

Agentenbasierte Politik– und Sektoranalyse*

Perspektiven und Herausforderungen

ALFONS BALMANN und KATHRIN HAPPE

Agent-based Policy and Sector Analysis Perspectives and Challenges

During the last decade a new modeling approach, known as agent-based modeling, was developed and made its way into several areas of research. It greatly benefited from rapid developments in computing technology. As for economics, agent-based modeling is based on the observation that social systems can be understood and modeled explicitly as systems of interacting agents. Because of their flexibility with respect to the representation of agents, the interactions between agents as well as the resulting dynamic and spatial relationships, these models offer a great variety of perspectives for future research. In this contribution, the underlying modeling concept is presented, and exemplary applications to the field of sector and policy analysis are discussed. Future perspectives of agent-based modeling are pointed out, but also challenges to the agent-based approach are presented.

Key words: Agent-based modeling; agent-based systems; policy analysis; sector modeling

Zusammenfassung

Begünstigt durch die rasante Entwicklung der Rechenkapazitäten konnte sich vor allem im letzten Jahrzehnt eine neue Modellkonzeption entwickeln und ausbreiten, die auch als agentenbasierte Modellierung bezeichnet wird. Sie basiert darauf, dass soziale Systeme explizit als Zusammenspiel einer Vielzahl von individuell handelnden Akteuren (Agenten) aufgefasst und als solche auch modelliert werden. Derartige Modelle eröffnen durch ihre Flexibilität bei der Abbildung der Agenten und ihrer Interaktionen sowie der daraus resultierenden dynamischen und räumlichen Entwicklungen vielfältige Perspektiven für zukünftige Forschungen. In diesem Beitrag wird neben der Darstellung der Modellierungsidee und beispielhaften Anwendungen für derartige Modelle im Bereich der landwirtschaftlichen Sektor- und Politikanalyse illustriert, welche Perspektiven und Herausforderungen damit verbunden sind.

Schlüsselwörter: Agentenbasierte Modellierung; Agentenbasierte Systeme; Politikanalyse; Sektormodellierung

1 Vorbemerkungen

Seit den Arbeiten von ADAM SMITH (1778) zur Arbeitsteilung sind sich Ökonomen bewusst, dass ökonomische Prozesse auf Interaktionen einer Vielzahl von Individuen beruhen. SMITH zufolge werden die individuellen Handlungen in diesen Netzwerken über Märkte koordiniert, die unter bestimmten Annahmen "chaos and anarchy of unbridled greed" in "order and harmony" überführen (SCITOVSKI, 1990, S. 135). Im Rahmen des neoklassischen Theoriegebäudes wurden Bedingungen für das entsprechende Funktionieren der Märkte spezifiziert. Beispiele solcher Bedingungen sind vollständig definierte Eigentumsrechte, eine unbegrenzte Rationalität der Akteure sowie die Konvexität der individuellen Handlungsräume und Nutzenfunktionen. Sind diese Bedingungen erfüllt, lässt sich zeigen, dass ein eindeutiges wirtschaftliches Gleichgewicht existiert, in dem

(im paretianischen Sinne) die gesellschaftliche Wohlfahrt optimal ist. Im Rahmen vielfältiger Bemühungen, die darauf abzielen, axiomatisch oder empirisch zu belegen, dass diese Bedingungen in der Realität erfüllt sind, gelang es, ein weitgehend akzeptiertes Paradigma zu etablieren, das die (agrar-)ökonomische Forschung und Lehre der letzten Jahrzehnte prägte. Begünstigt wurde diese Entwicklung durch die vergleichsweise einfache Anwendbarkeit formal-analytischer Methoden, die auf stringente Weise erlauben, vielfältige Erkenntnisse über das Verhalten ökonomischer Systeme abzuleiten.

Trotz der allgemeinen Akzeptanz, der vielfältigen empirischen Belege und seines Erfolgs besteht eine Reihe von Einwänden gegenüber den Annahmen des neoklassischen Paradigmas, von denen hier nur einige genannt seien:

- Ökonomien befinden sich selten über längere Zeit in einem Gleichgewicht. Viele Märkte sind permanenten Schwankungen von Angebot und Nachfrage unterworfen oder es findet gar – wie es z.B. auf Arbeitsmärkten vielfach zu beobachten ist – über lange Zeiträume keine Markträumung statt.
- Unter Umständen befinden sich ökonomische Systeme sogar in einem gleichgewichtsähnlichen Zustand, dieser Zustand ist aber inferior. Verantwortlich hierfür sind Pfadabhängigkeiten, die – z.B. bedingt durch Netzwerkexternalitäten, steigende Skalenerträge (DAVID, 1985; ARTHUR, 1989) und/oder versunkene Kosten – für bestimmte Systemzustände einen Wechsel des Systems zum Optimum unmöglich oder unattraktiv machen (BRANDES, 1978).
- Für viele Güter sind Eigentumsrechte nur unvollkommen festgelegt. Als Folge ergeben sich Diskrepanzen zwischen individuell und gesellschaftlich optimalen Verhaltensweisen, die wiederum als verantwortlich für eine Reihe gesellschaftlicher Probleme, wie z.B. eines überhöhten Umweltverbrauchs, angesehen werden können.
- Die ökonomische Realität ist derart komplex (und darin liegt auch eine wesentliche Ursache für die zuvor genannten Punkte), dass die geistigen und kognitiven Fähigkeiten von Wirtschaftssubjekten als kaum hinreichend angesehen werden können, um optimale Verhaltensweisen zu bestimmen und umzusetzen.

Angesichts der Diskrepanzen zwischen dem neoklassischen Weltbild und der ökonomischen Realität wurden vielfältige Konzepte entwickelt, um das neoklassische Gedankengebäude zu erweitern oder aber alternative Paradigmen zu entwickeln. Der ersten Kategorie – nämlich das neoklassische Paradigma zu erweitern – lassen sich beispielsweise die Spieltheorie, große Teile der Umwelt- und Ressourcenökonomik, die Informationsökonomik, die Industrieökonomik sowie die Neue Institutionenökonomik zuordnen, also Forschungsrichtungen die mittlerweile auch weitgehend in

* Schriftliche Fassung eines Vortrags im Rahmen der Feier anlässlich der Emeritierung von Prof. Dr. W. BRANDES am 19.10.2001 in Göttingen.

Lehrbücher aufgenommen wurden. Zur letzteren Kategorie zählen z.B. der Behaviorismus und die Evolutorische Ökonomie, die trotz aller zuteil gewordenen Beachtung nach wie vor ein Außenseiterdasein führen.

Ein wesentlicher Grund für die erfolgreiche Integration der Erweiterungen in den ökonomischen Mainstream dürfte neben ihrer größeren weltanschaulichen Nähe zur Neoklassik darin liegen, dass es gelang, ihre Grundlagen und Kernaussagen mit dem formal-analytischen Instrumentarium der Neoklassik stringent aufzuarbeiten, was durch eine Vielzahl mikroökonomischer Lehrbücher eindrucksvoll belegt wird¹⁾. Eine ähnlich rigorose Aufarbeitung gelang für den Behaviorismus und die 'Schulen' der Evolutorischen Ökonomie (z.B. SCHUMPETER, HAYEK, SIMON, CYERT/MARCH, NELSON/WINTER) nicht – und ist infolge der dort zugrunde gelegten Verhaltensannahmen wohl auch nur sehr eingeschränkt möglich²⁾. Als Konsequenz sucht man in den meisten mikroökonomischen Lehrbüchern Begriffe wie 'schöpferische Zerstörung', 'beschränkte Rationalität' oder 'satisfizierendes Verhalten' vergebens. Allerdings wurde in den letzten Dekaden innerhalb dieser Forschungsrichtungen neben verbalen Überlegungen und empirischen Studien intensiv auf numerische Konzepte aus den Bereichen der Mathematik und Informatik zurückgegriffen, deren Nutzung für die ökonomische Forschung erst mit dem Vorhandensein leistungsfähiger Computer ermöglicht wurde. Viele dieser Ansätze lassen sich im Bereich der Methoden der künstlichen Intelligenz ansiedeln und hier insbesondere unter dem Begriff *agentenbasierte Systeme* (ABS) subsumieren. Die Simulation von Modellen auf der Grundlage agentenbasierter Systeme ermöglicht die Durchführung von Computerexperimenten, bei denen auf eine Reihe üblicher Annahmen der Neoklassik verzichtet werden kann, wie z.B. hinsichtlich Rationalität und Homogenität der Individuen. Diese Experimente führten zum Teil zu sehr interessanten Ergebnissen, wie z.B. Chaos, Agglomeration und Pfadabhängigkeit. Damit eröffnen sie für Ökonomen nicht nur neue Möglichkeiten durch eine Erweiterung des von den Axiomen begrenzten Anwendungsbereichs für quantitative Studien, sondern erlauben zugleich auch andere Perspektiven einzunehmen und neue Fragen aufzuwerfen.

Im Folgenden sollen agentenbasierte Systeme nun sowohl theoretisch als auch hinsichtlich agrarökonomischer Anwendungen kritisch diskutiert werden. Abschnitt 2 behandelt agentenbasierte Systeme im Allgemeinen, wobei ein Schwerpunkt auf die Diskussion spezifischer Eigenschaften agentenbasierter Systeme sowie deren Zielsetzungen und Anwendungsbeispiele gelegt wird. Im darauf folgenden Ab-

schnitt 3 werden agentenbasierte Systeme speziell im Hinblick auf einen Einsatz in der Politik- und Sektoranalyse diskutiert. Ausgehend von einer veränderten Nachfrage nach Politikanalysemodellen werden Perspektiven für eine Anwendung agentenbasierter Methoden in der Agrarökonomie aufgezeigt. Abschnitt 4 behandelt sowohl theoretische als auch praktische Probleme und Herausforderungen, die mit der Implementierung agentenbasierter Systeme in Simulationsmodelle, aber auch mit deren Verbreitung verbunden sind.

2 Agentenbasierte Systeme: Definition, Eigenschaften und Anwendungsbeispiele

2.1 Definition und Eigenschaften

Einfach und allgemein ausgedrückt wird unter einem agentenbasierten System ein *System interagierender Agenten* verstanden. Unter einem Agenten kann man dabei – wieder vereinfacht ausgedrückt – ein Subsystem verstehen, das auf äußere Einwirkungen autonom reagiert. RUSSELL/NORVIG (1995, S. 33) definieren Agenten folgendermaßen:

“An agent is anything that can be viewed as perceiving its environment through sensors and acting upon that environment through effectors.”

Entsprechend dieser Definition unterscheidet sich ein Agent im Grunde nicht von einem Computerprogramm (JENNINGS et al., 1998), das aus einer Eingabe eine Ausgabe erzeugt, oder von einem Kaugummiautomaten, der nach einem Münzeinwurf eine bestimmte Menge an Kaugummi freigibt. FRANKLIN/GRAESSER (1996) versuchen den Begriff folgendermaßen zu präzisieren:

“An autonomous agent is a system situated within and a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time, in pursuit of its own agenda and so as to effect what it senses in the future.”

Allerdings bezeichnen auch FRANKLIN/GRAESSER (1996) diese Definition als sehr allgemein. Demzufolge können sowohl Menschen als auch Heizungsthermostate als Agenten verstanden werden. FRANKLIN/GRAESSER (1996) schlagen zur weiteren Präzisierung eine Klassifizierung von Agenten nach verschiedenen Merkmalen oder Eigenschaften vor, wie sie in Tabelle 1 dargelegt werden. Als Mindestvoraussetzung für einen Agenten verlangen sie, dass die vier erstgenannten Eigenschaften gegeben sind, d.h. ein Agent sollte möglichst ohne zeitliche Verzögerung autonom und zielgerichtet auf Signale der Umwelt reagieren können. Sofern weitere Kriterien erfüllt sind, handelt es sich um Spezialformen.

Tabelle 1: Mögliche Eigenschaften von Agenten
(nach FRANKLIN/GRAESSER, 1996)

Eigenschaft	Bedeutung
reaktiv	reagiert auf Veränderungen der Umwelt
autonom	kontrolliert seine Handlungen
zielorientiert	reagiert zielgerichtet auf Umweltänderungen
zeitlich stetig	permanente Wahrnehmung der Umwelt
kommunikativ	kommuniziert mit anderen Agenten, u.U. mit Menschen
lernend (adaptiv)	berücksichtigt Erfahrungen bei Entscheidungen
mobil	kann sich im Raum bewegen
flexibel	Aktionen sind nicht exogen vorgeschrieben
Charakter	glaubwürdige "Persönlichkeit" und Gefühlszustände

1) Eine wesentliche Voraussetzung hierfür war die strikte Anwendung des Rationalitätsprinzips. Durch seine Eindeutigkeit hinsichtlich des individuellen Verhaltens erlaubt es, wie insbesondere die Lösungskonzepte der Spieltheorie verdeutlichen, auf einfache Weise, Gleichgewichtslösungen zu deduzieren (AXELROD 1997, S. 4). Nicht selten entsteht allerdings der Eindruck, dass Ökonomen vergessen, dass sich die Relevanz der Rationalitätsannahme vor allem aus dieser Möglichkeit zur Deduktion ergibt und weniger daraus, dass sie eine zwingende empirische Begründung hat.

2) Eine ähnliche Problematik besteht prinzipiell auch für die Transaktionskostenökonomik, die, wie der Behaviorismus, eine begrenzte Rationalität der Wirtschaftssubjekte unterstellt. Die Transaktionskostenökonomik nutzt jedoch einen Kunstgriff und spezifiziert zunächst die begrenzte Rationalität (z.B. das, was nicht mit vertretbarem Aufwand beobachtet werden kann) und analysiert dann normativ, wie rational mit dem eingeschränkten Wissen umzugehen ist, vorausgesetzt, der oder die wirtschaftlichen Opponenten oder Mitspieler verhalten sich ebenfalls rational.

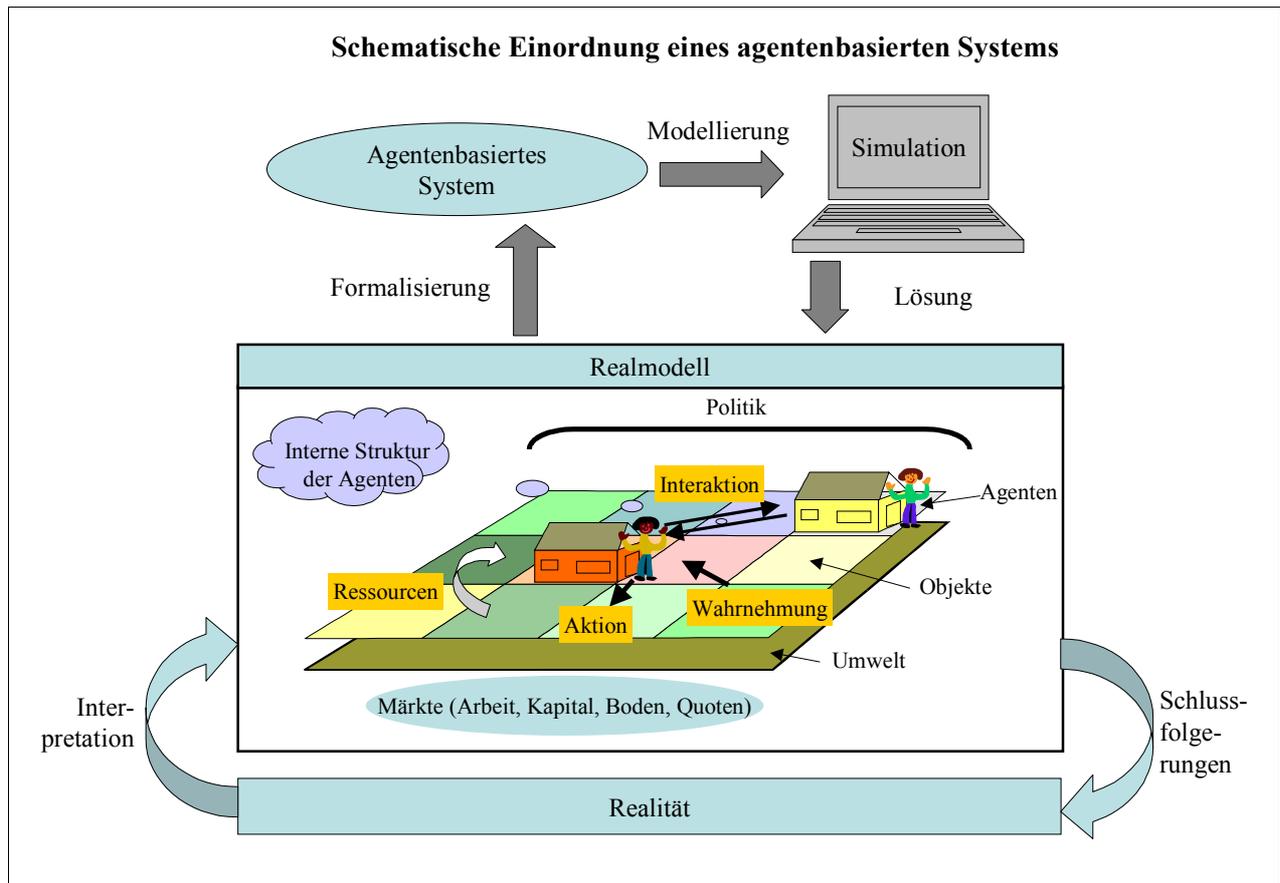


Abbildung 1

Wie bereits angedeutet, lassen sich derartige Agenten – neben ihrem praktischen Einsatz als Automaten in Form von Soft- oder Hardware – in Systeme integrieren, in denen mehrere Agenten interagieren, womit man agentenbasierte Systeme erhält. Abbildung 1 stellt dieses schematisch dar. Demzufolge kann die Realität oft als ein ABS, welches sich in ein Computerprogramm umsetzen lässt, verstanden werden. Ein ABS ist somit ein Instrument, um die Realität anhand vorgegebener Muster zu kategorisieren, wobei, wie die obige Übersicht zeigt, nicht zwangsläufig alle Eigenschaften eines Agenten erfüllt sein müssen.

2.2 Besondere Eigenschaften agentenbasierter Systeme

Agentenbasierte Systeme verfügen über eine Reihe von Eigenschaften, die gerade im Hinblick auf eine Politik- und Sektoranalyse von Bedeutung sind. Neben zahlreichen anderen Eigenschaften sind vor allem die folgenden herauszustellen: Flexibilität durch 'bottom up' Modellierung, Selbstorganisation und Emergenz, sowie die Integration von räumlichen Aspekten.

Agentenbasierte Modelle sind sozusagen von unten nach oben aufgebaut, d.h. sie folgen dem Prinzip des 'bottom up'. Das Verhalten des Gesamtsystems und somit auch der Agenten, wird nicht von einem zentralen Planer auf aggregierter Ebene gesteuert, sondern es ergibt sich aus dem Zusammenwirken der individuellen Verhaltensweisen der Agenten. Hiermit wird ermöglicht, die Agenten mit einer erheblich größeren Bandbreite von Eigenschaften und Verhaltensweisen auszustatten als konventionelle, 'top down' orientierte Modelle; denn letztere erfordern zur Wahrung

der Konsistenz zwischen der Mikro- und der Makroebene vergleichsweise restriktivere axiomatische Annahmen. ABS sind diesbezüglich flexibler, da spezifische Verhaltensannahmen nicht vom Modellansatz vorgegeben sind, sondern diese dem Problem entsprechend getroffen werden. Diese Flexibilität erlaubt dem Modellierer bestimmte Verhaltensannahmen, wie z.B. beschränkte Rationalität oder, die Heterogenität von Agenten zu definieren und im Modell zu berücksichtigen, um damit deren Wirkungen zu untersuchen. Ähnliches gilt für die Definition der Rahmenbedingungen, innerhalb derer sich Agenten bewegen. Konvexität von Produktionsfunktionen oder das Vorhandensein vollkommener Märkte sind im Gegensatz zu analytischen Ansätzen weniger zwingende Voraussetzungen für die Rechenbarkeit des Modells. Nichtkonvexität kann eher berücksichtigt werden, weil die Verhaltensmodelle auf individueller Ebene in der Regel weniger komplex sind, als sie es auf aggregierter Ebene wären. Damit kommt die Problematik der NP-Vollständigkeit weniger schnell zum Tragen³⁾ Statt vollkommener Märkte können in ABS auch beliebige bi- und multilaterale Austauschbeziehungen definiert werden.

So vorteilhaft die *Flexibilität* im Bezug auf Annahmen sein kann, so wohlüberlegt müssen die Annahmen getroffen, begründet und dokumentiert werden. Zum einen besteht das Problem der Beliebigkeit. Das heißt wenn Ergebnisse auf

3) Unter NP-Vollständigkeit wird verstanden, dass der erforderliche Rechenaufwand zur Lösung eines Problems mit zunehmender Anzahl an Variablen oder Restriktionen schneller als polynomial ansteigt, d.h. beispielsweise exponentiell oder als Fakultät. Ein Beispiel ist das Traveling-Salesman-Problem. Hier steigt der Rechenaufwand für n zu besuchende Orte mit $n!$.

speziellen Annahmen basieren, dann sind die verantwortlichen Annahmen auch zu rechtfertigen. Wenn also im Modell eine bestimmte Form beschränkter Rationalität definiert ist, dann ist diese zu rechtfertigen und in ihren Auswirkungen auf die Ergebnisse zu analysieren und zwar so, dass Adressaten der Ergebnisse diese Annahmen und deren Implikationen verstehen. Bei Standardannahmen stellt sich dieses Problem weniger; denn die Adressaten sind im Umgang mit diesen trainiert. Zum anderen können bestimmte Annahmen andere Zusatzannahmen erforderlich machen, um eine Lösung zu gewährleisten. So impliziert ein komplexes Modell, das analytisch nicht mehr zugänglich ist, quasi zwangsläufig die Annahme einer beschränkten Rationalität, ob das plausibel ist oder nicht. In Bezug auf die Detailliertheit eines Modells birgt die Flexibilität zudem das Problem der Überspezifizierung in sich, mit der Konsequenz, dass Modellergebnisse im Extremfall nicht mehr interpretierbar sind. Denn aufgrund der hohen Komplexität kann möglicherweise keine Verbindung mehr zwischen Ursache und Wirkung hergestellt werden kann, so dass man prinzipiell mit dem Problem einer Landkarte im Maßstab 1:1 zu kämpfen hat.

Infolge ihrer hohen Dimensionalität sind ABS in der Lage, modellendogen komplexe Strukturen zu generieren. Dazu gehört z.B. die Generierung komplexer Verhaltensweisen, wie Chaos, Pfadabhängigkeiten und Multi-Phasen-Dynamik (vgl. z.B. BALMANN, 1995). Das bedeutet, dass Veränderungen der Zustände in ABS modellendogen stattfinden. Damit brauchen Veränderungsgeschwindigkeiten nicht exogen definiert zu werden, sondern das Modell bestimmt das Tempo des Wandels selber, was mit einschließt, dass das Modell sich über lange Zeiträume in gleichgewichtsfernen Zuständen aufhält. Man könnte auch davon sprechen, dass es evolviert (vgl. auch BERGER/BRANDES, 1998). Ein weiteres Phänomen sind so genannte *emergente Strukturen*⁴). Darunter werden besondere Ordnungszustände verstanden, die durch das Zusammenwirken vieler Teile eines Systems entstehen (Selbstorganisation) und die nur in vierteiligen Systemen sichtbar werden, wie z.B. dem Wirken der 'unsichtbaren Hand' auf Märkten, Vogelschwärme, Insektenstaaten oder überhaupt lebendige Organismen. Eine über diese neuen Möglichkeiten zur Analyse ökonomischer Fragestellungen hinausgehende Relevanz könnte agentenbasierten Modellierungsansätzen in der Agrarökonomie zukommen, weil auf vergleichsweise direkte Weise *räumliche Bezüge* hergestellt werden können, die, wie man vor allem seit den Arbeiten VON THÜNENS weiß, einen unmittelbaren Einfluss auf wirtschaftliches Verhalten besitzen. Hinzu kommen selbst kleinräumig ausgesprochen heterogene Boden- und Klimaverhältnisse. Verdeutlicht wird die Bedeutung räumlicher Aspekte auch daran, dass gerade in der Agrarwissenschaft aktuelle neuere Möglichkeiten der Herstellung des Raumbezugs – vor allem im Rahmen der Geo-Informationssysteme – bereitwillig aufgenommen werden (vgl. DABBERT et al., 1999; KÄCHELE, 1999; MÖLLER

et al., 1999). Allerdings müssen die bisherigen Ansätze entweder von den individuellen Ausgangssituationen der Betriebe abstrahieren oder aber diese exogen mühsam vorgeben. Agentenbasierte Modelle erlauben dagegen eine sehr subtile Verknüpfung zwischen individuellem Verhalten und den natürlichen Produktionsbedingungen unter Berücksichtigung der Heterogenität (vgl. BERGER, 2000).

2.3 Zielsetzungen und Anwendungsbereiche

Mit Blick auf die Motivation zum Einsatz mehrerer interagierender Agenten in einem System lassen sich qualitativ sehr unterschiedliche Zielsetzungen und Anwendungsbereiche ausmachen. Tabelle 2 zufolge besteht eine Zielsetzung darin, komplexe Probleme zu lösen, wobei die einzelnen Agenten zur Lösung beitragen, indem diese parallel entweder Teilprobleme lösen oder alternative Lösungen generieren. Ersteres, die *Lösung von Teilproblemen*, entspricht prinzipiell einer Problemlerlegung oder Dekomposition (vgl. ODENING, 1994, insbes. Kap. 2), also einer eher konventionellen, reduktionistischen Vorgehensweise. Im Unterschied zu konventionellen Ansätzen braucht die Zerlegung und Spezifizierung der Zusammenhänge in ABS nur in erheblich geringerem Umfang durch den Modellierer erfolgen. Vielmehr kann sie auch modellendogen erfolgen, wie es in Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) geschieht. Der Modellierer muss nur spezifizieren, welche Variablen berücksichtigt werden und welche Art von neuronalem Netz gewählt wird. Die Bestimmung der Zusammenhänge erfolgt dann im Rahmen des sogenannten Trainings durch das KNN modellendogen (vgl. z.B. SCHWANENBERG/HELM, 1999). Dagegen werden *alternative Lösungen* zumeist im Rahmen einer Population von Agenten (die jeweils bestimmte Lösungen darstellen) generiert, innerhalb derer die Lösungen hinsichtlich ihrer Güte miteinander im Wettbewerb stehen. Derartige Populationsansätze verfügen dabei zumeist über Mechanismen, die erlauben, vorhandene Lösungen zu bewerten und schlechte Lösungen durch gute Lösungen oder durch neue Lösungen zu ersetzen. Beispiele sind Evolutionsstrategien (RECHENBERG, 1973; SCHWEFEL, 1977), genetische Algorithmen (HOLLAND, 1975), Classifier Systems (HOLLAND, 1975; 1995) sowie Ant Systems (DORIGO et al., 1996).

Eine weitere zu nennende Zielsetzung der Nutzung agentenbasierter Modelle besteht darin, das generelle Verhalten von Systemen mit interagierenden Individuen zu untersuchen, d.h. sie auf systemanalytische Fragen anzuwenden. Agentenbasierte Ansätze lassen sich diesbezüglich in vielfacher Hinsicht differenzieren: Zu nennen sind z.B. die Heterogenität der Agenten und die Berücksichtigung der Dimensionen von Raum und Zeit. Ein weiteres Differenzierungsmerkmal ist die Verhaltensfundierung der Agenten. Ein interessantes Modell mit relativ einfachen Agenten, die räumlich mobil sind, findet sich in SCHELLING (1978), der damit räumliche Aggregations- und Segregationsphänomene unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen untersucht. In diesem Modell folgen die Agenten relativ *einfachen Verhaltensregeln*, die z.B. lauten können, dass ein Agent sich einen neuen Wohnort sucht, wenn dessen Nachbarn nicht gewissen Kriterien genügen. Ein anderes Beispiel sind die in AXELROD (1984) beschriebenen Strategiewettbewerbe, in denen bei einem iterierten Gefangen-Dilemma-Spiel eine

4) So faszinierend der Begriff der Emergenz auch ist, er ist letztlich schwer zu fassen. Verdeutlicht wird diese Problematik von AXELROD (1997, S. 4), der im Hinblick auf das Besondere an emergenten Phänomenen anmerkt: "Emergent properties are often surprising because it can be hard to anticipate the full consequences of even simple forms of interaction. (...) Some complexity theorists consider surprise to be part of the definition of emergence, but this raises the question of surprising to whom?"

Tabelle 2: Klassifizierung der Anwendungsgebiete agentenbasierter Systeme

Zielsetzung Lösungs- konzeption	Problemlösung		Systemanalyse		
	Problem- zerlegung	Lösungs- konkurrenz	regelbasiert	normativ	Künstliche Intelligenz
Beispiele	<u>Allgemein:</u> Künstliche Neuronale Netze Zelluläre Automaten	<u>Allgemein:</u> Genetische Algorithmen Evolutionsstrategien Classifier Systems Ant Systems	<u>Speziell:</u> CONWAY'S 'Life' SCHELLING (1978) AXELROD (1984)	<u>Speziell:</u> DAY (1963) BALMANN (1993, 1997) BERGER (2000)	<u>Speziell:</u> ARIFOVIC (1994) AXELROD (1997) BALMANN (1998) BALMANN/HAPPE (2001) BALMANN/ MUSSHOFF (2001)

Reihe von EDV-Programmen verschiedener Autoren gegeneinander spielen und die zu dem bekannten Ergebnis führen, wonach die Strategie „tit for tat“ (übersetzt: Wie du mir, so ich dir), die in jedem Spielzug einfach den letzten Zug des Gegenspielers wiederholt, in wiederholten Konfliktsituationen relativ erfolgreich ist.

Neben den Modellen, in denen die Agenten simplen Regeln folgen, existieren Modelle mit Agenten, die eine *normative Verhaltensfundierung* besitzen. Als ein frühes Beispiel hierfür können prinzipiell die rekursiven Programmierungsmodelle angesehen werden, die seit Anfang der sechziger Jahre zur Analyse und Prognose der Entwicklung des Agrarsektors eingesetzt wurden (DAY, 1963, HEIDHUES, 1966). Diese Modelle unterstellen die Interaktion verschiedener Betriebstypen (Gruppenhöfe) oder Regionen (Regionshöfe)⁵). Die Heterogenität der Agenten ergibt sich dabei aus der Spezifizierung unterschiedlicher Koeffizienten, Kapazitäten und/oder Zielfunktionsbeiträge innerhalb der die einzelnen Höfe repräsentierenden Linearen Programme. In diese Modellkategorie lassen sich grundsätzlich auch die in BALMANN (1993 und 1997) und die in BERGER (2000) präsentierten Modelle einordnen. Diese Modelle sind natürlich erheblich komplexer und die Agenten sind – anders als in den meisten rekursiven Programmierungsmodellen – jeweils explizit im Programm definiert, jedoch basiert das Verhalten der Agenten im Wesentlichen auf rekursiver Programmierung.

Eine dritte Kategorie agentenbasierter Modelle im Bereich der Systemanalyse basiert darauf, dass die Agenten über eine Art *künstlicher Intelligenz* verfügen, aus der ihr Verhalten resultiert. So werden in AXELROD (1997) in einer Fortsetzung der bereits angesprochenen Strategiewettbewerbe zum iterierten Gefangenendilemma die Strategien nicht als Programme vorgegeben, sondern mit einem genetischen Algorithmus generiert. Dazu wird eine Population von Genomen definiert, die jeweils in ihrer decodierten Form einer bestimmten Strategie entsprechen und für den Strategiewettbewerb herangezogen werden. Das heißt, dass die Agenten in der Lage sind, Spielstrategien eigenständig oder im Zusammenspiel zu ‚lernen‘⁶). Diese Fort-

5) Obwohl die Gruppen- oder Regionshöfe selber die Kriterien für Agenten erfüllen, erfolgt die Bestimmung ihrer Lösung oft mit einer zentralen LP-Routine, die so spezifiziert ist, dass im Rahmen der Optimierung neben den individuellen Interessen einfache Austauschbeziehungen und globale Restriktionen berücksichtigt werden können. Man könnte das Gesamt-LP jedoch problemlos zerlegen und die Austauschbeziehungen außerhalb der die Agenten repräsentierenden LPs definieren.

6) Das ‚Lernen‘ in derartigen Modellen sollte CHATTOE (1998) zufolge jedoch nicht so verstanden werden, dass das Modell menschliches Lernen adäquat abbildet. Menschen lernen mit anderer Geschwindigkeit, lernen

setzung des Strategiewettbewerbs führt zu Strategien, die zentrale Elemente der „tit for tat“ Strategie beinhalten. Agrarökonomische Anwendungen dieses Ansatzes finden sich z.B. in BALMANN/HAPPE (2001), wo gleichgewichtige Pachtmarktstrategien in Abhängigkeit von der Konkurrenzsituation auf Bodenmärkten bestimmt werden. In BALMANN/MUSSHOFF (2001) werden genetische Algorithmen genutzt, um gleichgewichtige Investitionsstrategien für Realloptionsprobleme konkurrierender Agenten zu analysieren. Dabei zeigt sich beispielsweise, dass die vielzitierte Aussage, dass unter Wettbewerb gleiche Investitionsschwellenpreise gelten wie für exklusive Optionen von einzelnen Unternehmen (DIXIT/PINDYCK, 1996), bei Anlagegütern mit endlicher Nutzungsdauer nicht gilt.

3 Agentenbasierte Systeme in der Politik- und Sektoranalyse

3.1 Herausforderungen der Politik- und Sektoranalyse

Die Agrarökonomie als ein Teilbereich der angewandten Ökonomie verfolgt verschiedene Zielsetzungen. Eine besteht darin, das zu untersuchende System zu verstehen, um Aussagen über zukünftige Systementwicklungen zu treffen. Dazu werden das System – ein einzelner Betrieb, eine Region oder der Agrarsektor – und die darin geltenden ökonomischen Gesetze untersucht. Eine andere Zielsetzung, die für gewöhnlich im Bereich der Politikanalyse verfolgt wird, besteht in der Wirkungsanalyse von Politiken hinsichtlich bestimmter Kriterien, wie z.B. Effizienz, Einkommen und Umweltverträglichkeit. In der Agrarökonomie nimmt die Politikanalyse einen vergleichsweise hohen Stellenwert ein. Hierzu werden zumeist quantitative Modelle verwendet, die – bis auf wenige Ausnahmen – den partiellen und allgemeinen Gleichgewichtsmodellen, ökonometrischen Ansätzen und mathematischen Programmierungsmodellen zuzuordnen sind⁷). Diese zumeist hochaggregierten Modelle vernachlässigen jedoch eine Reihe von Faktoren, die kennzeichnend für den Agrarsektor sind, wie räumliche Aspekte, die Immobilität des Produktionsfaktors Boden, Interaktionen zwischen Betrieben sowie dynamische und strukturelle Gesichtspunkte. Kurz, die Heterogenität der einzelnen Betriebe bezüglich ihres Betriebstyps, Alters, Größe, Kapitalausstattung sowie die Bedeutung dieser Faktoren für die

andere Regeln etc. Weniger problematisch erscheint es, diesen Ansatz so zu verstehen, dass damit Nash-Gleichgewichte und evolutionär stabile Strategien für komplexe spieltheoretische Probleme identifiziert werden können (vgl. DAWID, 1999).

7) Vgl. SALVATICI et al. (2001) für eine Modellübersicht.

Wirkung von Politikmaßnahmen wird durch bloße Aggregation nur eingeschränkt abgebildet. Eine agentenbasierte Politikmodellierung stellt eine Möglichkeit dar, genau diese Unzulänglichkeiten zu überbrücken und neue Erkenntnisse über die strukturellen Wirkungen von agrarpolitischen Maßnahmen zu erlangen.

In der Terminologie agentenbasierter Systeme kann jeder landwirtschaftliche Betrieb als ein Agent bezeichnet werden (vgl. Abb. 1). Jeder Betrieb/Agent ist durch einen für ihn individuellen Standort gekennzeichnet. Betriebe produzieren verschiedene Güter mit den gegebenen Produktionsfaktoren (Arbeit, Maschinen, Boden, Gebäude); Investitionen in neue Maschinen, Technologien und Gebäude werden durchgeführt; Betriebe pachten und verpachten Land. Darüber hinaus ist die landwirtschaftliche Produktion allein schon aufgrund natürlicher Wachstumsprozesse zeitabhängig. Landwirtschaftliche Betriebe unterscheiden sich hinsichtlich ihres Typs, ihrer Lage, ihrer Faktorausstattung, ihrer Größe, aber auch hinsichtlich ihrer Managementqualitäten. Über die Zeit gesehen verändert sich all dieses. Marktergebnisse und struktureller Wandel auf regionaler oder sektoraler Ebene sind als Folge der individuellen Aktionen der Betriebsagenten zu verstehen, die sich in Veränderungen der Betriebsgrößen, Betriebsaufgabe, Veränderung der Produktionsmethoden etc. äußern. Auf einer weiteren Ebene ist die Politik – und hier insbesondere die Agrarpolitik – angesiedelt. Diese setzt die Rahmenbedingungen, in-

- Ohnehin leere Kassen der öffentlichen Haushalte und die anstehende Osterweiterung der EU lassen langfristig einen erheblichen Subventionsabbau erwarten.
- Das Subsidiaritätsprinzip, d.h. die Verlagerung von Entscheidungskompetenzen an untere Ebenen, gewinnt zunehmend an Bedeutung.
- Politiker beginnen Landwirte als Unternehmer zu entdecken.

Aus diesen Entwicklungen lässt sich zum einen ein erheblicher zukünftiger Anpassungsbedarf des Agrarsektors ableiten, der sich in einem beschleunigten Strukturwandel, wenn nicht gar in einer Art Transformation der EU-Landwirtschaft niederschlagen könnte. Zum anderen gewinnen individuelles und lokales Verhalten, und damit Interaktionen und Heterogenität, an Bedeutung⁸). Aus der damit verbundenen zunehmenden Bedeutung von zeitlicher und räumlicher Variabilität ergeben sich veränderte Anforderungen an Politikanalyssysteme. Gleiches gilt im Übrigen längst für die Analyse von Transformationsprozessen; denn hierbei handelt es sich um Systementwicklungen, die fern von Gleichgewichten ablaufen und daher kaum die für die Validität eines allgemeinen oder partiellen Gleichgewichtsmodelles geltenden Anforderungen erfüllen.

Ausgehend davon lässt sich fragen, ob die Wissenschaft ihre veränderten Möglichkeiten zur Befriedigung dieser Nachfrage nutzt. Infolge von Informationstechnologie, Geoinformationssystemen und einem einfacheren Zugang zu Daten von öffentlicher Verwaltung und Verbänden, haben sich Angebot und Qualität der Daten erheblich verbessert. Darüber hinaus existiert eine im Zeitablauf exponentielle Zunahme der Rechenkapazitäten. Illustrieren lässt sich dies anhand des MOORE-schen Gesetzes, demzufolge sich alle 18 bis 24 Monate die Anzahl der Transistoren je Prozessor verdoppelt (siehe Abb. 2). Diese Trends werden sich in Zukunft fortsetzen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass bis Ende dieses Jahrzehnts moderne Computer mindestens die 100-fache Leistungsfähigkeit heutiger Computer haben werden.

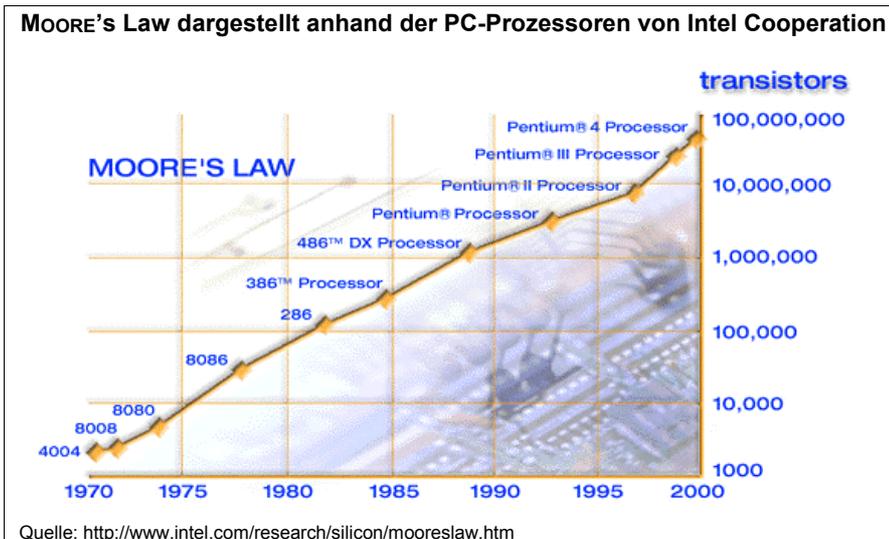


Abbildung 2

nerhalb derer Betriebe, aber auch die Märkte, sich bewegen und innerhalb derer struktureller Wandel stattfinden kann. In der weiter zurückliegenden Vergangenheit waren diese Rahmenbedingungen keinen allzu großen Veränderungen unterworfen, so dass auf Seiten der Betriebe relative Planungssicherheit bestand. Seit Ende der 80er Jahre jedoch ist die Agrar- und auch die Umweltpolitik erheblichen Veränderungen unterworfen, die zum Teil in zeitlich enger Abfolge stattfinden. Wesentliche Entwicklungstendenzen sind dabei:

- Eine Entwicklung weg von Preis- und Mengenregulierungen hin zu produktions- und prozessorientierten staatlichen Eingriffen.

3.2 Perspektiven

Die veränderten Anforderungen und Möglichkeiten sprechen prinzipiell für die Nutzung agentenbasierter Systeme in der Politik- und Sektoranalyse. Zudem gab es, wie anhand von Tabelle 2 dargestellt wurde, in der Vergangenheit, beginnend mit den von DAY (1963) entwickelten rekursiven Programmierungsmodellen, bereits frühzeitig die Idee, den Agrarsektor als agentenbasiertes System zu verstehen. In diesem Zusammenhang mag auch nicht verwundern, dass bereits moderne komplexe agentenbasierte Modelle für

8) In diesen Zusammenhang ist auch die zunehmende Bedeutung vertikaler und horizontaler Integration einzuordnen. Unternehmen interagieren weniger in anonymen Märkten, sondern zunehmend bilateral. Damit hängt der Erfolg eines Unternehmens unmittelbar von anderen Akteuren ab.

Benutzeroberfläche des Simulationsmodells

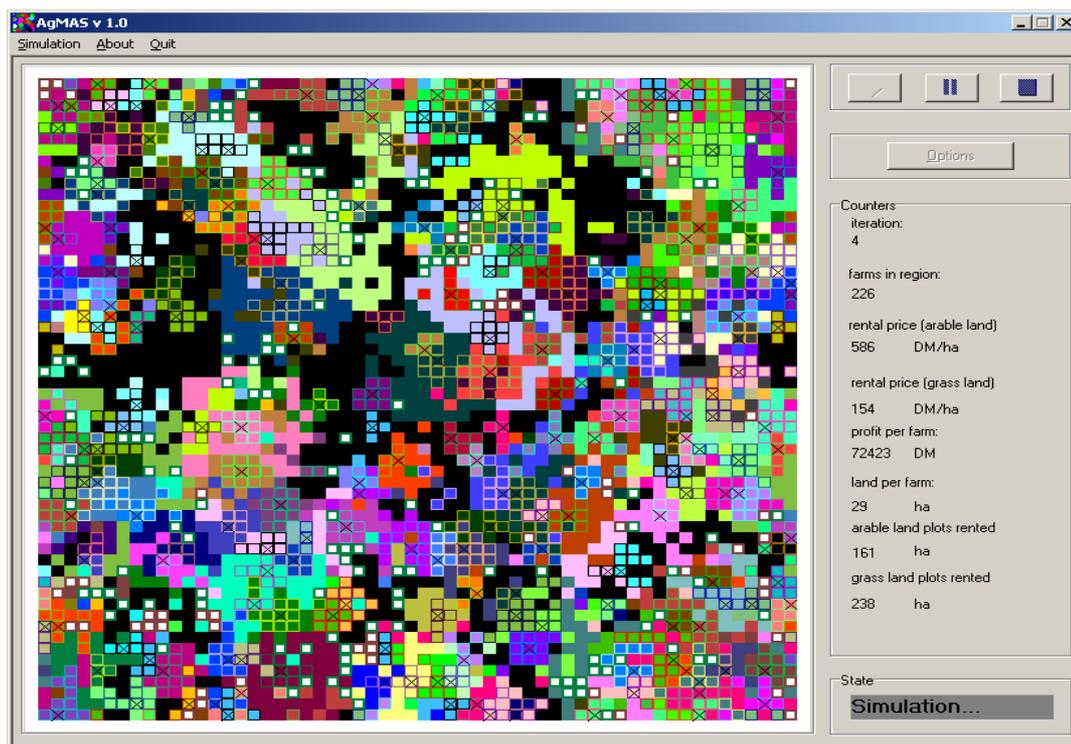


Abbildung 3

agrarökonomische Fragestellungen entstanden (z.B. BALMANN, 1993; BOUSQUET, 1994), bevor der Begriff der agentenbasierten Modellierung in der (agrar)ökonomischen Forschung bekannt wurde. Zugleich wurden diese Ansätze während der letzten Jahre erheblich weiterentwickelt (z.B. BOUSQUET et al., 1998; BERGER, 2000; BALMANN et al., 2001; BARRETEAU et al., 2001). Dieser Entwicklungsstand soll für die folgenden Überlegungen als Basis für eine Illustration der zukünftigen Perspektiven für die Nutzung von ABS für die Politik- und Sektoranalyse genommen werden. Beginnen kann man dazu mit dem in BALMANN et al. (2001) genutzten Modell, das zur Analyse einiger Politikvorschläge verwendet wurde, die aktuell unter dem Stichwort der 'Agrarwende' diskutiert werden. Dieses Modell lässt sich folgendermaßen charakterisieren:

Eine Region mit einer Größe von etwa 75 000 ha LN, die das Vergleichsgebiet Hohenlohe im Nordosten Baden-Württembergs abbildet, ist aufgeteilt in 30 000 schachbrettartig angeordnete, quadratische Parzellen mit jeweils 2,5 ha. Etwa 75 % der Parzellen sind Acker- und 25 % Grünland. In der Region sind anfänglich insgesamt etwa 2600 landwirtschaftliche Betriebe angesiedelt. Diese Betriebe können als Agenten verstanden werden. Jeder Betrieb agiert autonom und verfolgt individuell das Ziel der Maximierung des Haushaltseinkommens. Dazu können sie neben nichtlandwirtschaftlichen Aktivitäten (außerbetrieblicher Arbeitsaufnahme und Geldanlage) 13 verschiedene landwirtschaftlichen Produktionsaktivitäten durchführen (z.B. Milchvieh, Rindermast, Ferkelerzeugung, Schweine- und Putenmast, Marktfruchtbau, Ackerfutter, Weide, Wiese). Darüber hinaus können sie in 28 verschiedene Anlagen (Gebäude, Maschinen unterschiedlicher Größe und Ausrichtung) investieren sowie Milchquote und Gülle zu- und verkaufen. Nicht zuletzt können die Betriebe ihre Flächen auf dem Pachtmarkt auf- und abstocken sowie aus der Produktion aus-

scheiden. Abbildung 3 zeigt die grafische Benutzeroberfläche des Modells, wobei zur besseren Erkennbarkeit nur mit 10 % der eigentlichen Modellgröße gerechnet wurde. Die mit einem X markierten Parzellen repräsentieren dabei Hofstellen. Die mit gleicher Tönung unterlegten Parzellen gehören jeweils zum gleichen Betrieb. Umrahmte Parzellen sind Eigentumsflächen, nicht umrahmte sind Pachtflächen.

Ogleich in diesem Modell alle Betriebe autonom handeln, sich individuell entwickeln und auch über unterschiedliche Managementfähigkeiten verfügen, folgen alle

Betriebe demselben Entscheidungsmuster. Ausgehend von adaptiven Erwartungen nutzen die Betriebe für die Einkommensmaximierung gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung. Wenn ein Betrieb investiert, hat das Auswirkungen auf die Nutzungsdauer der Anlage, d.h. Investitionskosten werden als versunken angenommen. Betriebsaufgaben erfolgen, wenn Betriebe illiquide sind oder wenn das erwartete Haushaltseinkommen die Opportunitätskosten der eigenen Faktoren nicht deckt. Hierbei werden versunkene Kosten sowohl beim Anlagekapital als auch beim Humankapital berücksichtigt. Für letzteres wird z.B. angenommen, dass Betriebe im Rahmen eines alle 25 Perioden stattfindenden Generationswechsels zu besonderen Konditionen ausscheiden können.

Trotz der genutzten Optimierungstechnik müssen die kognitiven Fähigkeiten der Betriebsleiter als beschränkt angesehen werden. Beispielsweise können die Betriebe nicht miteinander kommunizieren und somit nicht kooperieren, um gemeinsam Maschinen zu nutzen oder Betriebe zusammenzulegen. Auch können sie sich nicht strategisch verhalten und beispielsweise bei ihren Entscheidungen die Entscheidungssituation der Nachbarbetriebe berücksichtigen. Insbesondere letzteres könnte man als restriktiv ansehen; denn die Betriebe interagieren auf verschiedenen Märkten. Neben zentralen Märkten für Milchquoten und Gülle sind dies insbesondere die Pachtmärkte für Acker- und für Grünland. Die Bodenallokation erfolgt dabei über einen Auktionsmechanismus, bei dem die Betriebe für ihre Wunschflächen gemäß ihrer Schattenpreise für Boden unter der Berücksichtigung der entfernungsabhängigen Transportkosten bieten. Da in diesen Politikanalysen jedoch relativ kleinbetriebliche Strukturen betrachtet werden, kann davon ausgegangen werden, dass strategisches Verhalten kaum möglich ist (BALMANN/HAPPE, 2001) und die Pacht-

preise, die sich aus einem solchen Auktionsmechanismus ergeben, zumindest theoretisch plausibel sind⁹⁾.

Neben den (indirekten) Interaktionen der Betrieben über den Pachtmarkt hängt deren Entwicklung auch von Veränderungen der Rahmenbedingungen ab. Zum einen können sich Preise infolge von Markteffekten ändern – was bei Betrachtung kleiner Regionen weniger bedeutsam ist. Zum anderen können Preistrends, Politikänderungen und technische Fortschritte die Rahmenbedingungen ändern. Diese Aspekte lassen sich durch die Definition entsprechender Preis- und Politikszenerarien exogen berücksichtigen.

Die Kalibrierung des Modells basiert darauf, dass die Modell-Betriebe aus realen Betrieben, die am Testbetriebsnetz der Bundesregierung teilnehmen, abgeleitet werden. Diese können für die Untersuchungsregion als typisch angesehen werden. Jeder der Betriebstypen wird mit einer bestimmten Häufigkeit in der Region angesiedelt, wobei die Häufigkeiten so festgelegt werden, dass die Modellregion wesentliche Besonderheiten der realen Region Hohenlohe (z.B. eine hohe Viehbesatzdichte, Spezialisierung auf Ferkelerzeugung, Putenmast) aufweist. Die Simulation eines Szenarios über einen Zeithorizont von 20 Jahren benötigt auf einem modernen PC etwa 5 Stunden. Dabei wird eine Vielzahl von Daten sowohl auf einzelbetrieblicher Ebene, wie auch auf regionaler Ebene generiert, die gezielt entsprechend der jeweiligen Fragestellung ausgegeben werden können. Wie in BALMANN et al. (2001) dargestellt wird, können das Informationen über die Entwicklungen der Flächenanteile verschiedener Betriebsgrößenklassen, die Entwicklung der Verteilung der Viehbesatzdichten der einzelnen Betriebe sowie die Entwicklung der Transferzahlungen und Einkommen sein.

Ausgehend von diesem Modell sowie auch dem in mancher Hinsicht noch wesentlich detaillierteren Modell von BERGER (2000)¹⁰⁾ lässt sich erkennen, dass bereits heute erhebliche Möglichkeiten zur praktischen Anwendung von ABS existieren. Geht man von der weiteren Gültigkeit des MOORE-schen Gesetzes aus, so wird es in 10 Jahren technisch sicherlich möglich sein, die gesamte EU-Landwirtschaft auf einzelbetrieblicher Ebene mit Hilfe einiger parallel geschalteter Prozessoren auf einem PC in einer Nacht in ähnlicher Detailliertheit zu simulieren, wie dies für Hohenlohe erfolgte. Ob das jedoch Sinn macht, hängt davon ab, wie sehr man den gegenwärtigen Schwachstellen begegnet. Dazu gehört zu vorderst eine noch detailliertere Abbildung der Betriebe und insbesondere ihres Verhaltens. Grundlage dafür ist natürlich zum einen eine hohe Verfügbarkeit und Qualität empirischer Daten – ein Umstand, der durch das bestehende FADN der EU erleichtert wird. Aller-

9) Für Altpachtverträge wird angenommen, dass die Pachtpreise langsam an die Neupachtpreise angepasst werden. Darüber hinaus können Arrondierungsvorteile zusammengelegter Schläge, sowie Wachstumsvorteile bei gleichzeitiger Zupacht mehrerer Parzellen in der aktuellsten Modellversion ebenfalls berücksichtigt werden.

10) BERGER (2000) erweiterte und verfeinerte die ursprüngliche Modellidee in mehreren bedeutenden Bereichen. Die Betriebe folgen heterogenen Entscheidungsmodellen und können innerhalb von Informationsnetzwerken kommunizieren. Es wurden heterogene Bodenqualitäten und ein räumliches Bewässerungsmodell berücksichtigt, bei dem sowohl hydrologische Aspekte als auch der Handel mit Wasserrechten betrachtet werden. Genutzt wurde das Modell für die Analyse der Adoption technischer Fortschritte in einer ausgewählten Region in Chile unter alternativen Politikszenerarien. Das Modell umfasste 5400 Betriebe bei einer Regionsgröße von 667 km².

dings müssen diese Daten auch aufbereitet werden, um die Ausgangssituation der Betriebe adäquat spezifizieren zu können. Dazu werden auch entsprechend differenzierte Kalkulationsdaten für die Planung die Betriebe benötigt. Hier reichen standardisierte Datensätze, wie sie z.B. vom KTBL angeboten werden, nicht aus; denn infolge heterogener Managementfähigkeiten der Betriebsleiter sind die realen 'Koeffizienten' sehr heterogen. Hier bestünde somit ein erheblicher empirischer Analysebedarf. Durch Nutzung entsprechender LP-Generatoren könnten dann die erforderlichen Betriebe spezifiziert und in das Modell eingelesen werden.

Neben der detaillierten Abbildung der Betriebe und der Region wäre das Verhalten der Betriebe adäquat zu modellieren. Und hier besteht zweifellos die größere Herausforderung. Zum einen lässt sich bezweifeln, dass landwirtschaftliche Betriebe und Unternehmen dem strikten Ziel der Einkommensmaximierung folgen (vgl. BRANDES, 1985). Zum anderen stellt sich die Frage, ob lineare Programmierungsmodelle eine adäquate Abbildung des betrieblichen Entscheidungsverhaltens sind; denn damit kann nur ein sehr begrenzter Ausschnitt aus dem individuellen Entscheidungsraum erfasst werden¹¹⁾ und es lassen sich damit ebenfalls keine zwischenbetrieblichen Interaktionen erfassen. In diesem Zusammenhang stellt sich nicht zuletzt die Frage, wie 'intelligent' Agenten eigentlich sein müssen oder sollen. Ein Ansatzpunkt bestünde darin, für die Verhaltensfundierung auf Methoden der künstlichen Intelligenz, wie z.B. genetische Algorithmen zurückzugreifen (vgl. BALMANN, 1998; BALMANN/HAPPE, 2001; BALMANN/MUSSHOFF, 2001). Eine Alternative könnte darin bestehen, Verhaltensregeln realer Personen aus Feldexperimenten abzuleiten, wie es z.B. im Rahmen des CORMAS-Projektes vielfach in Entwicklungsländern durchgeführt wird (BOUSQUET et al., 1998). In diesen Feldexperimenten wird für die Nutzer einer Common Pool Ressource jeweils individuell deren Position und Handlungsweise ('point of view') in Befragungen erhoben und jeweils explizit für die beabsichtigten Simulationsexperimente modelliert. Eine andere Möglichkeit könnte darin bestehen, dass Personen die Rolle von Agenten in einem Modell übernehmen. Ein interessantes Beispiel hierfür liefert ebenfalls das CORMAS-Projekt, bei dem reelle agentenbasierte Systeme mit Menschen als Agenten in Form von Rollenspielen durchgeführt werden (BARRETEAU et al., 2001). Die Ergebnisse dieser Rollenspiele geben Aufschluss über potenzielle Verhaltensweisen von Computeragenten. Ein etwas anderer Weg wird aktuell mit dem in BALMANN et al. (2001) verwendeten Modell verfolgt. Dieses Modell wird gegenwärtig zu einem Planspiel entwickelt, in dem Personen die Rolle eines Politikers oder Betriebsleiters einnehmen können. Insbesondere Letzteres könnte im Rahmen von Experimenten Aufschluss darüber geben, wo Defizite bei der Modellierung der Betriebe bestehen, d.h.: wie 'intelligent' sollte die betriebliche Optimierung sein, welche Informationen und Kommunikationskanäle nutzen reale Personen, welche bi- und multilateralen zusätzlichen Aktionen sollten ermöglicht werden?

Derartige Modelle, die explizite Schnittstellen für Personen als Mitspieler bieten, eröffnen für die zukünftige Nut-

11) BERGER/BRANDES (1998) sprechen in diesem Zusammenhang von geschlossenen Systemen.

zung eine Reihe weiterer Perspektiven. Zum einen bieten sie sich – wie schon angesprochen wurde – für Simulations- oder Planspiele an. Wenn beispielweise Studierende in einem solchen Modell die Rolle eines Politikers oder Landwirts übernehmen, können sie die komplexen dynamischen Wirkungen von Politikmaßnahmen oder Unternehmensstrategien sozusagen ‘am eigenen Leib’ erfahren. Zum anderen liegt – da das Planspiel abgesehen von der Benutzeroberfläche identisch mit dem Simulationsmodell ist – auch ein Einsatz als realitätsnahes Planspiel bzw. als Analysemodell für Politiker nahe¹²). Vorteile eines solchen Modells liegen nicht nur darin, dass Politikexperimente mit Politikern direkt am Modell erfolgen können. Vielmehr können bei einer Simulation über mehrere Perioden auch in der Zukunft erforderliche oder mögliche Korrekturen der Politiken durchgespielt werden.

Eine weitere Anwendungsperspektive agentenbasierter Politik- und Sektormodelle liegt in ihrer Anwendung auf Transformationsprozesse. Diese Perspektive ergibt sich vor allem daraus, dass Transformationsprozesse offensichtlich über große Zeiträume ‘fern vom Gleichgewicht’ stattfinden und ihnen zudem eine mehr oder minder starke Dynamik innewohnt. Eine Modellierung von Transformationsprozessen auf der Basis allgemeiner oder partieller Gleichgewichtsmodelle kann diese Charakteristiken kaum – und wenn, nur exogen – erfassen. Bei agentenbasierten Modellen sind Ungleichgewichtszustände dagegen inhärent; agentenbasierte Modelle entwickeln sich endogen. Allerdings stellt sich hierbei die Frage, ob eine normative Verhaltensfundierung der Agenten plausibel ist. Eher angebracht erscheint es, sich von einer ambitionierten quantitativ ausgerichteten Modellierung zu lösen und die Modellierung darauf auszurichten, lokale Systeme (z.B. ehemalige Kolchosen oder Dörfer) zu modellieren, mit der Zielsetzung besondere Transformationszusammenhänge wie z.B. die Ineffizienz von Unternehmen und deren Ursachen zu verstehen. Eine solche Anwendung wäre eher qualitativ ausgerichtet und es erscheint durchaus plausibel, dass hierfür eine Modellierung, die wie beim CORMAS-Projekt zunächst den ‘point of view’ der Stakeholder erfasst, um daraus Verhaltensregeln abzuleiten (BOUSQUET et al., 1998), einen vielversprechenderen Ansatz darstellt als Modelle mit einer normativen Verhaltensfundierung der Agenten.

Nicht zuletzt soll hier auch darauf hingewiesen werden, dass sich eine agentenbasierte Modellierung nicht auf die Modellierung ganzer Sektoren oder Regionen beschränken muss. Vielmehr bieten sie sich auch für die Modellierung von Organisationen an (vgl. CARLEY, 1999; CARLEY/LEE, 1998). Das kann einerseits bedeuten, dass man einen solchen Ansatz für die Simulation von Wertschöpfungsketten nutzt. Dies wäre insbesondere mit Blick auf Qualitätssicherungssysteme von Interesse. Andererseits kann man auf diese Weise Unternehmen als komplexe vierteilige Systeme modellieren. Mit Blick auf die Rechtsnachfolger der ehe-

maligen LPGen in den neuen Bundesländern könnte man deren einzelne Stakeholder (z.B. Mitglieder, Beschäftigte, Verpächter, Geldgeber sowie Akteure, die mehreren dieser Gruppen angehören) mit ihrem Einfluss auf die Entscheidungsfindung des Unternehmens modellieren. Ein solches Modell könnte erlauben, das Verhalten und die Stabilität solcher Unternehmen in Abhängigkeit z.B. von Ausgangssituation und Rechtsform zu untersuchen.

4 Probleme des Umgangs mit agentenbasierten Systemen

4.1 Theoretische Aspekte

Aus dem angesprochenen dynamischen Verhalten agentenbasierter Systeme ergeben sich besondere Konsequenzen für deren Handhabung und Analyse. Oft ist ex ante wenig über die Zahl und Topologie etwaiger Attraktoren bekannt und es lässt sich nicht antizipieren, wohin sich das System entwickelt¹³). Aber selbst wenn ein eindeutiger Attraktor existiert, bedeutet das nicht unbedingt, dass das System sich diesem während des Zeitraums, der für einen Beobachter oder Entscheider von Interesse ist oder den er simuliert, nähert. Bezogen auf ökonomische Sachverhalte bedeutet dies, dass sich ein ökonomisches System längerfristig fernab vom einem Gleichgewicht bewegen kann. Das Phänomen der Persistenz kleinbetrieblicher Agrarstrukturen kann als ein solcher Zustand fernab des ökonomischen Gleichgewichtes interpretiert werden.

Eine andere Problemstellung agentenbasierter Systeme ergibt sich aus der Koordination der einzelnen Agenten. Wie bereits ausgeführt, speichern Agenten in agentenbasierten Systemen ihre Informationen zumeist dezentral und agieren mehr oder weniger autonom. Die damit regelmäßig verbundene fehlende zentrale Steuerung der Informationsverarbeitung ist nicht unproblematisch; denn das Verhalten der Individuen muss miteinander kompatibel sein (DAY, 1995). Beispielsweise kann in einem ökonomischen System nichts konsumiert werden, was nicht zuvor produziert wurde. Gleichermaßen kann natürlich nur dann etwas gekauft werden, wenn Käufer und Verkäufer dem Kauf zustimmen. Daher benötigen solche Systeme Regelmechanismen, die die Konsistenz sichern, damit Restriktionen eingehalten werden. Dazu müssen die zwischen den Individuen bestehenden Interdependenzen implizit oder explizit festgelegt werden. Verkompliziert wird die Berücksichtigung der Interaktionen, wenn die Festlegung der individuellen Handlungen unter gleichzeitiger Berücksichtigung ihrer Interdependenzen erfolgen muss; d.h. wenn sich Agenten strategisch entscheiden. Diese Problematik zu lösen, ist alles andere als trivial; denn die Annahme strategischen Verhaltens verlangt prinzipiell, dass jeder Agent ein entsprechendes Modell über die strategische Entscheidungssituation besitzt. Dazu müsste jeder Agent ein agentenbasiertes Modell seiner Umwelt besitzen, in dem die Agenten selber wiederum ein agentenbasiertes Modell ihrer Umwelt besitzen etc. Ein solches Modell würde mit steigender Agentenzahl sehr schnell nicht mehr rechenbar sein. Hier bieten sich prinzipiell zwei Auswege an. Der erste besteht darin, dass

12) Zur Illustration: Das angesprochene von BALMANN, HAPPE und KELLERMANN entwickelte Politikplanspiel erlaubt standardmäßig vielfältige Politikoptionen: Preispolitiken, prozessabhängige Subventionen, direkte Transfers, Faktorsubventionen, Betriebsaufgabeprämien. Zugleich stehen dem Spieler Informationen zu Produktionsstruktur, Betriebsstruktur, Einkommensstruktur, Subventionsstruktur sowie ein Budgetrechner zur Abschätzung der erforderlichen zukünftigen Subventionsumfänge zur Verfügung.

13) Attraktoren sind, vereinfacht ausgedrückt, Zustände, auf die ein System zustrebt, etwa Gleichgewichtspunkte, Zyklen oder sogenannte seltsame Attraktoren, die chaotisches Verhalten implizieren.

die Agenten vereinfachten Ad-hoc-Regeln folgen, die strategische Aspekte berücksichtigen. Der zweite besteht darin, im Modell besondere Institutionen zu definieren, die eine Lösungsfindung erleichtern. Hierbei bieten sich natürlich insbesondere solche Institutionen an, die in der Realität ermöglichen, dass reale ökonomische oder soziale Systeme funktionieren, die auf einer Vielzahl individuell handelnder Agenten basieren, wie z.B. Märkte, Auktionen, Sitten.

4.2 Probleme und Herausforderungen

Neben modelltheoretischen Problemen ergeben sich beim Umgang mit agentenbasierten Systemen auch eine Reihe praktischer Probleme, die letztendlich entscheidend zur Aussagekraft und zum Erfolg eines Modellansatzes beitragen. Abbildung 4 zeigt einige diesbezüglich relevante Dimensionen, in denen sich die Modellentwicklung auf der Grundlage eines agentenbasierten Systems bewegt. Demnach lassen sich drei Dimensionen unterscheiden: Verifikation und Validierung, Kontinuität und Implementierung sowie Akzeptanz und Kommunizierbarkeit.

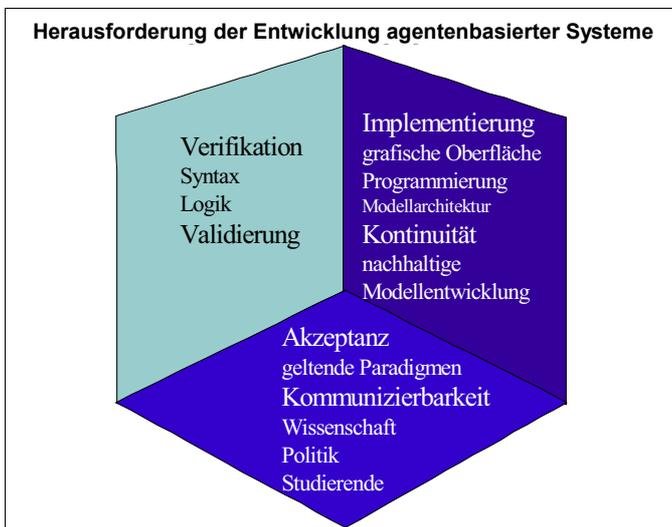


Abbildung 4

4.2.1 Verifikation und Validierung

Verifikation und Validierung sind essenziell für die Aussagefähigkeit eines Modells. Unter *Verifikation* versteht man das fehlerfreie Laufen eines Modells. Fehlerquellen finden sich sowohl in der Programmsyntax als auch in der Programmlogik, wobei logische Fehler ungleich schwieriger zu entdecken sind. Eine gute Modelldokumentation und Erfahrung sind beim Aufspüren von Fehlern von großem Wert. Unter *Validierung* versteht man dagegen die Prüfung, ob das Modell das Zielsystem angemessen abbildet. In Bezug auf agentenbasierte Systeme wurde der Modellvalidierung bisher ein relativ geringer Stellenwert eingeräumt. Das hat zum einen damit zu tun, dass solche Modelle bisher kaum für angewandte Forschungen, wie z.B. die Politikanalyse eingesetzt wurden, sondern eher als Experimentierfeld für theoretische Überlegungen genutzt wurden. Hier hat in letzter Zeit jedoch ein Umdenken eingesetzt, wie die Beispiele der Politikmodellierung oder Landnutzungsmodellierung zeigen (PARKER et al., 2001). Zum anderen ist die Validierung komplexer Simulationsmodelle generell schwierig

(vgl. WEINSCHENCK, 1977; ODENING/BALMANN, 1997; BRANDES, 1985). Der Prozess der Validierung gleicht vielfach eher einem Ausprobieren. Die hier vorgestellten Modelle von BALMANN (1995), BERGER (2000) etc. haben sich jedoch bislang gegenüber Modellvariationen und Weiterentwicklungen in ihren Ergebnissen und den daraus resultierenden Schlussfolgerungen als sehr robust erwiesen. Dies bezieht sich einerseits darauf, dass die Modellrechnungen zu einigen auch empirisch beobachtbaren Phänomenen führten, wie z.B. die Persistenz kleinbetrieblicher Strukturen und funktionelle Einkommensdisparitäten in kleinbetrieblichen Strukturen (BALMANN, 1999). Zum anderen ließen sich durch Variation bestimmter Modellannahmen robuste Ursachen für die angesprochenen Phänomene identifizieren, wie z.B. versunkene Kosten von Human- und Anlagekapital im Zusammenhang mit Skalenerträgen. Nicht ganz unproblematisch ist in diesem Zusammenhang, dass sowohl die Existenz der genannten Phänomene als auch die der identifizierten Ursachen unter Agrarökonomen nicht ganz unumstritten ist. Darin könnte man nun die Gefahr sehen, dass ein solches Modell nur diejenigen überzeugt, die vielleicht ohnehin von bestimmten Zusammenhängen überzeugt sind. Eine solche Einschätzung würde jedoch vernachlässigen, dass allein die Möglichkeit der Simulation komplexer Zusammenhänge, wie z.B. das Zusammenspiel versunkener Kosten und steigender Skalenerträge bei beschränkter rationaler Agenten in unvollkommenen Märkten, einen wissenschaftlichen Erkenntniswert hat: Die Simulation eines solchen Systems erlaubt die Quantifizierung der Effekte bestimmter Annahmen und Argumentationsketten. Damit können diese Argumentationsketten, die analytisch kaum zugänglich sind, einfacher auf ihre Konsistenz überprüft werden. Darüber hinaus lassen sich diese Argumentationsketten weiterentwickeln und möglicherweise Hypothesen formulieren, die empirisch getestet werden können.

4.2.2 Implementierung und Kontinuität

Je nach dem wie abstrakt oder detailliert die Forschungsfrage gestellt ist, ergibt sich das Abstraktionsniveau des zu entwickelnden Modells. Dabei ist zu unterscheiden, ob es um die gänzliche Neuentwicklung eines Modells zur Beantwortung einer Forschungsfrage geht (vgl. BALMANN, 1995) oder ob es darum geht, ein Problem mittels eines bereits bestehenden Modellansatzes anzugehen und diesen um relevante Faktoren zu erweitern. So war es für BERGER (2000) zum Beispiel angemessen, den Modellansatz auf die Diffusion von Technologien in einer Agrarregion in Chile zu übertragen. Dazu mussten aber Anpassungen vorgenommen werden, die spezifisch für diese Region sind und die gleichzeitig relevant für die zugrunde liegende Fragestellung waren. Gleiches gilt für BALMANN et al. (2001) mit einer Adaption des Ansatzes für die Region Hohenlohe in Baden-Württemberg. Alle diese Erweiterungen haben gemeinsam, dass sie detaillierter und problemspezifischer sind als der ursprüngliche Modellansatz. Allerdings betreffen Aussagen dann in mancher Hinsicht nur das untersuchte Zielsystem.

Ein nicht zu unterschätzender Schritt bei der Entwicklung eines agentenbasierten Modells ist der Prozess des Modelldesigns sowie die Umsetzung des Designkonzepts in ein Computerprogramm. Im Designkonzept werden die Grund-

züge der Ausgestaltung der Agenten, ihre Interaktionen, Verhaltensweisen, die Verknüpfung zu modellexternen Datenquellen, Datenausgabe, die Interaktionen des Anwenders mit dem Modell etc. festgelegt, wobei das Konzept einer ständigen kritischen Hinterfragung bedarf. Die Umsetzung eines Designkonzeptes kann auf vielfältige Weisen erfolgen. In der Regel erfolgt sie mittels objektorientierter Programmiersprachen, wie Java oder C++, da diese für agentenbasierte Modelle besonders geeignet sind. Zwar gibt es seit einiger Zeit agentenbasierte Modellierungspakete, wie z.B. SWARM (MINAR et al., 1996) oder CORMAS (BOUSQUET et al., 1998), doch sind diese nicht immer geeignet zur adäquaten Umsetzung eines speziellen Modellkonzeptes in ein Programm. Ein ausgereiftes, gut dokumentiertes Modellkonzept ist auch im Hinblick auf die weitere Nutzung eines Modellansatzes von großer Bedeutung, denn die Grundzüge und Struktur eines Modellansatzes sind außerhalb eines (oft schwer zu verstehenden) Modellcodes schneller und meist effizienter zu erfassen¹⁴).

4.2.3 Kommunizierbarkeit und Akzeptanz

Eine Grundvoraussetzung für den nachhaltigen Erfolg eines Modellansatzes und seiner Anwendungen ist seine *Kommunizierbarkeit* sowohl im Bezug auf seine Potenziale (vgl. Abschnitt 3) als auch hinsichtlich der zu Grunde liegenden Annahmen und Ergebnisse. Ein detailliertes und nachvollziehbares Designkonzept bietet für Modellierer eine gute Grundlage¹⁵). Die Vermittelbarkeit von Modellansätzen gestaltet sich umso einfacher, je standardisierter die Ansätze sind und im Prinzip auch, je begrenzter die Möglichkeiten der Modellerweiterungen sind. Standardisierung kann in Bezug auf charakteristische Bestandteile, wie z.B. die Agenten, oder hinsichtlich didaktischer Konzepte erfolgen. Die jeweiligen Modellansätze sind dagegen wegen ihrer Spezifizierung auf eine Problemstellung nur schwer zu standardisieren. Es erscheint deshalb naheliegender, eher ein Grundverständnis für agentenbasierte Systeme möglichst breit zu vermitteln, so dass eine Diskussion auf dieser Grundlage möglich ist.

Kommunizierbarkeit ist nur die eine Seite des nachhaltigen Erfolges von Modellansätzen. Die *Akzeptanz* derselben bei den Adressaten und insbesondere der Politik, ist ebenso wichtig. Um diese zu erreichen, bedarf es wohl einer ungleich größeren Anstrengung, denn hier verhält es sich wie bei jedem neuen Produkt, dessen Qualitäten sich erst am Markt beweisen müssen. Und der Markt für Politikanalysemodelle ist weit abgedeckt mit Modellen, die über ein großes Erfahrungsspektrum sowie eine große Zahl von Anwendern verfügen. Dennoch deuten vereinzelte kritische Stimmen darauf hin, dass auch von Seiten der Politik eine Nachfrage nach ergänzenden Modellansätzen besteht, die die Komplexität des zu Grunde liegenden Systems als Gegen-

stand haben. BONNEN/SCHWEIKHARDT (1998) kommen diesbezüglich zu folgender Aussage:

“The analytic power of economic analysis comes from its logical, often mathematical and statistical rigor, and from theory and assumptions that simplify the conceptual framework of the analysis. We are trained to resist movement away from this methodological dispensation”.

...“Economists abstract from real-world conditions for the disciplinary purposes, but policy makers must deal with the world as they encounter it.”

5 Ausblick

Agentenbasierte Modelle eröffnen eine Reihe von Möglichkeiten, die ökonomische Wirklichkeit – bildlich ausgedrückt – durch eine andere Brille zu sehen. Durch ihre besondere Eignung für die Durchführung von Experimenten erlauben sie die Untersuchung von Fragestellungen, die im Rahmen konventioneller Methoden unmöglich oder nur durch das Treffen von zum Teil äußerst restriktiven Fragestellungen und axiomatischen Annahmen möglich sind. Damit ermöglichen sie, neue Antworten auf alte und neue Fragen zu geben. Zugleich sind die Grenzen der Modellierung noch bei weitem nicht erreicht. Zum einen werden weiter neue Modellierungskonzepte entwickelt, die erlauben, das Anwendungsgebiet agentenbasierter Modelle zu erweitern und bestehende Schwächen abzubauen. Zum anderen werden die Rechnerkapazitäten weiter steigen, was sowohl für die Rechengeschwindigkeit als auch für Datenspeicher gilt.

Die Herausforderungen für die zukünftige agrarökonomische Forschung liegen nicht zuletzt darin, die rasante Entwicklung der Möglichkeiten zu erkennen; denn die treibenden Kräfte dieser Entwicklung finden sich fernab der angewandten sozialwissenschaftlichen Forschung. Es ist daher nicht nur nach möglichen Anwendungsgebieten Ausschau zu halten. Fast wichtiger noch ist die Offenheit für eine Diffusion der Erkenntnisse über diese Entwicklungen in die agrarökonomische Forschung. Die sich verändernden Möglichkeiten können jedoch nur genutzt werden, wenn auch der entsprechende Nährboden existiert. Dies setzt neben den erforderlichen Fähigkeiten, komplexe Modelle zu bauen, voraus, dass Forscher und Adressaten der Forschungen sich in die Komplexität der Modelle und der ihnen zugrunde liegenden Systeme hineinendenken können. Hilfreich hierfür scheint, wenn Studenten und junge Wissenschaftler in die Lage versetzt werden, sich in verschiedenen Paradigmen zu bewegen. Das bedeutet nicht unbedingt, dass Wissenschaftler Generalisten sein sollten. Wohl aber sollten z.B. Ökonomen in der Lage sein, Paradigmen z.B. aus der Soziologie oder Systemtheorie nachvollziehen zu können und umgekehrt; denn die obigen Überlegungen zu den Perspektiven agentenbasierter Modelle dürften deutlich gemacht haben, dass sich die ungeheuren Möglichkeiten nur nutzen lassen, wenn nicht nur ausgewählte ökonomische Details feiner abgebildet und die Dimension des Modells vergrößert werden, sondern auch die Beziehungen zwischen den Agenten und die zwischen den Agenten und ihrer Umwelt. Letzteres bedeutet für die Entwicklung hochkomplexer Modelle neben der erforderlichen Teamarbeit insbesondere auch interdisziplinäre Zusammenarbeit.

14) Bedingt durch den z. T. hohen Umschlag von Wissen und Wissenschaftlern ist dieses in der Regel oft nicht oder nur schlecht gegeben, so dass eine Adaption vorhandener Modelle oft mit langen Einarbeitungsphasen verbunden ist, bevor das eigentliche Projekt in Angriff genommen werden kann.

15) Zusätzlich werden von einigen Projektgruppen spezielle Trainingskurse zum Erlernen ihres Modellierungsansatzes angeboten, wie z.B. bei CORMAS.

Literaturverzeichnis

- ARIFOVIC, J. (1994): Genetic Algorithm Learning in the Cobweb Model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18, S. 3–28.
- ARTHUR, W.B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, 99, S. 116–131.
- AXELROD, R. (1984): *The Evolution of Cooperation*. Basic Books.
- AXELROD, R. (1997): *The Complexity of Cooperation. Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton, NJ.
- BALMANN, A. (1993): Modellierung regionaler Agrarstrukturentwicklungen mittels des Konzepts "zellulärer Automaten". *Zeitschrift für Agrar-informatik*, 2, S. 34–41.
- BALMANN, A. (1995): Pfadabhängigkeiten in Agrarstrukturentwicklungen – Begriff, Ursachen und Konsequenzen. Berlin.
- BALMANN, A. (1997): Farm-based Modelling of Regional Structural Change: A Cellular Automata Approach. *European Review of Agricultural Economics*, 24(1), S. 85–108.
- BALMANN, A. (1999): Path Dependence and the Structural Development of Family Farm Dominated Regions. IX European Congress of Agricultural Economists, Organized Session Papers, Warsaw (Poland), August 24–28, 1999, S. 263–284.
- BALMANN, A.; HAPPE, K. (2001): Applying Parallel Genetic Algorithms to Economic Problems: The Case of the Agricultural Land Market, Proceedings of IIFET 2000.
- BALMANN, A.; HAPPE, K.; KELLERMANN, K.; KLEINGARN, A. (2001): Adjustment Costs of Agri-Environmental Policy Switchings: A Multi-Agent Approach. In: JANSSEN, M.A. (Hrsg.): *Multi-agent Approaches for Ecosystem Management*. In Vorbereitung.
- BALMANN, A.; MUSSHOFF, O. (2001): Real Options and Competition: The Impact of Depreciation and Reinvestment. Working Paper, Humboldt-Universität zu Berlin.
- BARRETEAU, O.; BOUSQUET, F.; ATTONATY, J.-M. (2001): Role-playing Games for Opening the Black Box of Multi-agent Systems: Method and Lessons of its Application to Senegal River Valley Irrigated Systems. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(2), <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/2/5.html>.
- BERGER, T. (2000): Agentenbasierte räumliche Simulationsmodelle in der Landwirtschaft – Anwendungsmöglichkeiten zur Bewertung von Diffusionsprozessen, Ressourcennutzung und Politikoptionen. *Agrarwirtschaft*, Sonderheft 168.
- BERGER, T.; BRANDES, W. (1998): Evolutionäre Ansätze in der Agrarökonomik. *Agrarwirtschaft*, 47, S. 275–282.
- BONNEN, J.T.; SCHWEIKHARDT, D.B. (1998): Getting From Economic Analysis to Policy Advice. *Review of Agricultural Economics*, 20, S. 582–601.
- BOUSQUET, F. (1994): Distributed Artificial Intelligence and Object-oriented Modelling of a Fishery. *Mathematical Computer Modelling*, 2018, S. 97–107.
- BOUSQUET, F.; BAKAM, I.; PROTON, H.; LE PAGE, C. (1998): CORMAS: Common-Pool Resources and Multi-Agent Systems. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol. 1416, S. 826–838.
- BRANDES, W. (1978): Zur Konzentration der Agrarproduktion in der Bundesrepublik Deutschland aus betriebswirtschaftlicher Sicht. *Agrarwirtschaft*, 27(1), S. 1–12.
- BRANDES, W. (1985): *Über die Grenzen der Schreibtisch-Ökonomie*. Tübingen.
- CARLEY, K.M. (1999): On the Evolution of Social and Organizational Networks. In: ANDREWS, S.B.; KNOKE, D. (eds.), *Research in the Sociology of Organizations*, 16, special issue: On Networks In and Around Organizations. JAI Press, Inc., Stamford, Connecticut, S. 3–30.
- CARLEY, K.M.; LEE, J. (1998): Dynamic Organizations: Organizational Adaptation in a Changing Environment. In: BAUM, J.L. (ed.), *Advances in Strategic Management*, 15, Disciplinary Roots of Strategic Management Research, JAI Press, Chapter 15, S. 269–297.
- CHATTOE, E. (1998): Just How (Un)realistic are Evolutionary Algorithms as Representations of Social Processes? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 1(3), <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/3/2.html>.
- DABBERT, S.; HERRMANN, S.; KAULE, G.; MÖVIUS, R. (1999): Das GIS als Instrument interdisziplinärer Landschaftmodellierung. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.*, Bd. 35, S. 175–182.
- DAVID, P.A. (1985): Clio and the Economics of QWERTY. *American Economic Review*, Proceedings 75, S. 332–337.
- DAWID, H. (1999): Adaptive Learning by Genetic Algorithms: Analytical Results and Applications to Economic Models. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, No. 441, 2. Auflage, Berlin.
- DAY, R.H. (1963): *Recursive Programming and Production Response*. Amsterdam.
- DAY, R.H. (1995): Multiple-Phase Economics Dynamics. In: Maruyama, T.; Takahashi, W. (eds.): *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Vol. 419, S. 25–45. Berlin.
- DIXIT, A.; PINDYCK, R., S. (1994): *Investment under Uncertainty*. Princeton.
- DORIGO, M.; MANIEZZO, V.; COLORNI, A. (1996): The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Part-B*, v. 26, no. 1, S. 1–13.
- FRANKLIN S.; GRAESSER A. (1996): Is it an Agent, or just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents. Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages.
- HEIDHUES, T. (1966): A Recursive Programming Model of Farm Growth in Northern Germany. *Journal of Farm Economics*, 48, S. 668–684.
- HOLLAND, J.H. (1975): *Adaption in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor.
- HOLLAND, J.H. (1995): *Hidden Order*. Reading, Massachusetts.
- JENNINGS, N.R.; SYCARA, K.; WOOLDRIDGE, M. (1998): A Roadmap of Agent Research and Development. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1, S. 7–38.
- KÄCHELE, H. (1999): Der Einsatz des Entscheidungshilfesystems Modam zur Reduzierung von Konflikten zwischen Naturschutz und Landwirtschaft am Beispiel des Nationalparks „Unteres Odertal“. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.*, Bd. 35, S. 191–198.
- MINAR, N.; BURKHART, R.; LANGTON, C.; ASKENAZI, M. (1996): The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations. Santa Fe Institute Working Paper, 96-06-042. <http://nelson.www.media.mit.edu/people/nelson/research/swarm/>
- MÖLLER, D.; WEIMANN, B.; KIRSCHNER, M.; KUHLMANN, F. (1999): GIS-basierte Simulation regionaler Landnutzungsprogramme. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.*, Bd. 35, S. 191–198.
- ODENING, M. (1994): *Komplexitätsreduktion in Entscheidungsmodellen*. Frankfurt am Main.
- ODENING, M.; BALMANN, A. (1997): Probleme einer Politikoptimierung – Konsequenzen für die Konstruktion von Agrarrestormodellen. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.*, Bd. 33, Münster-Hiltrup, S. 371–381.
- PARKER, D. C.; MANSON, S. M.; JANSSEN, M. A.; HOFFMANN, M.; DEADMAN, P. (2001): Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. Working Paper, CIPEC.
- RECHENBERG, I. (1973): *Evolutionstrategie. Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. Stuttgart.
- RUSSEL, S.; NORVIG, P. (1995): *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Englewood Cliffs, NJ.
- SALVATICI, L.; ANANIA, G.; ARFINI, F.; CONFORTI, P.; MURO, P.D.; PONDERO, P.; SCKOKAI, P. (2001): Recent Developments in Modelling the CAP: Hype or Hope? In: HECKELEI, T.; WITZKE, H.P.; HENRICHSMEYER, W. (Hrsg.): *Agricultural Sector Modelling and Policy Information Systems*. Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel, S. 8–26.
- SCHELLING, T. (1978): *Micromotives and Makrobehavior*. New York, London.
- SCHWANENBERG, S.; HELM, R. (1999): Künstliche Neuronale Netze als Analyseinstrument der betriebswirtschaftlichen Forschung. *WiSt*, 7, S. 356–362.
- SCHWEFEL, H.-P. (1977): *Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie*. Basel.
- SCITOVSKI, T. (1991): The Benefits of Asymmetric Markets. *Journal of Economic Perspectives* 4(1), S. 135–148.
- SMITH, A. (1776): *The Wealth of Nations*. Books I-III. Nachdruck herausgegeben von SKINNER, A. (1979). London.
- WEINSCHENCK, G. (1977): Zur Anwendung der Systemforschung und der Simulation in der landwirtschaftlichen Sektoranalyse. Bericht 5/77 – Vorträge zum 3. Forschungscolloquium 1977 des Lehrstuhls für Wirtschaftslehre des Landbaus. Kiel, S. 37–69.

Verfasser/In:

PD Dr. ALFONS BALMANN, Fachhochschule Neubrandenburg, Fachbereich AL, Brodaer Str. 2, 17033 Neubrandenburg
(E-Mail: mail@alfons-balmann.de)

KATHRIN HAPPE MA (Econ), Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410B), 70593 Stuttgart (E-Mail: khappe@uni-hohenheim.de)