

3 Agentenbasierte Simulation für geographische Phänomene

“A chief reason why the past 10 years have not been kind to human geographers practicing quantitative geography has been the notion that quantitative geography must be positivist; [...] I pursue the theme that epistemology is a matter of representation and practice: in recent years, this practice is underscored by methodological and theoretical pluralism that does not betray logical positivism as its foundationalist faith.”⁷⁵

3.1 Allgemeine Einführung: Motivation und Verfahrensweisen

Simulationen hielten auch in den Sozialwissenschaften schon bald nach der Erfindung des Computers Einzug. Wie in anderen Wissenschaftsbereichen wurden und werden sie vor allem dann angewendet, wenn für anstehende Probleme analytische Lösungen nicht möglich sind oder zu aufwändig erscheinen. Dies ist etwa bei der Lösung komplexer Gleichungssysteme der Fall. Sozialwissenschaftliche Simulation sollte allerdings noch einen Schritt weiter gehen und die Möglichkeiten moderner objektorientierter Programmierung nutzen. So basieren Multiagentensysteme auf dem Prinzip, „realweltliche Entitäten auf programmiersprachliche Objekte“ abzubilden, „die dann im Simulationsmodell auf ähnliche Weise miteinander in gegenseitige Abhängigkeiten treten, wie dies die jeweils entsprechenden realweltlichen Entitäten auch tun.“⁷⁶ Damit ist die Absicht verbunden, Simulationen als Prognosewerkzeuge für künftige Handlungen von Akteuren einzusetzen. Politik- und planungsrelevante Anwendungsbereiche lassen sich in Fülle aufzählen und reichen von (kleinräumigen) Bevölkerungsprognosen über Vorhersage staatlicher Einnahmen bis zu Beschäftigungseffekten von Investitionen⁷⁷.

In der Anfangszeit wurden Simulationen in den Sozialwissenschaften zunächst dazu herangezogen, numerische Lösungen für mathematische Modelle zu finden. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der System-Dynamics-Ansatz, bei dem der Zustand eines einzigen Objekts, z.B. ein Land oder die ganze Welt, ausgedrückt in einer meist großen Zahl von Variablen, mittels umfangreicher (Differential-) Gleichungssysteme simuliert wird. Trotz der großen Zahl von Attributen leidet der Ansatz unter objektbezogener Undifferenziertheit. So müssen für die Attributwerte Mittelwertbildungen herangezogen werden, wie etwa eine mittlere Geburtenrate oder ein mittlerer Lebensstandard für das Bezugsobjekt. Je stärker dieses innerlich differenziert ist, desto mehr Information geht dabei verloren, verbunden mit entsprechenden Auswirkungen auf die Sicherheit des Modellergebnisses. Zusätzlich muss eine ähnlich große Zahl an Annahmen über die Zusammenhänge zwischen den Modellvariablen getroffen wer-

⁷⁵ POON 2005: 766.

⁷⁶ TROITZSCH 2000: 181.

⁷⁷ LINDGREN 1999.

den, die sich zur Laufzeit der Simulation nicht ändern. Dennoch geht der Ansatz über das schlichte Fortschreiben von Trends hinaus, ohne unübersichtlich zu werden.

Der angesprochenen Undifferenziertheit wirkte der Ansatz der Mikrosimulation entgegen. Idee ist, im Rechner eine modellierte Population vorzuhalten, wodurch die Zustände der Einzelobjekte recht übersichtlich werden, der Zustand der Gesamtpopulation jedoch zu jeder Zeit durch Aggregation leicht ermittelt werden kann. Einsatzbereiche lassen sich nach der zeitlichen Reichweite der angestrebten Aussagen unterscheiden. Am offensichtlichsten sind Anwendungen im Bereich der Bevölkerungsprognose, aber auch bei der Prognose staatlicher Einnahmen bei Änderungen im Steuersystem. Häufig sind Steuersätze an bestimmte Schwellenwerte gebunden, die Mittelwertbildungen bei der zu untersuchenden Bevölkerung unsinnig machen, besonders wenn es auch darum geht, wie sich die Belastungen für einzelne Bevölkerungsgruppen verändern. Sollen Aussagen über längerfristige Zeiträume gemacht werden, müssen zusätzlich die Biographien der Simulationsobjekte vorgehalten werden, dann sind diese tatsächlich mit lebenden Individuen deckungsgleich. Die simulierten Individuen altern und entscheiden über Umzug, Ausbildung, Heirat, Familiengründung, Trennung usw.⁷⁸ Außerhalb dieser Objektebene werden Ereignisse wie Geburt und Tod ausgelöst. Als Invarianten sind die Übergangswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Zustände der simulierten Individualobjekte dem Modell zuzuführen. Ändern sich diese über die Zeit (etwa die Wahrscheinlichkeit der Familiengründung in Abhängigkeit vom Lebensalter), sind zusätzliche Annahmen und gegebenenfalls unterschiedliche Szenarien notwendig, die wiederum mit spezifischen Unsicherheiten belegt sind.

In manchen Fällen kann es von Nutzen sein, nicht nur Individuen, sondern daneben noch Haushalte oder andere Subgruppen modelltechnisch zu erfassen, insbesondere wenn Wechselwirkungen zwischen diesen Ebenen eine Rolle spielen. Dies führt zu den so genannten Mehrebenenmodellen. Ein Beispiel dafür wäre etwa ein Modell, das die Wechselwirkungen zwischen Parteien und Wählern untersucht. In einer Computersimulation⁷⁹ konnte veranschaulicht werden, wie sich eine Wählerschaft im Laufe des Wahlkampfes, in dem sich Parteien und Kandidaten entlang des politischen Spektrums positionieren, bis zum Wahltermin zunehmend polarisiert. Die Wähler einerseits und Parteien und Kandidaten andererseits bilden dabei die beiden Ebenen, die getrennt modelliert miteinander in Wechselwirkung treten.

Ein Paradigma für Mikrosimulationen mit einem expliziten Raumbezug ist das der Zellulären Automaten (ZA). Darunter versteht man eine Menge von ortsfesten Objekten, die man sich anschaulich als die Zellen eines Rastergitters vorstellen kann. Angenommen wird, dass sich jede Zelle in einem von einer festen Menge von Zuständen befindet, die sich nach für jede Zelle gleichen Regeln ändern können. Simuliert werden diese Zustandsänderungen in Abhängigkeit von den Zuständen ihrer direkten Nachbarn. Immer wieder wurde dieser Ansatz verwendet, um die soziale Segregation einer Bevölkerung⁸⁰ zu simulieren. Dabei werden die Zellen angewiesen, ihren Zustand zu ändern, falls die Mehrheit ihrer Nachbarn sich in einem anderen Zustand befindet, womit der Umzug ‚intoleranter‘ Zellenbewohner abgebildet werden soll. Es ist wenig überraschend, dass sich schon nach kurzer Zeit ein Zellenmuster einstellt, das dem Simulationsziel gerecht wird. Recht zahlreich sind auch Anwendungen von ZA für Modelle der Landnutzung und deren Veränderungen, insbesondere für ökologische Prozesse, wie die Ausbreitung von Waldflächen⁸¹.

⁷⁸ HOLM et al. 2002.

⁷⁹ TROITZSCH 1990.

⁸⁰ U.a. SCHELLING 1971, TORRENS 2001.

⁸¹ PARKER et al. 2003: 316.

Die neueste Entwicklung in diesem Bereich stellen die agentenbasierten Simulationen dar, auf die im Detail im folgenden Abschnitt eingegangen wird.

3.2 Multiagentensysteme und agentenbasierte Modellierung

3.2.1 Begrifflichkeiten

Vor ihrer näheren Erläuterung müssen einige Begriffe definiert und gegeneinander abgegrenzt werden. Diese sind: Agent, Multiagentensystem, agentenbasierte Modelle und agentenbasierte Simulation.

Der Begriff des Agenten entspringt der Ökonomie und bezeichnet dort eine Person oder ein Unternehmen, das stellvertretend für eine andere Person oder ein anderes Unternehmen Handlungen ausführt, ohne dabei ein ökonomisches Risiko zu tragen. Diese Definition kommt auch dem Agentenkonzept für Simulationsanwendungen schon recht nahe. Auch hier repräsentieren, wie von TROITZSCH (2000) gefordert, Agenten realweltliche Entitäten, wobei es sich aber nicht unbedingt um Menschen handeln muss.⁸² Aufgrund der Aktualität des Ansatzes kursieren jedoch unterschiedliche Definitionen. Meistens ist es sehr viel einfacher, die Eigenschaften von Agenten aufzuzählen und zu beschreiben, als eine eindeutige Definition abzugeben. Eine sehr nützliche Definition haben FRANKLIN und GRAESSER⁸³ aufgestellt: „*An agent is a system situated within and a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time [...] and so as to effect what it senses in the future*“. Lediglich die Bezeichnung eines Agenten als „System“ kann verwirrend wirken, wenn im nächsten Schritt Multiagentensysteme definiert werden sollen, die dann als System von Systemen aufzufassen wären. Einfacher könnte man Agenten als Objekte oder Bausteine eines solchen Systems bezeichnen. Die wesentlichen Eigenschaften werden von dieser Definition jedoch berührt (ebd.: 14-16). Agenten sind:

- Situiert, also in eine Umwelt eingebettet, die von ihnen wahrgenommen wird und als Feld für ihre Aktionen dient. Allgemein wird man davon ausgehen, dass Agenten ihre Umwelt nur selektiv wahrnehmen. Dies gilt jedoch nicht nur in räumlicher oder topologischer, sondern auch in zeitlicher Hinsicht. Ist etwa die Umwelt selbst nicht statisch, sondern dynamisch, das heißt Veränderungen unterworfen, die entweder exogen zugeführt oder von anderen Agenten verursacht werden, können diese Veränderungen unter Umständen erst zeitverzögert wahrgenommen werden.
- Reaktiv; sie können also auf wahrgenommene Änderungen ihrer Umwelt reagieren. Hier ist auch wieder der Zeitaspekt zu berücksichtigen, je nachdem ob sich Umweltveränderungen schneller oder langsamer als die Reaktionsfähigkeit der Agenten einstellen. Die umgekehrte Richtung der Einflussnahme bleibt von dieser Eigenschaft zunächst unberührt, sollte aber nicht von vornherein ausgeschlossen werden.
- Autonom; sie sind also in der Lage, selbstständig und möglichst ohne zentrale Kontrolle Aktionen auszuführen. Verschiedene Auffassungen herrschen dar-

⁸² Siehe Kap. 1.2.

⁸³ Zit. in KLÜGL 2001: 13.

über, was genau unter einer zentralen Kontrolle zu verstehen ist. Was Agentensysteme von anderen Simulationsparadigmen unterscheidet, ist, dass Veränderungen in ihren Attributen von ihnen selbst und nicht von außen, etwa durch einen am Rechner sitzenden Menschen, vorgenommen werden. Streng genommen könnten jedoch eine zentral vorgehaltene Simulationszeit, etwa wenn die Agenten einer Bevölkerungssimulation alle mit gleicher Geschwindigkeit und simultan altern, oder eine gemeinsame metrische Umgebung schon als zentrale Kontrolle aufgefasst werden (ebd.: 17).

- Sozial; das heißt, neben ihrer Autonomie haben sie auch die Möglichkeit, mit anderen Agenten in Kommunikation zu treten. Ob schon die Fähigkeit zur Kommunikation für die soziale Eigenschaft ausreicht, oder ob zusätzlich verlangt werden muss, dass die Agenten zur Bildung von Gruppen und Allianzen mit gemeinsamen Plänen in der Lage sind, ist umstritten.
- Zielstrebig; der Begriff der Zielstrebigkeit ersetzt den hier sonst üblichen der Rationalität. Diese Eigenschaft beschreibt die Fähigkeit, Handlungsziele zu besitzen und diese zu verfolgen. Insbesondere sollen die Agenten dazu selbst die Initiative ergreifen können (Proaktivität) und nicht nur auf ihre Umgebung reagieren. Keinesfalls ist diese Eigenschaft jedoch mit einer Rationalität im Sinne eines *homo oeconomicus* zu verwechseln; über die Rationalität der Ziele oder der Strategie ihrer Verfolgung wird hier keine Aussage gemacht.
- Anthropomorph; so wird die Eigenschaft beschrieben, mentale Konzepte, Überzeugungen, Wünsche und Absichten zu besitzen. Im Gegensatz zu den vorherigen Eigenschaften erscheinen diese recht vage, was wohl auch dem Umstand zu schulden ist, dass sie sich am schwersten modellhaft erfassen lassen. Bei Bevölkerungssimulationen bietet sich hier etwa die Möglichkeit, unterschiedliche Toleranzen gegenüber andern ethnischen oder sozioökonomischen Gruppen bei der Partner- oder Wohnortwahl zu integrieren.

Oft werden von Agenten noch weitere Eigenschaften verlangt, wie etwa Flexibilität durch möglichst geringe vorherige Festlegung ihrer Aktionen, räumliche Mobilität oder ein „Charakter“, womit emotionale Zustände gemeint sind.⁸⁴

Ein System von mehreren Agenten heißt Multiagentensystem (MAS). Der Systembegriff ist dabei am ehesten auf die Kommunikation zwischen den Agenten zu beziehen.⁸⁵ Ein MAS ist jedoch frei von weiteren konstatierenden Merkmalen, sondern zeichnet sich durch seine dezentrale Struktur und Datenvorhaltung aus. Damit folgt es zwar dem Bild einer „Gesellschaft“,⁸⁶ erschwert aber die Darstellung eben solcher Zentralismen wie Normen, Institutionen, Gesetze oder „soziale Strukturen“⁸⁷. Auch für MAS kann eine Reihe von Eigenschaften festgehalten werden.⁸⁸ Zunächst stellt sich die Frage, ob MAS nach einer bestimmten Mindestanzahl von Agenten verlangen. Aufgrund beschränkter Rechnerkapazitäten verhalten sich Agentenzahl und ihre Komplexität bezüglich ihrer Attribute, Wahrnehmung und Aktivitäten meist gegenläufig. Ebenso verhält es sich mit der Heterogenität der Agenten bezüglich ihrer Ziele. Je weiter diese auseinanderdriften und wenn sie vereinzelt sogar widersprüchlich

⁸⁴ LOIBL & PETERS-ANDERS 2003: 91.

⁸⁵ KLÜGL 2001: 45.

⁸⁶ SCHENK et al. 2004: 118.

⁸⁷ O’SULLIVAN & HAKLAY 2000.

⁸⁸ KLÜGL 2001: 31f.

sind, desto schwieriger wird es, ein kohärentes Verhalten des Gesamtsystems zu erreichen. Recht unterschiedlich können weiterhin der Grad und das Abstraktionsniveau der Kommunikation zwischen den Agenten sowie das Ausmaß ihrer Autonomie ausfallen.

Die Begriffe Modell und Simulation sind schon im Kapitel 1.1 voneinander abgegrenzt worden. Modelle und Simulationen, die ein Multiagentensystem als Paradigma verwenden, bezeichnet man als agentenbasiert. Liegt der Betrachtungsmaßstab auf einer räumlichen oder inhaltlichen Mikroebene⁸⁹, und soll dieser Umstand besonders betont werden, können agentenbasierte Modelle und Simulationen noch mit dem Präfix ‚Mikro-‘ versehen werden. Parallel sind ebenfalls die Begriffe Multiagentenmodell bzw. –simulation gebräuchlich. Der Rest des Kapitels wird sich ausschließlich mit individuenbasierten Modellen und deren agentenbasierter Simulation beschäftigen. Obwohl Agentensimulationen nicht auf der Mikroebene ablaufen müssen, und umgekehrt Mikrosimulationen nicht auf dem Agentenkonzept basieren müssen, werden diese Fälle nachfolgend nicht mehr berücksichtigt. Mit dem Term ‚Agentensimulation‘ sei folgerichtig in Zukunft stets die agentenbasierte Simulation eines individuenbasierten Mikromodells bezeichnet.

3.2.2 Idee der Agentensimulation

Grundprinzip der Agentensimulation ist die Orientierung an individuellen Entscheidungen mit dem Ziel, „das Systemverhalten auf der Ebene des Individuums zu erfassen und so weit wie möglich abzubilden“⁹⁰. Damit wird das Prinzip des *bottom-up* als Modellierungsrichtung festgelegt. Strukturen und Muster auf der Makroebene (auch in räumlicher Hinsicht) werden als Ergebnis der simulierten Individualentscheidungen erwartet. Die Agentensimulation hat besonders da ihre Stärke, wo Makrostrukturen nicht direkt aus dem Verhalten der Objekte auf der Mikroebene ableitbar sind und umgekehrt. Solche ‚emergenten‘ Phänomene sind besonders in den sozialwissenschaftlichen Disziplinen ein häufiges Thema. Die Agenten können nicht nur auf die Zustände ihrer selbst, anderer Agenten oder ihrer Umwelt reagieren, sondern sich auch durch Änderung ihres eigenen Zustandes oder Handelns an die Umgebung anpassen. Damit kann die Agentensimulation direkte Hinweise für die Forschung geben, etwa wenn sich die Agenten in einer bestimmten Situation in unerwarteter Weise verhalten (ebd.: 82). Umgekehrt können aber auch die entstehenden Makrostrukturen bei unterschiedlichen Handlungsweisen und –strategien der Agenten analysiert werden. Dabei sind jedoch auch Betrachtungen auf verschiedenen Aggregationsstufen möglich: Auf der Makroebene lassen sich Subsysteme bilden, von deren Gestalt zusätzliche Merkmale gefordert werden können; auf der Mikroebene können neben Individuen aber auch kleine Aggregate zusätzlich als Agenten modelliert werden, etwa wenn Familien oder sonstige Gruppen gemeinsame Entscheidungen treffen, deren internes Zustandekommen nicht von Interesse ist.

Mit diesen Eigenschaften ergibt sich die Möglichkeit, die zu untersuchenden Phänomene direkt auf der Ebene ihres Entstehens zu modellieren und zu simulieren. Räume und Gesellschaften, deren Heterogenität für die sich in ihnen abspielenden Phänomene entscheidend ist, sind damit der Modellierung viel direkter zugänglich als in durch Gleichgewichts- und Homogenitätsannahmen gekennzeichneten Makroansätzen. Insbesondere kommt die Beschreibung des Agentenverhaltens grundsätzlich ohne die Formulierung von Beschränkungen, auch räumlicher Art, aus. Die Heterogenität der Agenten beschränkt sich dabei nicht auf

⁸⁹ Zur Unterscheidung siehe LÖFFLER et al. 2005: 162.

⁹⁰ KLÜGL 2001: 51.

die Ausprägungen ihrer Attribute, sondern kann auch auf Handlungsweisen und –strategien, Informationsverarbeitung und Gedächtnismechanismen sowie Kommunikationsformen ausgedehnt werden.

3.2.3 Agentensimulation und Raum

Wichtig ist, hervorzuheben, dass Agentensimulationen nicht unbedingt räumlich sein müssen. Wenn gefordert wird, dass Agenten mit ihren Nachbarn kommunizieren sollen, setzt dies zunächst lediglich eine topologische Räumlichkeit, keine topographische voraus. Anders ausgedrückt können Nachbarschaften von Agenten auch ohne Raumrepräsentation im Sinne von Koordinatenpaaren dargestellt werden, etwa mit der einfachen Information ‚Agent X ist benachbart zu (bzw. kann kommunizieren mit) Agent Y‘. Anwendungen der Simulation im Bereich des Börsenhandels, der Vorhersage von Steuereinnahmen oder Kundenreaktionen auf Marketingmaßnahmen kommen in der Regel ohne explizite Raumrepräsentation aus. Anders sieht es aus, wenn die Agenten räumlich verortet und in eine Umwelt eingebettet sein sollen. Ein Agent erhält zunächst schon durch die bloße Anwesenheit anderer Agenten und seine relative räumliche Lage zu ihnen eine Umwelt oder Umgebung. Oft ist jedoch zusätzlich eine Repräsentation des Raums als Simulationsobjekt erwünscht. Nicht immer treten die Agenten dabei auch in Wechselwirkung mit dieser Umwelt. Am elementarsten wäre dies der Fall, wenn die Agenten ihre Entscheidungen nicht nur in Abhängigkeit der Zustände anderer Agenten, sondern auch der ihrer Umwelt treffen. Wiederum die einfachste Form dieser Umweltwirkung ist die Berücksichtigung von Distanzen zu den Entscheidungsalternativen. Umgekehrt ist jedoch auch eine Wirkung der Agentenhandlungen auf die Umwelt von Interesse, etwa wie dies in Landnutzungsmodellen nötig ist.

Aufmerksamkeit verdient nun die Frage, wie Raum in Agentenmodellen repräsentiert werden kann. Dabei sollte man zwei Perspektiven unterscheiden, den Raum, in dem die Simulation ‚spielt‘ und den, der von den Agenten wahrgenommen wird. Für die Darstellung des Raums als Aktionsfeld für die Agenten genügt meist schon eine zwei-, ggf. dreidimensionale Karte, auf der jeder Agent seine Position mit einem Koordinatenpaar oder –tripel einnehmen kann. Diskrete Karten sind softwareseitig sehr viel einfacher zu handhaben als kontinuierliche, und wenn die Auflösung dieser diskreten Karten klein genug ist (z.B. ein Meter), wird das für die meisten Anwendungen mit Raumbezug auch genügen. Oft wird die erforderliche Raumauflösung auch durch die Ausgangsdaten und die Zielsetzung der Modellierung schon vorgegeben. Weist man dem Agenten nun eine Geschwindigkeit und eine Richtung zu, so kann er sich in diesem Raum bewegen. Die weiteren Umstände für die Raumrepräsentation werden durch die Fragestellung beeinflusst. Ob der Raum per se Eigenschaften besitzt, oder es sich dabei nur um Eigenschaften von Objekten an bestimmten Raumstellen handelt, ist eher eine theoretische denn eine modellierungstechnische Frage. Vielfach werden als Raumrepräsentation Zelluläre Automaten verwendet.⁹¹ Ist keine flächige Raumrepräsentation notwendig, und sollen die Veränderungen der Raumstellen regelgesteuert sein, ist deren Darstellung ebenso durch Agenten anzuraten.

Ein weiterer Vorteil des Agentenkonzepts ist die Möglichkeit der Berücksichtigung sich ändernder Umweltwahrnehmung durch den Agenten während der Bewegung durch den Raum. So können etwa zu vorangegangenen Zeitpunkten nicht sichtbare Entscheidungsal-

⁹¹ U.a. BATTY 2003b, COHEN et al. 1989, TORRENS 2001, WHITE & ENGELEN 2000.

alternativen in das Blickfeld des Agenten rücken und seine weiteren Bewegungen beeinflussen.⁹² Wieder stellt sich dabei die Frage, ob diese Bewegungen kontinuierlich sein müssen oder diskret sein dürfen. Diese Frage ist nicht so harmlos wie die der Kartenauflösung. Wenn die Raumwahrnehmung nur nach erfolgten diskreten Bewegungsschritten aktualisiert wird, ist es möglich, dass ‚dazwischen‘, also gegenüber kleineren Schritten oder einer kontinuierlichen Bewegung, wahrnehmbare Alternativen ‚verpasst‘ werden. Insgesamt kann jedoch festgehalten werden, dass MAS wie kein anderer Modellierungsansatz dazu geeignet sind, räumliche Heterogenitäten und deren individuell differenzierte Wahrnehmung modellhaft zu integrieren.

3.2.4 Handlungsregeln der Agenten und der Umwelt

An die Stelle einer zentralen Handlungssteuerung durch deterministische oder stochastische Modellannahmen treten im Agentenkonzept Handlungsregeln. In diesen Regeln wird festgelegt, wie ein Agent aufgrund seiner Informationen und Zielsetzungen handelt. Wichtig ist dabei wiederum die individuenorientierte Sichtweise: Der Agent handelt also nur aufgrund seiner eigenen Information und kann diese nicht an der Beschaffenheit des Gesamtsystems ausrichten, entscheidet somit also unter Unsicherheit. Seine Handlungsweisen werden dabei nicht durch seine Informationen bestimmt in Form einer Reaktion, sondern Informationen und Ziele des Agenten führen gemeinsam zur Aktionsauswahl. Betrachtet man diesen Vorgang prozessual, gliedert er sich in drei Phasen⁹³:

- Die Sensorik, mit der der Agent Informationen aus seiner Umwelt wahr- und aufnehmen kann;
- Die Mechanismen, mit denen er diese Information verarbeitet und mittels seiner Handlungsregeln in Aktionen umsetzt;
- Die Effektorik, mit der der Agent in der Lage ist, Veränderungen an seiner Umwelt vorzunehmen.

Eine Sonderform der Sensorik als Informationsmedium stellt die Kommunikation zwischen Agenten dar, weitere Informationsquellen sind sein interner Zustand und sein Gedächtnis als einem Teil davon. Sensoren kann man sich als Schnittstellen zum Informationsaustausch zwischen dem Agenten und der Umwelt oder zu anderen Agenten vorstellen. Diese können explizit repräsentiert sein, etwa durch die Vorgabe einer Blickrichtung, des Öffnungswinkels des Sichtfelds und der Sichtweite des Agenten, die als Beschränkungen seiner Informationsaufnahme dienen. Meist erfolgt die Informationsaufnahme jedoch über den Empfang von Nachrichten aus der Umwelt oder von anderen Agenten, oder der Agent kann sich Informationen selbst beschaffen („nachschiessen“). Die gewonnene Information muss nun beim Agenten vorgehalten werden. Dabei unterscheidet man zwischen einer absoluten und einer deiktischen Referenzierung. Absolut bedeutet in diesem Zusammenhang eindeutig, ein Agent, mit dem ein Konsument beim Einkauf modelliert wird, würde also ein Geschäft in seinem Blickfeld identifizieren und als „Getränkeshop Schmidt“ speichern. Bei einer deiktischen Vorhaltung wird dagegen nur die Information „ein Getränkeshop“ abgelegt. Die ver-

⁹² Siehe RAUH & HESSE (2002) sowie Kapitel 1.2.2.

⁹³ KLÜGL 2001: 72.

schiedenen Referenzierungsformen bieten je nach Anwendung spezifische Vor- und Nachteile (ebd.: 73), die aber im Bereich Konsumentenmodellierung kaum von Bedeutung sind. Die Referenzierung der Information ist ein Teil des inneren Zustands des Agenten, in dem außerdem demographische und sozioökonomische Eigenschaften (z.B. Alter, Geschlecht, Einkommen etc.), emotionale Zustände (Wohlbefinden, Anspannung, Erregung etc.), sowie seine Ziele und das Maß ihrer aktuellen Erreichung abgelegt sein können, bis hin zu sozialem und kulturhistorischem Wissen. Letzteres entzieht sich jedoch weitgehend einer Operationalisierung.

Bei der Kommunikation stellt sich ähnlich wie im Alltag das Problem einer gemeinsamen ‚Sprache‘, also gewisser Standards des Informationsaustauschs, und der Übertragungssicherheit. So könnten etwa nur Teile der gesendeten Nachricht beim Empfänger ankommen. Die aufgenommene Information kann anschließend noch einer mentalen Filterung (Wahrnehmung) unterliegen.

Aufgrund der nun dem Agenten zugewiesenen Information wird dieser eine Aktion auswählen. Dabei wird angenommen, dass der Agent eine solche Aktion auswählt, die ihn seinen Zielen näher bringt, wofür ihm die (zumindest lokalen, das heißt auf sich selbst gerichteten) Auswirkungen seiner Entscheidungsalternativen bekannt sein müssen. Grundsätzlich kann man zwischen diskreten und kontinuierlichen Aktionen unterscheiden. Ist die Repräsentation der Zeit diskret angelegt, bietet sich an, die Aktionen der Agenten an diese anzulehnen, jedoch ergeben sich dadurch auch Beschränkungen, etwa hinsichtlich der Flexibilität bei der Auswahl von Start- und Endpunkt sowie der Dauer einer Aktion. Eine weitere Unterscheidung stellt die nach sequenzieller oder paralleler Ausführung dar, mit anderen Worten, ob die Agenten Aktionen nur nacheinander oder auch zeitgleich ausführen können (ebd.: 76). Letzteres ist bezüglich der Modellbildung sehr komplex, wenn etwa parallel ausgeführte Aktionen sich gegenseitig beeinflussen sollen, aber gelegentlich notwendig, wie etwa bei der Simulation von Stauphänomenen in Verkehrsflüssen oder ähnlichem. In vielen Fällen kann aber auch zu einer diskreten Betrachtungsweise mit sehr kleinen Zeitintervallen übergegangen werden.

Weiterhin ist die Frage zu beantworten, wie viel Freiheit den Agenten bei der Auswahl zwischen verschiedenen möglichen Aktionen zugestanden werden soll. Einfache Modelle rüsten die Agenten mit lediglich einer Aktivität oder einem Ziel aus, das sie unabhängig von den Ereignissen um sie herum verfolgen. Ein Beispiel wäre bei der Simulation von Konsumentenentscheidungen die Reduktion des Handlungsspektrums durch die Unterscheidung von ‚*smart-shopper*-Agenten‘, die stets nur bei Discountern kaufen, ‚Genießer-Agenten‘, die nur Feinkostläden aufsuchen etc. Etwas höher ist die Flexibilität der Agenten, wenn sie ihre Aktivitäten in bestimmten Situationen („Notfälle“) umstellen können, und am höchsten, wenn die Agenten je nach Situation unter einer größeren Menge von Aktivitäten mit vielen Einzelaktionen wählen können. Solche Situationen treten etwa dann auf, wenn Agenten in Verhandlung treten sollen, um bestimmte Teilaufgaben untereinander zu verteilen.

Derartige Überlegungen können auch für das Design der Umwelt angestellt werden. Wie bereits oben erwähnt, ist eine Umweltrepräsentation im Modell oft erwünscht, was beispielsweise durch Zelluläre Automaten (ZA) geschehen kann. Als Beispiel sei COHEN et al. (1989) herausgegriffen: Ein auf ZA basierendes Modell für die Ausbreitung von Waldbränden wird als Grundlage für eine Agentensimulation der Einsatzkräfte verwendet. Untersucht werden verschiedene Strategien und ihre Erfolgsaussichten zur Bekämpfung des Feuers. Da ZA als Sonderfall ortsfester Agenten angesehen werden können, liegt die Repräsentation des Raums durch einen oder mehrere Agenten ebenfalls nahe. Besondere Vorteile ergeben sich v.a. auf technischer Ebene, weil Kommunikations- und Interaktionsinstrumente von den

Beziehungen zwischen den Agenten untereinander übernommen werden können. Darüber hinaus bietet nun ein ‚Umweltagent‘ ebenfalls die volle Agentenfunktionalität, kann also auch Ziele haben, sich selbstständig verändern usw. Das erscheint auf den ersten Blick zwar gewöhnungsbedürftig, bietet der Modellierung aber zusätzliche Perspektiven.

Schließlich kommt der Ausformulierung der Handlungsregeln große Bedeutung zu. In sozialwissenschaftlichen Anwendungen steht gerade dieser Teil vor spezifischen Herausforderungen. Konnte in der Arbeit von COHEN (1989) noch das effektive und schnelle Löschen des Feuers als offensichtliches Ziel formuliert werden, ist dies etwa bei der Modellierung von Konsumentenentscheidungen weniger der Fall. Hier müssen Erkenntnisse über individuelle Handlungsziele und Entscheidungsmechanismen aus empirischen Untersuchungen generiert werden. Dabei ergeben sich vorrangig drei zu lösende Problemfelder:

1. Zunächst ist der Simulationsgegenstand festzulegen. Der Anspruch, ein Totalmodell einer Gesellschaft entwerfen zu wollen, ist weder sinnvoll noch erstrebenswert. Allerdings ist es auch nicht ganz abwegig, den Einbezug von Phänomenen außerhalb des Untersuchungsgegenstandes zu fordern. Erkennt man beispielsweise, dass Konsumentenentscheidungen, etwa beim Bekleidungskauf, stark von sozialen Kontakten und Interaktionen beeinflusst werden (Mode, Identitätsstiftung in Gruppen etc.), stellt sich die Frage, inwieweit in ein Modell der Entscheidungen für ein bestimmtes Geschäft oder Produkt Modelle des Entstehens von sozialen Netzwerken und des Informationsaustausches über diese integriert werden müssen. Dabei die Grenze zwischen relevanten und nicht relevanten gesellschaftlichen Phänomenen zu ziehen ist alles andere als trivial.
2. Nach diesem Schritt sind die empirischen Mittel zur Erfassung der relevanten Phänomene auszuwählen. Hier ergibt sich als zweites Problemfeld, dass das Untersuchungsdesign, das heißt, die Art und Weise, wie in einer empirischen Untersuchung Fragen gestellt werden, möglicherweise bereits bestimmte Entscheidungsmechanismen impliziert. Werden Konsumenten etwa gebeten, bestimmte Entscheidungskriterien (Preis, Qualität, etc.) bezüglich ihrer Bedeutung beim Einkauf zu bewerten, bleiben nicht genannte Kriterien unberücksichtigt.
3. Bei der Formulierung der Handlungsziele der Agenten sind diese von den Zielen der Simulation zu trennen, um Zirkelschlüsse zu vermeiden. Das Ziel einer Simulation von Konsumentenentscheidungen, eine möglichst genaue Umsatzzuschätzung für die Geschäfte abzugeben, könnte wohl am besten erreicht werden, wenn die als Agenten modellierten Konsumenten die Bilanzen der besuchten Geschäfte kennen und ihre Ausgaben danach ausrichten würden. Die Gefahr einer solchen unerwünschten Einflussnahme ist weit weniger trivial, als es zunächst den Anschein hat. Besitzen die Agenten sehr genaue Informationen über Größen, die einen starken Zusammenhang mit dem Umsatz aufweisen, z.B. die Verkaufsfläche des Geschäfts, besteht die Gefahr eines versteckten Zirkelschlusses.

Weitere Aufgaben in sozialwissenschaftlichen Anwendungen von Agentensimulationen, die so nur dort auftreten, ergeben sich aus den zu handhabenden Datenmengen und bei der Verifikation und Validation solcher Modelle. Beide Aspekte werden in den nachfolgenden Abschnitten genauer betrachtet.

3.2.5 Anforderungen für verschiedene Maßstabebenen

In Kapitel 3.2.1 wurde bereits kurz erwähnt, dass Anzahl und strukturelle Komplexität der Agenten sich meist gegenläufig verhalten. Grundsätzlich sind Modelle menschlichen Handelns auf einem hohen Komplexitätsniveau anzulegen, anders würde man dem anthropomorphen Anspruch des Agentenkonzepts kaum gerecht. Daraus ergibt sich die Herausforderung, menschliches Handeln auf dieser hohen Komplexitätsebene überhaupt zu erfassen, was auch die Frage der Festlegung des Simulationsgegenstands wieder aufwirft. Häufig sind empirische Erkenntnisse auf der Makroebene wesentlich leichter zu generieren als auf der Mikroebene. Beispielsweise lassen sich über Verkehrsströme durch einfache, ggf. automatisierte Zählungen von Fahrzeugen oder Fahrgästen recht schnell umfassende Daten sammeln. Nach Veränderungen im System (etwa bei der Verkehrs- oder Linienführung) kann erneut gezählt und so recht schnell Zusammenhänge abgeleitet werden. Sollen jedoch die Verkehrsteilnehmer nach den Beweggründen für ihre Routen- oder Verkehrsmittelwahl gefragt werden, werden die Zusammenhänge weitaus vielfältiger und müssen zum Zweck der Übersichtlichkeit in einem Modell reduziert abgebildet werden. Wenn die erwarteten Makrostrukturen sich dann in der Simulation nicht einstellen, stellt sich die Frage, ob die getroffene Auswahl der Attribute generell oder nur ihre Parametrisierung ungeeignet war. Wie so häufig in der wissenschaftlichen Modellbildung ist die Gratwanderung zwischen Modellkomplexität und Handhabbarkeit zu beschreiten. Je höher die Komplexität des Handlungsmodells der Agenten ist, desto schwieriger ist die Verfolgung der Auswirkungen von Änderungen im Handlungsmodell; umgekehrt fallen auch Aussagen über Strategien zur Erreichung der Modellzielsetzungen immer schwerer: Sind die Ergebnisse nicht zufrieden stellend, kann der verursachende Modellteil immer schwieriger lokalisiert werden.

Bleibt eine Simulation aufgrund ihrer Komplexität auf eine kleine Zahl von Agenten beschränkt, kann sie kaum über das Stadium eines Experiments hinausgehen. Zum Produzenten planungsrelevanter Erkenntnisse werden solche Modelle erst dann, wenn sie mindestens auf einer regionalen Maßstabebene angesiedelt werden. Dabei werden jedoch schnell sechs- oder mehrstellige Agentenzahlen erreicht, ganz gleich ob Haushalte oder Einzelindividuen als Objekte der Simulation fungieren. Dieser Umstand stellt zunächst einmal große technische Anforderungen: Die Informationsaufnahme über die Sensoren, die Aktionsauswahl und ihre Durchführung kosten (reale) Zeit und Rechnerkapazitäten, die proportional zur Agentenzahl wachsen. Dies stellt wiederum die Programmierer von Simulationssoftware vor die Aufgabe, Datenvorhaltung und -austausch zu optimieren und effizienter zu gestalten. Gleichzeitig sollen natürlich Modell und Simulation für den Benutzer übersichtlich und handhabbar bleiben. Ein Beispiel aus der praktischen Erfahrung: Die Art der physischen Datenvorhaltung auf dem Arbeitsspeicher eines Rechners ist bei einer Anzahl von einigen Hundert Agenten beinahe belanglos. Wird hingegen eine Simulation von rund 100.000 Agenten gefordert, können im Bereich der Datenverwaltung und des Datenzugriffs größere softwareseitige Änderungen erforderlich sein, bis hin zu einer Umgestaltung der Datenstrukturen, die schnell einen überwiegenden Teil der Software betreffen können und deren Anpassung notwendig machen. Umgekehrt ist es aber gerade die Stärke des Multiagentenansatzes, durch seine dezentrale („verteilte“) Logik und Datenverwaltung solch groß angelegte Modelle verwalten zu können. Die Tatsache, dass jeder Agent zu einem beliebigen Zeitpunkt lediglich auf die für ihn relevante Information zuzugreifen in der Lage sein muss, ermöglicht dem Programmierer wesentliche Vereinfachungen bei der Datenvorhaltung.

Auf inhaltlicher Seite stellt sich die Aufgabe, Daten über eine große Anzahl Personen zu sammeln, mit den damit verbundenen Schwierigkeiten: Vollerhebungen sind teuer, Rücklaufquoten von Haushaltbefragungen niedrig. Bei vielen Variablen, wie dem genauen Wohnstandort oder dem Einkommen, verbietet sich die Erhebung schon aus Datenschutzgründen. Hier bietet sich allenfalls die Disaggregation etwa aus Baublockdaten an, sofern solche Daten überhaupt von den Gebietskörperschaften vorgehalten werden. Daten für Individualmodelle zu beschaffen, ist also mit einem deutlich höheren Aufwand verbunden als bei den aggregierten Gegenständen.

Schließlich steht auch die Bewertung des Modellergebnisses, ggf. verbunden mit einer angestrebten Verbesserung des Modells, vor spezifischen Herausforderungen bei großen Datenmengen. Sind etwa Modellparameter auf der Ebene einzelner Agenten einzustellen, sind automatisierte Verfahren hierzu schnell überfordert. Dies gilt insbesondere dann, wenn eine ‚Marschroute‘ für Modellverbesserungen nicht einfach zu quantifizieren ist, oder Effekte der Parameterveränderungen selbigen nicht eindeutig zugeordnet werden können. Zur Verdeutlichung sei als Beispiel wieder ein Modell für Konsumentenentscheidungen genannt. Angenommen, ein erreichtes Modellergebnis wird als nicht befriedigend eingestuft, und es wird festgestellt, dass die Einkaufsaktivitäten der Agenten stark räumlich streuen. Man könnte nun vermuten, dass Modellverbesserungen erreicht werden können, wenn der Aktionsradius der Agenten eingeschränkt wird, was die Anzahl der Geschäfte, die einem Agenten zum Einkauf zur Verfügung stehen, beschränken soll. Man definiert also eine ‚Sichtweite‘, die nun bei einigen Tausend Agenten simultan einzustellen wäre. Dadurch ergibt sich ein extrem großer Suchraum für diese Entfernungsschranke, da es nicht möglich ist, die Effekte ihrer Wahl bei einzelnen Agenten gegeneinander zu isolieren. Eine sequenzielle Änderung führt jedoch zum Ausschluss von Parameterkonstellationen, da beim Einstellen des Wertes bei einem Agenten stets das Konstanthalten desselbigen bei jedem anderen voraussetzt.

Ist zusätzlich die Aktionsauswahl in den Handlungsregeln der Agenten randomisiert, enthält also eine Zufallskomponente, können deren Effekte ebenfalls nur schwer isoliert werden. Insbesondere automatisierte Verfahren zur Parametereinstellung versagen an diesem Punkt, diese sind auf das Auffinden eines eindeutigen Optimums ausgelegt.

3.2.6 Verifikation / Validation

Obwohl schon im vorangegangenen Abschnitt thematisiert, werden hier die Aufgabenstellungen beim Bewerten der Simulationsergebnisse näher beleuchtet. Zunächst muss zwischen den Begriffen „Verifikation“ und „Validation“ unterschieden werden.⁹⁴ Die Verifikation dient dazu, sicherzustellen, dass das Modell die Vorstellungen und Annahmen der Empirie befolgt, und die Simulation die Modellspezifikationen fehlerfrei umsetzt. Dazu sind die Simulationsobjekte und die Wechselwirkungen zwischen ihnen sorgfältig zu beobachten und mit den durch das Modell vorgesehenen Wirkungsweisen abzugleichen. MAS bieten hierbei den großen Vorteil, dass sie die realweltlichen Objekte und Beziehungen sehr direkt repräsentieren, anders als das etwa bei gleichungsbasierten Mikrosimulationen der Fall ist, und damit diesen Teilvorgang erheblich erleichtern. Dazu gehört, die Veränderungen der Variablen und Modellparameter während der Simulation zu verfolgen, um mögliche Programmierartefakte zu identifizieren und auszuschließen. Als weitere Fehlerquellen sind aber auch die

⁹⁴ PARKER 2003: 327f.

Ausbreitung von Unsicherheiten und Fehlern der Ausgangsdaten zu beachten. In Landnutzungsmodellen können solche Fehler etwa bei der Klassifizierung von Satellitendaten auftreten. Bei der Verwendung von Befragungsergebnissen für die Festlegung der Handlungsregeln ergeben sich Unsicherheiten oft aus zu kleinen Fallzahlen in kreuztabellierten Resultaten oder aus der Missinterpretation von Fragestellungen seitens der Befragten. Essentiell ist, dass die Verifikation zunächst nur die technisch korrekte Funktionsweise sicherstellt.

Bei der Validation dagegen geht es um die Bewertung, in welcher Qualität die Simulationsergebnisse die Zusammenhänge des realen Systems widerspiegeln. Dazu müssen die Simulationsergebnisse mit Erkenntnissen aus empirischen Untersuchungen oder aus anderen Modellen, deren Gültigkeit schon nachgewiesen ist, verglichen werden. Das der Agentensimulation eigene Konzept der Emergenz⁹⁵ legt auch einen Vergleich mit aggregierten Daten nahe. Resultate agentenbasierter Bevölkerungssimulationen können beispielsweise mit aggregierten räumlichen Bevölkerungsverteilungen oder Migrationsströmen verglichen werden. Hier ergibt sich jedoch das Problem, dass die Zusammenhänge zwischen dem Handeln der einzelnen Agenten und den emergenten Strukturen nicht eindeutig sind. Mit anderen Worten: Bestimmte Bevölkerungsverteilungen können durch mannigfaltige Kombinationen unterschiedlicher Veränderungsprozesse zustande kommen, deren Wirkungen durch Vergleich mit aggregierten Daten nicht gegeneinander abgegrenzt werden können. Wird das Ergebnis als nicht zufrieden stellend bewertet, kann nicht einmal eine Aussage darüber getroffen werden, ob die erwünschten Strukturen auf der Makroebene mit den modellierten Vorgängen auf der Mikroebene generell nicht erzeugt werden können, oder ob sie lediglich ungeeignet parametrisiert wurden.⁹⁶ Wenn Modellparameter und Vergleichsgrößen auf unterschiedlichen Skalenniveaus vorliegen, kann auch der Fall auftreten, dass eine vollständige Übereinstimmung des Modells mit der Realität schon aus diesem Grund nicht möglich ist. Generell haben kleine Parameteränderungen bei einer großen Zahl von Agenten überraschend starke Auswirkungen auf die emergenten Strukturen.

Dennoch gibt es Erfolg versprechende Ansätze zur Modellverbesserung. Dazu gehört zum einen die Einbringung von Metawissen über die modellierten Phänomene. Denkbar ist hier vor allem die Verwendung qualitativer Erhebungen zur Erkenntnisgewinnung auf dieser Ebene. Leider fehlen gängige Methoden zur Integration qualitativer Erkenntnisse in Agentenmodelle. Zum anderen können als automatisierte Verfahren neben herkömmlichen Optimierungsalgorithmen auch Lernprozesse der Agenten selbst verwendet werden. Die Agenten müssten demnach ‚lernen‘, ihr eigenes, lokales Handeln so anzupassen, dass vorgegebene emergente Strukturen entstehen (ebd.: 213). Selbst wenn die hier gegebene Gefahr von Zirkelschlüssen vernachlässigt wird, können die Agenten hier wiederum nur begrenzt bewerten, inwiefern ihre eigenen oder die Handlungsveränderungen anderer Agenten zu der neuen Situation beigetragen haben. Das weitgehende Fehlen gängiger Kalibrierungsverfahren für MAS ist mit der Aktualität des Ansatzes und seiner wenig fortgeschrittenen und entwickelten Anwendung in den Sozialwissenschaften begründet.

⁹⁵ Siehe Kap. 3.2.2.

⁹⁶ KLÜGL 2001: 83.

3.3 Plädoyer für den Einsatz von MAS in den Sozialwissen- schaften

Bereits in Kapitel 2 waren die Kritiken, die sich gegen das Modellieren menschlichen Handelns richten, angesprochen worden. Grundsätzlich kann es nicht Sinn eines Modells sein, menschliches Handeln vollständig abzubilden. Modelle in allen Wissenschaftsbereichen haben immer zur Aufgabe, so komplex wie für ein zufrieden stellendes Ergebnis nötig, jedoch so einfach wie möglich zu sein. Dennoch ergaben sich Einwände vor allem bezüglich der quantitativen Darstellung, die sich insbesondere freien Willensentscheidungen verschließen. Ebenso wird die Unterstellung von Homogenitäten im Handeln, und sei es nur durch die Verwendung nutzentheoretischer Annahmen, kritisiert. Dass das Konzept des *homo oeconomicus* als Modellierungsparadigma den Ansprüchen moderner Sozialwissenschaften nicht mehr genügen kann, braucht nicht weiter erläutert zu werden. Stattdessen ist von einer *bounded rationality* auszugehen, die annimmt, dass jedes Individuum zumindest für sich selbst glaubt, nicht zum eigenen Nachteil zu handeln, auch wenn dies von außen betrachtet nicht rational erscheint. Gleichzeitig beginnt sich mit MAS ein Modellierungsansatz zu etablieren, der sich im Sinne des Eingangszitats dieses Kapitels von den positivistischen Glaubensbekenntnissen der quantitativen Forschung der Vergangenheit zu lösen beginnt. Seine Stärke ist, eben kein homogenes Handeln der Akteure unterstellen zu müssen.⁹⁷

Insbesondere die Geographie hat eine ausgeprägte Tradition der Betonung von Inhomogenitäten in Raum und Gesellschaft. Insofern ist es nicht verwunderlich, wenn die Berücksichtigungen solcher Heterogenitäten in Forschungsansätzen der Raumwissenschaften gefordert wird: „So erweist es sich als notwendig, das Individuum als Akteur mit bestimmten Handlungszielen und –maximen zu betrachten, die seine aktionsräumlichen Aktivitäten mitbestimmen“. Der Aktionsraum ist „als Ergebnis von Handlungen und eben nicht von Verhalten im Sinne einer vor allem psychologisch zu erklärenden Reaktion auf externe Reize anzusehen. [...] Entscheidend daran ist, dass die Handlungsrationalität sich auf den Standpunkt des Subjekts bezieht und nicht dem Handelnden objektiv gegenübersteht.“⁹⁸ Aus den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels sollte deutlich geworden sein, dass Multiagentensysteme für die modelltechnische Umsetzung dieser individuell ausdifferenzierten Sichtweise uneingeschränkt geeignet sind: Die Agenten als Modellierungsobjekte tragen nicht nur Merkmale von Individuen, die in ihre Entscheidungsfindung einfließen können, sondern können diese auch mit Handlungszielen verbinden. Ein solches, neuartiges Modell aktionsräumlichen Handelns kann so intentionales und damit individuell verschiedenes Handeln abbilden, ohne auf die Rationalitätsannahme verzichten zu müssen. Unterscheidungen zwischen zweckrationaler und phänomenologischer Perspektive im Sinne eines Entweder-Oder sind damit hinfällig.

Wie kann ein solches Modell nun aussehen? Im Gegensatz zu den raumwissenschaftlichen Ansätzen ist davon auszugehen, dass Interaktionen nicht auf Raumstellen, sondern „auf die diesen zugeschriebenen Eigenschaften, d.h. deren Bedeutungen“ gerichtet sind. „Diese sind von subjektiven Relevanzen abhängig [...]“ (ebd.: 61). Ein Modell von Konsumentenentscheidungen hätte diese also von Attributen der Entscheidungsalternativen (Geschäfte, Produkte) und deren individueller Einstufung (Präferenzen) abhängig zu machen. Die

⁹⁷ KLÜGL 2001: 81.

⁹⁸ SCHEINER 1998: 51-53.

Raumwahrnehmung nimmt dort lediglich eine Mittlerrolle zwischen Aktionsraum, Handlungsmaximen und –bedingungen ein. Dabei solle sie jedoch weniger als handlungslenkende, sondern vielmehr als von den Handlungen selbst abhängige Variable betrachtet werden.

Als Fazit dieses Kapitels seien drei Thesen festgehalten, deren Gültigkeit zu unterstreichen diese Arbeit angetreten ist:

1. Aktionsräumliche Forschung und Modellierung bedürfen einer individuellen Betrachtungsweise, wollen sie zeitgemäß sein und den Forderungen aktueller sozialwissenschaftlicher Ansätze (Handlungstheorie) Rechnung tragen. Insbesondere sind die Information über und die Wahrnehmung von Entscheidungsalternativen individuell auszudifferenzieren.
2. Hauptkritikpunkt an der Nutzentheorie war die Annahme eines vollständig informierten und Nutzen maximierenden Entscheiders. Können die obigen Forderungen nach individueller Ausdifferenzierung der Nutzenformulierung im Sinne einer *bounded rationality* erfüllt werden, ist diese Kritik gegenstandslos geworden und gegen die Weiterverwendung nutzentheoretischer Annahmen nichts einzuwenden.
3. Multiagentensysteme bieten das erste methodisch geeignete Instrumentarium zu diesem Zweck.

Auf diese Thesen wird bei der Beschreibung des Modells in Kapitel 5 regelmäßig zurückzukommen sein.