

- SÖSTRA (Hrsg.) (2002): Entwicklung von Betrieben und Beschäftigung in Brandenburg Ergebnisse der sechsten Welle des Betriebspanels Brandenburg, Studie im Auftrag des Ministeriums für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Frauen des Landes Brandenburg, Sozialökonomische Strukturanalysen GmbH Berlin, Juni 2002.
- Tauchnitz, J. (2002): Gewerbeumfrage zur Wirtschaftlichen Bedeutung des EuroSpeedway Lausitz, FH Senftenberg.
- Thomas, Michael (1998): Transformation in Ostdeutschland. Aufschlußreiche Paradoxien eines Idealfalls, In: INITIAL 2/3.
- Thomas, M. (2002): Vom Ende zum Anfang? Identitätskonstruktionen in einer Niederlausitzer Textilregion, Referat, [[http://www.biss-online.de/download/Thomas\\_Vom\\_Ende\\_zum\\_Anfang.PDF](http://www.biss-online.de/download/Thomas_Vom_Ende_zum_Anfang.PDF)], Zugriff am 14.7.2003.
- Usarski, Frank (2000): Alternative Religiosität in Ostdeutschland im Kontinuum zwischen cult-movements und Esoterik-Angeboten. In: Pollack, D. und G. Pickel (Hrsg.) Religiöser und kirchlicher Wandel in Ostdeutschland 1989-1999, Leske und Budrich, Opladen, 310-327.
- Wagner, Roy (2000): Our very own Cargo Cult. In: Oceania, 70, S. 362-372.
- Walter-Hornadle, B. (2001): Rural Development Policy in the United States: Beyond the Cargo Cult Mentality. In: The Journal of Regional Analysis and Policy, 31 (2), S. 93-108.
- Woderich, Rudolf (1997): Gelebte und inszenierte Identitäten in Ostdeutschland. In: Welttrends 15, 79-98.
- Woderich, R. (1998): Chimäre oder Chance? Endogene Entwicklung in Brandenburg, Deutschland Archiv, Juli/August, S. 605-616.
- Woderich, R. (1999): Ostdeutsche Identitäten zwischen symbolischer Konstruktion und lebensweltlichem Eigensinn, Referat, [<http://www.biss-online.de/download/ostdeutsche.identitaeten.pdf>], Zugriff am 14.7.2003.
- Woderich, R. und M. Thomas (2001): Akteure in Konstruktionsprozessen regionaler Identität, Forschungsbericht, Brandenburg-Berliner-Institut für Sozialwissenschaftliche Studien, Berlin, [http://www.biss-online.de/download/Akteure\\_in\\_Konstruktionsprozessen.pdf](http://www.biss-online.de/download/Akteure_in_Konstruktionsprozessen.pdf)], Zugriff am 20.05.2003.
- Worsley, P. (1968): The Trumpet shall sound: A Study of Cargo Cults in Melanesia, New York, Schocken Books.

## TRANSITION VON LANDSCHAFTEN: SIMULATION DER VERÄNDERUNGEN IM SUBURBANEN UND AGRARISCHEN UMFELD MIT MULTIAGENTEN-SYSTEMEN

Wolfgang Loibl, Seibersdorf

### Kurzfassung

Der Beitrag präsentiert Überlegungen zur Mikrosimulation von Landschaftsveränderung und stellt die Entwicklung von zwei Modellen zur Simulation der Landschaftsveränderung dar. Zuerst wird kurz auf das Pressure - State - Response - Konzept, sowie das Prinzip von Multiagenten-Systemen eingegangen und eine Verschränkung beider Konzepte vorgestellt, die räumliche Effekte ausgehend von einer aktorszentrierten pressure - state - response Beziehung simuliert. In weiterer Folge werden zwei Modelle zur Simulation von Landschaftsveränderung für suburbane Landschaften (realisiert am Beispiel des Großraumes Wien) bzw. für Agrarlandschaften (realisiert am Beispiel von Aigen im Emstal / Obersteiermark) hinsichtlich ihrer methodischen Umsetzung beschrieben und einander gegenübergestellt.

### Gliederung

1. Einführung
    - 1.1 Das Pressure - State - Response Konzept
  2. Simulation von suburbaner und Agrarlandschaftsveränderung
    - 2.1 Simulation der Landschaftsveränderung im suburbanen Raum
    - 2.2 Simulation der Landschaftsentwicklung im Agrarraum
    - 2.3 Gegenüberstellung der beiden Modelle
  3. Resümee
- Literatur

### 1 EINFÜHRUNG

Kurzfristige Veränderungen von Landschaften erfolgen, abgesehen bei Naturkatastrophen, heute in geringem Ausmaß auf natürlichem Wege. Vielmehr sind die treibenden Kräfte vor allem bei lokalen Akteuren und bei den, die Rahmenbedingungen prägenden, politischen Entscheidungsträgern zu suchen.

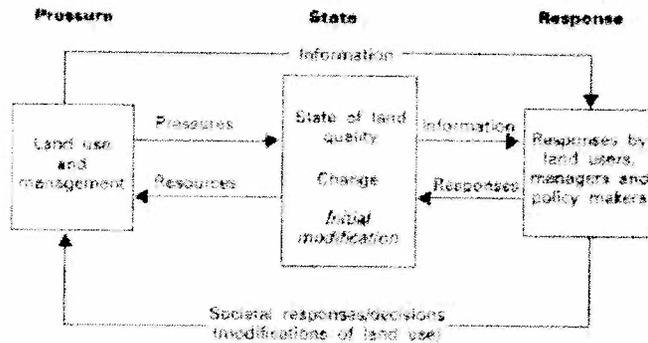


Abbildung 1: Das Pressure – State – Response – Konzept. Quelle: nach Dumanski & Pieri, 1996

Um Landschaftsveränderung zu analysieren, zu simulieren und Zukunftsszenarien zu entwickeln – etwa um die Auswirkung von Entwicklungs- und Planungsmaßnahmen abzuschätzen – sind entsprechende Modelle notwendig. Die Aufgabe solcher Modelle ist es, die Realität möglichst genau (zweckbezogen) abzubilden und damit (über das wissenschaftliche Interesse hinausgehend) entsprechende Grundlagen für Raumplanung, Regionalpolitik und Agrarpolitik zur Verfügung zu stellen.

### 1.1 Das Pressure – State – Response Konzept

Raumsysteme und deren Dynamik können unterschiedlich modelliert werden. Eine der Realität nahekommende Variante ist, zuerst die Aktivitäten von Systemelementen und daraus folgend die sich ergebenden Effekte nachzuvollziehen. Als theoretische Grundlage wurde hierfür das Pressure – State – Response Konzept (PSR) gewählt, welches in den 1970er Jahren vom kanadischen Statistiker Anthony Friend entwickelt und später von der OECD übernommen wurde (vgl. Abb. 1). Das Ziel war ursprünglich, die Nachhaltigkeit der regionalen oder nationalen Entwicklung mittels Indikatoren zu bewerten, wobei nicht nur der (Umwelt-)Zustand betrachtet werden sollte, sondern die direkten Ursache–Wirkungs–Ketten in den natürlichen, sozialen und ökonomischen Subsystemen, um Fortschritte in den jeweiligen Segmenten des Gesamtsystems zu identifizieren.

Der Indikatoren-Aspekt wird hier ausgeklammert. „Pressures“ und daraus folgend „states“ ergeben sich aus menschlichen Aktivitäten (letztere im Verein mit Umweltbedingungen). „Responses“ sind zum einen jene Reaktionen auf

politisch-gesellschaftlicher Ebene, die zu einer Verbesserung der Situation beitragen können, zum andern aber (auf individueller Ebene) die direkte Reaktion von Akteuren auf „pressures und states“, die wieder neue „pressures“ induzieren können (vgl. Dumanski & Pieri, 1996). Wir konzentrieren uns vor allem auf individuelle Reaktionen und die dabei entstehende Dynamik. Bei der Simulation der Siedlungsentwicklung sind politisch-gesellschaftliche „responses“ rudimentär inkludiert: durch Baulandwidmung (wo allerdings zu große Baulandreserven die Siedlungsentwicklung nicht effektiv bremsen) und durch Vorgabe größerer Verdichtung bei Zukunftsszenarien. Bei der Simulation der Agrarlandschaftsveränderung sind die individuellen „responses“, aber auch die – in dem Fall effektiveren – (agrar-)politischen Lenkungsinstrumente, im Modell berücksichtigt.

Dem PSR-Konzept folgend, wird hier ein Mikrosimulationsansatz unter Verwendung von autonomen Agenten gewählt. Franklin und Graesser (1996) definieren Agenten als „Systeme situiert in und Teil der Umwelt, die auf die Umwelt reagieren, um ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. Agenten sind damit virtuelle Individuen bzw. Objekte mit eigenen Entscheidungs- und Verhaltensregeln, um entsprechende Handlungen bzw. Aktionen setzen zu können. Obwohl jeder Agent verschieden agieren kann, ergeben sich kollektive Verhaltensmuster innerhalb einzelner homogener Agentengruppen, die dann in ihrer Gesamtheit zu komplexen Raumentwicklungen führen.“

Bei der Verschränkung beider Ansätze – dem PSR-Konzept und dem Agenten-Simulationskonzept – werden die „pressures, states und responses“ nicht Umwelt-zentriert, sondern akteurszentriert behandelt: Effekte auf Raum und Umwelt werden als individuelle Reaktionen auf „pressures“ betrachtet und davon ausgehend modelliert. *Landschaftsveränderung wird somit als Ausdruck und Ergebnis der Summe individueller menschlicher Entscheidungen und Aktivitäten verstanden.* Die Berücksichtigung der konkreten Interaktionen zwischen den Akteuren und der Umwelt ermöglicht, Veränderung in der Landschaft mit relativ großer Genauigkeit und kleinräumiger Variabilität zu modellieren. Agentenbasierte Modelle wurden wegen der notwendigen hohen Rechnerkapazitäten erst ab den späten 1990er Jahren häufiger eingesetzt. (vgl. dazu z.B. Wegener & Spiekerman (1997), Portugali (1999) und Torrens (2001) für Siedlungsentwicklung, weiters Balmann (2003) und Berger (2002) für Agrarraumveränderung).

## 2 SIMULATION VON SUBURBANER UND AGRARLANDSCHAFTSVERÄNDERUNG

Dem PSR-Konzept folgend, müssen bei der agentenbasierten Simulation von Landschaftsveränderung die der Raumentwicklung zugrundeliegenden Handlungen bekannt sein, um sie mit ihren Effekten nachvollziehen zu können.

- **Suburbane Landschaften:** In der Regel wird Siedlungswachstum im Stadtumland zumindest in Mitteleuropa überwiegend von „außen“ determiniert: Siedlungswachstum wird durch Zuwanderung bzw. Wirtschaftswachstum (in den Kernstadträumen) ausgelöst. (Geringe Geburtenraten in urban geprägten Gesellschaften verhindern ein regional endogenes Wachstum.) In suburbanen Regionen wirkt hier eine große Zahl an Akteuren landschaftsprägend – Zuwanderer sowie Unternehmer, welche eine Nachfrage nach zusätzlich bebauter Fläche auslösen. Die Handlungen dieser Akteure führen – in Abhängigkeit von Standortcharakteristika und Flächenverfügbarkeit – zu räumlich differenzierten, polyzentrischen Siedlungsstrukturen, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit wachsen. Der Agrar- oder Freiraum ist hier die Flächenreserve für das Siedlungswachstum.
- **Agrarlandschaften:** In peripheren ländlichen Regionen spielt das Siedlungswachstum eine untergeordnete Rolle. Hier ist der Agrarraum eher größeren Veränderungen unterworfen, wobei dort gewöhnlich eine nur kleine Zahl an Akteuren – die Landwirte einer Gemeinde – über die Nutzung der Agrarlandschaft entscheiden und dadurch kurzfristige Landschaftsveränderungen auslösen können. Raumbezogene Faktoren sind in größerem Ausmaß eher im alpinen Gelände von Bedeutung, ansonsten spielen externe, nicht raumbezogene Bedingungen – Agrarmarkt und Preise, Förderkriterien oder konkurrierende nichtlandwirtschaftliche Erwerbstätigkeit – eine bedeutende Rolle. Agrarnutzungs- oder Bewirtschaftungsänderungen werden damit zwar in gewissem Umfang durch Rahmenbedingungen gelenkt, aber endogen von den ansässigen Akteuren entschieden.

Die beiden folgenden Wirkungsdiagramme (Abb. 2 und 3) zeigen Rahmenbedingungen und Wirkungsbeziehungen, die schließlich Handlungen der Akteure im Raumsystem nach sich ziehen, welche raumstrukturelle Änderungen hervorrufen können. Auf einzelne Elemente bzw. Beziehungen innerhalb der Systeme, die in den Diagrammen skizziert sind, wird später eingegangen.

Wie eingangs dargelegt, wird die Veränderung der Landschaft mit Multiagentensystemen modelliert. Die bisher verfügbaren Multiagentensystem-Shell – hier seien v.a. *SWARM*, sowie *Starlogo*, *Netlogo*, *Ascape*, *Agentsheets* und *Repast* genannt (die Quellen sind im Literaturverzeichnis angeführt) – wurden v.a. für die Simulation sozialer Systeme ohne konkreten Raumbezug konzipiert. So ist die Distanz zwischen Agenten in einem fiktiven Raum häufig der einzige räumliche Einflussfaktor oder die Umwelt der Agenten ist eine synthetische Landschaft, etwa ein stochastisch generiertes Höhenmodell, in manchen Fällen einfach ein Bild ohne Geo-Referenzierung. Die Integration eigener Geo-Daten, die notwendig ist, um konkrete Regionen abzubilden, steht kaum als Standardfunktion zur Verfügung (vgl. Gimblett, 2002). Deshalb wurden zwei eigene

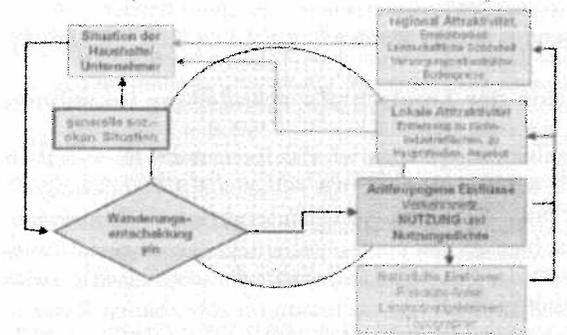


Abbildung 2: Suburbanisierungsprozesse und Akteursentscheidungen. Quelle: Loibl et al., 2003

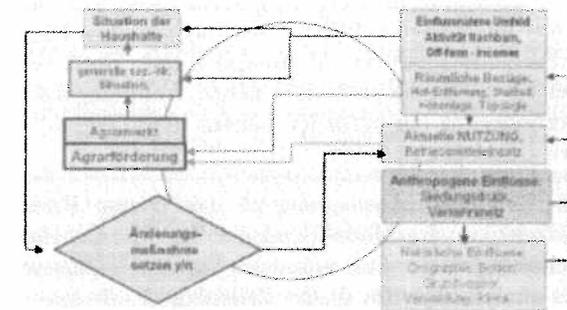


Abbildung 3: Agrarlandschaftsveränderung und Akteursentscheidungen. Quelle: Loibl et al., 2003

Entwicklungen (eine mit Visual Basic und eine unter Verwendung der Agentensimulationsshell „Repast“ mit Java) umgesetzt, um konkrete GIS-Datenlayer integrieren und so die Veränderung realer Landschaften simulieren zu können.

Wir beschäftigen uns hier mit kleinräumiger Landschaftssimulation in hoher geometrischer Auflösung: die Modelllandschaften sind Rasterkarten mit Rasterzellen von 100x100 m Größe. Die Modellregionen reichen von wenigen Quadratkilometern, wie im Fall von Aigen im Ennstal, einer agrarisch geprägten, alpinen Gemeinde, bis zu einer Fläche von 80x80 km, wie bei der Wiener Stadtregion. Die Landschaften werden durch Rasterkarten der Landnutzung sowie durch ein digitales Höhenmodell abgebildet. Weitere Standortcharakteristika, werden durch zusätzliche Rasterlayer in die Modelle integriert. In den beiden folgenden Subkapiteln soll die Konzeption und Umsetzung der beiden Modelle

zusammenfassend erläutert werden.

## 2.1 Simulation der Landschaftsveränderung im suburbanen Raum

Beim Suburbanisierungsprozess ist die Kernstadt die wesentliche Wandererquelle, weshalb wir uns hier auf den suburbanen Wanderungskontext konzentrieren. Die großräumigen Wanderungsinteraktionen, die gewöhnlich Kernstädte zum Ziel haben, bleiben hier ebenso unberücksichtigt wie intraregionale Wanderungen innerhalb der Stadtumlandregion, die wechselseitig zwischen Nachbargemeinden ablaufen. Siedlungswachstum im suburbanen Raum wird damit vor allem von zuwanderungswilligen Haushalten aus der Kernstadt bzw. potenziellen Unternehmensgründern und deren Nachfrage nach Bauland verursacht. Ein Modell, welches dieses suburbane Siedlungswachstum im Detail simulieren soll, muss deshalb Kernstadt-Umland-Wanderungen bzw. Unternehmensgründung individuenbezogen nachvollziehen. Für Migration liefert das bekannte Push-Pull-Konzept – hier nach Bogue (1969) – den theoretischen Hintergrund: Der Wunsch nach suburbaner Migration als Reaktion auf „pressures“ ist der wesentliche Auslöser für die Suche nach einer neuen Wohnumgebung. Das Motiv hierfür ist die Verbesserung der aktuellen Lebens- und (Wohn-) Umfeldbedingungen (vgl. dazu Lienenkamp, 1999).

Die Modellregion für unsere Anwendung ist das Wiener Umland auf einer Fläche von ca. 80x80 km. Im Modell sind die wandernden Haushalte – wie auch die Unternehmensgründer – als autonome Agenten repräsentiert. Sie „okkupieren“ jeweils eine Rasterzelle in der Zellenlandschaft und ändern dabei Nutzungsdichte und Nutzung. Auf Push-Faktoren sei hier nicht eingegangen, diese sind in Großstädten wie Wien als schlechte innerstädtische Umweltbedingungen (Luftbelastung, Verkehrslärm, Mangel an Freiflächen etc.) evident. Hier wurde ein Attraktivitätsgefälle zwischen Kernstadt und Umland angenommen und Pull-Faktoren verifiziert, welche die Wanderungs- und Unternehmensgründungsmuster und damit Suburbanisierungsmuster prägen (vgl. Loibl & Kramar, 2001): Um die künftigen Wohnumweltbedingungen zu verbessern bzw. gute Voraussetzungen für einen Unternehmensstart zu schaffen, machen Wanderungswillige bzw. potenzielle Unternehmensgründer die Entscheidung hinsichtlich der künftigen Wohn- bzw. Standortgemeinde von regionalen Attraktivitätskriterien abhängig. Entsprechende Attraktivitätslayer wurden für zwei räumliche Skalen generiert und bilden die räumliche Wissensbasis für die Wohnungssuchenden und Unternehmensgründer (Loibl & Tötzer, 2003):

- Regionale Attraktivität (Erreichbarkeit/Fahrzeit in die Kernstadt, landschaftliche Schönheit, soziales und ökonomisches Infrastrukturangebot, Bodenpreise)
- Lokale Attraktivität (Einwohnerdichte, Landnutzung, Flächenwidmung, Entfernung zu Industrieflächen, Autobahnen, u. a.)

Haushaltstyp (Bildung, Einkommen)	Anforderung an Gemeindeausstattung und Umweltqualität	Wohnformpräferenz
Universität/Abitur, hohes Einkommen, Vermögen	Gute Ausstattung (Einrichtungen für Bildung, Gesundheit, Wirtschaft etc.) gute Kernstadterreichbarkeit, schöne Landschaft	Wunsch und Finanzierbarkeit eines Einfamilienhauses in guten Lagen (Akzeptanz hoher Bodenpreise)
Universität/Abitur, mittleres Einkommen	Gute Ausstattung, gute Kernstadterreichbarkeit, schöne Landschaft	Akzeptanz von Geschöbwohnungen, aber in guten Lagen / Bezirkshauptorten
Fachausbildung, mittleres Einkommen, Vermögen	Mittlere Ausstattung, mittlere Kernstadterreichbarkeit, kein spezieller Landschaftsanspruch	Wunsch und Finanzierbarkeit eines Einfamilienhauses „im Grünen“ (geringer Bodenpreis)
Geringe Ausbildung, geringes Einkommen	Geringe Wohnumfeld-Ansprüche, Akzeptanz schlechter Kernstadterreichbarkeit	Akzeptanz von Wohnungen oder Häusern mit geringen Preisen / Mieten

Tabelle 1: Auswahlkriterien für eine Umlandgemeinde nach Haushaltstyp

Um die Bandbreite der Ansiedlungsentscheidungen abzudecken, wurden sechs Agentenklassen – darunter vier Haushaltsagentenklassen – definiert. Die Haushaltsagenten unterscheiden sich sozioökonomisch durch Ausbildung / Einkommenssituation und wurden aus den Wien-Umland-Wanderungsmatrizen der Volkszählung 1991 extrahiert. Zweitwohnungssuchende und Unternehmensgründer wurden durch zwei weitere Agentengruppen abgebildet. Die Agenten der einzelnen Agentenklassen treffen unter Beachtung der regionalen Attraktivitäten der Gemeinden und Wohnformpräferenzen aufgrund verschiedener Standortansprüche und finanzieller Möglichkeiten (vgl. Tab. 1) jeweils andere Entscheidungen hinsichtlich der künftigen Zielgemeinde.

Diese Entscheidung für eine Zielgemeinde lässt sich je Agent über agentenklassenspezifische Auswahlwahrscheinlichkeiten unter Einbezug der in (a) angeführten regionalen Attraktivitätskriterien errechnen. Danach folgt die Suche eines Grundstücks oder einer Wohnung in der gewählten Gemeinde unter Berücksichtigung der unter (b) angeführten lokalen Attraktivitätskriterien.

Die umseitige Abbildung 4 zeigt den Ablauf der Simulation. Das regionale Zuwanderungspotenzial sowie das Wachstumspotenzial an Beschäftigten durch Unternehmensgründung wird (durch Initialisierung eines Wandererreservoirs bzw. der Arbeitsplatzwachstums-Erwartung) vorgegeben und geht zurück auf nationale Bevölkerungs- und Wirtschaftsprognosen. In weiterer Folge werden die Ansiedlungs-Entscheidungen für jeden Agenten in 2 Tasks – für die Zielgemeindesuche und für die konkrete Standortsuche – schrittweise simuliert.

**Task 1 – Wahl der Zielgemeinde:** Jeder Agent (hier z.B. 40.000 Haushaltsagenten für die Simulation einer 30-jährigen Siedlungsentwicklung

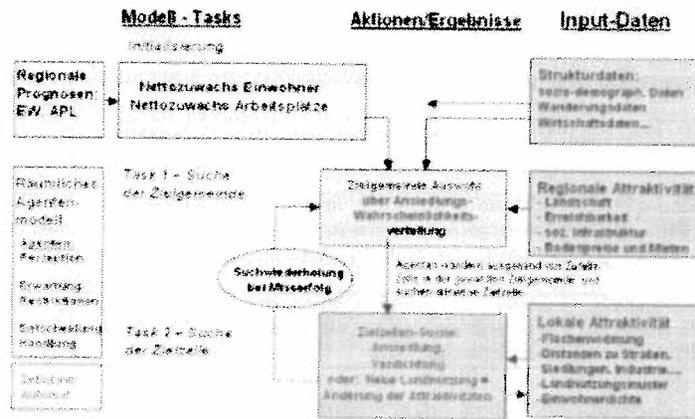


Abbildung 4: Schema der Simulation der suburbanen Siedlungsentwicklung. Quelle: Loibl & Tötzer, 2003

im Wiener Umland) wählt seine Zielgemeinde (aus 180 Stadtumlandgemeinden) anhand von Wahrscheinlichkeiten. Nochmals sei betont, dass im Suburbanisierungskontext die Entscheidung für einen neuen Wohn- bzw. Unternehmensstandort im Stadtumlandbereich darauf abzielt, ein attraktiveres Wohnumfeld bzw. gute (Standort-)Voraussetzungen zu erreichen. Ausgangsbasis für die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeiten sind deshalb Regressionsanalysen von Wanderungsbilanzen bzw. Arbeitsplatzbilanzen mit regionalen, unter (a) angeführten Attraktivitätsindikatoren als erklärende Variablen. Die daraus abgeleiteten relativen Häufigkeiten der Zielgemeindewahl liefern die Basis für die Berechnung von Auswahlwahrscheinlichkeiten, deren räumliche Ausprägung in Abbildung 5 für eine Haushaltsagentenklasse dargestellt wurde. (Loibl & Kramar, 2001, Loibl & Tötzer, 2003).

Die Operationalisierung der Wahl der Zielgemeinde erfolgt durch „Ziehen“ einer Gemeinde aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung: attraktive Gemeinden mit höherer Auswahlwahrscheinlichkeit werden damit öfter gewählt als weniger attraktive und wachsen (bei ausreichendem Flächenangebot) schneller. Die Auswahlwahrscheinlichkeiten und damit die Suburbanisierungsmuster variieren durch Änderungen bei den regionalen Attraktivitätskriterien – v.a. der Kernstadt-Erreichbarkeit.

**Task 2 – Lokale Suche einer Zielzelle in der Zielgemeinde:** Die lokale Standortsuche findet in der Rasterzellenlandschaft unter Beachtung der zellenspezifischen Informationen über Landnutzung, Bevölkerungsdichte

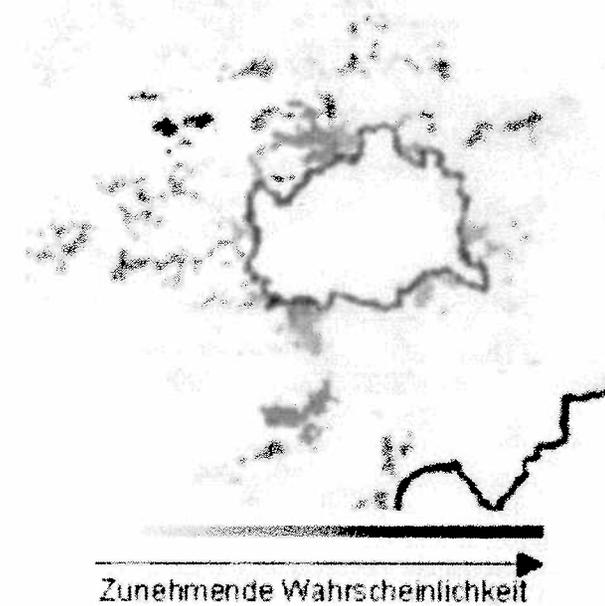


Abbildung 5: Wahrscheinlichkeitsmuster der Wahl einer Gemeinde als künftiger Wohnstandort im Stadtumland von Wien für 2015. Quelle: Loibl & Kramar, 2001

sowie der unter (b) angeführten lokalen Attraktivitäts- bzw. Standortkriterien, statt. Die Suche erfolgt durch Bewegung des Agenten im Modellraum von Zelle zu Zelle. Die Bewegung erfolgt, abhängig von der Agentenklassenzugehörigkeit, ausgehend von einer (zufällig gewählten) Freiraumzelle hin zur nächstgelegenen Siedlung, oder ausgehend vom Siedlungszentrum in zufälliger Richtung hin zum Siedlungsrand. Das erste Suchkriterium im Siedlungsgebiet ist das Minimum der Einwohnerdichte innerhalb einer (agentenklassenspezifischen) Bandbreite. (Geringe Einwohnerdichte ist charakteristisch für attraktive, locker bzw. nieder verbaute Zonen.) Unternehmensgründer suchen v. a. Freiraumzellen mit Industrie/Gewerbewidmung, die an Industrie – Zellen angrenzen bzw. von Wohngebieten getrennt sind. (vgl. Loibl, 2000). Nach dem Finden einer Zielzelle, werden weitere Zellen im Umkreis auf zusätzliche Attraktivitätskriterien untersucht und schließlich jene Zelle mit der maximalen

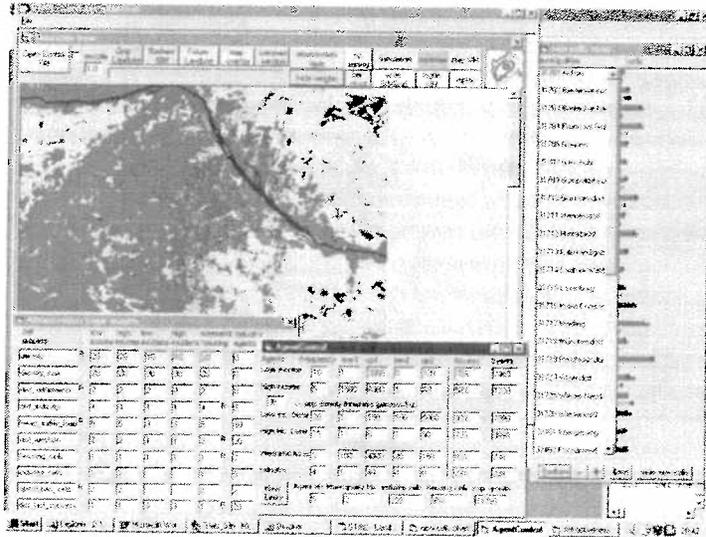


Abbildung 6: Simulationsumgebung zur Modellierung der suburbanen Siedlungsentwicklung

Gesamtattraktivität gewählt. Danach wird bei dieser Zelle die Einwohner- bzw. Arbeitsplatzzahl erhöht und es ändert sich (bei „Neubesiedlung“) Flächennutzung.

Damit beeinflusst jeder „gewanderte“ Agent durch eine Änderung der lokalen Attraktivitäten die Entscheidung „später wandernder Agenten. Wenn kein entsprechendes Angebot an Freiflächen oder Verdichtungsmöglichkeiten in der gewählten Gemeinde gegeben ist, kann die Wahrscheinlichkeit nicht „genutzt“ werden und es wird (Task 1 wiederholend) eine alternative Gemeinde gewählt.

Die folgende Abbildung 6 zeigt die Simulationsumgebung und die grafische Benutzeroberfläche: das Kartenfenster mit der Landnutzung der Stadtregion Wien, ein Säulendiagrammfenster, welches das Siedlungswachstum je Umlandgemeinde zeigt, sowie zwei Steuerungsfenster; eines zur Änderung der Auswahlwahrscheinlichkeiten der Zielgemeinde und eines für die Gewichtung lokaler Attraktivitäten, jeweils getrennt für jede Agentenklasse.

Auf Simulationsergebnisse kann hier nicht im Detail eingegangen werden – da sei auf Loibl et al. (2002) und Loibl & Tötzer (2003) verwiesen. Hier sei nur erwähnt, dass die retrospektiven Modellläufe große Übereinstimmung mit der tatsächlichen Entwicklung (hinsichtlich Siedlungsflächenwachstum je Gemeinde

und konkreter Lokalisierung der Siedlungserweiterung) zeigten. Szenarioläufe für die Zukunft verdeutlichten, wie sich höhere Bebauungsdichten oder bessere Erreichbarkeiten von Randlagen der Wiener Stadtregion auf die künftige Siedlungsentwicklung auswirken könnten.

## 2.2 Simulation der Landschaftsentwicklung im Agrarraum

Die Veränderung von Agrarlandschaft beruht auf Entscheidungen der ansässigen Landwirte. Im Modell sind deshalb die Landwirte als autonome Agenten repräsentiert; wirtschaftliche Einheit ist der Landwirtschaushalt. Die Modellregion ist Aigen im Ennstal, eine alpine Agrargemeinde. Die Akteure bzw. Agenten sind 42 Landwirte, die 1500 ha, verteilt auf 600 „Schläge“ oder Nutzungseinheiten (Felder, Wiesen oder Weiden), bewirtschaften. Diese Nutzungseinheiten sind in einer Rasterzellenlandschaft geo-referenziert und (softwaremäßig als passive Agenten integriert) den einzelnen Eignern zugeordnet. Auch hier sind individuelle Entscheidungen der Landwirte als Reaktionen von „pressures/states“ bzw. Push-Faktoren nachzuvollziehen. Relevante „states“ sind v.a. die naturräumlichen und/oder topologischen Eigenschaften der Flächen, die eine Bewirtschaftung erschweren – hier Hangneigung, Hofentfernung und Seehöhe, welche jeweils als Rasterlayer vorliegen. (Bodengüte erwies sich als wenig relevant, da Nachteile durch Düngung kompensiert werden können). Die Standort-eignung der einzelnen Agrarnutzungsklassen wurde (analog zum Suburbanisierungsmodell) durch empirisch ermittelte Nutzungswahrscheinlichkeiten quantifiziert, wo für jede Nutzungsart ein Rasterlayer berechnet wurde. Abbildung 7 zeigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens unterschiedlicher Agrarnutzungen beispielhaft in Abhängigkeit von der Hangneigung.

So nimmt Wiesennutzung (wegen der Erschwernis beim Mähen und Heueinbringen) mit steigender Hangneigung ab und die Hutweidennutzung nimmt entsprechend zu. Die Nutzungswahrscheinlichkeit einer Fläche hat zur Folge, dass dort von den Landwirten eher eine Nutzungsänderung in Erwägung gezogen wird, als auf Flächen die durch hohe Nutzungsanteile eine hohe Eignung erwarten lassen.

Die Entscheidung, welche Produkte angebaut werden bzw. bei Viehwirtschaft, wie die Futtermittellieferung erfolgt, wird im Hinblick auf eine Nutzenoptimierung (also maximales Einkommen zu erzielen) getroffen. Änderungen der Bewirtschaftungsform oder Umstieg auf andere landwirtschaftliche Produkte werden durch Prämien für umweltfreundliche Bewirtschaftung oder höhere (gestützte) Marktpreise für ausgewählte Agrarprodukte attraktiv gemacht. (Entsprechend dem PSR-Konzept sind die Agrarförderungen hier politische „responses“, um eine nachhaltigere Agrarnutzung zu erreichen).

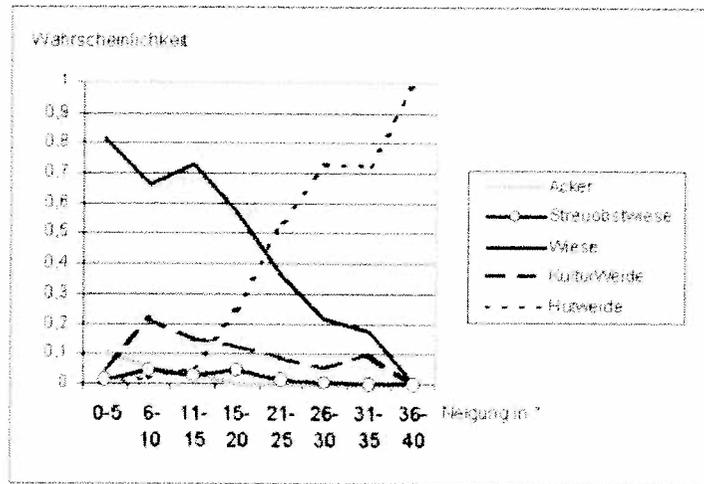


Abbildung 7: Wahrscheinlichkeit einer Entscheidung für die jeweilige Nutzungsart in Abhängigkeit von der Hangneigung in Aigen (2001). Quelle: Loibl et al., 2003

Der optimale Nutzen wird von unterschiedlichen Gruppen von Landwirten verschieden bewertet, weshalb die Landwirte in 3 Agentenklassen gruppiert werden: Für große (Guts-)Betriebe ist Einkommensmaximierung das Entscheidungskriterium – gleichgültig ob dies über größeren Arbeitseinsatz, Kostenreduktion oder Förderungsinanspruchnahme erreicht wird. Für mittelgroße Vollerwerbsfamilienbetriebe ist der Arbeitseinsatz das limitierende Kriterium, welches eine Einkommenserhöhung durch Ertragssteigerung nur bedingt zulässt. Kleine, auf nichtlandwirtschaftliche Zusatzeinkommen angewiesene Nebenerwerbsbetriebe akzeptieren sogar landwirtschaftliche Einkommensverluste, wenn durch zusätzlich verfügbare Arbeitszeit höhere nichtlandwirtschaftliche Zusatzeinkommen (off-farm-incomes) erzielt werden können (vgl. Loibl et al., 2003).

Das Gesamteinkommen ist bei Nebenerwerbslandwirten oft stärker von nichtlandwirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Haushalts abhängig als von landwirtschaftlich bedingten Faktoren. Der Aspekt der off-farm-incomes ist in das Modell noch nicht integriert und es bedarf noch empirischer Analysen, um eine umsetzbare Lösung zu parametrisieren. Bei dem Modell liegt das Hauptaugenmerk derzeit auf der Simulation der Auswirkung von Agrarförderungsangebot und Marktpreisen auf die Agrarlandschaft – ohne Beachtung der Effekte von off-farm-incomes. Dabei wird ein ähnlicher Modellaufbau verfolgt, wie für die Suburbanisierungssimulation: Bei der Initialisierung des Simulationslaufs wer-

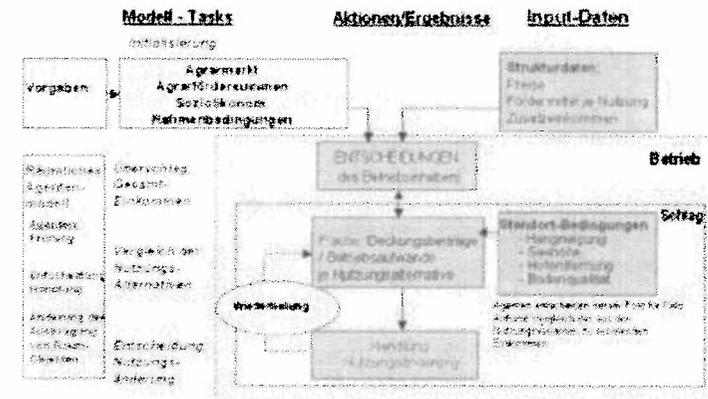


Abbildung 8: Schema der Simulation der Agrarnutzungsänderung

den Agrarpreise und Agrarförderungsmittel als Rahmenbedingungen vorgegeben (und sind damit keine dynamisch reaktiven „responses“). (vgl. Loibl et al., 2003, Castillejo, 2003). Abb. 8 zeigt die Modellstruktur.

Die Entscheidungen jedes Landwirts - über die Änderung der Nutzung einzelner Flächen - werden in 2 Schritten simuliert.

**Task 1 – Nutzungsalternativen und daraus resultierende Erträge je Gesamtbetrieb:** Zuerst erfolgt eine Schätzung der Erträge für alle Nutzungs- und Förderungsalternativen des Betriebes unter Beachtung der Nutzungswahrscheinlichkeiten (welche die naturräumlich und topografisch bedingte Nutzungseignung je Nutzungseinheit widerspiegeln). Damit steht die Information über alle alternativen Ertragsmöglichkeiten für den gesamten Betrieb des jeweiligen Landwirts zur Verfügung.

**Task 2 – Festlegung der definitiven Nutzung der Flächen eines Betriebes:** Die Entscheidung für eine Änderung der Flächennutzung oder Bewirtschaftungsform erfolgt durch den Landwirt nun getrennt für jede Nutzungseinheit. Ausgehend von Nutzungen auf den am besten geeigneten Standorten, die beibehalten werden, wenn Marktpreis und Förderungsbedingungen gleich oder ähnlich jenen des Vorjahres sind, wird die Entscheidungen für die weiteren Flächen getroffen. Neben dem maximalen Ertrag wird das Ziel verfolgt, einen Mix aus eher wenigen Feldfruchtarten zusammenzustellen, die von der Bearbeitung her ähnliche Arbeitsabläufe erfordern und für die bereits Erfahrungen vorliegen. Die Landwirtsentscheidung für jede Nutzungseinheit beeinflusst damit die Nutzung der weiteren Flächen des Betriebes und – als Option – die Ent-

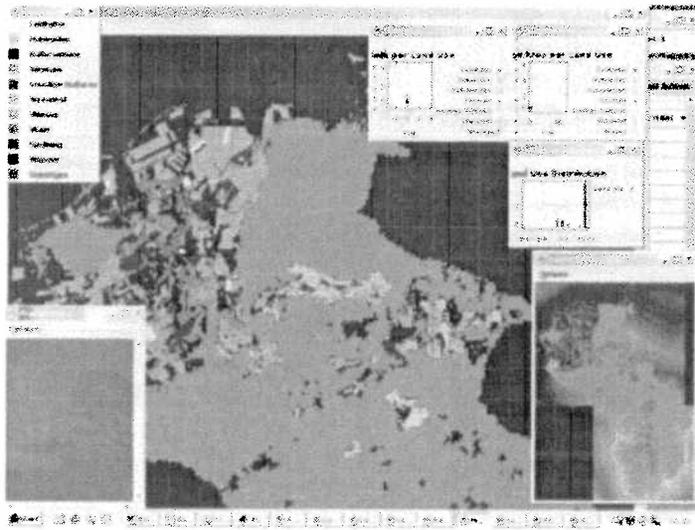


Abbildung 9: Modellumgebung zur Simulation der Agrarnutzungsänderung

scheidung benachbarter Landwirte: so können erfolgreiche Agrarnutzungen auf benachbarten Feldern anderer Landwirte kopiert und damit zusammenhängende Nutzungen auf ähnlichen Standorten forciert werden). Wie oben erwähnt, sind nicht nur die Landwirte Agenten, auch die zu bewirtschafteten Flächen sind im Modell als (abhängige) Agenten programmiert, mit entsprechenden Eigenschaften und der „Fähigkeit“ die Nutzungsänderung umzusetzen.

Die folgende Abbildung 9 zeigt die Simulationsumgebung für die Modellierung der agrarischen Nutzungsänderung. Das Kartenfenster ist das Hauptfenster und zeigt die Agrarnutzung. Subfenster zeigen die Nutzungswahrscheinlichkeit einer Kulturart (links unten), die Veränderung der Nutzungsartenanteile (rechts oben), sowie die gesamte Gemeindefläche (rechts unten). Das Kontrollfenster (rechts oben), mit dem Simulationsparameter gesetzt werden, ist weitgehend verdeckt.

Die bisher erzielten Ergebnisse liefern noch keine genaue Simulation der Agrarnutzungsänderung. V. a. muss der Aspekt der nichtlandwirtschaftlichen Einkommen noch integriert und die Regeln für die Umsetzung der Zielvorstellungen der Landwirte im Hinblick auf Nutzenmaximierung verbessert werden (vgl. Loibl et al., 2003 und Castillejo, 2003). Doch bereits jetzt ist absehbar, dass agentenbasierte Simulationsmodelle in der Lage sind, Veränderungen in der Agrarnutzung als Einfluss von Förderungsmaßnahmen nachzuvollziehen.

Suburbanisierungssimulation	Agrarnutzungssimulation
<b>Agenten:</b>	
<i>Haushalte, Unternehmen:</i> anonyme virtuelle Objekte mit definierten Entscheidungsmustern die variable räumliche Ziele haben und damit variable potenzielle Flächennutzungsänderungen bedingen	<i>Landwirte:</i> definierte fix lokalisierte virtuelle Objekte mit definierten ökonomischen Daten, fixem räumlichen Bezug zu Landschaftselementen <i>Felder, Nutzungseinheiten:</i> passive Agenten
<b>Modelllandschaft, räumliche Wissensbasis:</b>	
diverse Rasterzellenlayer mit <i>räuml. Charakteristika</i>	div. Rasterzellenlayer mit <i>räuml. Charakteristika</i>
<b>Modellansatz:</b>	
<b>Marktmodell</b> mit Sättigung(Dichte) rasterbasiert, nachbarschaftsabhängig	<b>Ertragsnutzungsmodell</b> objektbasiert und nachbarschaftsunabhängig (optional nachbarschaftsabhängig)
<b>Sich ändernde räumliche Objekte:</b>	
<i>Raster-Zellen</i> – Ausgangssituation: beliebig im Raum	<i>Felder, Nutzungseinheiten</i> – vorgegeben im Raum = Gruppe zusammengehöriger Rasterzellen
<b>Treibende Kräfte:</b>	
<i>Push-Faktoren („pressures &amp; states“):</i> unberücksichtigt, Attraktivitätsgradient vorausgesetzt <i>Pull-Faktoren (politische „responses“):</i> regionale & lokale Attraktivitäten, Flächenangebot	Standort bedingt Bewirtschaftungsschwernis <i>exogen:</i> Marktpreise, Agrarförderungen
<b>Aktion (individueller „response“):</b>	
<i>Wanderung, Unternehmensgründung</i> führt zu Nachfrage nach Wohnraum / Industriefläche - zu <i>höherer Bebauungsdichte / Nutzungsänderung</i>	<i>Änderung der Agrarnutzung / Bewirtschaftung</i>  verändert <i>Nutzungsmuster</i>
<b>Operationalisierung: jeweils multikriterielle Entscheidung</b>	
1. Gemeindeauswahl: viele alternative Ziele	Einkommensmaximierungsalternativen für Hof
2. Standortsuche in der Gemeinde	Nutzungsalternativen für die Nutzungseinheiten

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Elemente und Kriterien beider Modelle.

### 2.3 Gegenüberstellung der beiden Modelle

Tabelle 2 erlaubt einen Vergleich der Modellcharakteristika beider Ansätze. Die Gegenüberstellung zeigt trotz ähnlicher Fragestellung und ähnlicher formaler Simulationsprinzipien erhebliche Unterschiede. Bei agentenbasierten Modellen ist für das Nachvollziehen der individuellen Aktionen ein für die jeweiligen Agenten und Handlungen „maßgeschneiderter“, aktorszentrierter Lösungsansatz notwendig.

### 3 RESÜMEE

Insgesamt zeigt sich, dass agentenbasierte Modelle komplexe räumliche Veränderungen mit relativ wenigen, einfachen Regeln kleinräumig mit hoher Genauigkeit simulieren können. Allerdings ist es notwendig diese Regeln entsprechend zu parametrisieren und zu überprüfen, was hohen empirischen Analyseaufwand erfordert. Die Modelle können durch Erhöhung der Zahl von Kriterien und Agentengruppen weiter verbessert und damit noch genauere Ergebnisse erzielt werden. Als Schwäche der agentenbasierten Modelle sei genannt, dass der Modellierer verleitet ist, die Entscheidungsfindung der Agenten vereinfachend zu simulieren – etwa durch Einbezug einer zu geringen Zahl von Einflusskriterien oder einer nicht ausgewogenen und ausgetesteten Gewichtung der einzelnen Einflussfaktoren – was zu unrealistischen Ergebnissen führen kann. Lokale Attraktivitätsindikatoren (Beispiel Purkersdorf westlich von Wien)

#### Literatur

- Agentsheets (2003): <http://agentsheets.com/>
- Ascape (2003): <http://www.brook.edu/es/dynamics/models/ascape/default.htm>
- Balmann A. (2003): Current research related to agent-based modeling and Land-use / land cover change, <http://www.csiss.org/events/other/agent-based/papers/balmann.pdf>
- Berger T. (2000): Agent-based Spatial Models Applied to Agriculture. A Simulation Tool for Land Use Changes, Natural Resource Management, and Policy Analysis. In: Proceedings of the XXIVth Int. Conf. of Agric. Economists, Berlin.
- Bogue D.J. (1969): Principles of Demography. Springer, New York.
- Castillejo J.L.S. (2003) PLUMAR-R<sup>2</sup>: Pilot Land-use Model for an Austrian Rural Region. Master Thesis, Univ. Wageningen ARC Seibersdorf research.
- Dumanski, J. and C. Pieri (1996): Application of the pressure-state-response framework for the land quality indicators (LQI) programme. In: Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development. FAO-Conference Proceedings 1996, Rome. <http://www.itc.nl/~rossiter/Docs/FAO/w4745e/w4745e08.htm>
- Franklin S. und A. Graesser (1996): Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. Proceedings of the 3rd Int. Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Springer, New York.

- Gimblett H.R. (Hg.) (2002): Integrating Geographic Information Systems & Agent-based Modeling Techniques for Simulating Social & Ecological Processes, Oxford Univ. Press, New York.
- Lienenkamp R. (1999): Internationale Wanderungen im 21. Jahrhundert. Dortmund Beiträge zur Raumplanung Bd. 93. Inst. f. Raumplanung, Univ. Dortmund.
- Loibl W. (2000): Modellierung der Siedlungsdynamik mit einem GIS-basierten Zellularen Automaten - Konzeption, GIS-Integration und erste Ergebnisse, In: Strobl/Blaschke (Hg.) Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, pp. 297-304. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Loibl W. und H. Kramar (2001): Standortattraktivität und deren Einfluss auf Wanderung und Siedlungsentwicklung. In: Strobl J. et al. (Hg.). Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Loibl W., R. Giffinger, S. Sedlacek, (Hg.) (2002): „STAU-Wien“ Stadt-Umlandbeziehungen in der Region Wien: Siedlungsentwicklung, Interaktionen und Stoffflüsse; Endbericht Teil B: Daten, Theorie, Methoden und Ergebnisse; ARC Seibersdorf research Report, ARC-S-0181, Seibersdorf.
- Loibl W., M. Köstl, F. Kressler (2003): Evaluierung der Wirkung des ÖPUL auf die österreichische Kulturlandschaft in ausgewählten Regionen mit Hilfe eines Landschaftsmodells; ARC Seibersdorf research Report, ARC-S-0208, Seibersdorf.
- Loibl W. und T. Tötzer (2003): Modeling Growth and Densification Processes in Sub-urban Regions Simulation of Landscape Transition with Spatial Agents. In: Environmental Modelling and Software. Volume 18, Issue 6, pp 485-593.
- Portugali J. (1999): Self-Organization and the City. Springer, New York.
- STARLOGO (2003): <http://education.mit.edu/starlogo/>
- SWARM (2003): <http://www.swarm.org>
- Torrens P.M. (2001): Can geocomputation save urban simulation? Throw some agents into the mixture, simmer, and wait ... <http://www.casa.ucl.ac.uk/paper32.pdf>