing Co.
- Saussure, Ferdinand de (2001): *Cours*. In: Ryan, Michael / Rivkin, Julie (Eds): *Literary Theory: An Anthology*. Blackwell Publishers.
- Wilensky, Uri (1999). *NetLogo*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

## AUTOREN

## PETER KARL FLEISSNER

Univ. Doz., Dipl. Ing., o. Univ. Prof. i.R für Sozialkybernetik am Institut für Gestaltungs- und Wirkungsforschung der TU Wien, Leiter der Abteilung „Technology, Employment, Competitiveness and Society“ des Institutes for Prospective Technological Studies der Europäischen Kommission in Sevilla, Spanien. Ausgewählte Publikationen: (gem. mit Natascha Wanek): Bruchstücke. Kritische Ansätze zu Politik und Ökonomie im globalisierten Kapitalismus, 2009; (gem. mit V. Romano): Digitale Medien – Neue Möglichkeiten für Demokratie und Partizipation?, 2007; (gem. mit J. C. Nyíri): Philosophy of Culture and the Politics of Electronic Networking, 2 Bände, 1999.

## MANFRED FÜLLSACK

Univ. Doz., Dr., lehrt zur Zeit an der Universität Wien und an der Wirtschaftsuniversität Wien mit den Schwerpunkten Arbeit, Wissen, komplexe Systeme, Netzwerke. Ausgewählte Publikationen: Gleichzeitige Ungleichzeitigkeiten. Eine Einführung in die Komplexitätsforschung (Wiesbaden 2011); Arbeit (Wien 2009); Zuviel Wissen? Zur Wertschätzung von Arbeit und Wissen in der Moderne (Berlin 2006).

## ERNST GEBETSROITHER

Mag. Dr., Ökologe und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Austrian Research Center Seibersdorf. Er beschäftigt sich mit der Analyse komplexer dynamischer Systeme in den Bereichen Umwelt und erneuerbare Energien. Ausgewählte Publikationen: (gem. mit A. Kaufmann und U. Gigler) (2005): Agent-Based Modelling of Self-Organisation Processes to Support Adaptive Forest Management. Springer-Verlag; Combining Multi-Agent Systems modelling and System Dynamics Modelling in theory and practice. Dissertation an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Fakultät für Technische Wissenschaften, 2009; E. Gebetsroither and W. Loibl (2006): GIS based water resource management of the Dead Sea region – integrating GIS, System Dynamics and Agent Based Modelling, Proceedings of the AGIT special GI4dev Conference in Salzburg.

## VOLKNER HAFNER

Mag., Politikwissenschaftler und Dissertant am Institut für Philosophie der Universität Wien. Ausgewählte Publikationen: (gem. mit Peter Merschitz): Systemtheoretisch-konstruktivistische Überlegungen zur Darstellung von Politik in Computerspielen. In: Bevc, Tobias (Hg.): Zur Konstruktiv-

on von Politik und Gesellschaft in Computerspielen. 2007 Berlin/München. S. 193-219; Zur Frage nach der gesellschaftsstrukturellen Relevanz des Internet. Wie aktuell ist die Theorie Niklas Luhmanns noch?. In: Wissenschaft in Progress. Heft: 1/2009. Rostock. S. 22-39.

## WOLFGANG RADAX

Mag., Doktorand im Fach Wirtschaftsinformatik an der Technischen Universität Wien; wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe Ökonomie des Instituts für Wirtschaftsmathematik der Technischen Universität Wien im Rahmen des FWF-Forschungsprojekts (P19973). Forschungen im Bereich der Anwendung von agentenbasierten Simulationen auf ökonomische und politikwissenschaftliche Problemstellungen und Simulationen zum Prozess der Staatenbildung. Ausgewählte Publikationen: (gem. mit Bernhard Rengs) Replication of the Demographic Prisoner's Dilemma. Plenarvortrag präsentiert bei: 6th Conference of the European Social Simulation Association, 2009 Guildford, UK.

## BERNHARD RENGES

Mag. Dr., Univ. Ass., Universitätsassistent in der Forschungsgruppe Ökonomie des Instituts für Wirtschaftsmathematik der Technischen Universität Wien; lehrt gegenwärtig zum Themenbereich Computersimulation sozialer und ökonomischer Prozesse und forscht im Bereich der Entwicklung und Anwendung von agentenbasierten Simulationsmodellen sozio-ökonomischer Prozesse. Ausgewählte Publikationen: (gem. mit Wolfgang Radax): Prospects and Pitfalls of Statistical Testing: Insights from Replicating the Demographic Prisoner's Dilemma. In: Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2010 forthcoming.

## ROMAN SEIDL

Dipl. Ing., Universitätsassistent am Institut für Stadt- und Regionalforschung an der Technischen Universität Wien. Interessen: Quantitative Methoden in der Planung, Ökonomische Transformation und Stadterneuerung, Simulation sozialräumlicher Veränderung.

BM.W\_F<sup>a</sup>

bm:uk

WIEN  
KULTUR 