

Universität Zürich

Philosophische Fakultät I

---

5 Thesen, warum sozialwissenschaftliche  
Computersimulationen zum Verständnis von  
anthropogen verursachten Umweltproblemen  
und deren Bewältigung beitragen können

Dreitägige Hausarbeit

im Rahmen der Lizentiatsprüfung

im 1. Nebenfach Soziologie

07. bis 10. März 2000

Prüfender: PD Dr. M. Eisner

---

Wernher Brucks

Sihlamtsstrasse 17

8002 Zürich

01 281 25 57

# INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Simulation zur Erforschung von Komplexität</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Simulation zur Vorhersage und Planung</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Simulation zur Theoriebildung</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Simulation als pädagogisches Instrument</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Simulation und interdisziplinäre Forschung</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>24</b>

# 1 EINLEITUNG

Es gehört zur weitläufigen Meinung, dass es ausschliesslich in den Aufgabenbereich der Naturwissenschaften fällt, Lösungen für die anthropogen verursachten Umweltprobleme auf der Erde zu finden. Diese Lösungen sind dementsprechend technischer Natur und stellen eigentlich nicht eine Lösung des Problems dar, sondern eine Bekämpfung der Symptome. So reinigen Katalysatoren zwar die Abgase von Verbrennungsmotoren, verhindern aber nicht, dass weiterhin mit steigender Tendenz schädliche Emissionen freigesetzt werden. In seinem mittlerweile als Klassiker der sozialwissenschaftlichen Umweltforschung zu bezeichnenden Artikel weist Hardin darauf hin, dass es eine Klasse von Problemen gibt, für die es keine technische Lösung gibt (Hardin, 1968). Obwohl gerade Hardins Sichtweise in gewissen Punkten inzwischen nicht mehr als adäquat gilt und dementsprechend oft kritisiert wird (vgl. Sieferle, 1998; Berkes, Feeny, McCay, & Acheson, 1989), haben sich die Sozialwissenschaften in den frühen 1970er Jahren auf dem Hintergrund tiefgreifender Krisenerfahrungen mit dem Problem Umwelt zu beschäftigen begonnen. Natürlich wurde zunächst das klassische Methodenrepertoire der Sozialwissenschaften ausgeschöpft, d.h. es wurden u.a. Umwelteinstellungen in Fragebogen erfasst, aus den Daten Modelle des Umweltverhaltens konstruiert oder auch Experimente zur Ressourcennutzung im Labor durchgeführt. Bis heute sind diese Ansätze unverändert aktuell, so werden zum Beispiel im Labor unter dem „replenishable resource paradigm“ noch immer Faktoren der anthropogenen Ressourcennutzung gesucht (vgl. z.B. Hine & Gifford, 1991). Jede Disziplin in den Sozialwissenschaften hat sich der Umweltproblematik angenommen, mit etwas Verspätung auch die Soziologie. Der Soziologe Ortwin Renn unterscheidet fünf wesentliche Ziele der Umweltforschung innerhalb der Sozialwissenschaften (Renn, 1996):

- Kenntnisse über Wertbildungen im Bereich Umwelt-Natur-Mensch
- Wissen über Determinanten der Wahrnehmung ökologischer Risiken
- Analyse sozialer Konflikte und politischer Massnahmen im Umweltbereich
- Identifikation von Prozessen der Technikgenese
- Analyse der Determinanten von Umwelthandeln

Zur Erreichung dieser Forschungsziele kann neben den erwähnten klassischen Methoden der Sozialwissenschaften auch die relativ neue Methode der

Computersimulation<sup>1</sup> benutzt werden. Computersimulation ist im Grunde genommen nur eine spezielle Art der Modellbildung. Der grundlegende Unterschied zur herkömmlichen Modellbildung besteht m.E. darin, dass das postulierte Modell auf einem Computer als lauffähige Simulation implementiert wird. Dieser Umstand bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich, was mit dieser Arbeit gezeigt werden soll. Eigentlich wurde die Methode der Computersimulation bereits Ende der 60er Jahre in den Sozialwissenschaften angewandt, um gesellschaftliche Phänomene wie z.B. Segregation (vgl. Schelling, 1969; Schelling, 1971) dynamisch zu untersuchen. Erst die exponentiell wachsende Leistungsfähigkeit der Rechner und deren vereinfachte Bedienung machte sie jedoch zu einem Instrument, das von Sozialwissenschaftlern aller Disziplinen vermehrt benutzt wurde.

Es wäre ein hoffnungsloses Vorhaben, an dieser Stelle aufzählen zu wollen, in welchen Bereichen Computersimulationen eingesetzt werden und welche Forschungsfragen mit ihnen untersucht werden. Ein Blick ins Internet, das den ‚sozialwissenschaftlichen Simulierern‘ neben jährlich stattfindenden Konferenzen als Hauptforum dient, zeigt die Vielfältigkeit und Breite des Anwendungsbereiches. Im Anhang dieser Arbeit werden einige Adressen im ‚world wide web‘ angegeben, wo einschlägige Information gefunden werden kann. So verwundert es auch nicht, dass an einigen wenigen Universitäten bereits Studiengänge in sozialwissenschaftlicher Simulation angeboten und schon seit längerem Lehrbücher geschrieben werden (Gilbert & Troitzsch, 1999; Harbordt, 1974).

Diese Arbeit fokussiert allerdings ausschliesslich auf die Untersuchung anthropogen verursachter Umweltprobleme durch sozialwissenschaftliche Computersimulation. Obwohl es zu einem recht grossen Teil Soziologen sind, die sich in diesem Bereich hervortun, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht nur innerhalb des Bereichs der Soziologie operiert werden. Forschung im Umweltbereich verlangt nach Interdisziplinarität (vgl. Ernst, 1998) und Computersimulation als Methode unterstützt diesen Anspruch noch, wie im 6. Kapitel dieser Arbeit gezeigt werden wird. Es wird in den folgenden 5 Kapiteln jeweils zu Anfang eine These aufgestellt und darauf basierend diskutiert, warum gerade Computersimulation dazu geeignet erscheint, in der Umweltforschung als Methode angewandt zu werden.

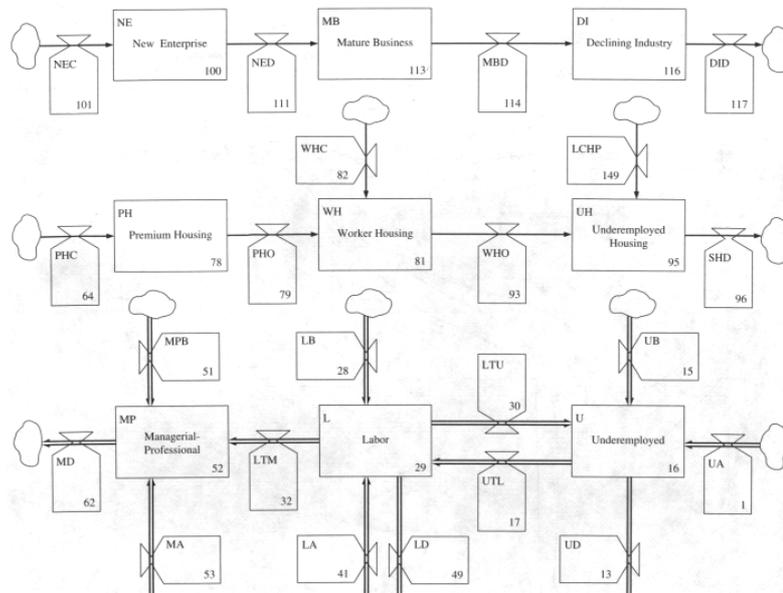
---

<sup>1</sup> In dieser Arbeit werden die Wörter ‚Computersimulation‘ und ‚Simulation‘ synonym gebraucht. Gemeint ist immer die Erstellung und Ausführung eines Programms auf einem Computer mit dem Ziel, aufgrund eines Modells einen Ausschnitt aus der sozialen Realität abzubilden.

## 2 SIMULATION ZUR ERFORSCHUNG VON KOMPLEXITÄT

⇒ *Mit Computersimulation können komplexe ökologische Systeme und ihre Eigenschaften zugänglich gemacht werden, was eine bessere Erforschung dieser Systeme möglich macht.*

Die ökologische Umwelt des Menschen kann als ein System bezeichnet werden, das sich durch hohe Komplexität und Unbestimmtheit auszeichnet. Dietrich Dörner nennt solche Systeme aus der Realität KUL-Welten (Dörner, 1996), weil die Prozesse darin **komplex**, **unbestimmt** und **langsam** sind. Jede dieser Eigenschaften erschwert zunächst einmal die Wahrnehmung solcher Systeme und damit auch den Umgang mit ihnen. Dies wurde bereits in den 1970er Jahren erkannt und mit Hilfe von aufwendigen Simulationen mit einer Vielzahl von Variablen und Differentialgleichungen wurde versucht, solche Systeme aus der Realität nachzubilden. Diese sogenannten ‚world models‘ wurden vor allem durch die Arbeiten von J.W. Forrester bekannt (vgl. Forrester, 1971). Sie kamen, wenn man so will, aus der Mode, da sie selbst bereits einen extrem hohen Grad an Komplexität aufwiesen und so nur einen begrenzten Beitrag zum Verständnis der modellierten Phänomene beitrugen (vgl. Abbildung 1). Nichtsdestotrotz sind sie die Urgesteine der sozialwissenschaftlichen Simulation und daher von historischer Relevanz. Im folgenden soll gezeigt werden, wie v.a. neuere Simulationen zur Überwindung der erwähnten Problem beitragen können, indem sie Komplexität reduzieren.



**Abbildung 1:** „Urban Computer Model“ von Jay Forrester (1969). Dargestellt sind nur die Hauptvariablen und ihre gegenseitigen Einflüsse. Das Modell weist bereits einen beträchtlichen Grad an Komplexität auf.

Im täglichen Leben hat es der Mensch in der Regel mit starken Kausalketten zu tun. Wenn man eine Aktion ausführt, erfährt man gewöhnlich unmittelbar eine Reaktion. Wenn man den Anlasser im Auto betätigt, springt der Motor im Normalfall sofort an. Mit anderen Worten werden die Effekte unseres Handelns meistens sofort sichtbar, die Reaktionszeiten sind kurz. Nebenwirkungen sind dagegen selten. Das ist nach Dörner (ebd.) der Grund dafür, dass wir soviel über unsere alltägliche Umwelt wissen. Wir können uns in ihr bewegen, ohne ständig Gefahr zu laufen, einen schwerwiegenden Fehler zu begehen. Ganz anders sieht es dagegen mit einem System wie unserer ökologischen Umwelt aus. Es ist gekennzeichnet durch schwache Kausalketten und Intransparenz. Übt man in einem solchen System eine Aktion aus, so folgt drauf fast nie unmittelbar nur eine einzige Reaktion. Der Eingriff des Menschen in natürliche Ökosysteme hat uns leider schon oft schmerzlich vor Augen geführt, dass man nicht die geringste Ahnung hat, wie das System reagieren wird. Hinzu kommt, dass die Prozesse innerhalb des Systems sehr langsam sein können, also die Reaktion mit grosser Verzögerung auf die Aktion eintritt. Es fällt daher schwer, jeder Aktion die richtige Reaktion zuzuschreiben. Welche Handlung hat überhaupt was bewirkt? Verschlimmert wird dies noch dadurch, dass Menschen in der Zukunft liegende Ereignisse diskontieren, d.h. je weiter ein Ereignis in der Zukunft liegt, desto weniger relevant wird es zum gegenwärtigen Zeitpunkt erachtet (vgl. Ernst, 1997).

Eine genauere Unterteilung des Begriffs der Komplexität in Systemen wird von Casti (1997) vorgenommen. Er unterscheidet dabei jeweils zwischen dem Mechanismus, der im komplexen System stattfindet und dem ‚überraschenden‘ Effekt, den dieser Mechanismus für den Menschen hat, der mit einem solchen System interagiert. Auf diese Mechanismen wird nicht im einzelnen eingegangen, die Begriffe in der Tabelle 1 sind weitgehend selbsterklärend.

**Tabelle 1:** Die wichtigsten Mechanismen in komplexen Systemen, durch die überraschende Effekte generiert werden (Casti, 1997).

Mechanismus	überraschender Effekt
Paradoxien	Inkonsistente Phänomene
Instabilität	Grosse Effekte durch kleine Veränderungen
Unberechenbarkeit	Das Verhalten geht über die Regeln hinaus
Konnektivität	Verhalten kann nicht in seine Bestandteile zerlegt werden
Emergenz	selbst-organisiertes Verhalten

Der Nutzen von Computersimulationen bei der vorliegenden Problematik liegt nun darin, dass Dörner's KUL-Welten modelliert und als dynamisches System auf dem Computer implementiert werden können. Damit hat man einen Zugang zu ihnen, der zuvor verschlossen war. Als Schöpfer der virtuellen Welt hat man Zugang zu ihren Gesetzmässigkeiten und kann diese nach Belieben verändern. Man kann beliebig viele Experimente durchführen, um das System und sein Verhalten kennenzulernen. Aus Intransparenz wird somit **fast** absolute Transparenz. In manchen Simulationen zeigt sich nämlich, dass gewisse Phänomene auf der Ebene des Systems nicht durch das programmierte Verhalten der einzelnen Elemente erklärt werden kann. Solche emergenten Phänomene sind für das Verständnis eines komplexen Systems von besonderer Bedeutung. Aus Langsamkeit wird Schnelligkeit, denn mit einer Simulation auf dem Computer kann ein realer Prozess, der Jahre oder Jahrzehnte dauern würde, in Minuten oder Stunden ablaufen. Hier kommt vor allem der rasanten Entwicklung der Rechner besondere Bedeutung zu. Simulationsläufe, die noch vor fünf Jahren eine ganze Nacht in Anspruch nahmen, werden heute in 30 Sekunden abgearbeitet. Aus der theoretischen Sichtweise Dörners kann man etwas salopp formuliert sagen, dass aus seinen KUL-Welten durch den Einsatz von Computersimulation TES-Welten<sup>2</sup> werden, nämlich transparente einfache Systeme, in denen die Prozesse schnell ablaufen. Aus praktischer Sicht ergibt sich daraus, dass der Mensch, wenn er mit solchen simulierten Systemen interagiert, lernen kann, mit ihnen umzugehen, doch dies steht im Mittelpunkt des 5. Kapitels. Als Beispiel sei nur erwähnt, dass es schon seit einiger Zeit kommerzielle Computerspiele gibt, die nur dem Vergnügen dienen, aber im Grunde genommen vom Spieler verlangen, in einem komplexen System erfolgreich Entscheidungen zu treffen, um das Spiel zu gewinnen. Prominentestes Beispiel ist ‚SimCity‘, wo der Spieler Bürgermeister einer Stadt ist und vom Häuserbau über die Versorgung und die Entsorgung bis hin zur Verkehrsplanung Entscheide treffen müssen, die sich gegenseitig stark beeinflussen. Wer schon einmal ‚SimCity‘ gespielt hat, weiss wie schwierig es ist, eine blühende Stadt aufzubauen, aber auch, dass man es mit ausreichender Spielpraxis dahin bringt, das System zu kontrollieren, ohne dass man die dahinter liegenden Mechanismen kennt. Der Mensch kann den Umgang mit komplexen Systemen also vielleicht lernen. Leider ist die dazu notwendige Zeit in der Realität meist nicht gegeben oder der Zeitverlust bis zum Verständnis des Systems führt zu irreversiblen Schäden an demselben.

---

<sup>2</sup> Der Ausdruck TES-Welten ist nirgends in der Literatur zu finden, sondern wurde vom Autor der Anschaulichkeit halber kreiert.

### 3 SIMULATION ZUR VORHERSAGE UND PLANUNG

⇒ *Mit Hilfe der Computersimulation kann das Verhalten von realen Systemen teilweise vorausgesagt werden, was die Planung von Prozessen oder das Design von solchen Systemen erleichtert.*

Unter der Annahme, dass man über ein valides Modell verfügt und dieses adäquat als Simulation auf dem Computer implementiert worden ist, wird der Output der Simulation bis zu einem gewissen Grad der Reaktion des realen Systems entsprechen. Es soll im weiteren nicht genau auf die Voraussetzungen eingegangen werden, die erfüllt sein müssen, damit die eben gemachten Aussagen wahr sind. Es stellt zum Beispiel ein grosses Problem dar, eine Simulation an den Daten der Wirklichkeit zu validieren, d.h. ihren Geltungsbereich abzustecken (vgl. van Dijkum, deTombe, & van Kuijk, 1999). Bei technischen Simulationen ist dies weniger problematisch<sup>3</sup>, bei Simulationen im sozialen Bereich ist allein die Datengrundlage, die zur Validierung zur Verfügung steht, meistens ungenügend. Es soll daher im weiteren von der ungeprüften Annahme ausgegangen werden, dass eine Simulation tatsächlich einen Ausschnitt aus der Realität wiedergibt, also genauso wie das reale System reagiert. Es sei nur angemerkt, dass dies nur für die wenigsten Simulationen gilt und die Frage nach der Gültigkeit meist nicht mit ja oder nein, sondern nur graduell beantwortet werden kann. Könnte man ein ökologisches oder ein soziales System oder sogar ein sozial-ökologisches System unter diesen Voraussetzungen simulieren, dann könnten die Effekte von menschlichen Eingriffen in das System abgeschätzt und dementsprechend geplant werden. Im folgenden werden einige Beispiele von existierenden Simulationen gegeben, die genau dieses Ziel verfolgen:

**Individual-Based Fish Modeling** ist ein Projekt an der Humboldt State University in Kalifornien, in dem interdisziplinär eine Simulation geschaffen wurde, die das Verhalten einer Fischpopulation in einem Fluss nachahmt. Dabei wird jeder Fisch als Element des Systems modelliert und mit eigenen charakteristischen Verhaltensregeln ausgestattet. Dies soll es in Zukunft ermöglichen, einen ganzen Fluss zu simulieren, in dem sich verschiedene Spezies von Fischen aufhalten. Obwohl dies aus dem vorliegenden Material nicht hervorgeht, kann man davon ausgehen, dass die Simulation darauf ausgelegt ist, eine nachhaltige Nutzung von Fischgründen durch eine Gruppe von Menschen zu ermöglichen (vgl. www-Quelle-A, 07.03.00).

---

<sup>3</sup> Ein Flugsimulator z.B. ist ein recht gutes Modell für ein Flugzeug, d.h. er reagiert genauso wie ein echtes Flugzeug auf die Handlungen des Piloten. Es leuchtet ein, dass dies in diesem Fall eine notwendige Voraussetzung ist.

Simulationen für **Nachhaltigkeit in Gemeinden** werden am 'Environmental Simulation Center' in New York programmiert. In diesen grafisch anspruchsvollen Applikationen können Veränderungen durch den Menschen innerhalb einer Gemeinde simuliert werden, wie z.B. die Neugestaltung historischer Stadtteile, der Bau geplanter Wolkenkratzer, neue Parkanlagen oder ganz neue Wohnquartiere. Durch diese virtuellen Städte kann sich der Bediener dann bewegen und die etwaigen Auswirkungen seiner Handlungen betrachten (vgl. Abbildung 2). Die Vorteile dieser Vorgehensweise liegen auf der Hand: *„Visualizing the future through simulation techniques is the most powerful tool for making informed planning and design decisions. At the Center, we assist architects, community groups, planners, government agencies, and preservationists in anticipating and analyzing the physical and visual impact of change to the environment.“* (www-Quelle-B, 07.03.00)“



**Abbildung 2:** Bilder der Simulation von der mittelalterlichen Stadt Bath in England (links) und einer futuristischen Studie, wie die Stadt eines Tages aussehen könnte (rechts).

Man sieht, dass bei dieser Verwendung von Computersimulation klar Planung und Design im Vordergrund stehen. Ein soziologisch relevanter Aspekt ist dabei, dass der Output der Simulationen grafisch so aufbereitet wird, dass er auch für Laien verständlich ist. Man kann sich z.B. mit eigenen Augen ansehen, wie das Stadtbild aussieht, wenn die neue Strasse gebaut worden ist. So kann zum Beispiel die Risikowahrnehmung der von einer planerischen Entscheidung betroffenen Menschen massgeblich verändert werden, wenn sich diese Menschen mit ihren eigenen Augen ein Bild von der neuen Situation machen können. Dieses und das letzte Beispiel sind allerdings keine sozialwissenschaftlichen Simulationen, da das Verhalten von Menschen selbst nicht simuliert wurde, sondern nur seine Auswirkungen. Sie sollten aber das Prinzip von Simulation als Instrument zur Vorhersage veranschaulichen.

Echte sozialwissenschaftliche Simulationen mit dem langfristigen Ziel, Empfehlungen für die Planung von kollektiven Aktionen abzugeben, werden dagegen am Psychologischen Institut der Universität Zürich geschrieben (Mosler & Tobias, in prep.). Auf soziologischen und sozialpsychologischen Theorien basierend werden einzelne Individuen und ihre gegenseitige Interaktion in einer grossen Gruppe simuliert, d.h. die virtuellen Menschen leben in einem sozialen Netzwerk aus Freunden und Bekannten, wo sie sich z.B. über ihre Einstellungen oder auch über ihr Handeln beeinflussen und Kosten-Nutzen Rechnungen anstellen, wodurch ihr Handeln wiederum determiniert wird. Immer davon ausgehend, dass die richtigen Annahmen getroffen worden sind, werden nun die Rahmenbedingungen (die Parameter der Simulation) solange verändert, bis das gewünschte Ereignis eintritt, in diesem Fall das Zustandekommen einer kollektiven Aktion (z.B. eine gemeinsame Umweltaktion). Die Daten für die Simulation kommen aus der Realität und der Output der Simulation sollte wiederum unter Vorbehalten in die Realität übertragbar sein, sodass Empfehlungen für die Planung von realen Aktionen abgegeben werden können, wenn man Daten über die Gruppe hat, in der die Aktion stattfinden soll. Hinter dieser Arbeit steht die Frage, welche sozialwissenschaftlichen Instrumente man unter welchen Voraussetzungen einsetzen sollte, um in einer gegebenen Population das gewünschte Ziel zu erreichen. Ingenieure im technischen Bereich verfügen über solche Planungsinstrumente, wie sie in den vorherigen Abschnitten z.B. für die Stadtplanung beschrieben worden sind. Langfristiges Ziel sozialwissenschaftlicher Simulation sollte es sein, ebenfalls für den sozialen Bereich solche Planungsinstrumente zur Verfügung zu stellen, eine Aufgabe, die man unter dem Schlagwort ‚social engineering‘ subsumieren könnte.

Dieses Kapitel wird abgeschlossen durch eine Art von Simulationen, die inhaltlich gesehen einen krassen Kontrast zu den bisher vorgestellten darstellen. Während die oben beschriebenen Simulationen eine mögliche Zukunft als Ergebnis liefern, also prospektiv ausgerichtet sind, ist es auch möglich, retrospektiv, also in die Vergangenheit gerichtet zu simulieren. Ein Beispiel dafür ist die Simulation der Siedlungen der Anasazi im Long House Valley im nördlichen Arizona über den Zeitraum von 400 – 1400 AD. Die Simulation wurde aufgrund von Ausgrabungen, geologischen und klimatologischen Untersuchungen in dieser Gegend geschrieben und soll nun in der Lage sein, die Entwicklungen in dieser Gegend wiederzugeben (Dean et al., 1999). Retrospektive Simulationen können Ergebnisse liefern, die planerische Entscheide für die Zukunft liefern, so wie die gegenwärtige Wissenschaft auf den Erkenntnissen der Vergangenheit basiert und das Wissen der Menschheit von Generation zu Generation tradiert wird. Mit diesen Simulationen kann man aus

Erfahrungen lernen, die sonst unwiederbringlich verloren gewesen wären. Ebenfalls lassen sich aus den Ergebnissen solcher Simulationen Hypothesen darüber ableiten, warum bestimmte Ereignisse in der Vergangenheit eingetreten sind, was wiederum zur Formulierung von Theorien führen kann. Dies ist das Thema des nächsten Kapitels.

## 4 SIMULATION ZUR THEORIEBILDUNG

⇒ *Sozialwissenschaftliche Simulation ist ein Werkzeug, das es erlaubt, im Wechselspiel mit der Empirie Hypothesen und Theorien zu formulieren und zu bestätigen.*

Im Grunde genommen unterscheidet sich das methodische Vorgehen durch Simulation nicht stark von der klassischen Theoriebildung nach Popper. Zunächst gibt es eine Idee, aus der eine Hypothese formuliert wird. Zum Beispiel könnte man behaupten, dass Menschen, wenn sie eine natürliche Ressource nutzen, soziale Faktoren (z.B. das Verhalten der anderen) und ökologische Faktoren (z.B. den Zustand der Ressource) unterschiedlich stark bewerten. Diese Bewertung hängt wiederum von Eigenschaften der einzelnen Person ab (vgl. Mosler & Brucks, in prep.). Diese Hypothese wird nun in einem Modell der menschlichen Ressourcennutzung abgebildet und als lauffähige Simulation auf dem Computer implementiert. Sodann werden für die Simulation relevante Daten aus einer realen Population zu zwei Zeitpunkten gesammelt. Die Daten zum Zeitpunkt 1 dienen der Simulation als Input und werden nach den Regeln des vorgeschlagenen Modells verarbeitet. Die Daten zum Zeitpunkt 2 dienen als Referenz, d.h. sie werden mit statistischen Mitteln auf ihre Ähnlichkeit mit dem Output der Simulation geprüft. Ergeben sich Diskrepanzen, dann muss die Simulation und damit das Modell dahingehend modifiziert werden, dass eine bessere Übereinstimmung erreicht wird. Dieser Prozess muss solange wiederholt werden, bis der gewünschte Grad an Übereinstimmung erreicht worden ist. Was hier mit wenigen Worten beschrieben wurde, ist ein sehr aufwendiger Prozess, der nicht mit Sicherheit zum Erfolg führt. Mit Erfolg ist gemeint, dass die Simulation die Daten aus der Realität mit der gewünschten Genauigkeit replizieren kann und somit eine mögliche Erklärung für das Verhalten der untersuchten Sozietät liefert, also z.B. eine gültige Theorie über das menschliche Nutzungsverhalten einer natürlichen Ressource darstellt.

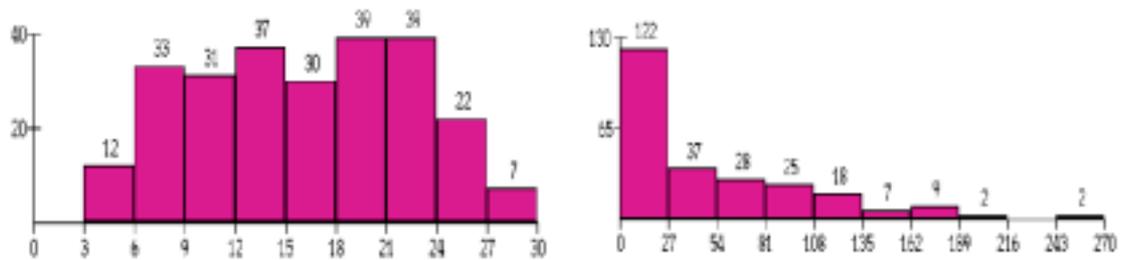
Einen Schritt weiter bezüglich Theoriebildung gehen die beiden mit Simulation arbeitenden Wissenschaftler Joshua M. Epstein und Robert Axtell. Sie statten ihre

künstlichen Lebewesen mit einfachsten Regeln aus, ohne dabei von einer bestimmten Hypothese auszugehen und beobachten anschliessend, was sich für Verhaltensmuster aus der Interaktion vieler solcher Individuen ergeben (Epstein & Axtell, 1996). Ihr Ansatz ist somit sozusagen bottom-up, denn sie lassen soziale Strukturen vollkommen neu entstehen. Sie bezeichnen ihre Simulation deshalb auch als ‚Compu Terrarium‘, eine Art Labor, in dem sie die individuellen Handlungsweisen der Individuen verändern können, um dann die daraus entstehenden kollektiven Phänomene zu beobachten:

*„Typically, we release an initial population of agent-objects into the simulated environment and watch for organization into recognizable macroscopic social patterns. The formation of tribes and the emergence of certain stable wealth distributions would be examples. Indeed the defining feature of an artificial society model is precisely that fundamental social structures and group behaviors emerge from the interaction of individual agents operating on artificial environments under rules that place only bounded demands on each agent’s information and computational capacity. The shorthand for this is that we „grow“ the collective structures „from the bottom up“.*

Die Welt, in der sich die simulierten Individuen bewegen, wird ‚Sugarscape‘ genannt, denn Zucker ist die Ressource, von der die Individuen leben. Sie wandern sozusagen in dieser Welt umher, sammeln Zucker und häufen ihn an. Sie sterben, wenn sie keinen Zucker mehr haben oder ihr individuelles Höchstalter erreicht haben. Dann werden sie durch ein neues Individuum ersetzt, das aber ihren Zuckervorrat nicht erbt. Lässt man die Simulation unter diesen einfachen Voraussetzungen laufen, stellt man fest, dass sich die Verteilung des Zuckers innerhalb einer Gruppe mit der Zeit stark verändert. Abbildung 3 gibt diese Veränderung wieder. Wie man sieht, entwickelt sich der Zuckerwohlstand der simulierten Gruppe von einer zu Beginn symmetrischen zu einer stark schiefen Verteilung. Gab es am Anfang wenig sehr Reiche und wenig sehr Arme, so gibt es am Ende der Simulation sehr viele Arme und nur noch ganz wenige sehr Reiche. Schiefe Verteilungen des Wohlstands sind den Autoren zufolge charakteristisch dafür, dass eine heterogene Gruppe von Agenten eine Ressource mit begrenzter Kapazität nutzt. Es ist bekannt, dass auch natürliche menschliche Gesellschaften eine solche schiefe Verteilung aufweisen und im Kontext des sogenannten Pareto-Gesetzes wird behauptet, dass ihre Entstehung sozusagen durch ein Naturgesetz bedingt wird (ebd.). Indem lokale Regeln verändert werden, können vielleicht Bedingungen gefunden werden, die das Muster auf der Makro-Ebene verändern, z.B. eine weniger schiefe Verteilung zur Folge haben. Um solche Manipulationen vorzunehmen, eignen sich insbesondere künstliche Gesellschaften wie der Sugarscape. So wie in diesem Beispiel die Bedingungen für ein ökonomisches

Phänomen untersucht wurden, können auch die Bedingungen untersucht werden, die zu anthropogen verursachten Umweltproblemen führen und es können unter Umständen Theorien formuliert werden, die zu deren Bewältigung beitragen<sup>4</sup>.



**Abbildung 3:** Die Verteilung des Wohlstands im Sugarscape. Links zu Beginn der Simulation eine symmetrische Verteilung. Rechts am Ende der Simulation eine stark schiefe Verteilung des Zuckerwohlstands. Auf der Horizontalen sind die Bereiche des individuellen Wohlstands abgetragen. Auf der Vertikalen sieht man die Anzahl Individuen der einzelnen Bereiche.

## 5 SIMULATION ALS PÄDAGOGISCHES INSTRUMENT

⇒ *In der Interaktion mit sozialwissenschaftlichen Computersimulationen können Menschen den Umgang mit realen Umweltproblemen üben und Strategien zu deren Bewältigung erlernen.*

Bisher war zum grössten Teil die Rede von Simulationen, die nur wissenschaftlich genutzt wurden. Sie alle brauchen einen Input, verarbeiten diesen und geben schliesslich neue Daten aus. Grundsätzlich wären sie also auch dazu geeignet, mit einem menschlichen Benutzer in permanente Interaktion zu treten, d.h. seine Handlungen wahrzunehmen (Input), diese nach den ihnen eigenen Regeln zu verarbeiten und schliesslich auf ihre Art und Weise darauf zu reagieren (Output). Nun werden wissenschaftliche Simulationen nicht zu diesem Zweck programmiert. Sie basieren oft auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und sind reine Laborsysteme. Die meisten von ihnen müssten daher stark modifiziert werden, um einen solchen Spielcharakter zu erhalten. Ein wichtiges Merkmal ist das Benutzer-Interface, also die Schnittstelle zwischen System und Benutzer. Es muss so gestaltet sein, dass auch ein naiver Benutzer, der von Computersprachen nichts versteht, mit der Simulation

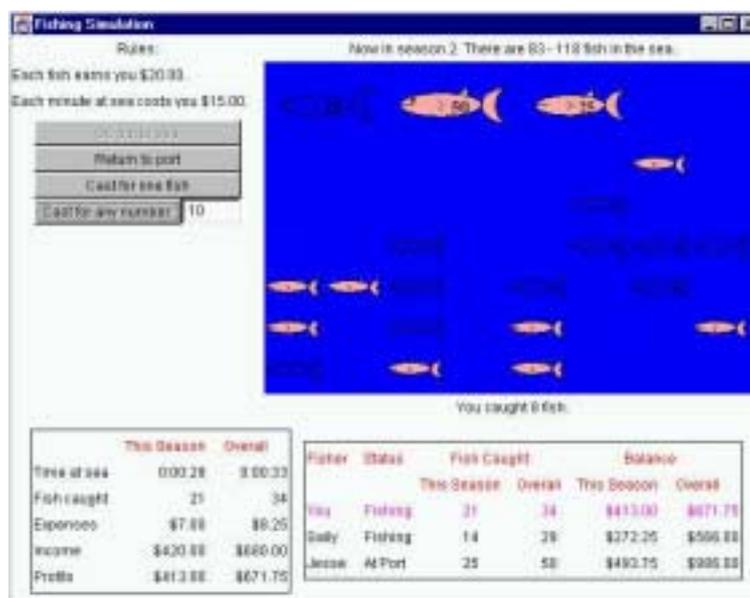
---

<sup>4</sup> Epstein und Axtell führen in ihrem Sugarscape tatsächlich auch die Umweltverschmutzung ein, indem sie die Individuen Emissionen freisetzen lassen.

interagieren kann. Im 2. Kapitel wurde die bekannte Spielsimulation ‚SimCity‘ erwähnt. Hier sieht der Benutzer nichts von der eigentlichen Simulation, also dem Quellencode, sondern er interagiert mit dem System über eine grafische Oberfläche, mit der er z.B. Häuser auf einer Landschaft verschieben kann. Die eigentliche Simulation ist für ihn eine Blackbox. Dass die spielerische Beschäftigung mit simulierten Systemen viel zu deren Verständnis beitragen kann, soll im weiteren an einigen Beispielen expliziert werden.

Dietrich Dörner zeigt in seinem bekannten Buch „Die Logik des Misslingens“ (Dörner, 1989) auf, dass es Menschen grundsätzlich schwerfällt, sich in komplexen Systemen zurechtzufinden und die dahinter liegenden Gesetzmässigkeiten zu erkennen, im besonderen, wenn keine linearen Zusammenhänge vorliegen, wie das bei komplexen Systemen ja häufig der Fall ist. Dazu lässt er seine Probanden z.B. die Geschicke eines afrikanisches Dorfes regeln, das als Simulation auf dem Computer implementiert ist. In einem solchen Spiel liegt zu Anfang ein Problem vor, das von den Probanden auf verschiedene Art und Weise angegangen werden kann, indem Befehle in den Computer eingegeben werden. Allerdings ist das Dorfsystem eben komplex, d.h. eine Aktion löst mehr als Reaktion aus und dies zum Teil mit zeitlicher Verzögerung. Dadurch entstehen Dynamiken, die von den Probanden weder beabsichtigt noch erwartet wurden. Ein Beispiel: Die hohe Säuglingssterblichkeit im Dorf wird dadurch bekämpft, dass die Hygiene verbessert wird. Diese Massnahme hat Erfolg und mit zeitlicher Verzögerung wächst die Dorfbevölkerung exponentiell an, was zu einer Wasserknappheit führt. Die Spielerin/der Spieler reagiert darauf, indem er/sie Brunnen bohren lässt, was auch erfolgreich durchgeführt wird. Nun sinkt aber der Grundwasserspiegel und die Wiesen beginnen zu verdorren, was dazu führt, dass die Rinder verhungern, was wiederum zu einer Hungerkatastrophe und einem erneuten Rückgang der Bevölkerung führt. Diese Dynamiken sind nicht frei erfunden, sie entsprechen den natürlich vorliegenden Gesetzmässigkeiten, und die Erfahrungen der Vergangenheit in der 3. Welt haben bekanntlich gezeigt, dass genau dieselben Fehler leider auch in der Realität begangen worden sind. Es ist anzunehmen, dass Menschen den Umgang mit einem solchen System erlernen können, wenn sie genug Zeit und Gelegenheit zum üben haben. Die komplexen Strukturen des Systems werden dabei nicht unbedingt erkannt, aber es entwickelt sich ein intuitives Verständnis für die vorliegenden Dynamiken.

Der Umgang mit einem komplexen ökologischen System kann mit der Simulation FISH des Psychologen Robert Gifford erlernt werden (Gifford & Wells, 1991). Die Simulation basiert auf dem klassischen ‚renewable resource paradigm‘, ist also eine konkrete Ausgestaltung eines Ressourcendilemmas. Als Spieler lebt man in dieser Simulation vom Fischfang. Man kann jede Fangsaison aufs Meer hinaus fahren und beliebig viel fischen und hat dabei natürlich auch laufende Kosten. Die Fischpopulation reproduziert sich von Saison zu Saison mit einer dem Spieler nicht bekannten Rate. Hinzu kommt, dass es noch konkurrierende Fischer gibt, die ebenfalls in diesen Fischgründen unterwegs sind. Entweder werden die anderen Fischer vom Computer simuliert oder aber, und das macht den Reiz der Simulation aus, man tritt gegen menschliche Gegner an, d.h. es sind mehrere Computer miteinander vernetzt, die jeder einzelne von einer Versuchsperson bedient werden. Gifford lässt Gruppen von Versuchspersonen spielen, sammelt die Daten und wertet diese aus. Häufiges Ergebnis ist, dass eine Gruppe von Spielern nicht in der Lage dazu ist, die Ressource Fisch nachhaltig zu bewirtschaften. Indem die Versuchsbedingungen manipuliert werden, sollen Faktoren gefunden werden, die eine nachhaltige Nutzung begünstigen. Zum Beispiel ist es eine extrem ungünstige Voraussetzung für die Bewirtschaftung der Ressource, wenn die Spieler keinen Kontakt zueinander haben, also vollständige Anonymität herrscht. Es wird dann hemmungslos gefischt. Bekommen die Spieler dagegen Gelegenheit, miteinander zu kommunizieren, dann sind sie als Gruppe viel eher in der Lage zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung, indem sie z.B. Abmachungen treffen oder Interessengemeinschaften gründen (vgl. Jorgenson & Papciak, 1981).



**Abbildung 4:** Das Benutzer-Interface von FISH. Dieses Bild sieht der Spieler auf dem Bildschirm. Er erhält Angaben über seinen gemachten Fang, seine Einnahmen, seine Ausgaben, seinen Gewinn und über die anderen Spieler.

Mit dieser Simulation werden zwei Fliegen mit einer Klappe geschlagen: Einerseits können echte Experimente durchgeführt werden, andererseits kann man von einem Aha-Erlebnis bei den Teilnehmern des Spiels ausgehen. Zu einem wissenschaftlichen Nutzen gesellt sich hier also noch ein pädagogischer.

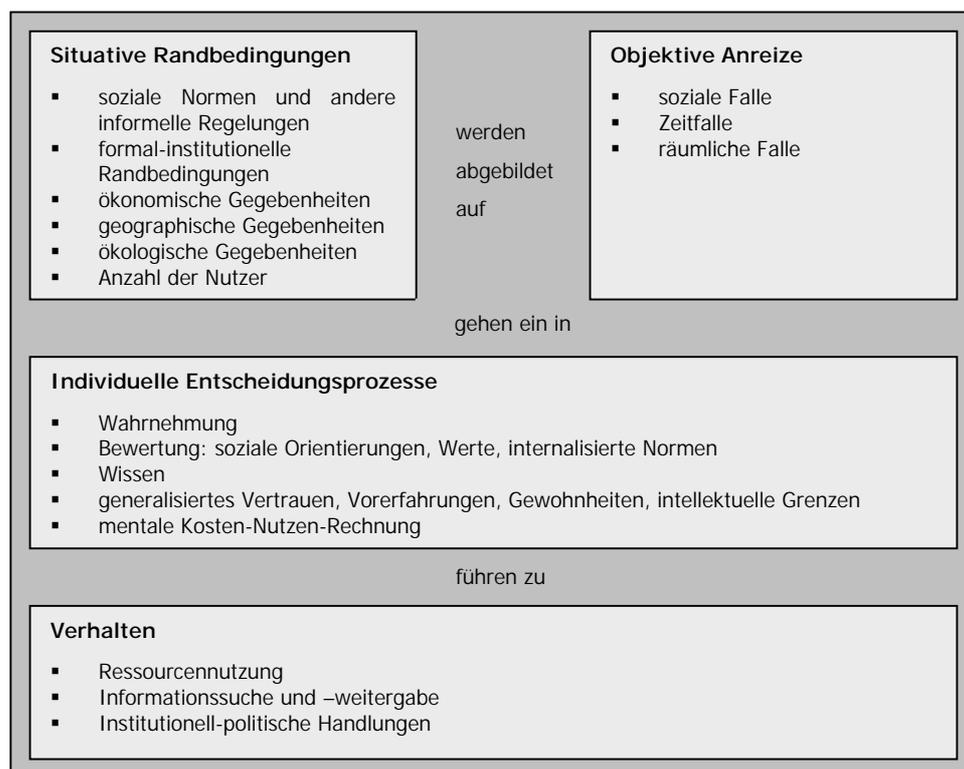
Ein noch tieferes Verständnis für die Funktionsweise eines Systems erhält natürlich derjenige, der nicht nur als Spieler mit einer Simulation umgeht, sondern selbst eine eigene Simulation schreibt. Dadurch werden Reaktionen nicht nur intuitiv erlernt, sondern die Mechanismen, die zum Verhalten des Systems führen, liegen vollkommen offen. Das Problem besteht allerdings darin, dass nicht jeder über die Fähigkeiten verfügt, eine Simulation zu schreiben und das Erlernen einer geeigneten Programmiersprache nicht einfach so nebenbei geschehen kann. Mit diesem Gedanken im Hinterkopf wurde am MIT (Massachusetts Institute of Technology) die Programmierumgebung ‚Starlogo‘ entworfen. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass es bereits eine fertige Welt gibt und auch Individuen, die sich in ihr bewegen können. Das einzige, was der Bediener tun muss, ist den Individuen (und auch der sie umgebenden Welt) Leben einzuhauchen, indem er sie mit Verhaltensregeln ausstattet. Zu Anfang braucht es bei aller Einfachheit doch eine ganze Menge Übung, bis man eigene Programme schreiben kann. Es ist das beste, sich am Anfang den Quellencode bereits bestehender Simulationen anzuschauen, ihn zu modifizieren und die Auswirkungen auf das Verhalten der Simulation zu betrachten. Es ist das erklärte Ziel von Starlogo, dem Programmierer das Verhalten komplexer Systeme näherzubringen, indem dieser selbst solche Systeme entwirft.

Ein Beispiel für eine solche Simulation mit Starlogo ist das Projekt „Rabbits“. Hier geht es um ein Ökosystem bestehend aus Hasen und Gras. Die Hasen laufen zufällig herum und das Gras wächst auch vollkommen zufällig. Wenn ein Hase auf Gras stösst, frisst er es und gewinnt dadurch Energie. Hat ein Hase einen bestimmten Betrag an Energie gesammelt, reproduziert er sich. Sammelt er nicht genug Energie, muss er sterben. Was man feststellt, wenn man diese Simulation laufen lässt, ist dass sich die Hasen zunächst stark vermehren, bis es fast kein Gras mehr hat, dann geht ihr Bestand wieder zurück, weil sie verhungern, und das Gras wächst nach. Der Zustand der Welt oszilliert zwischen einem Zustand mit viel Hasen und wenig Gras und viel Gras und wenig Hasen. Dies ist die typische Charakteristik für Räuber-Beute Systeme. Weiter stellt man fest, dass eine regenerierbare Ressource (hier Gras) eben nur eine gewisse Tragfähigkeit hat. Indem die Gesetze der Simulation verändert werden, kann Eingriff auf das Verhalten des Systems geübt werden. So wird es möglich, dass Menschen in einer Schöpfer-ähnlichen Rolle den Umgang mit komplexen ökologischen Systemen lernen.

## 6 SIMULATION UND INTERDISZIPLINÄRE FORSCHUNG

⇒ *Umweltforschung erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit. Diese wird durch den Einsatz von Computersimulation unterstützt.*

Die Wichtigkeit und der Wert von interdisziplinärer Zusammenarbeit in den Wissenschaften wird immer stärker betont. Viele neue Forschungsgebiete sind durch eine Disziplin alleine gar nicht mehr abzudecken, was vor allem auf die Sozialwissenschaften zutrifft. Eines dieser Gebiete ist die Forschung im Umweltbereich. Andreas M. Ernst erklärt dies am Beispiel des Allmende-Dilemmas, indem er aufzeigt, dass verschiedene Disziplinen in der Vergangenheit auf ganz unterschiedlichen Ebenen an das Umweltproblem herangegangen sind, was nicht zuletzt auch zu grossen Missverständnissen geführt hat (Ernst, 1998). Er hat versucht, die Beiträge der verschiedenen Disziplinen in einem heuristischen Modell zu ordnen (vgl. Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Von der Allmende-Dilemma-Situation zum menschlichen Handeln. Schematische Darstellung der vier Ebenen, auf denen jeweils methodisch unterschiedliche Zugriffe auf die Allmende-Problematik erfolgen können (Ernst, 1998).

Nun können die ihrem jeweiligen Methodeninventar entsprechenden unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen der am Allmende-Dilemma interessierten Disziplinen in die vorgestellten Ebenen eingeordnet werden. Ethnologie, Kulturanthropologie und

Kulturgeographie legen ihr Hauptaugenmerk auf die situativen Randbedingungen und das beobachtbare Verhalten. Die Analysen der theoretischen Ökonomie beziehen sich auf die objektiven Anreize. Die experimentelle Ökonomie und die Psychologie haben gemeinsam, dass sie die Voraussetzungen auf der Ebene der individuellen Entscheidungen für wichtig erachten. Diese theoretischen Überlegungen werden ergänzt durch ein konkretes Projekt, in dem die Ressourcennutzung in einer Feldstudie im Tonga-Archipel untersucht wurde. Wegen der gleichzeitigen Wirksamkeit institutioneller, kultureller und individueller Faktoren arbeiteten in diesem Projekt Forscher der Disziplinen Psychologie, Ethnologie und Ökonomie zusammen (Ernst et al., 1998). Hiermit sollte zunächst einmal gezeigt werden, dass die Umweltforschung ein Paradebeispiel für ein Forschungsgebiet ist, in dem interdisziplinäre Zusammenarbeit von Vorteil ist.

In einem interdisziplinären Projekt der Umweltforschung, wie es oben ganz kurz angedeutet wurde, werden von den verschiedenen Disziplinen vollkommen unterschiedliche methodische Zugänge angewandt. Die Methode der sozialwissenschaftlichen Computersimulation könnte jedoch für alle beteiligten Disziplinen einen gemeinsamen Nenner darstellen, denn sie ist von Haus aus keiner Disziplin direkt zuzuordnen und wurde schon immer von Forschern aller Disziplinen mehr oder weniger rege benutzt. Ein gewaltiger Vorteil des Einbezugs von Computersimulation in einem interdisziplinären Projekt ist geradezu der Zwang zum gemeinsamen Nenner. Will man die Erkenntnisse verschiedener Disziplinen in einer Simulation vereinen, so müssen gemeinsame Konzepte gefunden werden, denn die einzelnen Teile einer Simulation hängen immer voneinander ab und tauschen Informationen aus. Die formelle Sprache der Simulation erlaubt es nicht, vage Begriffe zu formulieren. So wird der Zwang zur Genauigkeit, den Computersimulationen mit sich bringen, zu einer Tugend, denn es müssen Kompromisse an den interdisziplinären Grenzen gefunden werden.

Betrachtet man die in dieser Arbeit vorgestellten Simulationsprojekte, so fällt auf, dass einige von ihnen interdisziplinärer Natur waren. Als in dieser Beziehung herausragendes Beispiel sei noch einmal das Projekt „Anasazi“ aus dem 3. Kapitel erwähnt. Das Forscherteam besteht insgesamt aus 7 Personen aus den unterschiedlichsten Disziplinen: Zwei Anthropologen, der eine arbeitet auf dem Gebiet der Dendroklimatologie, hat also die Rekonstruktion von altertümlichen Umwelten und deren Auswirkungen zum Ziel (Jeffrey S. Dean), der andere interessiert sich für Populationen und ihre Gesundheit in historischen und gegenwärtigen Umgebungen (Alan C. Swedlund); Ein Archäologe, der sich auch mit Computersimulationen und der Erforschung von Komplexität beschäftigt (George J. Gumerman); Zwei Ökonomen,

einer davon mit dem Spezialgebiet Umweltökonomie (Joshua M. Epstein und Robert Axtell); Ein Software-Ingenieur (Miles T. Parker) und ein weiterer Autor, dessen Disziplin leider nicht erwähnt wird (Steven McCarroll). Anhand dieser Aufzählung sollte exemplarisch gezeigt werden, dass interdisziplinäre Forschung auf der Basis von Computersimulation nicht nur möglich sondern realistisch und m.E. aus den weiter oben genannten Gründen auch wünschenswert ist. Insbesondere in der Umweltforschung könnte eine interdisziplinäre Anwendung der sozialwissenschaftlichen Computersimulation von grosser Bedeutung sein.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

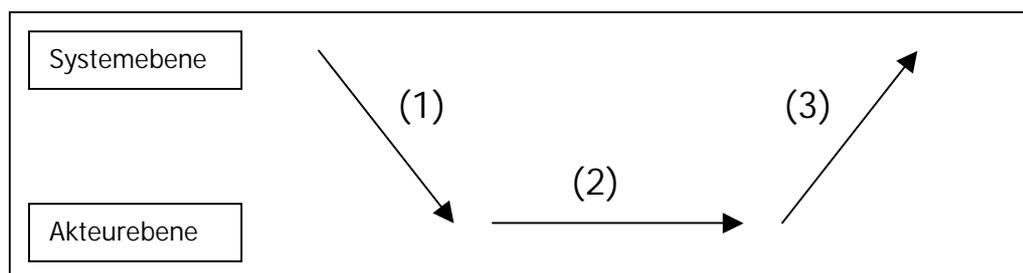
In dieser Arbeit wurden 5 Thesen aufgestellt und an Beispielen diskutiert, mit denen die Behauptung gerechtfertigt werden soll, dass sozialwissenschaftliche Computersimulation einen Beitrag zum Verständnis und zur Bewältigung von anthropogen verursachten Umweltproblemen leisten kann. Die 5 Thesen folgen noch einmal im Überblick:

- ⇒ *Mit Computersimulation können komplexe ökologische Systeme und ihre Eigenschaften zugänglich gemacht werden, was eine bessere Erforschung dieser Systeme möglich macht.*
- ⇒ *Mit Hilfe der Computersimulation kann das Verhalten von realen Systemen teilweise vorausgesagt werden, was die Planung von Prozessen oder das Design von solchen Systemen erleichtert.*
- ⇒ *Sozialwissenschaftliche Simulation ist ein Werkzeug, das es erlaubt, im Wechselspiel mit der Empirie Hypothesen und Theorien zu formulieren und zu bestätigen.*
- ⇒ *In der Interaktion mit sozialwissenschaftlichen Computersimulationen können Menschen den Umgang mit realen Umweltproblemen üben und Strategien zu deren Bewältigung erlernen.*
- ⇒ *Umweltforschung erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit. Diese wird durch den Einsatz von Computersimulation unterstützt.*

Die Reihenfolge, in der die Thesen in dieser Arbeit vorgestellt wurden, stellt keine Ordnung nach ihrer Priorität dar. Die Inhalte der einzelnen Thesen sind auch nicht unabhängig voneinander, so könnte man eigentlich an jedem Forschungsprojekt, in dem Simulation als Methode eingesetzt wird, den Wahrheitsgehalt dieser Thesen

prüfen. Mit anderen Worten stellen diese Thesen m.E. eine Reihe von Vorteilen dar, die es mit sich bringt, Simulation in den Sozialwissenschaften als Methode anzuwenden. Es sollte gezeigt werden, dass dies ganz besonders für den Bereich der Umweltforschung gilt. Nun muss einschränkend angemerkt werden, dass es sich bei den in dieser Arbeit zum Teil vorgestellten Simulationen nicht immer um echte sozialwissenschaftliche, sondern teilweise um rein technische Simulationen handelt, die aber im Bereich der Sozialwissenschaften Anwendung finden. Der Grund dafür ist, dass sich die Simulation, trotz eines allgemeinen Booms, in den Sozialwissenschaften erst peripher etabliert hat. Von Soziologen wird sie schon seit längerem angewandt, allen voran in Europa von Nigel Gilbert von der Universität Surrey (GB), der bereits eine Reihe von Büchern zu diesem Thema veröffentlicht hat und die jährlichen Treffen der sozialen Simulierer organisiert.

Es wäre natürlich wünschenswert, dass sich diese Entwicklung fortsetzt und schliesslich dahin gelangt, dass Simulation ein integrierter Bestandteil des Methodeninventars von Sozialwissenschaftlern wird. Gerade die neueren Strömungen innerhalb der sozialwissenschaftlichen Simulation, nämlich die ‚agent-based-simulation‘ ist höchst kompatibel mit dem zur Zeit in den Sozialwissenschaften populären ‚rational choice paradigma‘ oder mit dem in der Soziologie bekannten Postulat des ‚methodischen Individualismus‘ (Coleman, 1994). Dieser kann schematisch anhand dreier Relationen beschrieben werden: (1) die Effekte von Systemeigenschaften auf individuelle Orientierungen; (2) die Handlungen von Individuen, wobei diesen Rationalität unterstellt wird; (3) die Kombination von Handlungen in einer Art institutioneller Struktur mit sichtbaren Folgen auf der Systemebene (vgl. Abbildung 6).



**Abbildung 6:** Typen von Relationen bei der soziologischen Anwendung der ‚rational choice theory‘ (Coleman, 1994). Erklärungen im Text.

Mit der Unterscheidung zwischen Akteurebene (Mikroebene) und Systemebene (Makroebene) operieren auch die Agenten basierten Simulationen. Die Agenten (Akteure) werden mit wenig einfachen Verhaltensregeln ausgestattet und verfügen nur über begrenzte Informationen, d.h. die Regeln der Simulation sind lokal auf die Mikroebene begrenzt. In der Interaktion mit anderen Akteuren entstehen aber globale Verhaltensmuster auf der Makroebene, die sich allein aus den lokalen Regeln nicht erklären lassen. Das heisst, das aggregierte individuelle Verhalten der Akteure auf der Mikroebene produziert ein Systemverhalten auf der Makroebene und dieses wirkt wiederum zurück auf die Handlungsweise der Agenten, wenn diese in der Lage dazu sind, ihre Umwelt wahrzunehmen und darauf zu reagieren.

Sozialwissenschaftliche Simulation, im speziellen agenten-basierte Simulationsmodelle eignen sich deshalb ganz besonders dazu, gesellschaftliche Phänomene, so auch die Bearbeitung von Umweltproblemen, im Lichte aktueller soziologischer Theorien, z.B. der Theorie des rationalen Handelns, zu betrachten. Deshalb ist die Zeit gekommen, dass die Simulationsmethode breitere Anwendung in den Sozialwissenschaften findet. Ein wichtiger Schritt dorthin wäre ein Angebot innerhalb der universitären Methodenausbildung.

## 8 LITERATUR

- Berkes, F., Feeny, D., McCay, B. J. & Acheson, J. M. (1989). The benefits of the commons. *NATURE*, 340, 91-93.
- Casti, J. L. (1997). *Would-Be Worlds*. New York: John Wiley & Sons.
- Coleman, J. S. (1994). A Rational Choice Perspektive on Economic Sociology. In N. J. Smelser & R. Swedberg (Eds.), *The Handbook of Economic Sociology*. New York: Russel Sage.
- Dean, J. S., Gumerman, G. J., Epstein, J. M., Axtell, R., Swedlund, A. C., Parker, M. T. & McCaroll, S. (1999). Understanding Anasazi Culture Change Through Agent-Based Modeling. In T. A. Kohler & G. J. Gumerman (Eds.), *Dynamics of Human and Primate Societies: Agent-Based Modeling of Social and Spatial Processes*. New York: Oxford University Press.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Dörner, D. (1996). Der Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität und der Gebrauch von Computersimulationen. In A. Diekmann & C. Jaeger, C. (Eds.), *Umweltsoziologie* (Sonderheft 36, pp. 489-515). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Epstein, J. M. & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. London: MIT Press.
- Ernst, A. M. (1997). *Ökologisch-soziale Dilemmata: psychologische Wirkmechanismen des Umweltverhaltens*. Weinheim: Beltz, Psychologische-Verlags-Union.
- Ernst, A. M. (1998). Umweltwandel und Allmende-Problematik. *GAIA*, 7(4), 251-254.
- Ernst, A. M., Eisentraut, R., Bender, A., Kägi, W., Mohr, E., & Seitz, S. (1998). Stabilisierung der Kooperation im Allmende-Dilemma durch institutionelle und kulturelle Rahmenbedingungen. *GAIA*, 7(4), 271-278.
- Forrester, J. W. (1971). *World Dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gifford, R. & Wells, J. (1991). FISH: A Commons Dilemma Simulation. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 23(3), 437-441.
- Gilbert, N. & Troitzsch, K. (1999). *Simulation for the Social Scientist*. (1 ed.). Buckingham, PA: Open University Press.

- Harbordt, S. (1974). *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248.
- Hine, D. W. & Gifford, R. (1991). *The Commons Dilemma. A Quantitative Review*. (Konferenzbeitrag). Calgary: Canadian Psychological Association.
- Jorgenson, D. O. & Papciak, A. S. (1981). The effects of communication, resource feedback, and identifiability on behavior in a simulated commons. *Journal of Experimental Social Psychology*, 17(4), 373-385.
- Mosler, H. J. & Brucks, W. M. (in prep.). *Integrating commons dilemma findings in a simulation model*. , Universität Zürich, Zürich.
- Mosler, H. J. & Tobias, R. (in prep.). Organisieren kollektiver Aktionen durch Beeinflussung des individuellen Teilnahmeentscheids. Eine Simulationsstudie. *Eingereicht bei Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*.
- Renn, O. (1996). Rolle und Stellenwert der Soziologie in der Umweltforschung. In A. Diekmann & C. C. Jaeger (Eds.), *Umweltsoziologie* (Sonderheft 36 der Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, pp. 28-58). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Schelling, T. C. (1969). Models of Segregation. *American Economic Review*, 59, 488-493.
- Schelling, T. C. (1971). Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1, 143-186.
- Sieferle, R. P. (1998). Wie tragisch war die Allmende? *GAIA*, 7(4), 304-307.
- van Dijkum, C., deTombe, D. & van Kuijk, E. (Eds.). (1999). *Validation of Simulation Models*. Amsterdam: SISWO.
- www-Quelle-A. (07.03.00). Individual Based Fish Modeling At Humboldt State University. <http://weasel.cnrs.humboldt.edu/~simsys/>.
- www-Quelle-B. (07.03.00). Electronic Tools for Community Sustainability: The Environmental Simulation Center. <http://cpcug.org/user/dcf/esc.html>.

## 9 ANHANG

<http://www.brook.edu/SUGARSCAPE/>

Auf dieser Site des Brookings Institut befindet sich die Beschreibung von Sugarscape. An diesem Institut, das sich vorwiegend mit politischen und strategischen Fragen beschäftigt, arbeiten auch die Autoren von Sugarscape.

[http://www.tu-harburg.de/tbg/SPP/Start\\_SPP.html](http://www.tu-harburg.de/tbg/SPP/Start_SPP.html)

Hier befindet sich die Homepage des neuen Forschungsprogramms „Sozionik“, welches sich an der Schnittstelle der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI) und der Soziologie befindet. Die beteiligten Forscher interessieren sich sowohl für den Einsatz von Methoden der VKI bei Simulationen in der Soziologie, wie auch für soziologische Konzepte und Theorien, die beim Bau von Multi-Agenten Systemen behilflich sein können.

<http://www.cpm.mmu.ac.uk/abss/>

Site der Special Interest Group für Agent Based Social Simulation. Diese Gruppe wird durch das Information Technologies Program der EU (ESPRIT) unterstützt.

<http://www.swarm.org>

Hier kann die Simulationssoftware SWARM unentgeltlich bezogen werden. Diese Homepage bildet allgemein eine Plattform für den Informationsaustausch von Forschern, die mit SWARM arbeiten.

<http://www.uni-koblenz.de/~kgt/Learn/Textbook/>

Die online Version von „Simulation for the Social Scientist“

<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/JASSS.html>

Homepage der Online-Zeitschrift „Journal of Artificial Societies and Social Simulation“

<http://www.uni-koblenz.de/~kgt/>

[http://www.soc.surrey.ac.uk/staff/nigel\\_gilbert.html](http://www.soc.surrey.ac.uk/staff/nigel_gilbert.html)

Die Homepages von Klaus G. Troitzsch und Nigel Gilbert. Sie sind die Herausgeber von „Simulation for the Social Scientist“ und Mitbegründer von „Journal of Artificial Societies and Social Simulation“. Beide Forscher gehören zu den grossen Verfechtern von Simulationen in den Sozialwissenschaften.

<http://www.socresonline.org.uk/threads/simul/simul.html>

Diskussionsforum von „Sociological Research Online“ zum Thema Modellierung und Simulation in der Soziologie

<http://el.www.media.mit.edu/groups/el/Projects/starlogo/>

Am MIT wurde StarLogo von Mitchel Resnick ins Leben gerufen mit dem Ziel eine Software zur Verfügung zu stellen mit deren Hilfe man dezentrale Systeme und emergente Phänomene spielerisch kennenlernen und erforschen kann. Diese Programmiersprache wird u.a. auch von der Tufts University (<http://www.ccl.tufts.edu/cm/>) mit ähnlichen Zielen weiterentwickelt und propagiert.

<http://www.soc.surrey.ac.uk/research/simsoc/cress.html>

Site des Centre for Research on Simulation in the Social Sciences an der Universität Surrey in England.

<http://www.santafe.edu>

An dieser Forschungsinstitution wurde SWARM entwickelt. Dieses private Institut hat sich zum Ziel gesetzt, neue multidisziplinäre Forschungsrichtungen zu entwickeln, wo Wissenschaftler aus den unterschiedlichsten Gebieten (Physik, Biologie, Ökonomie, Psychologie) zusammenarbeiten. Auch hier sollen die Resultate zur Lösung von Problemen in komplexen, adaptiven Systemen unterschiedlichster Herkunft beitragen.

<http://www.pscs.umich.edu//psc.html>

„Program for the Study of Complex Systems“ ist eine neue Einrichtung der University of Michigan zur Förderung der interdisziplinären Forschung bzw. Ausbildung im Bereich der nichtlinearen, dynamischen, adaptiven Systeme und ist einer der wenigen Universitäten, die zu diesem Thema einen eigenen Studiengang anbieten.