

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 163 (2012)
Heft: 10

Artikel: Agentenbasierte Modellierung von Märkten
Autor: Troitzsch, Klaus G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097686>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Agent-based modeling of markets

The paper gives an overview of agent-based models of markets as they have been published during the past years. Starting from concept-based models which describe the behaviour of market participants in an abstract manner, recent approaches model real markets in order to find out possible future developments and to evaluate strategies to influence real markets. After a short description of two recent applications of agent-based modeling, a housing market in a city in Brazil and the German market for pharmaceutical products, the paper discusses how this technique could be applied to wood markets.

Keywords: agent-based modeling and simulation, markets, sugarscape, wood markets

doi: 10.3188/szf.2012.0408

* Universitätsstrasse 1, DE-56016 Koblenz, E-Mail kgt@uni-koblenz.de

Die agentenbasierte rechnergestützte Ökonomie (Agent-Based Computational Economics) ist seit etwa zwei Dekaden eine sich ständig weiterentwickelnde Richtung der Wirtschaftswissenschaften (Tesfatsion & Judd 2006) und der rechnergestützten Sozialwissenschaften (Computational Social Science; Epstein 2006, Epstein & Axtell 1996, Squazzoni 2012). Wie in anderen Bereichen der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften – von der Demografie (Billari & Prskawetz 2003) bis zur Archäologie (Doran 1999) – beginnt sich auch in der Ökonomie die Ansicht durchzusetzen, dass eine individuenbasierte Modellierung komplexer sozialer oder ökonomischer Prozesse gegenüber Makromodellen, aber auch gegenüber eher klassischen Ansätzen etwa der Mikroökonomie einige Vorteile hat. So erlaubt die agentenbasierte Modellierung, die Vielfalt von Marktteilnehmern ebenso abzubilden wie die Beschränktheit der Informations-, Kommunikations- und Transaktionsmöglichkeiten. Eine rechnerbasierte Modellierung erlaubt darüber hinaus, aus dem Modell Schlussfolgerungen abzuleiten, die in einer rein mathematischen Modellierung nicht möglich wären. Während klassischere Ansätze die Vielfalt der Marktteilnehmer meist ignorieren, also alle Marktteilnehmer als gleich ansehen und darüber hinaus auch – zur Vereinfachung der Modelle – davon ausgehen, dass Entscheidungen auf der Basis vollständiger Information und vollständiger

Rationalität ohne Zeitverlust vollzogen werden können, erlaubt eine individuenbasierte Modellierung, von diesen Restriktionen Abstand zu nehmen und die Einschränkungen, die in der Realität im Vergleich zu einfachen Marktmodellen gelten, umstandsloser und leichter verständlich darzustellen. Damit bietet die individuen- oder agentenbasierte Modellierung einen deutlichen Vorteil, der allerdings dadurch erkauft wird, dass er keine geschlossenen analytischen Lösungen für Gleichgewichtszustände oder auch nur Gleichgewichtsverteilungen im Sinne der mathematischen Analyse stochastischer Prozesse anbieten kann. Stattdessen liefern Simulationen immer nur näherungsweise Lösungen aus einer Vielzahl paralleler Simulationsläufe, aus denen sich statistische Parameter der Verteilungen interessierender Variablen schätzen lassen.

Simulation ist gleichwohl auch im Fall agentenbasierter Modellierung eine Strategie, aus komplexen Annahmen numerisch Schlussfolgerungen abzuleiten, wenn eine geschlossene Lösung mit den Methoden der klassischen Mathematik nicht gefunden werden kann. Das hat sie gemein mit älteren Ansätzen wie System Dynamics,¹ Mikrosimulation

¹ Das ist im Grunde ein Ansatz zur numerischen Lösung grosser Gleichungssysteme, die die Attribute eines einzigen Objekts, eines Unternehmens, eines Landes oder auch der ganzen Welt miteinander verknüpfen (vgl. Hanneman 1988).

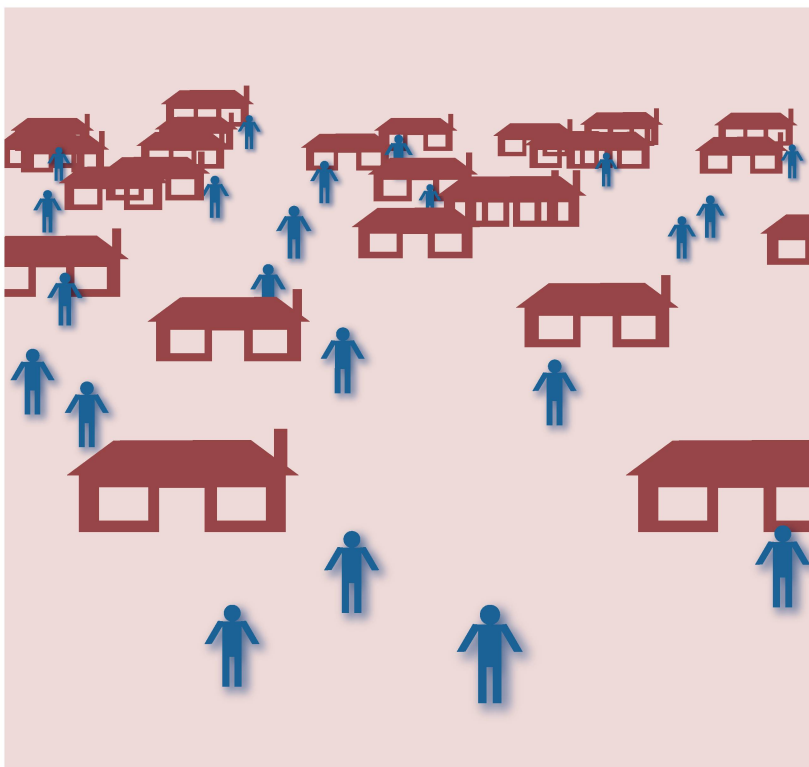


Abb 1 Agenten sind Softwareobjekte, die dem Menschen nachempfundene Eigenschaften besitzen. Hier sind mehrere Agenten aus der Simulation von Abbildung 2 auf dem Weg zum Einkaufen bei verschiedenen Anbietern.

(Harding 1996, Mitton et al 2000) und Warteschlangensimulation (Zeigler 1976). Sie ist damit eine vollständige Alternative zur mathematischen Modellierung und neben der natürlichen Sprache und der Mathematik ein drittes Symbolsystem (Ostrom 1988) zur Beschreibung von Modellen der Realität. Ebenso wie das Symbolsystem der Mathematik erlaubt die Simulation, Ableitungen aus Modellen nachvollziehbar und kommunizierbar zu machen – was wegen der Mehrdeutigkeit natürlicher Sprache bei verbal beschriebenen Modellen grundsätzlich nicht garantiert werden kann.

Vorzüge der agentenbasierten Simulation

Simulation ist besonders geeignet zur Analyse von Modellen, in denen der Zufall eine Rolle spielt, sei es, weil Teile der Realität als zufallsbedingt verstanden werden sollen, oder sei es nur, weil unbekannte Einflüsse als zufällige Einflüsse modelliert werden – und das gilt gerade für die agentenbasierte Simulation. Die klassische Wahrscheinlichkeitstheorie bietet für solche Modelle keine einfachen geschlossenen Lösungen an. In Marktmodellen etwa, die sogenannte Lock-in-Prozesse beschreiben, ist es zum Beispiel wenig wahrscheinlich, dass miteinander im Wettbewerb stehende Produkte ungefähr gleiche Marktanteile erreichen. Viel häufiger kommt es vor, dass ein Produkt einen sehr hohen Marktanteil

erreicht, während die Konkurrenzprodukte ein Nischendasein fristen, weil zum Beispiel der Wechsel vom marktbeherrschenden Produkt zu einem qualitativ möglicherweise überlegenen Konkurrenzprodukt mit hohen Wechselkosten verbunden ist. In diesem Fall kann selbst bei vergleichbaren Markteintrittsbedingungen nicht vorausgesagt werden, welches der konkurrierenden Produkte den hohen Marktanteil erreichen wird. Während es für den Fall zweier alternativer Produkte häufig und unter bestimmten vereinfachenden Annahmen noch zumindest geschlossene Näherungslösungen für die Beschreibung der Verteilungsfunktion der Marktanteile gibt, sind solche für nur geringfügig komplexere Probleme kaum mehr möglich oder scheitern praktisch daran, dass die Anzahl zu schätzender Parameter die Anzahl der für die Schätzung erforderlichen Fälle schnell übersteigt. Dem Problem ausufernder Parameterzahlen entgeht zwar auch die Computersimulation – und zumal die agentenbasierte Modellierung und Simulation – nicht völlig, sie kann es aber numerisch meist leichter (gegebenenfalls mit grossem Rechenaufwand) lösen als geschlossene mathematische Modelle. Die Ergebnisse einer möglicherweise grossen Zahl von parallelen Simulationsläufen müssen dann auf ähnliche Weise statistisch ausgewertet werden wie empirische Datensätze von Stichproben oder Zeitreihen, nicht nur um Zufallsfehler auszumitteln, sondern vielmehr noch, um Aufschluss über die Art der Verteilung interessierender Variablen zu gewinnen. Mittelwerte und Standardabweichungen reichen im Allgemeinen zur Beurteilung der Ergebnisse von Simulationen nicht linearer Prozesse nicht aus.

Agenten und Simulationswerkzeuge

Die Agenten agentenbasierter Simulationsmodelle sind – nach einer Definition von Wooldridge & Jennings (1995) – Softwareobjekte, die ausgestattet sind mit den Eigenschaften

- Autonomie – der Fähigkeit, regelbasiert eigene Entscheidungen zu treffen und diese Regeln zu ändern, ohne dass es dazu einer Steuerung von aussen bedarf,
- Reaktivität – der Fähigkeit, ihre Umwelt (zu der auch andere Agenten gehören) wahrzunehmen und auf sie zu reagieren,
- Proaktivität – der Fähigkeit, Ziele zu verfolgen, und
- Sozialität – der Fähigkeit, mit anderen Agenten zu kommunizieren und Modelle von anderen Agenten zu bilden.

Damit verfügen die Softwareagenten im Prinzip über die gleichen Fähigkeiten wie menschliche Akteure, in allen bisherigen Anwendungen waren ihre Aktionsmöglichkeiten jedoch deutlich weniger vielfältig (Abbildung 1).

Gegenwärtig werden agentenbasierte Simulationsmodelle meist unter Zuhilfenahme von bestehenden Simulationswerkzeugen implementiert. Diese stellen Objekte und Methoden zur Verfügung, mit denen Modelle nahezu beliebiger Komplexität entworfen und lauffähig gemacht werden können. Die zurzeit wohl am meisten verbreiteten Werkzeuge sind «Swarm», «RePast» (North et al 2006, 2007), «Mason» (Luke et al 2003) und «NetLogo» (Tisue & Wilensky 2004). Während die ersten drei genannten Plattformen grosse Java-Bibliotheken sind, deren Benutzung die Programmierung in Java voraussetzt, ist «NetLogo» ein in sich geschlossenes Programmiersystem mit einer eigenen, leicht erlernbaren Programmiersprache.

Ansätze der agentenbasierten Modellierung in der Ökonomie

In der Überzeugung, man könne ein System nur erklären, wenn man es auch wachsen lassen könne, schufen Joshua Epstein und Rob Axtell Mitte der 1990er-Jahre im Projekt «Sugarscape» (Epstein & Axtell 1996) eine grosse Zahl von Modellen, in denen künstliche Gesellschaften erzeugt werden und «wachsen» können. Sie starteten damit das Programm einer generativen Sozialwissenschaft (generative social science) und fanden viele Nachfolger. Viele der frühen Varianten von «Sugarscape» beschreiben recht abstrakte künstliche Gesellschaften, in denen in ihrem Wesen weitgehend gleichartige Softwareagenten sich auf der Suche nach Nahrung in einer Welt aus in ihren Eigenschaften weitgehend gleichartigen quadratischen Feldern bewegen; in diesen Fällen dient das Modell zum Beispiel dazu, die Entwicklung der Verteilung des Reichtums zu beobachten.

Komplexere Modelle (vgl. bereits Epstein & Axtell 1996) modellieren eine Welt, in der es mehrere Produkte («sugar» und «spice») gibt, die die Agenten entsprechend ihrer jeweiligen Bedürfnislage untereinander tauschen können. Damit entsteht etwas, das man als Markt bezeichnen kann. So, wie in «Sugarscape»-Modellen die Agenten programmiert sind, kann man Angebots- und Nachfragefunktionen berechnen (Abbildung 2), aus denen sich ein Gleichgewichtspreis und eine Gleichgewichtsmenge ableiten lassen. Aus den Simulationsergebnissen lässt sich schliessen, dass der Gleichgewichtspreis und die Gleichgewichtsmenge, die die klassische Ökonomie am Schnittpunkt der Nachfrage- und der Angebotskurve vorhersagt, im Modell nicht erreicht werden: Vielmehr wird im Mittel über längere Zeit stets eine geringere Menge gehandelt, während der Gleichgewichtspreis ungefähr erreicht wird, aber nur im Mittel über längere Zeit (Epstein & Axtell 1996: 112–116, besonders 114–115). Bei Epstein (2006) finden sich

weitere komplexe Modelle, indem etwa die ökonomische Entwicklung vergangener Kulturen nachgebildet wird («The Artificial Anasazi Model»).

Anders als die seit Mitte der 1960er-Jahre vorangetriebene Methode der Mikrosimulation, mit der etwa versucht wurde, die Auswirkungen von steuerrechtlichen Änderungen auf einzelne Haushalte und Haushaltsgruppen, aber auch auf die Steuereinnahmen insgesamt mit dem Anspruch auf Präzision vorherzusagen, hat die agentenbasierte Simulation in den Sozialwissenschaften im Allgemeinen nicht den Ansatz verfolgt, konkrete politische Prozesse zu modellieren und politische Entscheidungsträger zu beraten. Anwendungen agentenbasierter Modelle für das Verständnis konkreter Zielsysteme, d.h. zur Politikmodellierung und -beratung, finden sich wohl erstmals in der Innovations- und Netzwerkforschung, etwa bei Squazzoni & Boero (2002) oder Gilbert et al (2001), wobei das letztere Modell in drei Fallstudien auf verschiedene Industriezweige angewendet wurde. Ein weiterer Gegenstandsbereich der Ökonomie, in dem agentenbasierte Simulation seit ihren Anfängen angewendet wird, ist die Landwirtschaft. Hier wurden vor allem Prozesse zur Änderung der Landnutzung (Koomen et al 2007, Parker et al 2001, Ternes et al 2009) wie auch die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft untersucht (Rouchier et al 2001, López Parédes & Hernández Iglesias 2008). In die Nähe dieser Ansätze gehören – ausgehend von Schelling (1971) – auch Modelle urbaner Dynamik, in denen innerstädtische Wanderungen generiert und erklärt werden, in denen aber auch Strategien untersucht werden, die das Ziel haben, Segregationseffekte abzumildern (da Fonseca Feitosa et al 2011). In die gleiche Kategorie gehört schliesslich auch die Arbeit von Krusch (2008), die das Sugarscape-Modell (erheblich) erweitert, indem sie das ganze Ruhrgebiet mit seinen Wanderungsströmen und seiner Produktion darstellt. All diese Modelle können im weiteren Sinne als Modelle von Märkten angesehen werden, wie das nächste Kapitel anhand von Beispielen zeigen wird.

Agentenbasierte Simulation von Märkten

Eine agentenbasierte Simulation von Märkten hat mindestens folgende Bestandteile:

- Agenten, die bereit sind, Produkte zu bestimmten, zwischen ihnen auszuhandelnden Preisen zu kaufen und zu verkaufen,
- Produkte, die zur Auswahl stehen, und
- eine Umgebung, in der Transaktionen vorgenommen werden können.

Im Fall einer abstrakten Modellierung wie beim Zero-Intelligence-Trading (McBride 2008) genügen zwei Agententypen – Käufer und Verkäufer. Aus deren Vorstellungen über Nutzen beziehungs-

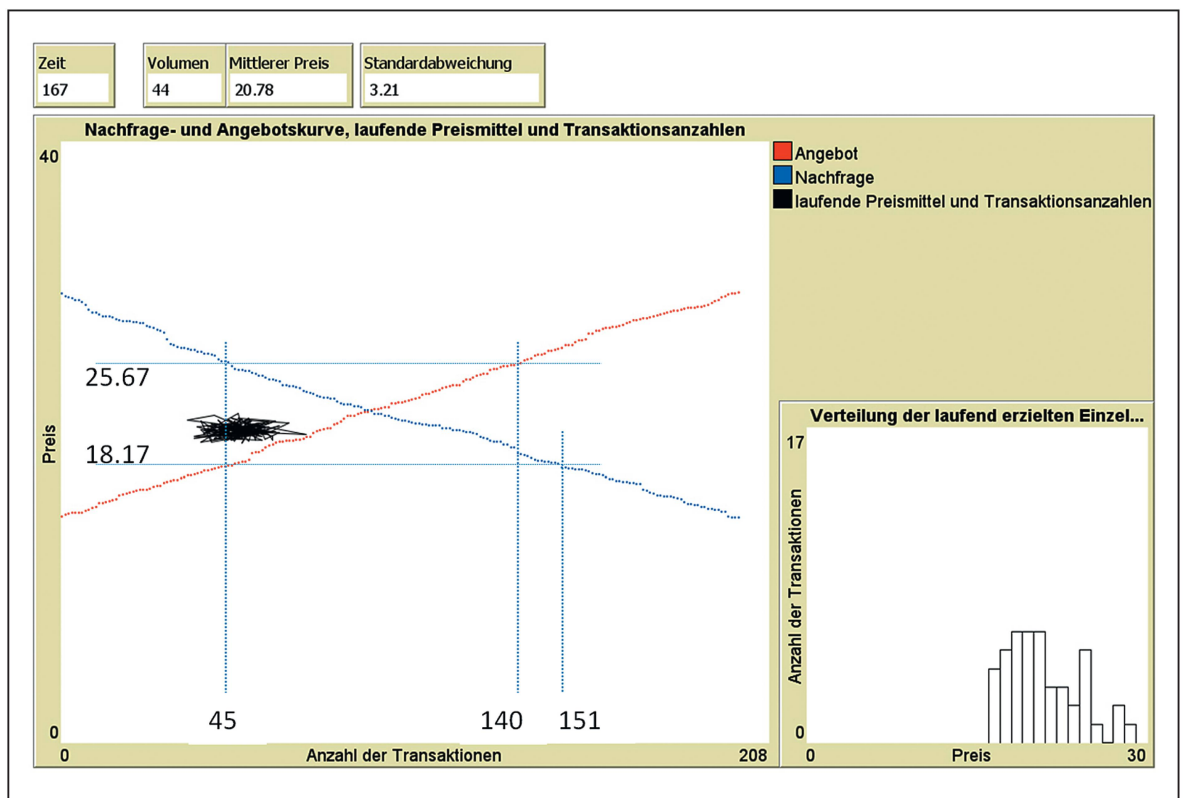


Abb 2 Angebots- und Nachfragekurven in einem simulierten Markt, in dem bei jeder Transaktion genau eine Mengeneinheit gehandelt wird (zum Beispiel Haarschnitt). Jeder der 200 simulierten Kunden beziehungsweise Anbieter hat eine Vorstellung davon, wie viel er höchstens bezahlen beziehungsweise wie viel er mindestens erlösen will. Daraus ergeben sich die beiden Kurven wie folgt: Kunden und Anbieter sind nach ihren Preisvorstellungen angeordnet (Kunde 1 ist bereit, bis zu 30 Geldeinheiten zu zahlen, Kunde 200 höchstens 15, Anbieter 1 gibt sich mit einem Erlös von 15 zufrieden, während Anbieter 200 30 Geldeinheiten haben will). Eine Transaktion kommt zustande, wenn ein Kunde mehr zu bezahlen bereit ist, als der Anbieter mindestens verlangt. Die Kunden 1 bis 45 wären bereit, 25.67 und mehr Geldeinheiten zu zahlen, die Anbieter 1 bis 45 wären bereit, ihre Leistung zu einem Preis von 18.17 und weniger Geldeinheiten zu erbringen. Zu einem Preis von 25.67 und mehr wären 140 Anbieter bereit, zu leisten, während zu einem Preis von 18.17 und mehr 151 Kunden kaufen würden. Der Schnittpunkt der beiden Kurven ergibt einen Gleichgewichtspreis von 22.10 Geldeinheiten, und es würden theoretisch 90.5 Transaktionen vollzogen. Tatsächlich sind aber in 167 Zeiteinheiten jeweils nur zwischen 36 und 72 Transaktionen vollzogen worden, wobei die Durchschnittspreise zwischen 19.87 und 21.85 Geldeinheiten gelegen haben. Die Verteilung der Preise, auf die sich Kunden und Anbieter im 167. (letzten) Zeitschritt des Simulationslaufs geeinigt haben, ist rechts unten zu sehen.

weise Kosten des gehandelten Produkts werden die Nachfrage- und Angebotskurven abgeleitet und aus denen wiederum ein Gleichgewichtspreis (Abbildung 2).

Beide Agententypen müssen aber Entscheidungen darüber fällen können, zu welchem Preis sie das Produkt gerade noch kaufen beziehungsweise verkaufen würden, und dann die Transaktion gegebenenfalls vollziehen können. Bei dieser Simulation (Abbildung 2) geht es nicht um ein konkretes Produkt und entsprechend auch nicht um konkrete, reale Käufer und Verkäufer, aber dieses Modell zeigt bereits den oben schon erwähnten Effekt, dass im langfristigen Mittel zwar ungefähr der Gleichgewichtspreis gezahlt, aber deutlich weniger als die Gleichgewichtsmenge gehandelt wird. Immerhin sind hier aber nicht alle Käufer beziehungsweise Verkäufer gleich, denn alle haben verschiedene Preisvorstellungen, und zu jeder Zeit kann ein Käufer nur mit einer kleinen Auswahl von Verkäufern in Verhandlungen treten und umgekehrt.

Fallbeispiel Wohnungsmarkt

Das Modell des Wohnungsmarkts von da Fonseca Feitosa et al (2011) der brasilianischen Stadt São José dos Campos statet die Agenten (in diesem Fall Haushalte) mit einer grösseren Vielfalt von Entscheidungsmöglichkeiten aus. Allerdings modellieren sie nur die Nachfrager-, d.h. die Mieterseite, die Haushalte haben aber ein reichhaltiges Repertoire von Alternativen: Sie können in eine Nachbarschaft umziehen, die sich von der bisherigen stark unterscheidet, sie können in eine ähnlich strukturierte Nachbarschaft in einem anderen Teil der Stadt umziehen, sie können innerhalb ihrer bisherigen Nachbarschaft in eine andere Wohnung umziehen, und sie können natürlich auch über mehrere Perioden in ihrer bisherigen Wohnung bleiben. Welche der vielen möglichen Entscheidungen sie treffen (in jeder möglichen Nachbarschaft gibt es immer mehrere Wohnungen, die für einen Umzug infrage kommen), hängt von der Bewertung der mit einem Umzug verbundenen Kosten und des Nutzens ab, und die Wahr-



Abb 3 Das Grosssägewerk in Domat/Ems zu besseren Zeiten. Vielleicht könnte mit agentenbasierter Simulation dessen Schicksal repliziert werden.

Foto: Barbara Allgaier Leuch

scheinlichkeit, die eine oder andere Entscheidung zu treffen, ist proportional zu diesem Nutzen.

Das Simulationsmodell basiert auf den empirischen Daten der Wohnbevölkerung von São José dos Campos von 1991, und die Modellierung der Bewertung der Entscheidungsalternativen stützt sich auf eine Haushaltbefragung (mit knapp 8000 Befragten), aus der hervorging, wie zur Zeit der Befragung die Lebensbedingungen der Stadtbevölkerung verteilt waren und wie die Neigung zum Wohnungswechsel von den aktuellen Lebensbedingungen abhing. Diese Informationen wurden zur Initialisierung einer synthetischen Bevölkerung des Simulationsmodells genutzt. Die Bevölkerung des Simulationsmodells besteht aus 110086 Haushalten in 6385 bewohnten und bewohnbaren (von insgesamt 35 756) Planquadraten, deren Charakteristika so genau wie möglich denen der Gesamtbevölkerung von São José dos Campos entsprechen, wie man sie aus der 8000er-Stichprobe hochrechnen kann. Erstaunlicherweise zeigt das Modell, nachdem es die Jahre 1991 bis 2000 simuliert hat, weitgehend ähnliche Veränderungen im Zustand der Segregation auf kleinräumiger Ebene, wie sie auch empirisch beobachtet werden konnten. Das spricht für eine gute replikative Validität des Modells (Zeigler 1976), aus der freilich keine Aussage über die prädiktive Validität abgeleitet werden kann; d.h., auch wenn das Modell die bereits erhobenen empirischen Daten gut repliziert, so kann man sich nicht darauf verlassen, dass es auch künftig zu erhebende Daten ebenso gut vorhersagen kann. Immerhin lässt sich das Modell aber zur Abschätzung von Auswirkungen strategischer Massnahmen etwa der Stadtverwaltung von São José dos Campos verwenden. So kommt da Fonseca Feitosa (2010: iii–iv) etwa zum Ergebnis, dass *eine Poli-*

tik der Armutverteilung, die aus europäischen und nord-amerikanischen Städten bekannt ist, weniger wirkungsvoll in Entwicklungsländern ist, wo arme Familien einen Grossteil der Bevölkerung darstellen. Auf der anderen Seite führte eine Politik der Wohlstandsverteilung zu erheblichen und langfristigen Verbesserungen der Segregationsmuster der Stadt. Andererseits haben die Regulierung von illegalen Siedlungen und die gleichmässige Verteilung der Infrastruktur, die Segregationstrends in der Stadt beeinflussen, ... keine signifikante Auswirkung auf die Segregationsmuster ... Selbstverständlich handelt es sich bei einer solchen Aussage – und das gilt natürlich für alle Simulationsmodelle – nur um eine Aussage über mögliche Folgen städtischer politischer Massnahmen, aber der Vorteil des Simulationsmodells gegenüber etwa einer verbalen Beschreibung eines Szenarios oder einem mathematischen Modell liegt in der unmissverständlicheren respektive leichteren Kommunizierbarkeit und darin, dass durch Sensitivitätsanalysen jederzeit deutlich gemacht werden kann, wie stark die Ergebnisse von kleinen Veränderungen der Initialisierung oder der Parametrisierung abhängen. Natürlich ist ein so umfangreiches Modell wie das von da Fonseca Feitosa (mit rund 2500 Zeilen NetLogo-Code und 40 MB empirischen Daten zur Initialisierung) nicht mehr mit einem Blick zu überschauen, aber ein Modell, welches Entscheidungsvorgänge (siehe weiter unten) explizit beschreibt, muss deren Details ausformulieren.

Fallbeispiel Pharmamarkt

Schütte (2009) kommt in einer Modellierung der Anbieterseite des Pharmamarktes (also eines Marktes mit sehr ungewöhnlich strukturierter Nachfrageseite, bei der die eigentlichen Nachfrager weder die Kaufentscheidung zu fällen noch den Kaufpreis

zu entrichten haben) zu interessanten Ergebnissen über die Strategien verschiedener Anbietergruppen – nämlich der forschenden Pharmaunternehmen und der Hersteller von Generica –, welche Teile ihres Budgets sie für Vermarktungsanstrengungen und welche sie für die Entwicklung neuer Produkte verwenden wollen. Entscheidungen dieser Art kann man als Strategien zur Investitionsanpassung auffassen, und das Simulationsmodell erlaubt die Bewertung alternativer Strategien dieser Art, sodass Schütte (2009: 147) seine Ergebnisse in der Bemerkung zusammenfassen kann, dass *die rechnergestützte Simulation alternativer Investitionsanpassungsstrategien ein geeignetes Instrument zur Unterstützung der Entscheidungsfindung ist*. Auch hier hat sich gezeigt, dass mithilfe eines agentenbasierten Simulationsmodells eines Marktes handlungsrelevante Empfehlungen abgegeben werden können und sich diese vermutlich besser und überzeugender begründen lassen als ohne formales Modell. Auch wenn man argumentieren könnte, dass ähnliche Ergebnisse wie in diesem Simulationsmodell (Schütte 2009) auch mit einem geschlossenen stochastischen Modell hätten erzielt werden können, so steht ausser Frage, dass es leichter erklärt werden kann, erstreckt sich doch das NetLogo-Modell über ganze fünf Druckseiten (oder etwas über 400 Zeilen), und die Beschreibung des Gesamtaufbaus des Modells nimmt weniger als eine Seite (oder weniger als 30 Zeilen) ein. Dabei ist der NetLogo-Code für den Laien auf dem Gebiet der formalen Modellierung allemal leichter zu verstehen – weil der natürlichen Sprache viel ähnlicher – als ein mathematischer Formelapparat.

Die schon erwähnte Ruhrgebietssimulation (Krusch 2008) enthält mehrere Märkte – darunter einen Arbeitsmarkt und verschiedene Produktemärkte (Getreide, Brot und Kohle), wobei Getreide zunächst als Nahrungsmittel, später aber als Rohstoff für die Brotherstellung modelliert wird und die Einführung der Kohle als dritter Ressource die Produktivität der Brotherstellung gleichsam erhöht. Auch wenn man bezweifeln wird, dass sich aus diesem Modell Handlungsempfehlungen wie bei da Fonseca Feitosa (2010) und Schütte (2009) ableiten lassen, wird man doch für die Modellierung realer Märkte auf Konzepte von Krusch (2008) zurückgreifen können.

Agentenbasierte Simulation von Holzmärkten

Agentenbasierte Modelle von Holzmärkten werden zunächst Klassen von Agenten beschreiben müssen, deren Instanzen diejenigen Akteure repräsentieren, die an Holzmärkten beteiligt sind – dies sind mindestens 1) Forstbetriebe, 2) Händler, 3) die holzverarbeitende Industrie sowie 4) die Verbraucher. Diese vier Gruppen sind je nach dem Gegen-

standsbereich des Modells weiter zu unterteilen und durch entsprechende Agenten zu repräsentieren. So gibt es in der holzverarbeitenden Industrie längere Verarbeitungsketten, vom Sägewerk bis zum Möbelhaus oder Baumarkt, und so gibt es auch höchst unterschiedliche Typen von Verbrauch und Verbrauchern. Das Verhalten der Akteure ist empirisch zu ermitteln oder – wenn das Modell, vergleichbar etwa demjenigen von Schütte (2009), nur ein erstes noch halbwegs abstraktes Modell des Holzmarktes sein soll – mithilfe von stilisierten Fakten (Kaldor 1961/68), die die generellen Tendenzen erfassen, ohne auf die individuellen Eigenheiten einzugehen, nachzuzeichnen. Je realitätsnäher das Modell sein soll, umso präziser müssen die einzelnen Instanzen initialisiert werden. Dies kann – vergleichbar dem Vorgehen von da Fonseca Feitosa (2010) – durch eine Erhebung der Daten bei den einzelnen Akteuren geschehen (was mindestens bei den Unternehmen, anders als bei den brasilianischen Zensusdaten, auf Vertraulichkeitsbeschränkungen stossen wird), sodass am Ende eine Replikation der statistischen Verteilungen der massgeblichen Eigenschaften (z.B. Produktionskapazitäten und -kosten, Transportkosten, Energiebedarf, Haushaltseinkommen, Angebots- und Nachfrageelastizität) der Akteure in den jeweiligen Akteursklassen erzielt werden kann. Bei den Endverbrauchern, zum Beispiel von Brennholz, dürfte das noch am ehesten gelingen, weil vermutlich – jedenfalls in Deutschland im Mikrozensus, wenn auch nicht in jedem Jahr – aus allgemein zugänglichen Umfragen Daten über die Nutzung verschiedener Energieträger für Heizzwecke vorliegen. Bei anderen Akteursklassen wird es auf die Zusammenarbeit mit einzelnen Forstbetrieben und Unternehmen sowie Verbänden der Holzwirtschaft ankommen, um so in einer partizipativen Modellierung Informationen über die Kenntnisse und Einstellungen wichtiger Interessengruppen (Stakeholder) zu erlangen. Am Ende der Initialisierung enthält ein solches agentenbasiertes Modell dann von jeder Akteursklasse eine angemessene Anzahl von Instanzen, deren Charakteristika ähnlich wie in der Realität verteilt sind und die miteinander auf ähnliche Weise agieren, wie das in der Realität der Fall ist.

Prozedurale Modellierung

Für die agentenbasierte Modellierung von Holzmärkten in der Schweiz gibt es erste Ansätze, indem Olschewski et al (2009) und Kostadinov & Steubing (2011) in mehreren Stufen der Verfeinerung einen regionalen Markt für Energieholz untersuchen und dabei auch nicht monetäre Aspekte berücksichtigen. Wie die meisten Marktsimulationen bedient sich auch dieses Modell einer prozeduralen Sichtweise, d.h., das zu modellierende Marktgeschehen wird rundenweise, von Zeitpunkt zu Zeitpunkt, dargestellt. Die Agenten fragen also in jeder Runde eine

	Ziele oder Bedürfnisse	Gewicht α_j	Aktionen s			Summe
			i = 1	i = 2	i = 3	D...F
			D	E	F	
1	j = 1	0.7	0.4	0.6	0.8	
2	j = 2	0.3	0.9	0.6	0.3	
3	$\sum_j \alpha_j s_{ij}$		0.55	0.60	0.65	
4	$\sum_j \alpha_j s_{ij} - \min_i \sum_i \alpha_j s_{ij}$		0.00	0.05	0.10	0.15
5	P(i)		0.00	0.333	0.666	1.00

Tab 1 Entscheidung zwischen verschiedenen Aktionen, die die Erreichbarkeit von Zielen oder die Befriedigung von Bedürfnissen beeinflussen. Im Beispiel sind drei Aktionen (D, E und F) möglich, die sich auf unterschiedliche Art auf die beiden Ziele oder Bedürfnisse (1 oder 2) auswirken. Zum Beispiel wirkt sich Aktion F auf Ziel 1 doppelt so stark (0.8) aus wie Aktion D (0.4). Ziel 1 erscheint dem Agenten mehr als doppelt so wichtig (0.7) wie Ziel 2 (0.3). Die gewichtete Summe der Koeffizienten (Zeile 3) wird in diesem Beispiel (König et al 2003) um ihren kleinsten Summanden vermindert (Zeile 4), und die Wahrscheinlichkeiten in Zeile 5 werden proportional zu den so modifizierten gewichteten Koeffizientensummen festgesetzt.

bestimmte Menge Energieholz nach beziehungsweise bieten entsprechende Mengen an, wobei sich dann nach vielen Runden beziehungsweise langer Zeit ein stabiler Preis einstellt. Von Interesse ist hier insbesondere die Erweiterung des Modells in Richtung eines Anbieterzusammenschlusses (Bündelorganisationen als Intermediäre), wobei hier zusätzlich die Entstehung und gegebenenfalls Aufdeckung von Kartellen interessante Erweiterungen wären (Oberhausen 2011,² Haas 2002). Vielleicht könnte in einem erweiterten Modell sogar das Schicksal des Grosssägewerks in Domat/Ems (Graubünden; Abbildung 3) repliziert werden.

Typische Methoden für die Bildung von Entscheidungen bei simulierten Agenten folgen aus Annahmen über das Entscheidungsverhalten realer Akteure, die bestimmte Ziele verfolgen und bestimmte Aktionen zur Verfügung haben, um diese Ziele zu verfolgen. Abbildung 4 zeigt, wie so etwas im Prinzip funktioniert (vgl. König et al 2003). Ähnlich geht auch das am Zentrum für Umweltsystemforschung in Kassel entwickelte Modell Lara³ vor. Jeder Aktion wird dabei ein Zahlenwert zugeordnet, der angibt, wie stark diese Aktion die Erreichung eines Ziels oder die Befriedigung eines Bedürfnisses beeinflusst. Zugleich wird jedem Ziel beziehungsweise Bedürfnis ein Zahlenwert zugeordnet, der dessen Wichtigkeit angibt. Aus beiden wird für jede Aktion eine gewichtete Bewertung gebildet, die den Nutzen dieser Aktion repräsentiert. Es wird dann entweder diejenige Aktion ausgewertet, die den höchsten Nutzen verspricht, oder es wird eine Aktion mit einer Wahrscheinlichkeit ausgewählt, die dem erwarteten Nutzen entspricht (Tabelle 1).

In einem Modell dieser Art werden die Regeln üblicherweise als Bestandteil einer prozeduralen Beschreibung notiert, d.h., das Simulationsmodell schreitet von Zeitpunkt zu Zeitpunkt oder von Ereignis zu Ereignis fort und berechnet für jeden Agenten nach der Beschreibung in Abbildung 2 dessen

Entscheidung und führt sie aus, sodass sich der Zustand der modellierten Welt ändert und damit unter Umständen auch die Einschätzung aller Agenten der Auswirkungen von Aktionen auf die Erreichbarkeit von Zielen oder auf die Befriedigung von Bedürfnissen.⁴

Deklarative Modellierung

Eine Alternative zur perioden- oder ereignisorientierten prozeduralen Modellbeschreibung könnte für die Modellierung eines komplexen Marktes mit Produzenten, Intermediären und Nachfragern auch eine deklarative Modellierung sein, die es erlaubt, aus dem Anfangszustand einer teils globalen und teils verteilten Fakten- und Regelbasis logisch abzuleiten, welche späteren Zustände des Marktes überhaupt möglich sind (Lotzmann & Meyer 2011). Hier würde jeder einzelne Agent Pläne machen, wie sich die Welt vom aktuellen Zustand hin zu einem vorgestellten Zielzustand verändern liesse. Das setzt voraus, dass für jeden Agenten eine ganze Kette von Aktionen aufgebaut wird. Der aktuelle Zustand aus der Sicht des einzelnen Agenten ist für jeden Agenten in einer Faktenbasis abgelegt, daneben gibt es eine zentrale Faktenbasis, die den tatsächlichen Zustand der modellierten Welt abbildet (wie in der Realität hat jeder Agent nur ein unvollständiges und nicht durchgängig korrektes Wissen über die Welt). Ferner hat jeder Agent einen Satz von Regeln, die er auf die Fakten seiner Faktenbasis anwendet, und es gibt eine zentrale Regelbasis, die im wesentlichen Naturgesetze abbildet. Sobald sich ein Fakt in der zentralen Faktenbasis (zum Beispiel durch eine Aktion eines Agenten) ändert, nehmen die daran interessierten Agenten diese Veränderung wahr, speichern sie in ihrer individuellen Faktenbasis und prüfen, ob sich auf den geänderten Fakt eine ihrer Regeln anwenden lässt. Ist das der Fall, wird die Regel angewendet, was zu weiteren Änderungen in der individuellen Faktenbasis und, falls die Regel eine Aktion nach aussen zur Folge hat, auch der zentralen Faktenbasis führt (Abbildung 4).

Eine solche Modellierung erlaubt es, alle aus der Sicht der individuellen Agenten möglichen Zukünfte aus ihrem Faktenwissen und ihren Regeln abzuleiten. Darüber hinaus können Konflikte zwischen den Agenten entdeckt werden, die daraus entstehen,

2 OBERHAUSEN M (2011) Agentenbasierte Simulation von Kartellen. Koblenz: Univ Koblenz-Landau, unveröffentlichte Masterarbeit.

3 ELBERS M, ERNST A, KREBS F, HOLZHAUER S, KLEMM D (2009) LARA: a lightweight architecture for boundedly rational citizen agents. Poster 6th European Social Simulation Association Conference, Guildford, UK.

4 Die Entscheidung des Agenten A könnte zum Beispiel gewesen sein, ein Waldstück X an den Agenten B zu verkaufen, für Agent C hat die Aktion «kaufe X» also nicht mehr den gleichen Nutzen wie vorher, denn B will wahrscheinlich nicht sofort weiterverkaufen.

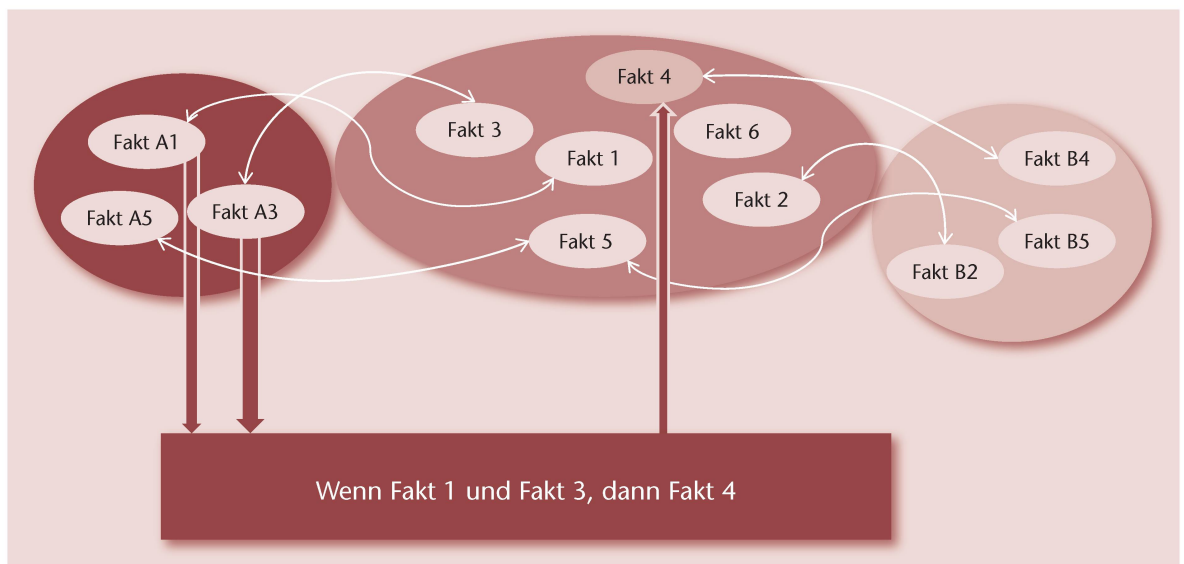


Abb 4 Schema einer regel- und faktenbasierten Beschreibung des Agentenverhaltens. In der zentralen Faktenbasis existieren sechs Fakten, von denen zwei Agenten unvollständiges Wissen haben (Agent «rot» kennt nur die Fakten 1, 3 und 5, Agent «rosa» kennt nur die Fakten 2, 4 und 5). Agent «rot» wendet die Regel im Rechteck an; damit wird Fakt 4 neu gesetzt (und dieser neu gesetzte Fakt 4 stimmt nicht mehr mit seinem Abbild in der individuellen Faktenbasis des Agenten «rosa» überein).

dass ein Szenario, das ein Agent zunächst für möglich hält, von den Fakten, die ein anderer Agent im Laufe der Simulation erzeugt, unmöglich wird, so dass das Ergebnis der Simulation eine Übersicht über die konfliktfrei möglichen Zukünfte ist. Ähnliche Analysen sind vor einigen Jahren mit der deklarativen Simulationssprache SDML (Moss et al 1998) unternommen worden, sie werden zurzeit in einem neuen Projekt mit anderen Gegenstandsbereichen fortgeführt (Lotzmann & Meyer 2011), und der Ansatz der deklarativen Simulation ist sicher auch für die Untersuchung von Holzmärkten geeignet.

Diskussion und Folgerungen

Zu den Besonderheiten des Holzmarktes gehört, dass Holz ein im Vergleich zu Produkten der Landwirtschaft vergleichsweise langsam wachsendes Produkt ist und dass der Produktionsprozess und die Produktqualität im Vergleich zu den Produkten der Industrie nur begrenzt technisch gesteuert werden können. Darüber hinaus sind die Saisonalität und die Kuppelproduktion zu beachten sowie die teilweise nicht primär monetär begründeten Angebots- und Nachfrageentscheidungen. Sie führen dazu, dass eine verzögerungsfreie Umsetzung von Produktionsentscheidungen noch wesentlich schwieriger ist als in anderen Wirtschaftszweigen. Generell wird man sagen dürfen, dass für das Verständnis eines realen Holzmarktes ein agentenbasiertes Modell besser geeignet ist als eines der klassischen Marktmodelle, da es die beschriebenen Besonderheiten angemessener berücksichtigen kann.

In vielen Wirtschaftszweigen kann wenigstens im Prinzip die Produktion kurzfristig unterbrochen

werden und nach einem Unterbruch kurzfristig wieder aufgenommen werden. Im Gegensatz dazu wächst der Wald weiter. Hinzu kommt, dass es viele Jahre braucht, bis auf einer einzelnen geernteten Waldfläche wieder ein produktiver Wald entsteht, während eine einzelne stillgelegte Produktionsanlage in einem Aluminiumwerk, einer Giesserei oder in einem pharmazeutischen Betrieb binnen Stunden oder Tagen wieder angefahren werden kann. Damit ist das Ergebnis einer Erntemassnahme für einen Forstbetrieb – auch wenn er über eine Vielzahl von Waldflächen in unterschiedlichem Zustand verfügt – ein anderes als die Stilllegung eines einzelnen Hochofens in einem Stahlwerk (und selbst die Errichtung eines neuen Hochofens nimmt weniger Zeit in Anspruch als die Wiederaufforstung).

Hinzu kommt, dass Wald neben der Lieferung von Holz auch eine Reihe weiterer Leistungen erbringt, die die klassischen Marktmodelle nur in sehr abstrakter Form – als Externalitäten – berücksichtigen, während in einer agentenbasierten, partizipativen Modellierung und Simulation die Vielfalt und die Charakteristika der ausserhalb des Holzmarktes stehenden Nutzniesser (vertreten etwa durch Stakeholder wie Nichtregierungsorganisationen, Umweltbehörden etc.) viel leichter berücksichtigt werden können. ■

Eingereicht: 23. Oktober 2011, akzeptiert (mit Review): 20. August 2012

Literatur

- BILLARI FC, PRSKAWETZ A, EDITOR (2003) Agent-based computational demography. Heidelberg: Physica. 210 p.
 DA FONSECA FEITOSA F (2010) Urban segregation as a complex system. An agent-based simulation approach. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Univ, Dissertation. 199 p.

- DA FONSECA FEITOSA F, BAO LE Q, VLEK PL (2011) Multi-agent simulator for urban segregation (MASUS): A tool to explore alternatives for promoting inclusive cities. *Comput Environ Urban* 35: 104–115.
- DORAN J (1999) Prospects for agent-based modelling in archaeology. *Archeologia e Calcolatori* 10: 33–44.
- EPSTEIN JM (2006) *Generative social science: studies in agent-based computational modeling*. Princeton: Princeton Univ Press. 356 p.
- EPSTEIN JM, AXTELL R (1996) *Growing artificial societies: Social science from the bottom up*. Cambridge: MIT Press. 208 p.
- GILBERT N, PYKA A, AHRWEILER P (2001) Innovation networks – a simulation approach. *J Artif Soc Soc Simulat* 4 (3). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/3/8.html> (20.8.2012)
- HAAS A (2002) Kartell und Marktprozess – ein stochastischer Ansatz. Berlin: Duncker & Humblot. 189 p.
- HANNEMAN RA (1988) *Computer-assisted theory building. Modeling dynamic social systems*. Newbury Park: Sage. 343 p.
- HARDING A, EDITOR (1996) *Microsimulation and public policy*. Amsterdam: Elsevier. 527 p.
- KALDOR N (1961/1968) Capital accumulation and economic growth. In: Lutz FA, Hague DC, editors. *The theory of capital*. London: Macmillan. pp. 177–222.
- KÖNIG A, MÖHRING M, TROITZSCH KG (2003) Agents, hierarchies and sustainability. In: Billari F, Prskawetz-Fürnkranz A. *Agent based computational demography*. Berlin: Physica. pp. 197–210.
- KOOMEEN E, STILWELL J, BAKEMA A, SCHOLTEN HJ (2007) *Modeling land-use change. Progress and applications*. Dordrecht: Springer. 398 p.
- KOSTADINOV F, STEUBING B (2011) An agent-based model of an energy wood market in a Swiss region. www.wsl.ch/fe/waldressourcen/produktionssysteme/publikationen/ESSA2011_FabianKostadinov_v2.pdf (20.8.2012).
- KRUSCH C (2008) *Mikroökonomie in künstlichen Gesellschaften. Vom Sugarscape- zum Ruhrmodell*. Berlin: Lit Verlag. 224 p.
- LÓPEZ PARÉDES A, HERNÁNDEZ IGLESIAS C, EDITORS (2008) *Agent-based modelling in natural resource management*. Valladolid: Insisoc. 184 p.
- LOTZMANN U, MEYER R (2011) DRAMS – a declarative rule-based agent modelling system. In: Burczynski T, Kolodziej J, Byrski A, Carvalho M, editors. *ECMS 2011, 25th EUROPEAN Conference on Modelling and Simulation Krakau: European Council for Modelling and Simulation*. pp. 77–83.
- LUKE S, BALAN G, PANAIT L, CIOFFI-REVILLA C, PAUS S (2003) MASON. A Java multi-agent simulation library. www.dis.anl.gov/pubs/Agent2003.pdf (20.8.2012)
- MITTON L, SUTHERLAND H, WEEKS M, EDITORS (2000) *Microsimulation modelling for policy analysis*. Cambridge: Cambridge Univ Press. 354 p.
- MOSS S, GAYLARD H, WALLIS S, EDMONDS B (1998) SDML: A multi-agent language for organizational modelling. *Comp Math Organization Theory* 4: 43–69.
- NORTH M, COLLIER N, VOS J (2006) Experiences creating three implementations of the repast agent modeling toolkit. *ACM T Model Comput S* 16: 1–25.
- NORTH M, TATARA E, COLLIER N, OZIK J (2007) Visual agent-based model development with repast simphony. www.dis.anl.gov/pubs/Agent2007.pdf (25.8.2012)
- OLSCHEWSKI R, STEUBING B, LEMM R, THEES O (2009) Ansätze für eine agentenbasierte Modellierung von Holzmärkten. In: Thees O, Lemm R, editors. *Management zukunftsfähige Waldnutzung. Grundlagen, Methoden und Instrumente*. Zürich: VDF. pp. 225–244.
- OSTROM T (1988) Computer simulation: the third symbol system. *J Exp Soc Psychol* 24: 381–392.
- PARKER DC, BERGER T, MANSON SM, EDITORS (2001) *Agent-based models of land-use and land-cover change*. Louvain: LUCC International Project Office. 140 p.
- ROUCHIER J, BOUSQUET F, BARRETEAU O, LE PAGE C, NONNEFOY JL (2001) Multi-agent modelling and renewable resources issues: The relevance of shared representations for interacting agents. In: Moss S, Davidsson P, editors. *Multi-agent-based simulation*. Berlin: Springer. pp. 181–197.
- SCHELLING TC (1971) Dynamic models of segregation. *J Math Soc* 1: 143–186.
- SCHÜTTE T (2009) *Investitionsanpassungen im Produktwettbewerb. Eine Simulationsanalyse am Beispiel der pharmazeutischen Industrie*. Marburg: Metropolis. 172 p.
- SQUAZZONI F (2012) *Computational social sciences*. New York: Wiley. 238 p.
- SQUAZZONI F, BOERO R (2002) Economic performance, inter-firm relations and local institutional engineering in a computational prototype of industrial districts. *J Artif Soc Soc Simulat* 5 (1). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/1.html> (20.8.2012)
- TERNES S, GARGIULO F, HUET S, DEFFUANT G (2009) Double modelling of the dynamic of activities in rural municipalities. <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0912/0912.2825.pdf> (20.8.2012)
- TESFATSION L, JUDD KL, EDITORS (2006) *Handbook of computational economics, vol II: Agent-based computational economics*. Amsterdam: Elsevier. 904 p.
- TISUE S, WILENSKY U (2004) NetLogo: Design and implementation of a multi-agent modeling environment. In: Macal C, Sallach D, North M, editors. *Proceedings of Agent 2004: Conference on social dynamics: Interaction, reflexivity and emergence*. Chicago: Argonne Nat Lab. pp. 161–184.
- WOOLDRIDGE M, JENNINGS NR (1995) *Intelligent agents: Theory and practice*. *Knowl Eng Rev* 10: 115–152.
- ZEIGLER BP (1976) *Theory of modelling and simulation*. New York: Wiley. 510 p.

Agentenbasierte Modellierung von Märkten

Der Beitrag gibt einen Überblick über agentenbasierte Modelle von Märkten, wie sie in den letzten Jahren publiziert worden sind. Ausgehend von rein konzeptbasierten Modellen, die das Verhalten von Marktteilnehmern abstrakt beschreiben, wurden in jüngerer Zeit auch Ansätze zur Abbildung realer Märkte entwickelt. Mit solchen Modellen sollen mögliche Entwicklungen beschrieben und Strategien zum Eingriff in reale Märkte beurteilt werden können. Nach einer kurzen Beschreibung von zwei Anwendungen, einem Wohnungsmarkt in einer brasilianischen Stadt und einem deutschen Pharmamarkt, diskutiert der Beitrag, wie die agentenbasierte Modellierung auf Holzmärkte angewendet werden kann.

Systèmes multiagents pour modéliser des marchés

L'article donne un aperçu des systèmes multiagents pour modéliser des marchés tels qu'ils ont été publiés au cours des dernières années. A partir de modèles basés sur les concepts qui décrivent le comportement des participants au marché d'une manière abstraite, plus récemment, des approches ont été suivies pour modéliser les marchés réels, afin de trouver les évolutions futures possibles et d'évaluer des stratégies visant à influencer les marchés réels. Après une brève description de deux applications récentes de modélisation multi-agents à un marché du logement dans une ville du Brésil et le marché allemand des produits pharmaceutiques, l'article examine comment cette technique pourrait être appliquée aux marchés du bois.