

Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenentscheidungen

Dissertation zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades
der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von:
Tilman A. Schenk
aus Würzburg

Würzburg, im Dezember 2006

Inhalt

Danksagung	V
Erklärung	VI
Lebenslauf	VII
Kurzfassung	IX
Summary	XI
Vorspann	XIII
1 Zum Einstieg	1
1.1 Motivation und Ziele der Arbeit	1
1.2 Stand der Forschung: MAS in der Geographie	4
1.2.1 Siedlungsstrukturen, urbane Systeme und Verkehr	4
1.2.2 Konsumentenentscheidungen	10
1.2.3 Weitere Verwendungen	12
1.3 Gliederung der Arbeit	13
2 Räumliche Abbilder menschlichen Handelns	14
2.1 Verhalten, Handeln, Entscheiden	14
2.1.1 Verhaltensorientierte Geographie	15
2.1.2 Mikrogeographie	22
2.1.3 Handlungstheorie	25
2.1.4 Institutionentheorie	27
2.1.5 Bewertung und Standortbestimmung	28
2.2 Systematik der Modelle menschlichen Handelns im Raum	29
2.2.1 Gravitations- und Potenzialmodelle	31
2.2.2 Diskrete Entscheidungsmodelle	33
2.3 Einkaufen: Handeln oder Verhalten?	34
3 Agentenbasierte Simulation für geographische Phänomene	36
3.1 Allgemeine Einführung: Motivation und Verfahrensweisen	36
3.2 Multiagentensysteme und agentenbasierte Modellierung	38
3.2.1 Begrifflichkeiten	38
3.2.2 Idee der Agentensimulation	40
3.2.3 Agentensimulation und Raum	41
3.2.4 Handlungsregeln der Agenten und der Umwelt	42
3.2.5 Anforderungen für verschiedene Maßstabsebenen	45
3.2.6 Verifikation / Validation	46
3.3 Plädoyer für den Einsatz von MAS in den Sozialwissenschaften	48

4 Die Region Umeå (Schweden)	50
4.1 Datenbeschreibung und -aufbereitung	50
4.1.1 Daten der Nachfrageseite	50
4.1.2 Daten der Angebotsseite	52
4.2 Datenanalyse und –visualisierung	53
4.2.1 Lage und Struktur	53
4.2.2 Demographische und sozioökonomische Aspekte der Bevölkerung	54
4.2.2.1 Soziodemographie: Bevölkerungsstruktur und –verteilung	54
4.2.2.2 Sozioökonomie: Erwerbstätigkeit und Einkommensstruktur	57
4.2.2.3 Mobilität: Pendlerverflechtungen und Kaufkraftströme	59
4.2.3 Aktuelle Trends im Lebensmitteleinzelhandel	61
4.2.3.1 Versorgungsgrad	61
4.2.3.2 Betriebsformenwandel	63
4.2.3.3 Standorte	64
5 Ein Modell zur Simulation individueller Einkaufsent-	67
scheidungen	
5.1 Operationalisierung der Nachfrageseite	68
5.2 Operationalisierung der Angebotsseite	70
5.3 Modellspezifikation	72
5.3.1 Initiale Modellannahmen	72
5.3.2 Modellierung der Nachfrage-Angebot-Interaktionen	74
5.4 Umsetzung des Modells in der Simulation	76
5.4.1 Das Simulationsshell SeSAM	76
5.4.2 Implementierung der Modellakteure als Agenten	77
5.4.3 Schritte der Simulation	77
5.5 Sensitivitätsanalyse und Abgleich mit der Empirie	79
5.5.1 Vergleich mit der Empirie und Festlegung eines Gütemaßes	80
5.5.2 Herausforderungen bei der Kalibrierung	81
5.5.3 Die Geschäftsattribute im Entscheidungsprozess	84
5.5.4 Distanzen und Präferenzen: Individualisierung des Modells	86
5.5.5 Wahrnehmungsfunktionen	87
5.5.5.1 Einführung und Wahl der Funktionsform	87
5.5.5.2 Ein automatisiertes Verfahren zur Parameterbestimmung	89
5.5.5.3 Globale und individuelle Wahrnehmungsfunktionen	90
5.5.5.4 Der Sonderfall der Distanz	91
5.5.6 Einkaufsbiographien	94
5.5.6.1 Bewohner des Ländlichen Raums	95
5.5.6.2 Pendler	96
5.5.6.3 Stadtbewohner	98
5.5.6.4 Bewertung	99
5.5.7 Standorte und Gebietseinheiten	100
5.6 Endstand des Modells	103

6 Modellieren und Simulieren auf verschiedenen Maß-	105
stabsebenen	
6.1 Diskussion um Mikro- und Makromodelle	105
6.2 Diskreter Entscheidungsansatz und Potenzialansatz	106
6.2.1 Formaltheoretische Überführung	106
6.2.2 Ergebnisvergleich eines Mikro- und Makromodells	109
6.3 Simulation mit aggregierten Ausgangsdaten	110
6.3.1 Räumliche Aggregation	110
6.3.2 Inhaltliche Aggregation	112
6.3.3 Auswirkungen auf das Modellergebnis	114
6.4 Fazit zum Aggregatsproblem	117
7 Weitergehende Experimente	119
7.1 Prognose	119
7.1.1 Prognose 2004	120
7.1.2 Prognose 2015	123
7.2 Abschätzung von Verkehrsaufwänden	127
7.3 Modellieren mit Beliefs	130
7.4 Modellieren von Netzwerken	132
7.5 Hybride Konsumenten	134
8 Ausblick und Forschungsbedarf	138
8.1 Übertragbarkeit	138
8.2 Aufgaben für die Zukunft	140
8.2.1 Methodischer Forschungsbedarf	140
8.2.2 Weitere Einsatzmöglichkeiten	141
8.3 Zum Mitnehmen	143
9 Quellen und Literatur	145
10 Anhang	154
10.1 Fragebogen der Konsumentenbefragung (2002)	154
10.2 Erläuterungen zu den Variablen der LOUISE-Daten	156
10.3 Daten für die Lebensmittelgeschäfte	157
10.3.1 Daten aus der Arbeitsstellenstatistik	157
10.3.2 Daten aus eigener Erhebung	158
10.4 Abbildungsverzeichnis	158
10.5 Publikationsverzeichnis	161

Danksagung

Ich danke:

- Meinen Eltern, die mir besonders in den schwierigen Phasen dieser Dissertation viel Halt gaben;
- Prof. Dr. Günter Löffler, der mich für diese Arbeit begeisterte, mir immer wieder den nötigen Antrieb gab – und der uns viel zu früh verlassen musste;
- Prof. Dr. Jürgen Rauh, der nach diesem tragischen Ereignis ohne Zögern die Betreuung dieser Arbeit übernahm und viel konstruktive Kritik und viele nützliche Hinweise zu früheren Versionen dieses Textes beigetragen hat;
- PD Dr. Ralf Klein für seine Bereitschaft zur Erstellung eines Zweitgutachtens;
- Den Kooperationspartnern im Projekt, allen voran Dr. Franziska Klügl, Prof. Dr. Frank Puppe und Manuel Fehler (alle Lehrstuhl für Künstliche Intelligenz, Institut für Informatik, Universität Würzburg) für ihre technische Unterstützung und ihre Beiträge als hartnäckige Diskussionspartner;
- Prof. Dr. Einar Holm, Dr. Urban Lindgren (Kulturgeografiska institutionen, Umeå universitet) und Dr. Kirsten Holme (Spatial Modelling Centre, Kiruna) für die Bereitstellung der Daten, die Unterstützung bei ihrer Verarbeitung und ihre Gastfreundschaft in Nordschweden;
- Daniel Schrödl, der mir am Arbeitsplatz eine große moralische Stütze war und mich immer wieder aus neuer Perspektive auf die Dinge schauen ließ;
- Den Hilfskräften und Diplomanden im Projekt in der Reihenfolge ihres Erscheinens: Philip Ulrich, Werner Weigelt, Eva Hartmann, Tanja Credner und Simone Schnorr sowie den Kartographen Julia Breunig und Winfried Weber für die vielen kleinen guten Taten.

Das Forschungsvorhaben wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich diese Dissertation selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Die Dissertation ist in gleicher oder anderer Form in keinem anderen Prüfungsverfahren vorgelegt worden.

Ich habe früher außer den mit dem Zulassungsgesuch urkundlich vorgelegten Graden keine weiteren akademischen Grade erworben oder zu erwerben versucht.

Würzburg, im Dezember 2006

Tilman A. Schenk

Kurzfassung

Städte sehen sich in der Entwicklung ihres Einzelhandelsangebots zunehmend Konkurrenzsituationen zwischen traditionellen Innenstadt- und neu entstehenden Stadtrandlagen ausgesetzt, die einerseits die gestiegenen Flächen- und Produktivitätsansprüche der Unternehmen eher erfüllen, während andererseits Bürger, Politik und etablierter Handel ein ‚Aussterben‘ der Innenstädte befürchten. Die Konsequenzen planerischer Entscheidungen in dieser Hinsicht abzuschätzen, wird zunehmend komplexer. Dafür sind ebenso eine stärkere Individualisierung des Konsumverhaltens verantwortlich, wie eine gestiegene Sensibilität gegenüber Verkehrs- und Emissionsbelastungen. Modellierungen und Simulationen können einen Beitrag zu fundierter Entscheidungsfindung leisten, indem sie durch Prognosen von Szenarien mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen solche Auswirkungen aufzeigen.

In der Vergangenheit wurden Kaufkraftströme durch Modelle abgebildet, die auf aggregierten Ausgangsdaten und Analogieschlüssen zu Naturgesetzen (Gravitations-, Potenzialansatz) oder nutzentheoretischen Annahmen (Diskreter Entscheidungsansatz) beruhten. In dieser Arbeit wird dafür erstmals ein agentenbasierter Ansatz angewendet, da sich so individuelle Ausdifferenzierungen des Konsumentenhandelns wesentlich leichter integrieren und Ergebnisse anschaulicher präsentieren lassen. Ursprünglich entstammt die Idee zur Agententechnologie einem Forschungsfeld der Informatik, der Künstlichen Intelligenz. Ziel war hier, Algorithmen zu entwickeln, die aus einer Menge von kleinen Softwarebausteinen bestehen, die zur Lösung eines Problems miteinander in Kommunikation treten und sich selbst zielbezogen anordnen. Somit schreibt sich der Algorithmus im Grunde selbst. Dieses Konzept kann in den Sozialwissenschaften als Modellierungsparadigma genutzt werden, insofern als dass sie der Idee der Selbstorganisation von Gesellschaften recht nahe kommt. Insbesondere zeichnen sich Multiagentensysteme durch eine dezentrale Kontrolle und Datenvorhaltung aus, die es darüber hinaus ermöglichen, auch komplexe Systeme von Entscheidungsprozessen mit wenigen Spezifikationen darzustellen. Damit begegnet der Agentenansatz vielen Einwänden gegen Analogie- und Entscheidungsmodelle. Durch die konsequente Einnahme einer individuenbezogenen Sichtweise ist die individuelle Ausdifferenzierung von Entscheidungsprozessen viel eher abbildbar.

Für das Forschungsprojekt konnten für einen Untersuchungsraum in Nordschweden (Funktionalregion Umeå, ca. 140.000 Einwohner) individuenbezogene Einwohnerdaten verfügbar gemacht werden. Diese enthielten u.a. Lagekoordinaten des Wohn- und Arbeitsorts, Alter, Geschlecht, verfügbares Einkommen und Angaben zur Haushaltsstruktur. Verbunden mit Erkenntnissen aus empirischen Untersuchungen (Konsumentenbefragung, Geschäftskartierung) stellten sie die Eingabegrößen für ein agentenbasiertes Modell der Einkaufsstättenwahl bei der Lebensmittelversorgung dar. Die Konsumentenbefragung stellte regressionsanalytische Abhängigkeiten zwischen sozioökonomischen Daten und Konsumpräferenzen bezüglich einzelner Geschäftsattribute (Preisniveau, Produktqualität, Sortimentsbreite, Service etc.) her, die gleichen Attribute wurden für die Geschäfte erhoben. Somit können Kaufkraftströme zwischen Einzelelementen der Nachfrage (individuelle Konsumenten) und des Angebots (einzelne Geschäftsstandorte) als individuell variierende Bewertung der Geschäfte durch die Agenten in folgender Form dargestellt werden, gemäß derer die Agenten ihre lebensmittelelevante Kaufkraft auf die Geschäfte verteilen:

$$W_{a,i} = \frac{1}{d_{a,i}} \sum_k P_{i,k} * A_{a,k} \quad (0.1)$$

mit $W_{a,i}$: Bewertung einer Entscheidungsalternative a aus Sicht des Entscheiders i ; $P_{i,k}$: Gewicht (Präferenz) des Entscheiders i für Kriterium k ; $A_{a,k}$: Attributwert der Alternative a für Kriterium k , $d_{a,i}$: Distanz zwischen einer Entscheidungsalternative a und Entscheider i

Da auf der Angebotsseite die Umsätze der Geschäfte ebenso bekannt sind, können die Summen der von den Agenten dort allozierten Kaufkraftbeträge mit denselbigen verglichen werden. Dies erlaubt die Quantifizierung einer Schätzgüte für die Geschäftsumsätze mittels eines Gütemaßes:

$$R^{(2)} = 1 - \frac{\sum_g (U_{\text{geschätzt},g} - U_{\text{real},g})^2}{\sum_g U_{\text{real},g}^2} \quad (0.2)$$

mit $U_{\text{geschätzt},g}$: geschätzter Umsatz des Geschäfts g , $U_{\text{real},g}$: realer, an die Kaufkraft angepasster Umsatz des Geschäfts g ; $R^{(2)} \in]-\infty; 1]$

Für die Geschäfte der gesamten Region konnten Gütemaßwerte bis 0,7 erreicht werden, für einzelne Betriebsformate auch über 0,9. Dies zeigt, dass auch bei der Verwendung individuenbezogener Modelle, die mit einer deutlich höheren Anzahl Freiheitsgraden behaftet sind als ihre aggregierten Gegenstücke, hohe Prognosequalitäten für Umsatzschätzungen von Standorten erreicht werden können. Gleichzeitig bietet der Agentenansatz die Möglichkeit, einzelne Simulationsobjekte bei ihrer Entscheidungsfindung und ihren Aktivitäten zu verfolgen. Dabei konnten ebenfalls plausible Einkaufsmuster abgebildet werden.

Da die Distanz vom Wohn- bzw. Arbeitsort zum Geschäft Bestandteil des Modells ist, können auch die von den Einwohnern zum Zweck der Grundversorgung zu leistenden Distanzaufwände in verschiedenen Angebotssituationen analysiert werden. Als Fallstudie wurde ein Vergleich von zwei Situationen 1997 und 2004 vorgenommen. Während dieses Zeitraums haben im Untersuchungsgebiet grundlegende Veränderungen der Einzelhandelsstruktur stattgefunden, die zu einem weitgehenden Rückzug des Angebots aus den peripheren ländlichen Gebieten geführt haben. Die Ergebnisse zeigten eine hohe Übereinstimmung mit den auf nationaler Ebene erhobenen Mobilitätsdaten, ließen aber auch einen differenzierten Blick auf die unterschiedliche Betroffenheit der Einwohner der Region zu.

An agentenbasierte Simulationen werden in den Sozialwissenschaften große Erwartungen geknüpft, da sie erstmals ermöglichen, gesellschaftliche Phänomene auf der Ebene ihres Zustandekommens, dem Individuum, zu erfassen, sowie komplexe mentale Vorgänge des Handelns, Lernens und Kommunizierens auf einfache Weise in ein Modell zu integrieren. Mit der vorliegenden Arbeit wurde im Bereich der Konsumentenforschung erstmals ein solcher Ansatz auf regionaler Ebene angewendet, um zu planungsrelevanten Aussagen zu gelangen. In Kombination mit anderen Anwendungen im Bereich der Bevölkerungsprognose, des Verkehrs und der innerstädtischen Migration haben Agentensimulationen alle Voraussetzungen zu einem zukunftsweisenden Paradigma für die Raum- und Fachplanung.

Summary

Concerning the development of their retail location structures, urban areas are increasingly faced with situations of competition between traditional inner-city and spontaneously emerging suburban forms of outlets, which can on one hand rather satisfy augmented demands on sales areas and productivity of retailers, while on the other hand citizens, politicians and established retailers fear the 'death of the centre'. To evaluate the consequences of planning decisions in that respect is gaining in complexity; this can be ascribed to a strong individualisation of consumption habits as well as an enhanced sensitivity towards exposure to emissions from traffic and land consumption. Social simulations can contribute to such decisions as they are able to demonstrate the implications thereof by undertaking prognoses in different planning frameworks and scenarios.

In the past, estimations of buying power flows between elements of demand and supply have been modelled from aggregate input data utilising approaches characterized by analogies to laws from physical sciences (retail gravitation) or utility maximizing assumptions (discrete choice models). This contribution is the first to use an agent-based approach, since it is capable of integrating individually differentiated variations of consumer behaviour and results can be depicted more effectively. The idea of agent-based simulations originated from the research field of artificial intelligence aiming at replacing monolithic algorithms by ranges of software elements that would start mutual communication and thus autonomously organise themselves in order to solve the problem at hand. This concept can be used as a modelling paradigm in the social sciences in so far as it reflects the idea of self-organization of human societies. Multi agent simulations are characterized by a distributed control and organisation of data enabling the representation of complex decision processes with a small number of specifications. With these features, agent-based approaches address many of the objections against analogy and choice models. The strictly individual viewpoint allows for a much better representation of individually variations of decision processes.

For this research project, individual population data for a study area in Northern Sweden (functional region of Umeå with approximately 140,000 inhabitants) were obtained. They included figures on age, sex, disposable income, coordinates of dwelling and workplace, and household structure for every individual in the region. Combined with empirical results from consumer and store surveys they constituted the data base for an agent-based model of store choice in grocery retailing. The consumer survey contributed regression analyses for individual preferences for store attributes such as price, size of assortment, quality of products, service, etc., dependant on socio-demographic characteristics of the sample. The same attributes were observed for the stores. Hence, the buying power flows between single elements of the demand side (individual consumers) and single elements of the supply side (individual stores) can be specified as individually varying evaluations of choice alternatives, by which the agents will distribute their buying power among the stores, as follows:

$$U_{a,i} = \frac{1}{d_{a,i}} \sum_k P_{i,k} * A_{a,k} \quad (0.3)$$

with $U_{a,i}$: total utility of choice alternative a from the viewpoint of agent i ; $P_{i,k}$: weight (preference) of agent i for choice criterion k ; $A_{a,k}$: attribute value of choice alternative a in criterion k , $d_{a,i}$: distance from agent i to choice alternative a

By comparing the sums of buying power collected at the stores with their turnovers, a measure for the quality of the turnover estimation can be given in the form:

$$R^{(2)} = 1 - \frac{\sum_g (T_{est.,g} - T_{real,g})^2}{\sum_g T_{real,g}^2} \quad (0.4)$$

with $T_{est.,g}$: estimated turnover of grocery shop g , $T_{real,g}$: real turnover of grocery shop g , adjusted to total buying power in the study area; $R^{(2)} \in]-\infty; 1]$

For all shops in the region, values of 0.7 for $R^{(2)}$ were achieved, for some store formats even up to 0.9. This demonstrates how individual decision based models of buying power allocation despite their fairly large number of degrees of freedom are suitable for turnover estimation and forecasts of individual stores. Simultaneously, the simulation objects, i.e. the individual agents can be observed on performing their shopping trips to ensure plausible results on the micro level as well.

Since the distance between the places of dwelling and work and the location of the shop is part of the model, changes in transportation demand in different spatial structures of retail outlets can be analysed. As a case study, the situations in the years 1997 and 2004 were compared in that respect. During that period, a remarkable retreat of small area shop formats in the rural regions was observed; about half of the stores in this category closed, while a new hypermarket on the southern edge of the city of Umeå was the only registered opening. The results of how travel distances of the agents changed when confronted with the new situation showed a high accordance with national statistics, but also shed light on the unequal affection of certain groups of population in the region.

Agent-based simulations are raising high expectations in the social sciences, as they are the first to allow to capture social phenomena on the level of their emergence, the individual, as well as to integrate complex cognitive processes such as motivations, learning and communication into such models. This study is the first to apply an agent-based approach in consumption research on a regional level in order to support planning decisions in a regional and urban context. Combined with further applications in the areas of population prognosis, transportation and intra-regional migration, social simulations are a promising tool for future challenges in regional and urban planning.

Vorspann

„Die Ernüchterung, die in alldem steckt, ob sie nun offensiv formuliert wird oder sich hinter dem Rücken der Künstler herstellt, hat etwas mit dem Zusammenbruch der gewaltigen Theoriegebäude zu tun, die mit der neuen Technik aufkamen. Was wurde da nicht alles gefabelt! Vom Untergang der Wirklichkeit und dem Aufstieg künstlicher Welten, die bald von der Realität nicht mehr zu unterscheiden sein würden. Vom Ende des Subjekts, das seit Nietzsche zwar immer wieder prophezeit worden war, nun aber in sein definitives Stadium treten sollte. Von der Auflösung aller hierarchischen Ordnung in ein organisch wucherndes, moralisch und logisch befreites Chaos. Von der Verflüssigung alles ehemals materiell Gebundenen in einen einzigen Datenstrom, ob Musik oder Malerei oder Literatur, ob ursprünglich von einer Geige, einem Pinsel oder einem Bleistift stammend.“¹

Sozialwissenschaftliche Methoden werden von zwei grundsätzlichen Denkrichtungen bestimmt: Deduktive Ansätze haben die Entwicklung von allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten für soziale Phänomene zum Ziel, häufig in Form von mathematischen Gleichungssystemen. Induktive Ansätze hingegen versuchen, aus einer Vielzahl von meist qualitativen Einzelbeobachtungen zu generalisierten Aussagen zu kommen. Ob sozialwissenschaftliche Simulationen einen gleichberechtigten dritten Erkenntnisweg darstellen, kann noch nicht endgültig beantwortet werden. Fest steht nur, dass sie schwer einer der beiden vorherigen Richtungen zuzuordnen sind: Zwar gehen sie auch von einer scharf umgrenzten Menge von Annahmen aus, unterscheiden sich von der Deduktion jedoch dadurch, dass sie keine Hypothesen beweisen. Stattdessen bilden Einzeleingaben die Grundlage für Generalisierungen auf der Ergebnisseite. Anders als bei klassisch induktiver Vorgehensweise bestehen die Eingabedaten aber nicht aus Beobachtungen sozialer Phänomene sondern aus a priori festgelegten Regeln.²

Diese Form der Generalisierung (Emergenz) stellt das zentrale Erkenntnisinteresse sozialwissenschaftlicher Simulation dar. Emergente Phänomene sind solche, für die Beobachtungen auf einer aggregierten Ebene nicht mit denen auf einer unteren Ebene konsistent sind. Was hier anklingt, ist die Jahrzehnte alte Suche nach der Verbindung zwischen Mikro- und Makroebene, der „unsichtbaren Hand“, die einzeln und auf ihre eigenen Ziele gerichtet handelnde Individuen dazu bewegt, eine soziale Funktion zu erfüllen.³ Auf diesen Mikro-Makro-Dualismus wird häufig auch durch die Gegenüberstellung mit den gegensätzlichen Begriffspaaren lokal – global, individuell – kollektiv oder kognitiv – sozial Bezug genommen. Der Unterscheidung liegt die Auffassung zugrunde, dass ab einem gewissen Aggregationsniveau die Charakteristika niedrigerer Ebenen „wegabstrahiert“⁴ werden können, ohne das Ergebnis der Untersuchung signifikant zu verfälschen. Jedoch wird dabei außer Acht gelassen, dass die beiden Ebenen individueller Motivation und kollektiver Struktur (Raumstrukturen, Institutionen) in Wechselwirkung treten, sich also gegenseitig beeinflussen. Man könnte sogar noch einen Schritt weiter gehen und ein „Goldenes Dreieck“ zwischen Motivation, Kognition und Struktur aufspannen. Elementare Motivationen entstehen aus biologischen Bedürfnissen, auf natürliche Weise und zunächst unabhängig von einer kognitiven Verarbeitung.

¹ JESSEN 2005: 41.

² SUN 2006: 6.

³ GILBERT 2006: 429; SUN 2006: 15.

⁴ GILBERT 2006: 428.

Um diese Bedürfnisse in einer physischen und soziokulturellen Umwelt zu erfüllen, ist eine kognitive Auseinandersetzung mit dieser Umwelt erforderlich. Diese besteht sowohl aus körperlichen Reaktionen als auch aus bewusstem und intentionalem Handeln. Kognition verbindet also die Motivationen des Handelnden mit den Strukturen der Umwelt. Umgekehrt beeinflussen aber auch die Strukturen das Denken und indirekt damit sogar die elementaren Bedürfnisse und Motivationen, wenn sie von den Handelnden internalisiert und damit zum Teil der Denkprozesse werden.⁵ Diese Zusammenhänge unterliegen einer so hohen Komplexität, dass sie wahrscheinlich nur mit den Mitteln evolutionärer oder emergenter Simulation verständlich werden, weil nur diese die notwendigen Voraussetzungen dafür mitbringen: Anders als mathematische Modelle sind sie nicht an mathematische Formalisierungen gebunden. Im Unterschied zu narrativen Modellen sind sie aber präzise. Damit scheinen sie das richtige Mischungsverhältnis zwischen Exaktheit und Flexibilität aufzuweisen (ebd.: 18).

Steht der Wissenschaft das Ende des Subjekts bevor? Wird die hierarchische Ordnung (Makro-Mikro!) aufgelöst in ein „organisch wucherndes Chaos“? Diese Zukunftsaussicht scheint wenig plausibel. Sozialwissenschaftliche Simulationen lassen zwar künstliche, virtuelle Realitäten entstehen, diese können jedoch die reale Welt und die reale Gesellschaft nicht ersetzen. Die Wissenschaft ist dadurch nicht am Ende der Forschung über Mensch und Gesellschaft. Ebenso wie Kunst bei aller Technik nicht ohne Kreativität denkbar ist, sind Gesellschaften nicht ohne Menschen denkbar, die bewusst und intentional aus dem Dreieck Motivation – Kognition – Struktur ausbrechen können. Dies unterscheidet die künstliche Intelligenz von der realen. Simulationen können aber helfen, Licht in einige unerforschte Ecken gesellschaftlicher Phänomene, sozialer Strukturen und individueller Kognition zu werfen.

⁵ SUN 2006: 12f.