



Report

Implementierung des integrierten Flächennutzungsmodells UrbanSim für den Grossraum Zürich Ein Erfahrungsbericht

Author(s):

Bürgle, Michaela; Löchl, Michael; Axhausen, Kay W.

Publication Date:

2006

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005278100> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Implementierung des integrierten Flächennutzungsmodells UrbanSim für den Grossraum Zürich – ein Erfahrungsbericht

Michael Löchl (IVT/ETH Zürich)
Michaela Bürgle (IRL/ETH Zürich)
Kay W. Axhausen (IVT/ETH Zürich)

Abstract

Despite the importance of assessing long-term outcomes of planning decisions, there is a lack of appropriate tools for forecasting and comparing land use and transport scenarios. A new generation of integrated land use models has been developed over the last two decades, but so far only few field reports are available about their implementation and practical application.

The article reports some early experiences made while setting up the land use model UrbanSim for the Greater Zurich area. It introduces the simulation framework and outlines the implementation process. Particular focus is given to data issues, as they constitute a crucial factor for the implementation. Representative of the models used for the simulation, the rent price and household location choice estimations are presented, interpreted and compared in detail. Finally, a more technical evaluation of UrbanSim's software qualities as experienced by the implementer is being given.

Einleitung

Die Veränderung von räumlichen Strukturen in der Schweiz hat in den letzten Jahrzehnten eine markante Beschleunigung erfahren. Der Suburbanisierungs- und Zersiedlungsprozess ist dabei noch keineswegs abgeschlossen (Schulz und Dosch, 2005). Neue und ergänzende Verkehrsinfrastrukturen haben sicher zu dieser Entwicklung beigetragen, ihre räumlichen Auswirkungen sind aber bisher nur teilweise geklärt (Bundesamt für Raumentwicklung, 2003; Tschopp und Axhausen, 2006).

Entsprechend finden bei planerischen Entscheidungen die komplexen Wechselwirkungen zwischen Raumentwicklung und Verkehr immer noch zu wenig Berücksichtigung. Dies hat auch mit dem weitgehenden Fehlen von praxistauglichen Werkzeugen zu tun, um die Wirkungszusammenhänge adäquat abbilden und Planungsfolgen prognostizieren oder Handlungsalternativen vergleichen zu können.

Diese Lücke sollen integrierte Flächennutzungsmodelle schliessen. Das Wort „integriert“ steht für die Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Verkehr und Raumnutzungen im Modellsystem. Kurz- wie langfristige Rückkopplungen zwischen der Ausgestaltung und den Gegebenheiten des Verkehrssystems, wie z.B. der Erreichbarkeit, und der Landentwicklung, beispielsweise in Form der Standortwahlentscheidungen von Haushalten und Unternehmen, fliessen in ein integriertes Modell ein.

Während der Einsatz von reinen Verkehrsmodellen heute bei vielen Planungsorganisationen Standard ist, wird die Flächennutzungsseite derzeit noch vernachlässigt. Die weltweit zunehmende Urbanisierung, aber auch das gestiegene Interesse an Nachhaltigkeit in der Siedlungsentwicklung sowie neue theoretische Erkenntnisse und technische Verbesserungen bei der Modellierung haben universitäre

Forschergruppen und Berater dazu ermuntert, eine neue Generation von Stadtsimulationsmodellen zu entwickeln. Zweifellos ist auch das Interesse der mit Planung beschäftigten Gebietskörperschaften an integrierter Modellierung gestiegen. Jedoch gibt es für den europäischen Raum bisher kaum Erfahrungsberichte zum Implementierungsaufwand und zur Integration dieses neuartigen Werkzeugs in die Planungspraxis. Der vorliegende Artikel thematisiert Erfahrungen, die bei der Implementierung eines konkreten Modellsystems für den Grossraum Zürich gemacht wurden.

Stand der Technik

In den letzten zehn Jahren haben sich einige Modellsysteme herausgebildet, die weltweit bereits mehrfach erfolgreich in der Praxis eingesetzt wurden. Sie berücksichtigen die wichtigsten Prozesse, die räumliche Entwicklungen bestimmen, namentlich Landentwicklung, Standortwahl von Haushalten und Unternehmen sowie Verkehr. Es folgt eine Aufzählung der integrierten Flächennutzungsmodelle mit der grössten Verbreitung. Für weitergehende Information zu derzeit angewendeten Simulationsmodellen und deren Unterschieden wird auf die entsprechende Literatur verwiesen (Wegener 2004; Hunt, Kriger und Miller, 2005).

ITLUP (auch unter dem Namen DRAM/EMPAL bekannt) (Putman, 1994) ist das am weitesten verbreitete Modell in den USA, während MEPLAN (Hunt, 1994) und TRANUS (Modelistica, 2006) primär in Europa und Süd-Amerika angewendet werden. Alle drei sind kommerzielle Softwarepakete, die bereits seit Jahren eingesetzt werden. MUSSA (Martínez, 2000) und UrbanSim (Waddell, 2003) sind neuere Entwicklungen, deren Besonderheit in der expliziten Modellierung von Boden- und Gebäudemarkt liegt. UrbanSim geht ausserdem nicht wie die meisten anderen Modelle von der allgemeinen Annahme des Gleichgewichts von Angebot und Nachfrage beispielsweise in Hinblick auf die Gebäudeflächen aus, sondern lässt ein dynamisches Ungleichgewicht zu.

In der internationalen Fachliteratur gibt es eine anhaltende Debatte über die theoretischen Grundlagen der Modelle und darüber, was diese Simulationsmodelle derzeit imstande sind sowie zukünftig in der Lage sein werden zu leisten (Timmermans, 2006; Miller, 2006). Zentral ist dabei unter anderem die Frage nach der notwendigen bzw. hinreichenden Komplexität eines Simulationssystems: Ist das Modell zu einfach und deckt eine nicht ausreichende Anzahl von Akteursgruppen und Entscheidungsparametern ab, steigt die Wahrscheinlichkeit fehlerhafter Vorhersagen, da wichtige Rückkoppelungen nicht abgebildet werden und kritische Sekundär- und Tertiäreffekte von Massnahmen und Prozessen ignoriert werden (Miller, 2006). Umgekehrt kann eine zu hohe Komplexität die praktische Anwendung nahezu unmöglich werden lassen. Diese Erfahrung wurde bereits mit der ersten Generation von Flächennutzungsmodellen gemacht (Lee, 1973). Insgesamt ist in der Frage der notwendigen Komplexität keine Einigkeit zu erwarten, da die Antwort entscheidend von der verlangten Erklärungstiefe und -breite abhängt.

Projekt „Infrastruktur, Erreichbarkeit und Raumentwicklung“

Im Rahmen des Polyprojektes „Zukunft urbane Kulturlandschaften“ war es das Ziel des Teilprojektes „Infrastruktur, Erreichbarkeit und Raumentwicklung“, ein integriertes Flächennutzungsmodell für den Grossraum Zürich zu implementieren. Die

Simulationssoftware UrbanSim wurde aus mehreren Gründen zur Anwendung ausgewählt: Das Modell kann aufgrund des Grades seiner räumlichen Disaggregation als fortschrittlich betrachtet werden, und es gibt bereits verschiedene Anwendungsfälle sowie eine gute Dokumentation, die auch online verfügbar ist. Ferner ist UrbanSim kein kommerzielles Produkt und somit frei und kostenlos verfügbar.

UrbanSim wurde an die speziellen Gegebenheiten des Grossraums Zürich angepasst und mit dem Verkehrsmodell des Kantons Zürich gekoppelt. Erste Validierungsarbeiten zeigen ermutigende Ergebnisse. Im Rahmen des Projektes wurden alle für die Anwendung im Grossraum Zürich notwendigen Datengrundlagen geschaffen, gesammelt und aufbereitet. Dazu gehören flächendeckende, feinaufgelöste Daten beispielsweise zu Bevölkerung, Arbeitsplätzen und Gebäudeflächen genauso wie die Parameterschätzungen für die Entscheidungsmodelle. Damit können in zukünftigen Projekten vielfältige Analysen und Prognosen sowie Wirkungsabschätzungen im Rahmen von Alternativenvergleichen vorgenommen werden.

UrbanSim

UrbanSim (CUSPA, 2006a) ist ein Softwarepaket zur integrierten Simulation von Flächennutzung und Verkehr, das seit annähernd zehn Jahren an der University of Washington in Seattle (USA) entwickelt wird (z.B. Waddell, 2002). Das Programm wird unter der GNU General Public License (Free Software Foundation, 1991) veröffentlicht, der Programmcode ist also frei verfügbar und darf kostenlos benutzt und verändert werden.

Die Entwicklung von Flächennutzung und Verkehr wird als Ergebnis einer Reihe von marktgesteuerten Entscheidungen verschiedener, miteinander interagierender Akteure, z.B. Haushalte, modelliert. Zusätzlich können planerische Vorgaben als Rahmenbedingungen für Entscheidungsmöglichkeiten angegeben werden (Waddell, 1998). Da das Verhalten einzelner Akteure Gegenstand der Simulation ist, kann man UrbanSim als Mikrosimulation betrachten, auch wenn die Auflösung (noch) nicht personenscharf ist (Waddell, Borning, Noth, Freier, Becke und Ulfarsson, 2003).

Für die computergestützte Simulation der zukünftigen Entwicklung von Flächennutzung und Verkehr muss zunächst eine Basisdatenbank mit flächennutzungsbezogenen Informationen bereitgestellt werden. Voraussetzung ist zudem die Verfügbarkeit eines externen Verkehrsmodells, da UrbanSim nur Modelle zu Flächennutzungsprozessen bereitstellt (s.u.). Das Verkehrsmodell ermittelt Informationen zum Verkehrsangebot zwischen den Verkehrszonen (v.a. durchschnittliche Reisezeiten), aus denen UrbanSim Erreichbarkeiten errechnet. Umgekehrt können durch UrbanSim errechnete Verteilungen von Flächennutzungen wiederum als Input für das Verkehrsmodell genutzt werden.

Funktionsprinzip

Das Funktionsprinzip des Simulationsframeworks UrbanSim ist einfach, wie Abbildung 1 zeigt: Flächennutzung und Verkehrsangebot des Basisjahrs, soziodemographische Eckdaten und Entwicklungsszenarien für zukünftige Jahre sowie Modellspezifikationen sind in der zentralen Datenbank abgelegt. Auf diese Datenbank greifen sequentiell alle für die Simulation anzuwendenden Modelle zu, um die benötigten Variablen direkt auszulesen oder zu berechnen. Die Modelle aktualisieren dann die Datenbank mit ihren

Ergebnissen, z.B. mit neuen Standorten für Haushalte oder neu berechneten Landpreisen. Die aktualisierte Datenbank stellt jeweils die Grundlage für die Berechnung des nächsten Modells dar. Dieser Ablauf wiederholt sich zyklisch mit einem Durchlauf aller Modelle für jedes simulierte Jahr.

Die sequentielle Betrachtung stellt zwar eine Vereinfachung der Realität dar, in der verschiedene Akteursentscheidungen und Prozesse simultan ablaufen und sich gegenseitig beeinflussen. Sie ist aber unerlässlich, um die Handhabbarkeit des gesamten Simulationssystems zu gewährleisten und eine gezielte Kalibrierung zu ermöglichen. Darüber hinaus lassen sich so isolierte Entscheidungsprozesse analysieren.

Eine Sonderstellung nimmt das Erreichbarkeitsmodell ein: Es aktualisiert die Erreichbarkeitswerte der Verkehrszonen im Simulationsgebiet mit Hilfe des externen Verkehrsmodells. Dieses externe Modell erhält die jeweils aktuellen Flächennutzungsdaten der Basisdatenbank von UrbanSim als Input, um alle Verkehrsmodellierungsschritte bis hin zur Umlegung anzupassen. Diese Aktualisierung wird typischerweise alle drei bis fünf Simulationsjahre vorgenommen.

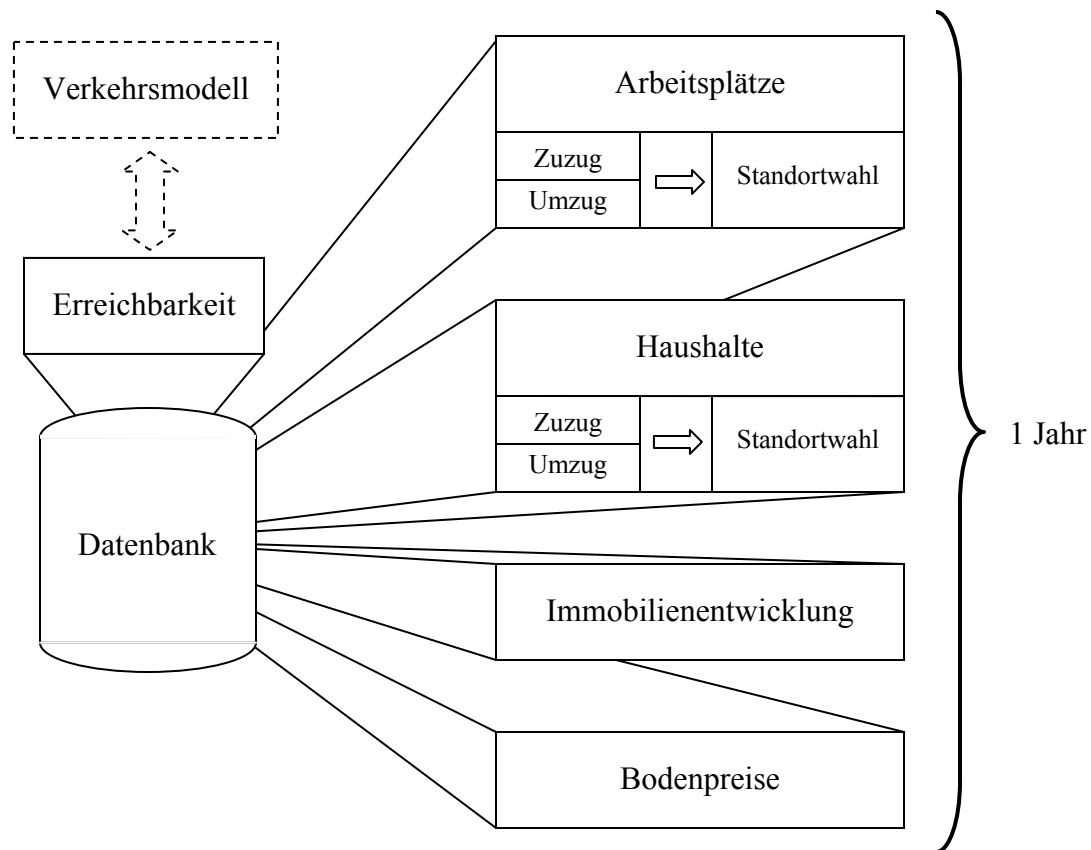


Abbildung 1: Funktionsprinzip des Simulationsframeworks UrbanSim

Version und Lizenzierung

Seit dem Sommer 2006 liegt UrbanSim in einer neuen Version vor, mit verbessertem Programmdesign, vereinfachter Benutzer- und Programmierschnittstelle und in der Skriptsprache Python umgesetzt. UrbanSim 4 wurde zudem in den grösseren Kontext des

ebenfalls neu geschaffenen Frameworks OPUS (Open Platform for Urban Simulation) gestellt (Waddell, Ševčíková, Socha, Miller und Nagel, 2005; CUSPA, 2006a).

Dass UrbanSim und die für den Einsatz benötigte Software – das sind vor allem Python (Python Software Foundation, 2006) und das Datenbank Management System MySQL (MySQL AB, 2006) – gratis erhältlich sind, ist kein Zufall: Möglichst wenig Zugangsbarrieren sollen den Einsatz von UrbanSim erschweren, gleichzeitig sollen Verbesserungen und Erweiterungen des Quellcodes durch Dritte gefördert werden. Ziel ist der Aufbau einer weltweiten Gemeinschaft von Anwendern und Entwicklern, die den Reifegrad der Software und ihre Praxisnähe vorantreiben.

Anwendungsbeispiele

Schon jetzt setzt eine ganze Reihe von Nutzergruppen die UrbanSim-Software ein. Anwendungen finden sich bisher überwiegend in den USA, z.B. in Amherst, El Paso, Eugene/Springfield, Honolulu, Houston, Salt Lake City, San Antonio und Seattle. Der Grund dafür ist nicht nur in der grösseren räumlichen Nähe zu den Entwicklern zu suchen. Einerseits existieren in den USA Gesetzesgrundlagen, die eine systematische Betrachtung von Umweltauswirkungen der Verkehrsplanung forcieren. Andererseits geht UrbanSim in puncto Datenanforderungen verständlicherweise von der US-amerikanischen Datenerhebungs- und Vorhaltepraxis aus. Zur Bereitstellung von Daten, die in den USA nicht direkt verfügbar sind, werden mit UrbanSim ergänzende Tools angeboten, die jedoch nicht ohne weiteres auf die Datenlage anderer Länder übertragbar sind, so dass nur US-amerikanische Nutzer optimal davon profitieren können. Zu den zahlreichen Anwendungen von UrbanSim in den USA sind in den letzten Jahren weitere weltweit hinzu gekommen, neben der in diesem Artikel vorgestellten z.B. für Tel Aviv, Paris, Randstad, Rom und Melbourne. Zumeist werden diese Anwendungen noch im universitären Umfeld umgesetzt, doch gibt es bereits Beispiele, bei denen die örtliche Planungsorganisation die Federführung übernimmt.

Datengrundlagen

Der Datenbasis kommt bei der Implementierung von UrbanSim zentrale Bedeutung zu: Ein Modell der Entwicklung von Flächennutzung und Verkehr implementieren heisst vor allem Informationen über die jüngere Vergangenheit sammeln. Ceteris paribus können daraus Gesetzmässigkeiten für die Zukunft abgeleitet werden. Den Daten zur bisherigen Entwicklung des Simulationsgebiets kommt dabei eine Doppelrolle zu: Ausgewählte Teilaspekte sind als erklärende Variablen die Basis für die Modellbildung, das Gesamtbild der Flächennutzung zu mehreren Zeitpunkten einer Testperiode in der Vergangenheit dient zur Validierung der entwickelten Modelle.

Die Datenbank zur Flächennutzung wird idealerweise aus vorhandenen Datenquellen zusammengestellt. Der genaue Datenbedarf ergibt sich hauptsächlich durch die Auswahl der Teilsysteme, die durch das Simulationssystem abgebildet werden sollen, z.B. Haushalte und Arbeitsplätze. Daneben sind Mindestvorgaben der Simulationssoftware zu beachten.

Datenbeschaffung

Da das Flächennutzungsmodell für den Grossraum Zürich hochaufgelöste Ergebnisse auf Hektarebene liefern soll, wird der Hektar auch als räumliche Bezugsgrösse der

Basisdatenbank gewählt. Die Eidgenössischen Volks- und Betriebszählungen des Bundesamts für Statistik werden spätestens seit den 90er Jahren flächendeckend in dieser Auflösung vorgehalten. Obwohl sich in den letzten Jahren die Menge der erhobenen Daten zur Flächennutzung vervielfacht hat, erwies sich die Zusammenstellung der einzelnen für die Simulation des Grossraums Zürich benötigten Informationen in der Praxis dennoch in vielfacher Hinsicht als schwierig.

Verfügbarkeit

Einerseits ist mit der Existenz eines Datensatzes nicht automatisch dessen Verfügbarkeit gegeben: Personenbezogene Daten unterliegen Datenschutzbestimmungen, andere Informationen, z.B. Immobilien bzw. Mietpreise, stellen eine Geschäftsgrundlage von Banken und Beratungsfirmen dar, die nicht ohne Weiteres an Dritte weitergegeben wird. Die Frage der Datenverfügbarkeit wird damit auch zu einer Frage von Kosten und Allianzen.

Andererseits kann nicht einmal das Vorhandensein aller wünschenswerten Datensätze vorausgesetzt werden. Oft muss man sich mit Schätzungen oder mit Daten anderer geographischer Räume behelfen. Für den Grossraum Zürich wurden z.B. detaillierte Informationen zu Haushalten auf Basis der verfügbaren Daten unter Einsatz von Optimierungsverfahren erstellt (Bürgle, Löchl, Waldner und Axhausen, 2005). Die Umzugswahrscheinlichkeit von Unternehmen verschiedener Sektoren wurde aus Zahlen der Kantone St. Gallen sowie Appenzell Inner- und Ausserrhoden (Bodenmann, 2006) für den Kanton Zürich übernommen. Eine weitere Möglichkeit der Ergänzung fehlender Daten stellen eigene Erhebungen dar. Eine solche Erhebung wurde im Rahmen des Projektes mit der Haushaltsbefragung zur Wohnsituation im Grossraum Zürich durchgeführt (Waldner, Löchl und Bürgle, 2005). Für den Einsatz eines Flächennutzungsmodells in der Planungspraxis wird eine Eigenerhebung jedoch aufgrund des hohen Aufwands eher nicht in Frage kommen.

Konsistenz

Sieht man einmal von schweizweit erhobenen Standarddatensätzen wie der oben genannten Volkszählung ab, hängen Aufwand und Kosten der Datenbeschaffung zudem in starkem Masse damit zusammen, über welche Verwaltungsgrenzen sich das Simulationsgebiet erstreckt. Die interkantonalen Unterschiede in puncto Verfügbarkeiten und Zuständigkeiten sind zum Teil beträchtlich. Dieser Sachverhalt kann mit einer fachlich auf Flächennutzungen begründeten Abgrenzung des Simulationsgebiets interferieren und sollte deshalb bereits an dieser Stelle bedacht werden.

Erfahrungsgemäss können die verfügbaren Datensätze mitunter Inkonsistenzen und Lücken aufweisen, die durch Angleichungen beseitigt werden müssen. Auch das Zusammenführen verschiedener Datensätze, die von unterschiedlichen Institutionen mit voneinander abweichenden Methoden und unterschiedlichen Hintergründen erhoben wurden, kann zu zusätzlichen Aufwänden führen. Das zeigte sich beispielsweise beim Abgleich der Betriebszählungsdaten des Bundesamtes für Statistik mit Daten zu Gebäudevolumina bzw. Geschossflächen der Gebäudeversicherung des Kantons Zürich. Schliesslich beziehen sich die tatsächlich verfügbaren Datensätze nur selten auf die gleichen Zeitpunkte. Die verschiedenen Zeitstände müssen meist durch Interpolation angeglichen werden.

Modelle

Die Datenbasis stellt das Rohmaterial des Modellsystems dar, die Modelle formen dessen Verhalten. Der hier verwendete Modellbegriff steht für eine mathematische Formel zur Beschreibung von Zusammenhängen der Realwelt. Verfahren der Modellschätzung liefern mathematisch-exakte Erklärungen für beobachtete Sachverhalte. Die Erklärungskraft eines Modells hängt aber letztlich stark von Vollständigkeit und Qualität der in Form von Variablen in die Modellspezifikation eingehenden Daten sowie von deren Formulierung und Parametrisierung ab. Das Wissen des Modellanwenders um funktionale Zusammenhänge wie auch Charakteristika der verfügbaren Daten kann das Ergebnis der Schätzungen wesentlich beeinflussen. Zudem können nur quantitativ erfassbare Realitätsmerkmale als Variablen berücksichtigt werden, qualitative Beobachtungen dagegen müssen ausser Acht bleiben, weil sie nicht oder nur mit grossem Aufwand erfasst und quantitativ formuliert werden können.

Beispielhaft für zwei verschiedene Modellfamilien werden im Folgenden das hedonische Regressionsmodell zur Mietpreismodellierung und das diskrete Entscheidungsmodell zur Standortwahl von Haushalten vorgestellt, die für das Flächennutzungsmodell des Grossraums Zürich spezifiziert wurden.

Basisdaten

Die Datenbasis mit Flächennutzungsinformationen wurde für die Modellschätzungen durch eine Befragung von 9000 Haushalten in 25 Gemeinden und Städten des Grossraums Zürich und Kreisen der Stadt Zürich ergänzt (Waldner, Löchl und Bürgle, 2005). Der Fragebogen enthielt vor allem Fragen zur Wohnsituation und zu sozioökonomischen Merkmalen der befragten Haushalte. Ein Datensatz mit rund 20.000 Wohnungen, die im Zeitraum 2003 bis 2005 in einem Immobilienportal online zur Vermietung angeboten worden waren, stellte eine umfangreichere, jedoch detailärmere Ergänzung dar.

Die Datensätze aus Befragung und Immobilienportal wurden geokodiert und mit räumlichen Daten verknüpft. Dazu gehören beispielsweise Informationen über naturräumliche Gegebenheiten wie Gefälle oder Exposition, Distanzen zu Gewässern und Verkehrsinfrastrukturen oder auch potentielle regionale Erreichbarkeiten von Bevölkerung und Arbeitsplätzen. Mit Hilfe der Lageinformation konnten auch Nachbarschaftsvariablen wie die Arbeitsplatz- und Bevölkerungsdichte in der unmittelbaren Umgebung sowie Variablen auf Gemeindeebene wie zum Beispiel der Anteil der Bevölkerung mit einem universitären Bildungsabschluss ermittelt werden.

Modellierung der Mietpreise

Ausgehend von dieser Datengrundlage konnten umfassende hedonische Modellierungen der Mietpreise durch multiple Regressionen vorgenommen werden (Löchl, 2006). Die von UrbanSim verwendeten Landpreise wurden anschliessend anhand der jährlich vom Kanton Zürich veröffentlichten durchschnittlichen Landkaufpreise pro Bezirk und Nutzungstyp aus den Mietpreisen hektarscharf berechnet.

Die hedonische Methode stützt sich auf die Annahme, dass sich der Preis einer Ware aus der Summe der Werte ihrer einzelnen Attribute errechnen lässt. Ihre theoretische Fundierung wurde von Rosen (1974) erarbeitet, der davon ausging, dass beispielsweise

eine Wohnung aus einem ganzen Bündel von Eigenschaften besteht, für die jeweils ein eigener Markt existiert. Mögliche wertbildende Eigenschaften von Wohnungen sind Struktureigenschaften wie Grösse, Alter und Ausstattung genauso wie Lagemerkmale. Der Wert jeder einzelnen Eigenschaft ist im Preis der Immobilie implizit enthalten und kann durch Regressionen bestimmt werden. Hat man die Werte der einzelnen Eigenschaften einmal ermittelt, können sie auf jede andere Wohnung übertragen werden, solange die Ausprägungen der entsprechenden Eigenschaften bekannt sind. Da im Rahmen der Flächennutzungssimulation für den Grossraum Zürich nur die Lageeigenschaften flächendeckend vorlagen, konnten auch nur diese bei der Mietpreismodellierung verwendet werden. Die ersten beiden Datenspalten in Tabelle 1 zeigen das hedonische Mietpreismodell mit dem durchschnittlichen monatlichen Nettomietpreis pro Quadratmeter Wohnfläche in Franken als abhängiger Variable. Die Parameter werden standardisiert und nicht-standardisiert dargestellt. Aus den Parameterwerten des nicht-standardisierten Modells lässt sich direkt der Zusammenhang zwischen Ausprägung der Variablen und Mietpreis in Franken pro Quadratmeter ablesen: Ein Wert von 1,0 bedeutet z.B., dass die Veränderung der Variable um eine Einheit den Quadratmeterpreis um einen Franken erhöht. Die beiden letzten Datenspalten beziehen sich auf das Modell zur Wohnstandortwahl (s.u.).

Tabelle 1 Mietpreis- und Wohnstandortwahlmodell für den Kanton Zürich

Variable	Hedonisches Mietpreismodell		Standortwahlmodell	
	Standardisiert	Nicht-Standardisiert	Allgemein	UrbanSim
Konstante		27,327		
<i>Erreichbarkeit/ Verkehr</i>				
Ln (Autoreisezeit zum Bürkliplatz)	-0,349	-5,580	0,018	-3,335
Ln (Erreichbarkeit von Bevölkerung mit ÖV) * Dummy „kein Auto“			0,570	0,600
Entfernung zum Arbeitsort			-5,459	
Exponent der Entfernung zum Arbeitsort			0,167	
Ln (Distanz zur nächsten Autobahnausfahrt in km)	0,080	0,581		0,119
Ln (Distanz zur nächsten Bahnstation in km)	-0,033	-0,242		-0,115
Befahrene Bahnstrecke innerhalb von 50m (Dummy)	-0,027	-0,878		-0,933
Autobahn innerhalb von 100m (Dummy)	-0,017*	-0,702*		-0,400 ⁺
Erhöhtes Lärmniveau			-0,236	
<i>Sozioökonomische Strukturvariablen</i>				
Bevölkerungsdichte * Dummy „junger Haushalt“				0,006
Haushalte gleicher Grösse in 1km Umkreis			0,0004	0,0001
Anzahl Arbeitsplätze in Hotel- und Gaststättengewerbe in 1km Umkreis (dividiert durch 1000)	0,193	1,289		

Distanz zur nächsten Schule * Dummy „Kinder im Haushalt“				0,0003 ⁺
--	--	--	--	---------------------

Umweltvariablen

Ln (Distanz zum nächsten grösseren See in km)	-0,101	-0,447		
Sonnenbestrahlungsindex	0,090	0,081		
Gefälle (Prozent)	0,064	0,111		

Gemeindebezogene Variablen

Bundessteuereinnahmen pro Kopf in der Gemeinde (geteilt durch 1000)	0,169	0,977	-0,026	1,037
Anteil von Gebäude vor 1971 gebaut in Gemeinde	0,146	0,049		0,041
Mietleerstand in der Gemeinde			-0,224	-0,110
Anteil Hochschulabgänger in der Gemeinde				-3,073

Haushaltsbezogene Variablen

Verhältnis Miete zu Haushaltseinkommen			-0,546	
Miete pro m ²				-0,600
Wohnfläche / Wurzel der Haushaltsmitglieder			-0,289	

n = 9199; adjusted R² = 0,454; F = 695,883

n = 877, rho²=0,26 n = 1356 rho²=0,08

Ist nichts anderes vermerkt, sind die Variablen signifikant auf 1% Level

Ist nichts anderes vermerkt, sind die Variablen signifikant auf 5% Level

* = signifikant auf 5% Level

⁺ = nicht signifikant auf 5% Level

In allen gerechneten Mietpreismodellen erwies sich die Reisezeit per Auto ins Stadtzentrum von Zürich (Bürkliplatz) als wichtigste Variable in Bezug auf den Mietpreis. Dies macht die überragende Bedeutung der Stadt Zürich für die ganze Region deutlich. Andere Erreichbarkeitsvariablen, beispielsweise solche des öffentlichen Verkehrs, konnten damit aufgrund der wechselseitigen Abhängigkeiten (Multikollinearität) nicht mehr berücksichtigt werden. Während sich die Nähe zu Autobahnauffahrten, Autobahnen und Bahnlinien wegen der damit einhergehenden Belastungen negativ auf den Mietpreis auswirkt, ist es bei der Nähe zum nächsten Bahnhofpunkt umgekehrt. Eine hohe Dichte von Arbeitsplätzen im Gastronomie- und Hotelgewerbe als Indikator für Urbanität wirkt ebenfalls positiv. Des Weiteren wird die Nähe zu einem grösseren See, eine günstige Sonnenexposition sowie die Hanglagen geschätzt. Schliesslich sind einige gemeindescharfe Variablen relevant, die die nachvollziehbare Tendenz zu höheren Mieten in wohlhabenden Gemeinden und in solchen mit vergleichsweise alter Bausubstanz zeigen.

Modellierung der Standortwahl von Haushalten

Während das Mietpreismodell einem Standort unter Berücksichtigung diverser Einflussgrössen einen monetären Wert aus einer kontinuierlichen Skala möglicher Preise zuordnet, ist die Aufgabenstellung bei der Standortwahl von Haushalten eine andere: Aus einer endlichen Menge verschiedener Standorte soll derjenige ausgewählt werden, für den sich ein Haushalt auf Wohnungssuche am wahrscheinlichsten entscheiden wird. Derartige Entscheidungsprobleme können durch diskrete Entscheidungsmodelle beschrieben werden. Meist bilden solche Modelle Entscheidungen zwischen wenigen möglichen Alternativen ab, z.B. die Wahl zwischen öffentlichen Verkehrsmitteln und Individualverkehr. Aber auch für Entscheidungen mit einer unüberschaubaren Anzahl von Auswahlmöglichkeiten, wie bei der Wohnungssuche, ist eine Formulierung als Multinomial Logit Funktion möglich und sinnvoll, wie McFadden (1978) zeigte.

Für die Modellierung der Standortentscheidung wurde eine Zufallsstichprobe von 20 bis 50 der Angebote des Immobilienportals als nicht gewählte Alternativen zusammengestellt. Als Entscheider wurde je einer der befragten Haushalte eingesetzt, und die zum Zeitpunkt der Befragung aktuelle Wohnung wurde als gewählte Alternative verwendet. Für die gewählten und nicht gewählten Wohnstandorte wurden Nutzenfunktionen spezifiziert, die als Variablen Merkmale des Objekts (z.B. Mietpreis), des Standorts (z.B. Luftlinienentfernung zur nächsten Autobahn) und des Entscheiders (z.B. Lage des Arbeitsorts) enthalten. Dabei wurden überwiegend lineare Formulierungen gewählt, aber auch einige nichtlineare Kombinationen getestet.

Abbildung 2 veranschaulicht diese Möglichkeiten anhand einer stark vereinfachten Formel zur Berechnung des Nutzens eines Wohnstandorts. Die mit β und Grossbuchstaben benannten Ausdrücke stellen Parameter des Modells dar, die mit spezieller Software (z.B. Biogeme – Bierlaire, 2006) geschätzt werden. Die Ausdrücke in Kleinbuchstaben bezeichnen Variablen, die zur Berechnung des Nutzens einer Standortalternative für den Entscheider mit den jeweils auf Standort und Haushalt zutreffenden Werten besetzt werden. Die nicht-lineare Formulierung der Einflussgrösse Distanz zum Arbeitsort spiegelt den Zusammenhang wider, dass sich der gleiche absolute Entfernungswert im Nahbereich stärker auswirkt als bei grösseren Entfernungen.

$$\text{Nutzen}_{ik} = \beta\text{-MIETE} * \text{mietek} + \beta\text{-LÄRM} * \text{lärmk} + \beta\text{-DISTANZ-ARBEIT} * (\text{distanz-arbeit}_{ik})^{\beta\text{-EXPONENT}}$$

i: Index des Haushalts, der die Entscheidung trifft

k: Index des Standorts der Alternative

Abbildung 2: Vereinfachte Formel zur Berechnung des Nutzens eines Wohnstandorts

Die vollständige Liste der Variablen und zugehörigen Parameter eines allgemeinen Modells zur Wohnstandortwahl im Grossraum Zürich zeigt Tabelle 1 (siehe auch Bürgle, 2006b). Das Vorzeichen eines Parameters zeigt an, ob ein höherer Wert der Variablen den Nutzen des Wohnstandorts für den Haushalt erhöht (positives Vorzeichen) oder senkt (negatives Vorzeichen). Für die Entfernung des Wohnorts zum Arbeitsort beispielsweise ist ein negatives Vorzeichen zu erwarten, da kürzere Distanzen bevorzugt werden. Die Vorzeichen der meisten Variablen überraschen nicht; so wirkt sich z.B. eine im Vergleich zum Haushaltseinkommen hohe Miete negativ auf den subjektiven Nutzen einer Standortalternative aus.

Aufmerksamkeit verdient die Präsenz von mehreren auf die Gemeinde bzw. Verkehrszone bezogenen Variablen, die sich in dem für das auf UrbanSim angepasste Standortwahlmodell (s. Tabelle 1; Bürgle, 2006b) noch deutlich verstärkt. Der relativ hohe Anteil solcher Variablen ist deshalb interessant, weil sie mit wesentlich weniger Aufwand und Kosten zu beschaffen sind als kleinräumiger differenzierte Werte. Eine Schlussfolgerung könnte sein, dass ein Mindestniveau an Modellgüte bereits mit geringem Datenbedarf erreicht werden kann. Für eine deutliche Verbesserung der Erklärungskraft hingegen ist das Wissen um sozioökonomische Merkmale des Entscheiders unerlässlich. Die in Bürgle (2006a) dokumentierten, nach Haushaltstypen differenzierten Modellschätzungen lassen keine Zweifel daran offen, dass solche Charakteristika die Standortwahl stark beeinflussen. Wie schon beim Mietpreismodell dokumentiert musste jedoch auch das Modell zur Wohnstandortwahl an die eingeschränkte Datenverfügbarkeit für den Simulationsraum und –zeitraum angepasst werden. Die Entfernung zum Arbeitsort wurde damit als erklärende Variable aufgegeben, denn die entsprechenden Informationen sind nur für die befragten Haushalte bekannt, jedoch nicht in der Simulationsdatenbank enthalten. Der Wegfall dieser Variable hatte eine gravierende Verschlechterung der Erklärungsgüte zur Folge. Auch die Wohnungsgrösse ist in der Simulation nicht bekannt.

Es fällt auf, dass mit der Reduktion sozioökonomischer Informationen im eingeschränkten Modell für UrbanSim standortbezogene Variablen des Mietpreismodells signifikant werden, die bei Schätzungen des allgemeinen Modells keinen Beitrag zur Erklärungskraft lieferten. Ausserdem ändern sich die Vorzeichen der Variablen „Reisezeit zum Bürkliplatz“ und „Bundessteuereinnahmen pro Kopf“ und gleichen sich damit denen des Mietpreismodells an.

Die verkehrsbezogenen Variablen „Erreichbarkeit“ und „Reisezeit zum Bürkliplatz“ verdienen eine nähere Betrachtung. Im Gegensatz zum Mietpreismodell hat die Erreichbarkeit überhaupt nur Signifikanz, wenn man Haushalte ohne Auto und die Erreichbarkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln betrachtet. Die Reisezeit ins Stadtzentrum hat im allgemeinen Modell ein positives Vorzeichen, ein Ergebnis, das auf

Zersiedelungstendenzen hinweisen könnte. Im eingeschränkten Modell kehrt sich dieses Vorzeichen jedoch um, konsistent zu den Ergebnissen des Mietpreismodells. Diese auf den ersten Blick überraschende Umkehrung ist vermutlich darauf zurück zu führen, dass die Reisezeitvariable in Abwesenheit der Variablen „Entfernung zum Arbeitsplatz“ verstärkt die Erklärung der Affinität zu zentralen Lagen übernimmt; in solchen Lagen dürften Arbeitsplätze konzentriert auftreten.

Tabelle 2 zeigt die Korrelation der Variablen mit Bezug auf Erreichbarkeit aus dem allgemeinen Modell. Der vergleichsweise hohe Korrelationswert für „Erreichbarkeit mit ÖV“ und „Reisezeit zum Bürkliplatz“ kommt vermutlich durch die selektive Betrachtung von Haushalten ohne Personenwagen zustande.

Tabelle 2 Korrelation der Erreichbarkeitsvariablen im allgemeinen Modell

	Autoreisezeit zum Bürkliplatz	Entfernung zum Arbeitsort
Erreichbarkeit mit ÖV (Haushalte ohne Auto)	0,21	0,01
Entfernung zum Arbeitsort	0,02	

Da sowohl das Mietpreismodell als auch das Standortwahlmodell für Haushalte sich – wenn auch in verschiedenen Problemformulierungen – mit der Attraktivität von Wohnstandorten beschäftigen, wäre für die Zukunft die Durchführung eines systematischen Vergleichs der Ergebnisse interessant. Wo möglich und sinnvoll wurden für die Schätzungen bereits die selben Variablen verwendet.

Softwareevaluation von UrbanSim

Die konzeptuellen Ansätze von Flächennutzungsmodellen, die zum Einsatz in Forschung oder Praxis entwickelt werden, unterscheiden sich zum Teil beträchtlich, z.B. was die Art der Abbildung der Realwelt, den Aggregierungsgrad oder den Funktionsumfang betrifft. Deshalb ist gerade zu Beginn einer Anwendung die Frage nach der Wahl des geeigneten Modellsystems für eine konkrete Implementierung von besonderer Wichtigkeit. Dabei müssen pragmatische Anforderungen beachtet werden, die alle Phasen der Implementierung betreffen: Vorbereitung (Datensammlung, Modellschätzung, Kalibrierung), Anwendung (Simulationsdurchläufe, Interfacing mit externen Systemen) und Auswertung der Simulationsergebnisse.

Für den Einsatz im Grossraum Zürich wurde UrbanSim ausgewählt. Hat sich diese Lösung rückblickend bewährt? Einen Anhaltspunkt zur Beantwortung dieser Frage können die Qualitätsmerkmale von Software nach ISO 9126 (ISO, 2001) bieten. Im Anschluss an die folgende Bestandsaufnahme der Systemeigenschaften, die sich bei der Implementierung für den Grossraum Zürich präsentiert haben, wird zusammenfassend auf die Qualitätsmerkmale Funktionalität, Zuverlässigkeit, Verwendbarkeit, Effizienz, Pflegbarkeit und Portierbarkeit Bezug genommen.

Reife und Weiterentwicklung

Im Vergleich der bestehenden Flächennutzungsmodelle erschien UrbanSim als gute Kombination aus Reife und Innovation. Dieser Eindruck hat sich im Verlauf der Arbeit mit dem Modell bestätigt: Es handelt sich um ein praxiserprobtes System, in das kontinuierlich Erkenntnisse aus verschiedenen Fachdisziplinen einfließen, um es weiter zu verbessern. Die Projektverantwortlichen suchen und pflegen dabei den Dialog mit Anwendern. Die fachliche Logik profitiert ebenso von dieser mehrgleisigen Vorgehensweise wie Softwarearchitektur und Bedienbarkeit. Die Intensität und das Tempo der Weiterentwicklung von UrbanSim gehören zweifellos zu seinen Besonderheiten und Stärken. Mit der Entwicklung von UrbanSim Schritt zu halten, kann allerdings für Benutzer zusätzliche Aufwände mit sich bringen, z.B. in Form von Anpassungen nach Updates.

Datenbedarf

Eine problematische Eigenschaft von UrbanSim ist der grosse Bedarf an Basisdaten teilweise sehr feiner Auflösung. Dieser Bedarf hängt allerdings nicht mit der Simulationssoftware als solcher sondern mit den Ansprüchen an die Simulationsergebnisse zusammen: Will man hektarscharfe Ergebnisse erhalten, ist es einleuchtend, dass auch die Eingangsdaten diese Auflösung haben müssen. Zunehmend wird ausserdem in UrbanSim die Verwendung von Daten mit verschiedenen räumlichen Bezugssystemen ermöglicht, z.B. Rasterzellen, Grundstücke, Verkehrszonen. Wird, wie bereits angemerkt, noch an einigen Stellen von US-amerikanischen Verhältnissen ausgegangen, so ist doch das Bestreben erkennbar, solche Abhängigkeiten mittelfristig vollständig aufzulösen.

Modellspezifikation

Bei den Modellschätzungen ist der Benutzer schon jetzt flexibel: Schätzungen können direkt mit UrbanSim durchgeführt werden, die Verwendung externer Software unabhängig von oder gekoppelt mit UrbanSim ist ebenso vorgesehen. Die Übertragung extern erarbeiteter Schätzergebnisse in die Basisdatenbank erfordert bei umfangreichen Modellen etwas Fleissarbeit, ist aber prinzipiell unproblematisch. Die Art des in der Simulation zu verwendenden Modells ist einfach konfigurierbar. Dabei werden in der Regel die mit der Software mitgelieferten Modelle Verwendung finden, es können aber auch eigene ergänzt werden.

Setzt man nur die mitgelieferten Modelle ein, beschränkt sich die zu leistende Programmierarbeit auf die Implementierung der für jedes Modell benötigten Variablen. Im einfachsten Fall werden die in den Beispielanwendungen von UrbanSim zur Formulierung der Modelle verwendeten Variablen übernommen. Für den Grossraum Zürich wurden jedoch eigene Modellschätzungen durchgeführt. Die Auswahl der erklärenden Variablen folgte nebst fachlichen Überlegungen auch der Datenverfügbarkeit und unterscheidet sich damit in Teilen von den amerikanischen Vorbildern. Die Implementierung eigener Variablen erfordert ein Minimum an Programmiererfahrung, UrbanSim ist jedoch so modular aufgebaut, dass keine umfassenden – und damit fehlerträchtigen – Eingriffe in den Programmcode erfolgen müssen. Für jede abgeleitete, also nicht direkt in der Basisdatenbank verfügbare Variable wird ein Python-Skript erstellt, in dem Anweisungen zur Berechnung ihres Wertes festgeschrieben sind. In

vielen Fällen findet sich in der UrbanSim-Distribution eine ähnliche Variable, an deren Quellcode man sich orientieren kann.

Ein vertieftes Verständnis des Programms und seiner Softwarearchitektur wird dennoch in vielen Fällen nötig sein, z.B. zur Fehleranalyse, wenn man bei der Implementierung einzelner Modelle auf Probleme stösst.

Konfigurationsmöglichkeiten

Generell hat der Anwender relativ weit reichende Möglichkeiten, die Simulation nach seinen Wünschen und Bedürfnissen einzurichten, ohne dafür tief in das System eingreifen zu müssen. Angaben werden meist in Konfigurationsdateien gemacht, die zwar in Form von Python-Skripten vorliegen, aber keine Programmierkenntnisse erfordern, sondern nur das Befolgen syntaktischer Regeln: Konfigurationsangaben werden in Form sogenannter „Dictionaries“ gemacht, Paaren aus Schlüsselwort und Wert. Dabei kann man sich gut an den vorgegebenen Einträgen orientieren. Abbildung 3 zeigt beispielhaft, wie im Konfigurationsskript die Zahl der für die Standortwahl von Haushalten zur Auswahl stehenden Alternativen festgelegt wird, in diesem Fall 50.

```
'models_configuration' : {
  'household_location_choice_model' : {
    'controller': {
      'init': {'arguments': {'sample_size_locations': 50}}}}}
```

Abbildung 3: Auszug aus Konfiguration des Modells zur Standortwahl von Haushalten

Eine weitere bestehende Möglichkeit, anwendungsspezifische Informationen einfließen zu lassen, ist das Eintragen von Werten in Tabellen der Basisdatenbank. Dieser Weg wurde von den Entwicklern für die Angabe der Modellspezifikationen und einiger Konstanten gewählt.

Die Einführung von graphischen Oberflächen zur Änderung von Konfigurationsdateien würde den Anwendern zweifellos die Arbeit mit dem System erleichtern. Eine solche Erweiterung ist bereits in Arbeit.

Dokumentation und Support

Die Dokumentation der Simulationssoftware ist umfangreich, jedoch derzeit (Oktober 2006) noch nicht vollständig auf die neue Version 4 umgestellt. Das gesamte Benutzerhandbuch ist in verschiedenen Formaten online verfügbar; mit „UrbanSim Commons“ (CUSPA, 2006b) wurde eine zusätzliche online-Plattform für den Austausch von Anwendern und Entwicklern geschaffen. Der Quellcode ist stellenweise nur spärlich kommentiert, hier besteht sicher noch Verbesserungsbedarf. Für die Lösung einfacherer Probleme reichen die Erklärungen im Benutzerhandbuch meist aus, bei weitergehenden Fragen hat sich das Entwicklerteam von UrbanSim als sehr hilfsbereit erwiesen.

Erfüllung der Qualitätsmerkmale

Die fachlichen und **funktionalen Anforderungen** an das System sind nach gegenwärtigem Stand der Technik weitgehend erfüllt, neue Anforderungen und Erkenntnisse fließen in die laufende Entwicklung mit ein. Eine Erweiterung des Funktionsumfangs wäre z.B. im Bereich der Aktivitätsräume einzelner Haushaltsmitglieder wünschenswert.

Die **Zuverlässigkeit** der Software ist bedingt durch die kürzlich erfolgte Versionsumstellung noch nicht uneingeschränkt gegeben, es ist aber absehbar, dass sich diese Situation schnell ändert. Insgesamt weist UrbanSim einen recht hohen Reifegrad auf, der noch von der wachsenden Zahl von Anwendern profitieren wird.

Fragen der **Verwendbarkeit** wird viel Raum gegeben. Dazu gehören die umfangreiche Dokumentation, die zur Verständlichkeit beiträgt, aber auch die Überlegungen zur Veranschaulichung der Simulationsergebnisse durch Indikatoren.

Die **Effizienz** von UrbanSim hat sich mit der neuen Version verbessert: Die Verkürzung der Laufzeit war einer der Gründe für die Umstellung von Java auf Python in Verbindung mit in der Programmiersprache C geschriebenen Bibliotheken. Der Speicherbedarf lässt sich teilweise durch Änderungen der Konfiguration an die Möglichkeiten des Systems anpassen.

Die **Pflegbarkeit** ist nur für Anwender ein unmittelbares Thema, die die Software selbst anpassen wollen. Auch hier hat es mit dem Versionssprung weitere Verbesserungen gegeben: Die Systemarchitektur ist leichter verständlich, die Schnittstellen über die eigene Programmiererweiterungen angekoppelt werden können sind sauberer und besser dokumentiert. Automatisierte Tests sind in den meisten Modulen enthalten.

Auch die **Portierbarkeit** hat sich insgesamt verbessert. Die Installation der neuen Version erfordert zwar mehr zusätzliche Softwarepakete als bisher, die Bereitstellung von OPUS als Framework für Flächennutzungsmodellierung öffnet dafür aber neue Möglichkeiten der Integration externer Systemkomponenten. Inwieweit andere Entwicklergruppen diese Plattform nutzen werden, muss sich noch zeigen.

Fazit

Integrierte Simulationssysteme für Flächennutzung und Verkehr haben inzwischen einen Grad technischer und inhaltlicher Reife erlangt, der eine Anwendung in der Praxis grundsätzlich ermöglicht. Das beste System steht und fällt jedoch mit der Datengrundlage, die für Modellschätzungen und zur Beschreibung des Ausgangszustands bereitgestellt werden kann. Der Aufwand der Datenbeschaffung und –aufbereitung sowie der Umfang unsicherer Informationen in der Basisdatenbank sind zwei mögliche Problemfelder, die bei der Entscheidung für den Einsatz eines Flächennutzungsmodells als Planungswerkzeug in Betracht gezogen werden sollten. Eine systematische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Implementierungsaufwand und Aussagekraft einer Simulationsanwendung steht noch aus, sollte aber dem Praxiseinsatz vorausgehen.

Für die Akzeptanz komplexer Simulationssysteme in der Planungspraxis wird nicht nur ein moderater Implementierungsaufwand entscheidend sein, sondern ebenso das Mass an Vertrauen, das solche Systeme bei den potentiellen Anwendern erreichen können. Basis für dieses Vertrauen sind fundierte Aussagen zur Verlässlichkeit der Resultate von Flächennutzungs-Verkehrs-Simulationen, die über die Erklärungsgüte einzelner Modelle hinaus gehen. Ansätze hierzu finden sich z.B. in Ševčíková, Raftery und Waddell (2006).

Neben fachlich-technischen Verbesserungen der Simulationssysteme wird in Zukunft das frühzeitige Einbeziehen potentieller Anwender in die Entwicklungsprozesse solcher Systeme eine immer wichtigere Rolle für den Praxiseinsatz spielen. Im Dialog können Anwender den Entwicklern ihre Bedürfnisse vermitteln und werden ihrerseits für die Möglichkeiten und Grenzen der Aussagekraft komplexer Simulationssysteme sensibilisiert (z.B. Borning, Waddell und Förster, 2006; Förster und Kytzia, 2004).

Im Rahmen des Projektes konnte das Flächennutzungsmodell UrbanSim erfolgreich für den Grossraum Zürich angepasst und implementiert werden. Die dabei gewonnenen Erfahrungen ermöglichten eine Evaluierung der verwendeten Software. Das Urteil fällt insgesamt positiv aus.

Die Frage nach der Übertragbarkeit auf andere Regionen der Schweiz hängt vor allem von der Datenverfügbarkeit ab. Grundvoraussetzung für die Anwendung von UrbanSim ist wie beschrieben ein funktionierendes Verkehrsmodell, das Angebotscharakteristika wie Reisezeit zwischen den jeweiligen Zonen bei normaler Verkehrsbelastung ausgeben kann. Darüber hinaus ist neben den flächendeckend für die gesamte Schweiz vorliegenden hektarscharfen Datensätzen (Volks- und Betriebszählung) die Verfügbarkeit weiterer Datensätze zentral für die Umsetzung. Dazu gehören Informationen über den Gebäudebestand, unterschieden nach Nutzungen. Liegen räumliche Informationen dieser Art nicht flächendeckend vor, müssen grobe Annahmen getroffen werden, die aber die Erklärungsgüte des Gesamtmodells entsprechend reduzieren.

Umfassende Modellierungsansätze wie der im vorliegenden Artikel vorgestellte werden auf Grund ihrer Komplexität vereinfachte, fachplanungsspezifische Modelle nicht ersetzen können. Entscheidet man sich jedoch für eine solche Implementierung, eröffnet sich Planern ein neues Feld von Analysemöglichkeiten und Beurteilungsgrundlagen.

Literatur

- BIERLAIRE, M. (2006): BIOGEME 1.4 Homepage. <http://roso.epfl.ch/biogeme>. 23.10.2006.
- BODENMANN, B. (2006): Lebenszyklusmodelle für Unternehmen in der Raumplanung, Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 393, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- BORNING, A.; WADDELL, P.; FÖRSTER, R. (2006) UrbanSim: Using Simulation to Inform Public Deliberation and Decision-Making. In: Chen, H.; Brandt L.; Gregg, V.; Traunmüller, R.; Dawes, S.; Hovy, E.; Macintosh, A.; Larson C.A. (eds.) Digital Government: Advanced Research and Case Studies, Springer-Verlag (im Druck).
- BÜRGLER, M.; LÖCHL, M.; WALDNER, U.; AXHAUSEN, K.W. (2005): Land use and transport simulation: Applying UrbanSim in the Greater Zürich area, Vortrag, 9th Computers in Urban Planning and Urban Management Conference (CUPUM), London, June 2005.
- BÜRGLER, M. (2006a): Residential location choice model for the Greater Zurich area, Vortrag, 6th Swiss Transport Research Conference (STRC), Ascona, March 2006.
- BÜRGLER, M. (2006b): Modell der Wohnstandortwahl im Grossraum Zürich zur Verwendung in UrbanSim, Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften, 7, NSL, ETH Zürich, Zürich.
- BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG (2003): Räumliche Auswirkungen der Verkehrsinfrastrukturen „Lernen aus der Vergangenheit“, Methodologische Vorstudie, Teil II, Arbeitsbericht, Bern.
- CUSPA – CENTER FOR URBAN SIMULATION AND POLICY ANALYSIS (2006a): UrbanSim Homepage. <http://www.urbansim.org>. 23. Oktober 2006
- CUSPA – CENTER FOR URBAN SIMULATION AND POLICY ANALYSIS (2006b): UrbanSim Commons Homepage. <http://urbansimcommons.org/HomePage>. 23.10.2006.
- EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1990): Clean Air Act. <http://www.epa.gov/oar/caa/caaa.txt>. 23.10.2006.
- FÖRSTER, R.; KYTZIA, S. (2004) How can Integrative Modelling contribute to Sustainable Regional Development in Practice? The Potential of Group Model Building - Results of a Case Study. In: Pahl-Wostl, C.; Schmidt, S.; Jakeman, T. (eds.) iEMSs 2004 International Congress: "Complexity and Integrated Resources Management". International Environmental Modelling and Software Society, Osnabrück, Juni 2004.
- FREE SOFTWARE FOUNDATION (1991): GNU General Public License, Version 2. <http://www.gnu.org/licenses/gpl.txt>. 23.10.2006.
- HUNT, J.D. (1994): Calibrating the Naples land use and transport model. In: Environment and Planning, Vol. 21B, S. 569-590.
- HUNT, J.D.; KRIGER, D.S.; MILLER, E.J. (2005): Current operational urban land-use-transport modelling frameworks: a review. In: Transport Review, Vol. 25, No. 3, S. 329-376.
- ISO –International Organization for Standardization (2001): ISO/IEC 9126-1:2001 Software engineering -- Product quality -- Part 1: Quality model.
- LEE, D.B. Jr. (1973): Requiem for large-scale models. In: Journal of the American Institute of Planners, Vol 39, S. 163-178.
- LÖCHL, M. (2006): Real estate and land price models for the Greater Zurich application of UrbanSim. In: Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften, 6, NSL, ETH Zürich, Zürich.
- MARTÍNEZ, F.J. (2000): Towards a land use and transport interaction framework. In: HENSHER, D.; BUTTON, K. (eds.) Handbooks in Transport – Handbook 1: Transport Modelling,

- Elsevier, The Hague, S. 154-164.
- MCFADDEN, D. (1978): Modelling the choice of residential location. In: Karlquist, A.; Lundquist, L.; Snickars, F.; Weibull, J.W. (eds.) Spatial Interaction Theory and Planning Models, North-Holland, Amsterdam, S. 75 – 96.
- MILLER, E.J. (2006): Integrated Urban Models: Theoretical Prospects, Vortrag, 11th International Conference on Travel Behaviour Research, Kyoto, August 2006.
- MODELISTICA (2006): Modelistica – Tranus. <http://www.modelistica.com>. 23.10.2006.
- MYSQL AB (2006): MySQL Community Edition.
http://www.mysql.com/products/database/mysql/community_edition.html.
23.10.2006.
- PUTNAM, S.H. (1994): Integrated land use and transportation models: an overview of progress with DRAM and EMPAL, with suggestions for further research, Vortrag, 73rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- PYTHON SOFTWARE FOUNDATION (2006): The Python Programming Language.
<http://www.python.org/>. 23.10.2006.
- SCHULZ, B., DOSCH, F. (2005): Trends der Siedlungsentwicklung und ihre Steuerung in der Schweiz und Deutschland, DISP, 160, S. 5-15.
- ŠEVČIKOVÁ, H.; RAFTERY, A.; WADDELL, P. (2006): Assessing Uncertainty in Urban Simulations Using Bayesian Melding.
http://www.urbansim.org/papers/BMinUrbansim_TRB.pdf. 23.10.2006.
- TIMMERMANS, H.J.P. (2006): The sage of integrated land use-transport modelling: How many more dreams to wake up?, in K.W. Axhausen (ed.) Moving through nets: The physical and social dimension of travel, Elsevier, Oxford, S. 219-248.
- TSCHOPP, M.; AXHAUSEN, K.W. (2006): Transport infrastructure and spatial development in Switzerland between 1950 and 2000. In: Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 377, IVT, ETH Zürich, Zürich.
- WADDELL, P., A. BORNING, M. NOTH, N. FREIER, M. BECKE and G. ULFARSSON (2003): Microsimulation of Urban Development and Location Choices: Design and Implementation of UrbanSim. In: Networks and Spatial Economics, Vol. 3, No. 1, S. 43-67.
- WADDELL, P. (2002): UrbanSim: modelling urban development for land use, transportation and environmental planning, In: Journal of the American Planning Association, Vol. 68, No. 3, S. 297-314.
- WADDELL, P., H. Ševčíková, D. Socha, E. Miller, K. Nagel (2005): Opus: An open platform for urban simulation, Vortrag, 9th Computers in Urban Planning and Urban Management Conference (CUPUM), London, Juni 2005.
- WADDELL, P. (1998): An Urban Simulation Model for Integrated Policy Analysis and Planning: Residential Location and Housing Market Components of UrbanSim, Proceedings of the 8th World Conference on Transport Research, Antwerpen, Belgien, Juli 1998.
- WALDNER, U.; LÖCHL, M.; BÜRGLER, M.; K.W. AXHAUSEN (2005): Haushaltsbefragung zur Wohnsituation im Grossraum Zürich – Feldbericht. In: Arbeitsberichte Polyprojekt Zukunft urbane Kulturlandschaften, 1, NSL, ETH Zürich, Zürich.
- WEGENER, M. (2004): Overview of land use transport models. In: Hensher, D.; Button, K.J.; Haynes, K.E.; Stopher, P.R. (eds.) Handbook of transport geography and spatial systems, Elsevier, Oxford, S. 127-146.