

Simulation von Stadtentwicklungsprozessen am Beispiel der Stadt Wien

Daniela MÜLLER, Reinhard KÖNIG

(DI Dr. Daniela MÜLLER, Department für Raumentwicklung, Infrastruktur- und Umweltplanung, Fachbereich Stadt- und Regionalforschung, Operngasse 11, 1040 Wien, mueller@srf.tuwien.ac.at)

(DI Reinhard KÖNIG, Informatik in der Architektur, Bauhaus-Universität Weimar, Belverderer Allee 1, 99425 Weimar, Germany, koenig@entwurforschung.de)

1 KURZFASSUNG

Ziel des vorgestellten Projekts ist es, allgemeingültige Methoden zur Analyse und Simulation der Siedlungsentwicklung zu erarbeiten und diese am Beispiel der Stadt Wien zu überprüfen. Reale Stadtentwicklungsprozesse sollen mit verschiedenen Simulationstechniken so wahrheitsgetreu wie möglich nachgebildet werden. Dadurch wird einerseits die Simulation anhand der tatsächlichen Siedlungsentwicklung validiert, andererseits können mögliche Entwicklungsszenarien der Stadt aufgezeigt werden. Zugrunde liegen digital aufbereitete und statistisch analysierte Daten zur Entwicklung der technischen Infrastruktur, der ÖV-Systeme und der Wohnsiedlungen in Wien zwischen 1888 und 2001, sowie auf der Technik Zellulärer Automaten basierende Simulationsmethoden. Das Prinzip des eingesetzten Simulationsmodells beruht auf der Wechselwirkung eines Potentialfelds und der Entwicklung einzelner Flächen und ist im Allgemeinen unter der Bezeichnung „Reaction-Diffusion“ bzw. „Dialectic Breakdown“ bekannt. Der Zelluläre Automat dient der Repräsentation des untersuchten Raums und unterteilt diesen in einzelne Zellen, von denen jede bestimmte Informationen (Bevölkerung, Infrastruktur, Erschließungsqualität) speichern und diese lokal mit den benachbarten Zellen austauschen kann. Die verwendeten Modellparameter erlauben die Simulation unterschiedlicher Ausbreitungsmuster und -geschwindigkeiten einer Siedlungsstruktur. Daraus lassen sich günstige oder nachteilige Bedingungen für die Stadtentwicklung ableiten und es kann auf methodische, strukturelle, räumliche und zeitliche Regelmäßigkeiten von Stadtentwicklungsprozessen geschlossen werden. Wir gehen davon aus, dass die der Entwicklung einer Stadt zugrundeliegenden Prozesse auf verschieden ausgeprägte, aber immer gleiche verborgene Kräfte zurückgeführt werden können.

2 ZIELSETZUNG

Ziel des Forschungsprojektes „Simulation der Stadtentwicklung in Wien von 1888 bis 2001“ – gefördert vom Hochschuljubiläumfonds der Stadt Wien – ist es, allgemeingültige Methoden zur Analyse und Simulation der Siedlungsentwicklung zu erarbeiten und diese am Beispiel der Stadt Wien zu überprüfen. Vergangene Stadtentwicklungsprozesse sollen mit verschiedenen Simulationstechniken so wahrheitsgetreu wie möglich nachgebildet werden. Durdurch wird einerseits die Simulation anhand der tatsächlichen Siedlungsentwicklung validiert, andererseits können mögliche Entwicklungsszenarien der Stadt aufgezeigt werden. Die Ursachen bzw. zu Grunde liegenden Prozesse, die den Übergang von einem Zustand zum anderen bewirken, sind auf verschieden ausgeprägte aber immer gleiche verborgene Kräfte zurückzuführen – diese gilt es zu identifizieren.

Anhand eines Simulationsmodells, welches die Entwicklung der Bevölkerungsdichte in Wechselwirkung mit der technischen Infrastrukturausstattung und ÖV-Erreichbarkeit beschreibt, soll untersucht werden, inwieweit die Kontrollparameter der Simulation in Zusammenhang zur tatsächlichen Entwicklung Wiens während der vier untersuchten Zeiträume zwischen 1888 und 2001 gebracht werden können. Die Parameter des Simulationsmodells erlauben konkrete Rückschlüsse auf die verborgenen Kräfte der Siedlungsentwicklung, die dadurch identifiziert und im Detail spezifiziert werden. Ferner ermöglicht das validierte Modell, Entwicklungsszenarien aufzuzeigen und zu erläutern. Es werden allgemeingültige Methoden zur Analyse und Simulation der Siedlungsentwicklung erarbeitet, die am Beispiel der Stadt Wien überprüft werden. Darüber hinaus besteht die Anwendungsperspektive in einem Szenariomodell für die Abschätzung der Folgen bestimmter Planungsmaßnahmen.

3 STAND DER FORSCHUNG

Die vorliegende Untersuchung versteht sich als Beitrag zur Suche nach einer allgemeingültigen generativen Erklärung, wie sich bestimmte Stadtstrukturen entwickeln. Das Modell wurde im Abgleich mit bestehenden Ansätzen konzipiert und legt besonderen Augenmerk auf die Kontrollparameter, welche es erlauben die künstlichen Wachstumsprozesse zu manipulieren. Das Prinzip der Sparsamkeit verlangt, ein Modell so zu

gestalten, dass die Anzahl der Kontrollparameter möglichst gering ist. Allerdings ist ein solches Vorgehen oft mit der Schwierigkeit verbunden, die Kontrollparameter eines Erklärungsmodells urbaner Entwicklung am Ende wieder mit den sozialen, ökonomischen, ökologischen und politischen Bedingungen der Wirklichkeit zu verbinden. Betrachten wir beispielsweise die Aggregationsmodelle von Benguigui (1995) oder von Andersson, Lindgren, Rasmussen und White (2002), bei welchen das Wachstum einer Stadt im wesentlichen von einem Zufallsparameter abhängt. Das Prinzip der Sparsamkeit ist hier zwar aufs Vorbildlichste erfüllt, wie dieser hoch aggregierte Parameter allerdings interpretiert werden könnte, bleibt ungewiss. Andersson et al. (2002) deuten diesen Parameter in pragmatischer aber unbefriedigender Weise als Teil eines Systems, von dem bisher noch kein Modell existiert. Batty (2005, S. 157) betrachtet derartige Zufallsgrößen als Entsprechung zu plötzlich auftretenden Innovationen.

Für die Simulation urbaner Wachstumsprozesse existieren vielfältige Modelle (BATTY und XIE, 1994; BENGUIGUI, 1995; SCHWEITZER und STEINBRINK, 2002; WHITE und ENGELN 1993), welche in erster Linie die Art der Flächennutzung und deren Wechselwirkungen betrachten. Modelle zur Simulation der Veränderung von Nutzungsintensitäten sind kaum bekannt.

RIEDL (1999) zeigt die Einbettung eines Zellularen Automaten in ein Raster-GIS und bildet die Stadt als zellularen Automaten ab. Zur Beantwortung der Frage, wo und warum neue Aktivität entsteht, wird eine cognition function eingesetzt. Damit wird die subjektive Wahrnehmung der individuellen Entscheidungsträger abgebildet. Das Ergebnis ist ein Bündel von Variablen – darauf basierend wird die Entscheidung zur Aktivität oder Nichtaktivität (action function) getroffen. Somit kann das Verhalten der Entscheidungsträger modelliert werden. Annahmen der Simulation „Boomtown“ sind „jeder rennt in die Gegend, wo alle hinrennen“ und „Standorte, wo schon sehr viele waren, werden eher gemieden“. Die Simulation „Landuse“ bildet die historische Entwicklung der Landnutzung der amerikanischen Stadt Cincinnati ab. Dabei werden drei Simulationsläufe durchgeführt – mit verschiedenen Annahmen zur Gewichtung der unterschiedlichen Nutzungsarten, inkl. stochastischer Varianten.

Im Projekt STAU-Wien (LOIBL et. al., 2002; LOIBL und TOETZER, 2003) wird ein hybrides Simulationsmodell (Kombination eines räumlichen Agentenmodells mit einem Zellularen Automaten) angewandt, um die Siedlungsentwicklung im Stadtumland Wien über Wanderungsströme und über Betriebsansiedlungen zu erklären. Die Entscheidung wohin gewandert bzw. angesiedelt werden soll erfolgt anhand regionaler Attraktivitätskriterien (Landschaft, Erreichbarkeit, Versorgungsqualität, Immobilienpreise) und lokal vorhandener Möglichkeiten (Nachbarschaftsnutzung, Wohndichte, Baulandverfügbarkeit). Dabei wird die Wanderungsentscheidung durch einen stochastischen Prozess formalisiert – Nachfrager suchen geeignete Gemeinden und überprüfen dabei, ob die Entscheidungskriterien, sich dort anzusiedeln, erfüllt sind.

4 PROBLEMSTELLUNG

Stadtstrukturen und Stadtentwicklung werden unterschiedlich wahrgenommen und bewertet. In der Nachbildung des Wachstums bzw. der Schrumpfung einer Stadt mittels unterschiedlicher Zeit-Zustände historischen Kartenmaterials erhält man lediglich Momentaufnahmen des dynamischen Systems Stadt. In der Veränderung dieser Momentaufnahmen im Verlauf der Zeit und in der Gegenüberstellung der statischen Zeit-Zustände werden unterschiedlich starke Abhängigkeiten von Bevölkerungsdichte, technischer Infrastruktur und ÖV-Erreichbarkeit deutlich.

Die städtischen Ausstattungsfaktoren sind nicht homogen über die Stadtfläche verteilt, vielmehr unterliegen sie unterschiedlichen Ausbreitungsmustern und -geschwindigkeiten im Verlauf der Zeit und folgen unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Regelmäßigkeiten. Die Ursachen bzw. zu Grunde liegenden Prozesse, die den Übergang von einem Zustand zum anderen bewirken, sind auf verschieden ausgeprägte aber immer gleiche verborgene Kräfte zurückzuführen. Unter diesen Kräften sind verschiedene wirtschaftliche, soziale, kulturelle und ökologische Rahmenbedingungen zusammengefasst, deren Gewichtung die Entwicklung einer Stadt im Allgemeinen definieren. Die Stadtentwicklung ist aber nicht nur durch die unterschiedlichen räumlichen Ausprägungen der wirtschaftlichen, rechtlichen oder sozialen Indikatoren geprägt – es stellt sich ferner die Frage, in welchem Ausmaß die Stadtentwicklungsprozesse durch die Veränderung der infrastrukturellen Ausstattung beeinflusst werden.

Wie LICHTENBERGER (1986, S. 154) bereits anmerkt, waren die Stadtstrukturen der europäischen Städte stark geprägt von der Entwicklung der technischen und soziokulturellen Infrastruktursysteme. Deren Ausbau

und Instandhaltung wurde lange Zeit von der öffentlichen Hand gesteuert, nachdem dies ursprünglich dem Aufgabengebiet der Privatwirtschaft zuzurechnen war, wodurch auch das politische Handeln erkennbar wird. Für die technische Stadtentwicklung relevant bezeichnet LICHTENBERGER (1986, S. 154, S. 197) die drei Bereiche - die Technologie des Bauens, die Technologie der installierten Infrastruktur, des so genannten unterirdischen Städtebaus, und die Technologie des Verkehrs. In eine ähnliche Richtung zielen auch die Grundsätze für Stadterweiterungen nach technischen, wirtschaftlichen und polizeilichen Beziehungen des VERBANDES DEUTSCHER ARCHITEKTEN- UND INGENIEUR-VEREINE von 1874. Diesen zufolge sind im Zuge der Stadterweiterungen die Anforderungen und Ausdehnungen der Verkehrswege, Verkehrsmittel und technischen Infrastruktursysteme, wie z.B. die Kanalisation maßgeblich. Dabei wird die Bildung von Stadtteilen entsprechend charakteristischen Merkmalen angestrebt, wie z.B. entsprechend der sanitären Situation, also der Kanalentsorgung. Betreffend die Technologie des Bauens werden detaillierte Angaben zu den Bebauungsstrukturen, also zu den Wohnformen und Baudichten beschrieben. Unter anderem wird gefordert, dass Neubauten, die außerhalb von bestehenden Verkehrswegen errichtet werden, bestimmte Bedingungen hinsichtlich ihrer Zugänglichkeit und Entsorgung erfüllen sollten (VERBAND DEUTSCHER ARCHITEKTEN- UND INGENIEURVEREINE, 1906, S. 5ff).

In vielen Städten Europas, so auch in Wien, waren die Ausbauleistungen der Gründerzeit betreffend den unterirdischen Städtebau beachtlich. Die Liniennetze der technischen Infrastruktur, v.a. die Kanalisation, die Beleuchtungs-, Gas- und Wassernetze waren großflächig ausgebaut. Ebenso wurde die Entwicklung der öffentlichen Verkehrsmittel, allen voran der Straßenbahn, vorangetrieben. Die Stadtstrukturen wurden maßgeblich von den Leitungsnetzen der städtischen Ver- und Entsorgungssysteme bestimmt. In der Gründerzeit dominierten die zentral-peripheren Grundsätze des Städtebaus – das Zentrum war am besten mit den Gelegenheiten der technischen Infrastruktur ausgestattet, mit zunehmender Entfernung vom Zentrum wurde jedoch die Ver- bzw. Entsorgung der Stadtgebiete schlechter. Mit den Neubaugebieten am Stadtrand bzw. an der Peripherie wurden allerdings zuerst die peripher gelegenen Stadtteile im Zuge der Neubautätigkeit mit den entsprechenden Infrastruktursystemen ausgestattet, bevor die Leitungsnetze mit jenen der älteren Stadtgebiete verbunden wurden bzw. die älteren Stadtteile erfassten. Im Verlauf der Zeit war jedoch die technische Infrastruktur im Gegensatz zur Technologie des Bauens und des Verkehrs wenig fortschrittlich. Die gründerzeitlichen Ver- bzw. Entsorgungsnetze wurden erst viele Jahrzehnte später erneuerungsbedürftig, dadurch wurden sie auch technologisch nicht weiterentwickelt (LICHTENBERGER, 1986, S. 155ff). Nach FRIEDMANN (1966) werden vier Stufen der Entwicklung des Zentrum-Peripherie Musters unterschieden: die prä-industrielle Stufe, die beginnende Industrialisierung, die fortschreitende Industrialisierung, die post-industrielle Phase. Die erste Stufe ist geprägt durch geringe Austauschbeziehungen, eine stabile Ordnung und einer Tendenz zur Stagnation. Mit der beginnenden Industrialisierung konzentriert sich das Wirtschaftswachstum auf eine Metropole/Primatstadt. Es entstehen aber auch Stagnationsgebiete – somit ist die räumliche Ordnung instabil. In der dritten Stufe der fortschreitenden Industrialisierung geht die einfache Zentrum-Peripherie Struktur in eine Multikernstruktur über. Es entstehen Subzentren als neue Entwicklungszentren, die Peripherie ist in den Wirtschaftskreislauf integriert, aber die räumliche Ordnung ist immer noch instabil. Die postindustrielle Phase ist gekennzeichnet durch ein funktional interdependentes Stadtsystem mit Hierarchien. Das System ist wieder stabil.

Im Zuge der Stadtentwicklung sind immer wieder Wachstums- und Schrumpfungsprozesse beobachtbar. Gemäß zirkulärer Verursachung kumulativer Prozesse (MYRDAL, 1957) führen positive oder negative Rückkoppelungseffekte zu diesen kumulativen Prozessen. Unter marktwirtschaftlichen Bedingungen, im „freien Spiel der Kräfte“, sind die Variablen eines Systems im zirkulärer Verursachung so miteinander verbunden, daß die Veränderung einer Variable die Veränderung einer anderen Variablen in gleicher Richtung bewirkt. Diese wiederum verstärkt aufgrund der Rückkopplung die Intensität der ersten und bewirkt einen kumulativen Prozeß. Dieser Prozeß kann im freien Spiel der Kräfte durch jede Veränderung in Gang gesetzt werden, die einen genügend großen Anstieg oder Abfall der interdependenten ökonomischen Faktoren bewirkt. Standorte, die über eine Anzahl natürlicher Eigenschaften verfügen, die für die dort konzentrierten wirtschaftlichen Aktivitäten besonders günstig sind, treten häufig als Wirtschaftszentren mit besonderer Anziehungskraft auf und bewirken somit einen positiven Prozeß zirkulär kumulativer Veränderung. Nach SCHÄTZL (2001) bewirken kumulative sozio-ökonomische Prozesse eine räumliche Differenzierung in wachsende und zurückgebliebene Gebiete im direkten Vergleich. In diesem Zusammenhang sind zwei Effekte zu unterscheiden: Entzugseffekte sogenannte „backwash effects“ sind negative Effekte, wie z.B.

Bevölkerungsabwanderung. Im Gegensatz dazu sind Ausbreitungseffekte „spread effects“ positive Effekte des Wachstums. Überwiegen die positiven externen Effekte kommt es nach KRUGMAN (1991) unweigerlich zu Konzentration, z.B. Bevölkerungszuwanderung.

Haushalte gehen bei ihrer Standortsuche rational vor und wählen jenen Standort mit dem maximalen Nutzen. Die individuellen Standortentscheidungen können als die sogenannten Standortfaktoren zusammengefasst werden. Als Standortfaktoren werden die Qualitäten bezeichnet, die einen Standort für die eine oder andere Nutzung mehr oder weniger attraktiv machen (WEBER, 1909, BEHRENS, 1971). Die Versorgung der Stadtgebiete mit Wasser, Kanalisation und Energie beeinflusst die Standortqualitäten – je nach Umfang und Vielfältigkeit wird eine Standortnutzung begünstigt oder beeinträchtigt. Der Anschluss eines betrachteten Standortes an das öffentliche Verkehrsnetz bestimmt die Erreichbarkeit des Standortes und somit die Möglichkeiten des zwischenstandörtlichen Austausches. Deshalb kann die Standortwahl das Ergebnis der Analyse und Bewertung unterschiedlicher Kriterien (wie z.B. Lage, Ausstattung) sein. Standortfaktoren, die ubiquitär verfügbar sind, bewirken keine standörtliche Differenzierung und sind dementsprechend für die Standortwahl irrelevant. Nach MAIER und TÖDTLING (1992) haben Faktoren, die räumlich konzentriert auftreten und weitgehend immobil sind eine hohe und dispers verteilte Standortrelevanz, während mobile Faktoren eine niedrigere Standortrelevanz besitzen. In der Standortwahl aller Akteure werden in der Entwicklung einer Stadt Agglomerations- und Deglomerationsseffekte deutlich. Auf die spezifische Fragestellung des Forschungsprojektes bezogen, versteht WEBER (1909) unter einem Agglomerativfaktor den Vorteil, der sich daraus ergibt, dass eine bestimmte Nutzung in einer bestimmten Dichte an einem Standort vereinigt vorgenommen wird. Der Deglomerativfaktor stellt den exakten Gegensatz zum Agglomerativfaktor dar. Im Zusammenhang mit Agglomerationsseffekten werden drei Arten von Größenvorteilen, sogenannte Skaleneffekte, unterschieden – Economies of scale (interne Ersparnisse), Localization Economies (externe Ersparnisse durch räumliche Konzentration gleichartiger Nutzungen), Urbanization Economies (externe Ersparnisse durch räumliche Konzentration verschiedener Nutzungen). Komplementäre Nutzungen führen zu räumlichen Konzentrationen, indem sich Vorteile für Haushalte bilden, z.B. in Form von Einsparungen – zu diesen Urbanisierungsvorteilen zählt u.a. die Verfügbarkeit technischer Infrastruktur (KRAMAR, 2005).

Auf ein Simulationsmodell übertragen entsprechen die angeführten Bedingungen, welche die Stadtentwicklung prägen, den Kontrollparametern. Durch die Validierung des Modells anhand der historischen Entwicklung der Stadt Wien können aus den Einstellungen der Parameter erste Rückschlüsse auf die treibenden Kräfte und damit auf die abstrakte Konfiguration einer Gesellschaft gezogen werden. Auf der einen Seite wirken zentralisierende Kräfte, welche die Vorteile und Notwendigkeiten einer dichten Besiedlung ausdrückt, die hauptsächlich darin liegen, dass zentrale Nutzungen besser oder überhaupt erreicht werden können. Zur Zeit der Hochindustrialisierung, in welcher der erste Datenmesspunkt 1888 liegt, war die Bevölkerungsdichte im Stadtzentrum besonders hoch, da die Arbeitsplätze, die sich in den Städten konzentriert haben, nur zu Fuß erreicht werden konnten. Auf der anderen Seite wirken die Vorteile der dezentralen Lagen, die in erster Linie in einem großzügigerem Freiraumangebot und der Abwesenheit von störenden Emissionen liegen, konnten sich nur wenige wohlhabende Bürger leisten, die zudem über relativ teure Transportmittel verfügt haben. Durch den steigenden Wohlstand und verbesserte Massentransportmittel, die auch der breiten Masse zugute kamen, hatten immer mehr Stadtbewohner die Möglichkeit Wohnorte am Stadtrand zu wählen. Die Standorte der Stadt werden im Verlauf der Zeit sukzessive besser ausgestattet und die umfangreiche Versorgung der Bevölkerung mit den Gelegenheiten der Infrastruktursysteme führt zu einer systematisch intensiveren Flächennutzung. Punktuelle Verdichtungseffekte münden in flächenhafte Ausbreitungseffekte. Es werden vorerst vereinzelte Standorte besser ausgestattet bzw. versorgt – die einzelnen Versorgungssysteme erfassen im Verlauf der Zeit mit steigender Geschwindigkeit zunehmend mehr Standorte (TANK, 1987, S. 82). Die einerseits ständig steigende Ausstattung einiger städtischer Gebiete bis hin zu einer „Vollausstattung“ und die andererseits auch dadurch bewirkten Diskrepanzen zu vergleichsweise „unterversorgten“ städtischen Gebieten bestimmen das Entwicklungspotenzial der Stadt.

5 HYPOTHESEN

Prozesse, die für den Übergang von einem Zeit-Zustand zum anderen ursächlich sind, lassen sich unter Berücksichtigung verschiedener Bedingungen in einem Computersimulationsmodell aufzeigen. Die verfügbaren Daten zu fünf Zeitpunkten der Wiener Siedlungsentwicklung werden für die Validierung des Modells beziehungsweise dessen Kontrollparameter verwendet. Im Fokus der Untersuchung liegt die

Wechselwirkung von Infrastruktur und Bevölkerungsdichte – dabei steht die Frage im Mittelpunkt, ob der Ausbau der Infrastruktureinrichtungen und die Entwicklung der Bevölkerungsdichte ein zirkulär gekoppeltes System bilden.

Städte sind komplexe Systeme und folgen in ihrer Entwicklung den Prinzipien der Selbstorganisation. Diese Hypothese ist Voraussetzung für ein computerbasiertes Simulationsmodell. Zur Erklärung von Stadtentwicklung wird überprüft, wie und warum es zu unterschiedlichen Phänomenen der Siedlungsentwicklung auf städtischem Maßstab kommt. Dazu wird empirisch und statistisch geprüft Datenmaterial in Simulationen eingesetzt und modelliert.

Aus der zugrundeliegenden Analyse der historischen Entwicklung der Stadt Wien von 1888 –2001 leitet sich die generelle Hypothese her, dass eine Verbesserung der Erreichbarkeit von Stationen des öffentlichen Nahverkehrs und der Nähe zu technischen Infrastruktureinrichtungen zwar einerseits eine Zunahme der Bevölkerungsdichte bewirkt, aber andererseits die Investitionen in die Infrastruktur dort intensiver sind, wo bereits eine relativ dichte Besiedlung vorhanden ist. Dieser Zusammenhang zwei miteinander gekoppelter Teilsysteme kann mit einem auf einem Zellulären Automaten (ZA) basierenden Modells simuliert werden.

Mit dem ZA-Modellkonzept kann des Weiteren die Annahme geprüft werden, dass sich die zunehmende Zersiedlung, die beispielhaft für Wien im untersuchten Zeitraum gezeigt wird und ein in allen europäischen Städten vorzufindendes Phänomen ist, als Verschiebung der Gewichtung zweier entgegengesetzt wirkender Kräfte darstellen lässt (Krugmann, 1996), welche unter Punkt 3 auch als Agglomerations- und Deglomerationseffekt bezeichnet wurden. Durch die Übertragung des Kugmann'schen Modells kann diese Verschiebung der durchschnittlichen Wohnortpräferenz mittels zwei entgegen gesetzter Kräfte simuliert werden. Die eine Kraft hat zentripetale beziehungsweise zentrierende Wirkung und steht für das Bedürfnis der Bevölkerung, nah beieinander zu siedeln, sowie für die sich daraus ergebenden ökonomischen Vorteile (positiver Skalenerträge). Die andere Kraft hat dagegen zentrifugale beziehungsweise dezentralisierende Wirkung, die den Wunsch der Menschen abbildet, so viel freien Raum wie möglich für sich zu besetzen und den Wettbewerb mit anderen zu vermeiden.

Die dargelegten Hypothesen werden anhand des Simulationsmodells überprüft und detailliert oder gegebenenfalls überarbeitet beziehungsweise verworfen. Die methodische Konzeption der Arbeit folgt der Auffassung, dass Simulationen eine Möglichkeit darstellen, das Wechselspiel zwischen Theorie und Empirie zu ergänzen (Abb. 1)

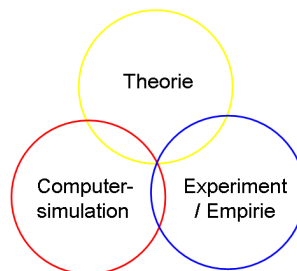


Abb. 1: Mehrwert von Computersimulationen

6 DATENGRUNDLAGEN

Die Analyse der historischen Entwicklung der Stadt Wien von 1888 – 2001, bei der die Indikatoren Bevölkerungsdichte, Erreichbarkeit von Stationen des öffentlichen Nahverkehrs und Nähe zu technischen Infrastruktureinrichtungen bewertet wurden, bildet die Grundlage der Studie. Die Daten der drei Indikatoren wurden erfasst, indem das Stadtgebiet Wien in ein 649 x 519 Zellen umfassendes Rasterfeld mit 50m Katelänge aufgeteilt wurde.

7 VARIABLEN

Dem Simulationmodell liegen folgende Variablen, die aus der vorangegangenen empirischen und statistischen Analysen von MÜLLER (2005) hervorgehen, zugrunde:

- Bevölkerungsdichte, als Maß für die Intensität der Wohnnutzung

Die privaten Haushalte werden als Konsumenten privater und öffentlicher Güter und Dienstleistungen verstanden. Im Sinne von BÖVENTER (1979, S. 17) werden private Haushalte als einerseits als Wohnsitzsuch-

ende und andererseits als Nachfrager von Gelegenheiten der technischen Infrastruktur und des öffentlichen Verkehrs betrachtet. Die Bevölkerungsdichte wird als die Summe der Einwohner je Viertelhektar ermittelt.

- ÖV Erreichbarkeit, als Parameter für die Austausch- und Interaktionsmöglichkeiten

Die Ermittlung der ÖV Erreichbarkeit der städtischen Standorte wird die Anzahl der ÖV-Stationen in einer max. Entfernung von 750m je Rasterzelle gemessen. Die Lage der Stationen wurde durch ein Annäherungsverfahren ermittelt – deshalb wurde die ÖV Erreichbarkeit nicht als distanzabhängige Funktion ermittelt, sondern gemäß der distanzbegrenzten Form. Dabei werden die ÖV-Stationen als die Gelegenheiten des ÖV-Systems innerhalb bestimmter Distanzzonen bzw. Reichweiten summiert (MEISE und VOLWAHSEN, 1980, S. 129). Der Umkreis von 750m zur Bestimmung der standörtlichen Erreichbarkeit wurde aus der durchschnittlichen Gehgeschwindigkeit von 1,25m/s (TRAFICO, 2000, S. 31) und einem 10-Minuten Einzugsgebiet abgeleitet. Die standörtliche Erreichbarkeit einer Rasterzelle ist allerdings umso höher, je mehr ÖV-Stationen in einer Entfernung von 750m erreicht werden können.

- Versorgung mit technischer Infrastruktur, als ein Maß für die standörtliche Ausstattung der Wohngebiete und für die Investitionstätigkeiten der Stadtverwaltung und somit für die bereitgestellte Standortqualität

Als technische Infrastruktursysteme werden das Wasserleitungs-, Kanal-, Gas-, Strom- und Fernwärmenetz untersucht. Die Versorgung mit technischer Infrastruktur ist definiert als die Dichte der infrastrukturellen Gelegenheiten in einem Umkreis von max. 1.000m pro Rasterzelle. Jedes Teilstück der Infrastrukturnetze, das eine städtische Rasterzelle schneidet, ist eine potenzielle infrastrukturelle Gelegenheit für die betrachtete Rasterzelle und für die umliegenden Rasterzellen in 1.000m Entfernung. Somit gilt für jeden Standort der Stadt Wien – je mehr Anschlüsse an das jeweilige Leitungssystem in einem Umkreis von 1.000m vorhanden sind, desto eher ist dieser Standort an das jeweilige Infrastruktursystem angeschlossen. Bei Erreichung des Maximalwertes wird die betrachtete Rasterzelle als vollständig versorgt betrachtet. Je geringer die Versorgungsdichte mit infrastrukturellen Gelegenheiten ist, desto größer ist das zukünftige Ausbaupotenzial zur Erreichung der vollständigen Versorgung. Die jeweiligen Versorgungsgebiete werden aus der Arbeit von MÜLLER (2005) übernommen.

8 SIMULATION

Bei dem Aufbau des Simulationsmodells repräsentiert das Zellenraster eines Zellulären Automaten (ZA) die räumliche Struktur der Stadt. Das Raster dieser Modelllandschaft entspricht in seiner Aufteilung derselben Konfiguration, die bei der Datenerhebung verwendet wurde. Wie Abb. 2 zeigt, beruht das Prinzip des gewählten Modells der Siedlungsausbreitung auf der Wechselwirkung eines sogenannten Potentialfelds und der Entwicklung (Besiedlung) einzelner Flächen (Batty, 2005, pp. 105-150). Ein Potentialfeld dient im Folgenden der Berechnung der Bevölkerungsdichte an einem Ort (einer Rasterzelle) unter Berücksichtigung der Bevölkerungsdichten in den Nachbargebieten (Nachbarzellen). Prinzipiell kann anhand des Potentialfelds definiert werden, welche Bereiche des Potentialgradienten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit im nächsten Schritt besiedelt werden sollen.

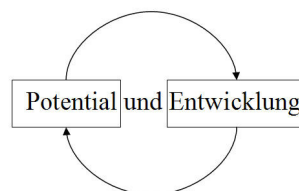


Abb. 2: Wechselwirkung von Potential und Entwicklung.

Für unsere Untersuchung werden drei Potentialfelder eingeführt. Das erste nimmt die Bevölkerungsdichte auf, das zweite gibt die Versorgung mit infrastruktureller Ausstattung an und das dritte bildet die ÖV-Erreichbarkeit ab. Das Potential einer Fläche wird anfangs aus den aufbereiteten Daten zur Bevölkerungsdichte, der technischen Infrastruktur und der ÖV-Erreichbarkeit abgeleitet.

Die Zellen der Modelllandschaft können entweder frei oder mit einer bestimmten Dichte besiedelt sein. Bei jedem Zeitschritt, der beispielsweise auf einen Monat festgelegt wird, entscheiden je nach Wachstumsrate eine bestimmte Anzahl von Siedlungs-Akteuren aufgrund ihrer derzeitigen Wohnortpräferenz, welche Flä-

chen sie unter Berücksichtigung der Potentialwerte besiedeln. Die Entscheidungen der Siedlungs-Akteure werden im Folgenden durch eine Wahrscheinlichkeitsfunktion abgebildet. Die zuletzt erfolgten Siedlungsaktivitäten einbeziehend werden anschließend die Potentialwerte aller Flächen neu berechnet. Dabei werden verschiedene Wechselwirkungen berücksichtigt. Beispielsweise steigt bei hohen Werten des Bevölkerungspotentialfeldes der Druck für einen weiteren Ausbau des öffentlichen Verkehrssystems, da sich durch eine Konzentration der Bevölkerung Infrastrukturinvestitionen rechtfertigen lassen. Sofern das Infrastrukturpotentialfeld auf einen geringen Ausbaustand hinweist, kann dies bei vorhandenen Ressourcen die Erweiterung der technischen Infrastruktur zur Folge haben.

8.1 Gewichtungen

Dem Simulationsmodell liegen Gewichtungen der unterschiedlichen Indikatoren zugrunde. Basierend auf den statistischen Analysen von MÜLLER (2005) wurde die Gewichtung der ÖV-Erreichbarkeit bzw. des Faktors technische Infrastruktur aus den Ergebnissen einzelner Regressionsanalysen entnommen. In diesen Regressionsanalysen wurde bei einem betrachteten Zeitpunkt die Bevölkerungsdichte zu einem bestimmten Anteil durch die ÖV-Erreichbarkeit und die Technische Infrastruktur erklärt. Die standardisierten Regressionskoeffizienten bilden die Gewichte der jeweiligen Zeitpunkte (Tabelle 3).

Durch eine Faktorenanalyse konnte nachgewiesen werden, dass Wasser, Kanalisation, Gas und Strom in einem einzigen Faktor – technische Infrastruktur – erklärt werden können. Die speziellen Indikatoren der technischen Infrastruktur (Wasser, Kanalisation, Strom und Gas) aus den Faktorladungen der Faktorenanalysen stehen für die jeweiligen Zeitpunkte als Gewichte zur Verfügung (Tabelle 4).

	ÖV-Err.	Techn. Infra.
1888	50%	50%
1918	51%	49%
1945	26%	74%
1971	48%	52%
2001	58%	42%

Tabelle 3: Gewichtungen der technischen Infrastruktur (Techn. Infra.) und der ÖV-Erreichbarkeit (ÖV-Err.)

	Gas	Wasser	Kanal	Strom
1888	24%	37%	39%	0%
1918	25%	24%	27%	24%
1945	26%	23%	26%	24%
1971	25%	25%	25%	25%
2001	25%	25%	25%	25%

Tabelle 4: Gewichtungen der technischen Infrastruktur Indikatoren

8.2 Formales Modell

Für die formale Darstellung des Modells vereinbaren wir folgende Konventionen. Eine Zelle des ZA wird mit $H = \{1, 2, \dots, H_N\}$ bezeichnet. Der Wertebereich der Variable Bevölkerungsdichte pro Zelle D^H wird normalisiert, d.h. auf den Bereich zwischen 0 und 1 skaliert $D^H = [0, 1]$. Ebenso werden die Wertebereiche der Versorgungs-Variablen pro Zelle normalisiert und folgendermaßen angegeben: Fernwärme $F^H = [0, 1]$, Gas $G^H = [0, 1]$, Kanal $K^H = [0, 1]$, Wasser $W^H = [0, 1]$, Strom $S^H = [0, 1]$, Stationen öffentlicher Verkehrsmittel $O^H = [0, 1]$. Aus einer Zusammenfassung der Versorgungs-Variablen ergeben sich die Werte des Versorgungs-Potentialfelds $V^H = [0, 1]$:

$$V^H(t+1) = \omega_T \cdot (\omega_F \cdot F^H(t) + \omega_G \cdot G^H(t) + \omega_K \cdot K^H(t) + \omega_W \cdot W^H(t) + \omega_S \cdot S^H(t)) + \omega_O \cdot O^H(t). \quad (1)$$

Der Faktor ω gibt an, mit welcher Gewichtung eine Versorgungs-Variable in den entsprechenden Wert des Versorgungs-Potentialfelds V^H eingeht. Die Werte einer Versorgungs-Variablen einer Zelle H zum Zeitpunkt t werden durch lineare Interpolation der erhobenen Daten der angegebenen Zeitpunkte ermittelt. Die Variable für das Bevölkerungs-Potentialfeld wird mit $P^H = [0, 1]$ bezeichnet. Die Potentialwerte werden mit folgender Gleichung berechnet:

$$P^H(t+1) = \frac{1}{5} \cdot \left(\left(\sum_{B \subset U(H)} P^B(t) \right) + D^H(t) \right). \quad (2)$$

Der Index B bezeichnet eine Zelle der Teilmenge $U(H)$, welche aus den vier direkt angrenzenden Zellen einer betrachteten Zelle H ohne die betrachtete Zelle H selbst besteht. Das Potentialfeld wird nach jedem Zeitschritt neu berechnet. Die Raten für positives R_p und negatives R_n Bevölkerungswachstum ergeben sich aus den Summern der Differenzen der Bevölkerungsdichten der einzelnen Zellen zwischen zwei Zeitpunkten der Datenerhebungen:

$$r^H = M^H(T+1) - M^H(T). \quad (3)$$

Die gemessenen Zeitpunkte werden mit $T = \{1888, 1918, 1945, 1971, 2001\}$ angegeben. Die Zeitschritte zwischen diese Zeitpunkten werden mit t bezeichnet. In in unserem Fall umfasst ein Zeitschritt t einen Monat. Im Unterschied zur normalisierten Bevölkerungsdichte D wird die absolute Bevölkerung einer Zelle mit M^H angegeben. Die absolute Veränderung der Bevölkerungsdichte einer Zelle H zwischen den gemessenen Zeitpunkten T wird mit r^H bezeichnet. Die Wachstumsraten R bei einem Zeitschritt t hängen von der Skalierung der Modellzeit ab, die durch den Parameter c definiert wird.

$$R_n(t) = \left(\sum_H r^H \mid r^H, r^H < 0 \right) / c \cdot ((T+1) - T). \quad (4)$$

$$R_p(t) = \left(\sum_H r^H \mid r^H, r^H > 0 \right) / c \cdot ((T+1) - T). \quad (5)$$

Es werden die Differenzen der Bevölkerungsdichten r^H zur negativen Wachstumsrate addiert, wenn für r^H gilt, dass $r^H < 0$. Wenn $r^H > 0$, wird r^H zu den positiven Wachstumsraten hinzugezählt. Skalieren wir die Modellzeit auf Monate ergibt sich für den Nenner in Gleichung (4) und (5) für die erste Simulationsperiode der Wert $12 \cdot (1918-1888) = 360$.

Bei welchen Zellen die Bevölkerungsdichte nun ab- oder zunimmt wird durch Bewertungskurven für Weg- und Zuzüge einzelner Bewohner definiert. Diese Kurven geben mittels der Dichte- und Versorgungswerte der Zellen an, welche Gebiete von den momentanen Bewohnern am unattraktivsten bewertet werden und ein Bevölkerungsrückgang daher wahrscheinlich ist oder welche Gebiete von Wohnungssuchenden als besonders attraktiv bewertet werden und daher eine Bevölkerungszunahme wahrscheinlich ist. Die Wahrscheinlichkeit ρ für Weg- oder Zuzug eines Bewohners aus einer Zelle ergibt aus den Bewertungsfunktionen für Bevölkerungsdichte ρ_D und Versorgungs-Potential ρ_V einer Zelle:

$$\rho^H(t) = (\rho_D^H(t) + \rho_V^H(t)) / 2. \quad (6)$$

Die Bewertungsfunktion für die Bevölkerungsdichte ergibt sich als Trade-Off zwischen zentripetaler F_{petal} und zentrifugaler F_{fugal} Kraft (Krugmann, 1996):

$$\rho_D^H(t) = F_{petal}^H(t) - F_{fugal}^H(t). \quad (7)$$

Die beiden Kräfte berechnen sich folgendermaßen:

$$\left. \begin{aligned} F_{petal}^H(t) &= A \cdot \left(1 - \exp(\alpha \cdot P^H(t))\right) \\ F_{fugal}^H(t) &= B \cdot \left(1 - \exp(\beta \cdot P^H(t))\right) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Die Faktoren A und B sind Skalierungsparameter, welche die Stärke der zentripetalen bzw. der zentrifugalen Kraft definieren. Die Faktoren α und β gewichten den Einfluss des Bevölkerung-Potentials einer Zelle. Die Bewertungsfunktion für das Versorgungs-Potential verläuft linear mit dem Anstieg des Versorgungs-Potentials einer Zelle:

$$\rho_V^H(t) = V^H(t). \quad (9)$$

Basierend auf der Wahrscheinlichkeit ρ , die für jede Zelle berechnet wird, können im Modell die Entscheidungen, wo Bewohner weg- und zuziehen nun anhand des Roulette-Wheel-Verfahrens (Goldberg, 1989) getroffen werden. Um einen Wert ρ aus den H_N Werten $\rho^1, \rho^2, \rho^3 \dots \rho^{H_N}$ auszuwählen, wird die Größe des jeweiligen Wahrscheinlichkeitswerts durch seine Gewichtung (die Größe des Zahlenfachs) angegeben. Diese wird bei der Roulette-Wheel-Auswahl als Auswahlwahrscheinlichkeit w^H bezeichnet und kann berechnet werden, indem jeder Wert durch die Summe aller Werte geteilt wird:

$$w^H = \rho^H / (\rho^1 + \rho^2 + \rho^3 + \dots + \rho^{H_N}) \quad \text{oder} \quad w^H = \rho^H / \sum_H \rho^H \quad (10)$$

Um nun einen Wert H auszuwählen wird folgender Algorithmus durchlaufen:

- a) erzeuge einen zufälligen Wert q zwischen 0 und 1
- b) setze $sum = 0$
- c) for $H = 1$ to H_N do
 - begin
 - $sum = sum + w^H$
 - if ($sum \geq q$) Then return H
 - end.

Der zufällig gewählte Wert q entspricht der Position der Roulettekugel und Schritt c) prüft, in welchem Fach H sie zu liegen gekommen ist.

8.3 Computerprogramm

Das oben dargestellte Modell ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vollständig in das Simulationsprogramm integriert. Einige Grundfunktionen sind in Abb. 3 dargestellt. Der große Bereich der grafischen Ausgabe erlaubt die visuelle Darstellung der verschiedenen Variablen einer Zelle, also der Bevölkerungs- und der Versorgungsdichte. Die Parametereinstellungen auf der rechten Seite erlauben die Definition des Verlaufs der Bewertungskurven für Zu- und Wegzüge (6). Die Berechnung der Raten R_n und R_p für das Bevölkerungswachstum (4) und (5) sind in Abb. 4 dargestellt.

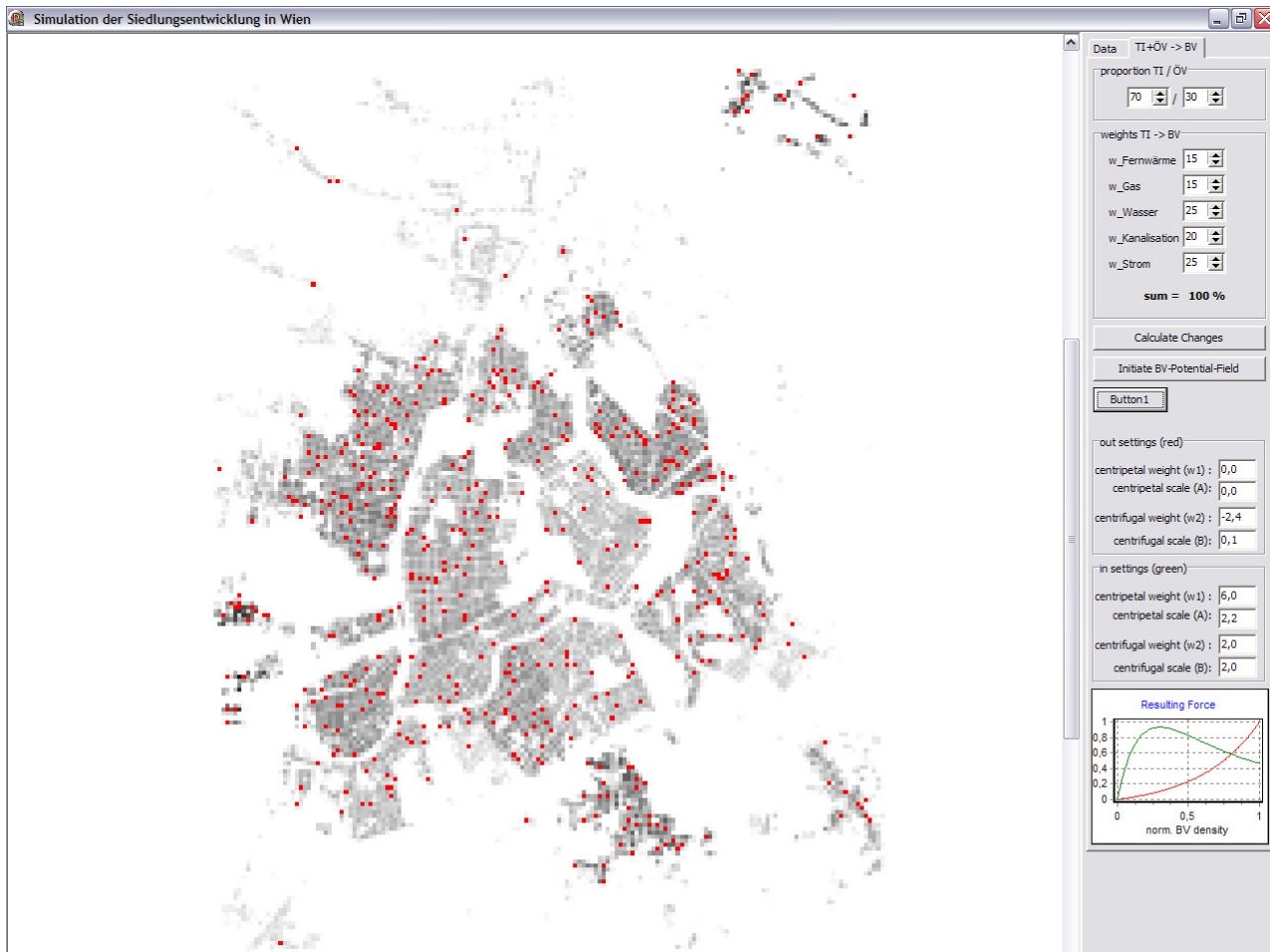


Abb. 3: Bildschirmfoto des Simulationsprogramms. Karte der Bevölkerungsdichte 1888. Je dunkler die Zellen, desto höher die Bevölkerungsdichte. Die rot markierten Zellen stellen 500 Orte dar, von denen bisherige Bewohner wegziehen. In dem Diagramm rechts unten sind die Bewertungskurven für Weg- (rot) und Zuzüge (grün) dargestellt.

Changes				
	1888-1918	1918-1945	1945-1971	1971-2001
delta BV	648957	-288376	-74636	-69578
total rate/t	1803	-890	-239	-193
+ BV	1095628	725661	584335	322985
+ rate/t	3043	2240	1873	897
- BV	-468726	-1014279	-658781	-392638
- rate/t	-1302	-3131	-2111	-1091
steps	360	324	312	360

Abb. 4: Bildschirmfoto der Veränderungsdaten. Die erste Zeile (deltaBV) gibt das absolute Bevölkerungswachstum in den Zeiträumen der jeweiligen Spalte an. Die zweite Zeile (total rate/t) beinhaltet die absolute monatliche Wachstumsrate pro Zeitschritt t . Die dritte Zeile (+BV) zeigt die absolute Anzahl an Zuzügen in einer Zeitperiode. In der vierten (+rate/t) Zeile sind die Zuzüge pro Zeitschritt $Rp(t)$ angegeben. Die fünfte Zeile (-BV) zeigt die absolute Anzahl an Wegzügen in einer Zeitperiode. In der sechsten Zeile (-rate/t) sind die Wegzüge pro Zeitschritt $Rn(t)$ angegeben. In der siebten Zeile (steps) ist die Anzahl der Zeitschritte t (Monate) der jeweiligen Zeitperiode angegeben.

9 VALIDIERUNG

Die Übereinstimmung von Simulation und Modell ist aufgrund der Abstraktion beispielsweise von topographischen, sozialen und ökonomischen Bedingungen nicht im Detail möglich. Gemessen wird daher die Übereinstimmung der Siedlungsentwicklung in relativ groben radialen Gebieten, die aufgrund der Entfernung zum Stadtzentrum (Massenschwerpunkt) definiert werden. Die Position einer Zelle H kann in einem Koordinatensystem als Vektor v_H angegeben werden. Der Massenschwerpunkt Z kann berechnet werden, indem die Summe der gewichteten Vektoren gebildet und diese durch die Gesamtzahl besiedelter Zellen ge-

teilt wird (SCHWEITZER und STEINBRINK, 2002). Das Gewicht eines Vektors entspricht der Bevölkerungsdichte einer betrachteten Zelle:

$$Z = \frac{1}{N} \cdot \sum_H v^H \cdot D^H \quad (11)$$

Ausgehend vom Massenschwerpunkt Z können wir die Bevölkerungsdichte in konzentrischen Kreisen um Z messen und in Abhängigkeit vom Radius der Kreise in ein Koordinatensystem eintragen. In Abb. 5 ist eine solche Analyse anhand einer beispielhaften Siedlungsstruktur dargestellt. Logarithmisiert man die Achsen des Diagramms, gibt die Steigung der Regressionsgeraden die radiale Fraktaldimension der Siedlungsstruktur an. Als valide kann die Simulation betrachtet werden, wenn eine befriedigende Übereinstimmung zwischen der radialen Fraktaldimension der generierten und der realen Bevölkerungsverteilung der Stadt Wien bei den erhobenen Zeitpunkten erreicht wird.

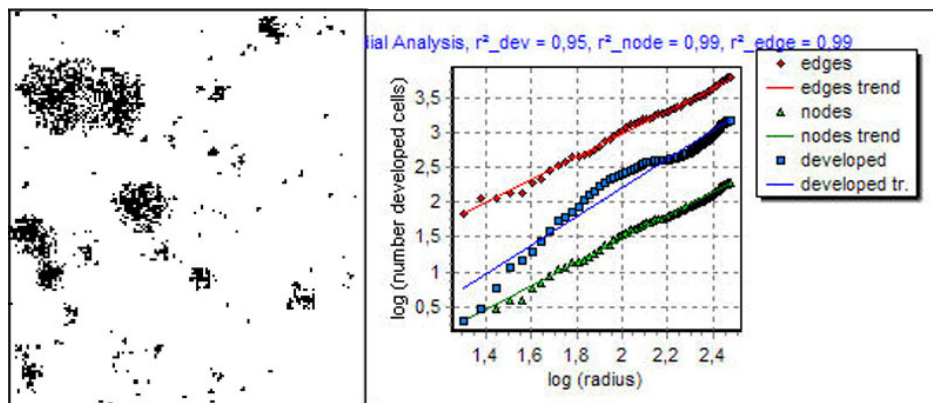


Abb. 5: Darstellung der Massenverteilung um Z an einer beispielhaften Siedlungsstruktur. Links: Grafische Darstellung der beispielhaften Siedlungsstruktur, bei der alle Zellen die gleiche Bevölkerungsdichte haben. Rechts: Der blaue Graph (developed) gibt die Anzahl besiedelter Zellen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Massenschwerpunkt Z an.

10 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Wir gehen davon aus, dass sich mit dem vorgestellten Modell eine hohe Validität bei der Bevölkerungssimulation des Stadt Wien von 1888 bis 2001 erreichen lässt. Weitere Schritte bei der Ausarbeitung des Modells werden erstens darin bestehen, den Ausbau technischer Infrastruktur und der Stationen öffentlicher Verkehrsmittel auf Basis der Entwicklung der Bevölkerungsdichte zu erklären und zweitens das Modell so anzupassen, dass die Entwicklung der Bevölkerungsdichte aus der Versorgung mit technischer Infrastruktur und Stationen öffentlicher Verkehrsmittel zirkulär miteinander gekoppelt werden. Durch eine solche Kopplung ließe sich die Siedlungsentwicklung Wiens allein durch die Kontrollparameter der Bewertungskurven erklären. Nach der Validierung eines solchen zirkulär gekoppelten Modells anhand der Daten der fünf verfügbaren Zeitpunkte, könnte untersucht werden, inwieweit die Kontrollparameter der Simulation in Zusammenhang mit der ökonomischen und technologischen Entwicklung Wiens während der untersuchten Zeiträume gebracht werden können. Ferner könnten durch die Einbeziehung einfacher topographischer Gegebenheiten die Simulationsergebnisse weiter verbessert werden.

Erste Ergebnisse der Simulation werden wir zur CORP vorstellen.

11 ANMERKUNG

Das Projekt wurde gefördert von der Hochschuljubiläumsstiftung der Stadt Wien (MÜLLER und KÖNIG 2008).

12 LITERATUR

- ANDERSSON, C., LINDGREN, K., RASMUSSEN, S., und WHITE, R.: Urban growth simulation from 'first principles'. *Physical Review E* 66 (2). 1-9, 2002
- BATTY, M.: *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. London: MIT Press, London, 2005
- BATTY, M. und XIE, Y.: From cells to cities!. *Environment and Planning B: Planning and Design* 21 (7). 31-48, 1994
- BEHRENS, K.C.: *Allgemeine Standortbestimmungslehre*, Opladen, 1971
- BENGUIGUI, L.: A new aggregation model. Application to town growth. *Physica A* 219. 13-26, Haifa, 1995
- BÖVENTER, E.: *Standortentscheidung und Raumstruktur*, Hannover, 1979
- FRIEDMANN, J.: *Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela*, Cambridge, 1966
- GOLDBERG, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning* 1 edn. Boston: Addison-Wesley, 1989
- KRAMAR, H.: *Innovation durch Agglomeration, Zu den Standortfaktoren der Wissensproduktion*, Wien, 2005
- KRUGMAN, P.: Increasing Returns and Economic Geography, In: *Journal of Political Economy* 99, Chicago, 1991
- KRUGMANN, P.: *The Self-Organizing Economy*. Cambridge, Mass.: Blackwell, 1996
- LICHTENBERGER, E.: *Stadtgeographie. Band 1. Begriffe, Konzepte, Modelle, Prozesse*, Wien, 1986
- LOIBL, W., GIFFINGER, R., SEDLACEK, S. und BUCHINGER, E.: „STAU-Wien“ *Stadt-Umlandbeziehungen in der Region Wien: Siedlungsentwicklung, Interaktionen und Stoffflüsse*, Wien, 2002
- LOIBL, W. und TOETZER, T.: Modeling growth and densification processes in suburban regions: simulation of landscape transition with spatial agents'. *Environmental Modelling & Software* 18. 553-63, Wien, 2003
- MAIER, G. und Tödtling, F.: *Regional- und Stadtökonomie: Standorttheorie und Raumstruktur*, Wien, 2002
- MEISE, J., VOLWAHSEN, A.: *Stadt- und Regionalplanung, Ein Methodenhandbuch*, Braunschweig-Wiesbaden, 1980
- MÜLLER, D. und KÖNIG, R.: *Simulation der Siedlungsentwicklung in Wien von 1888 bis 2001*, Hochschuljubiläumsstiftung, Wien, 2008
- MÜLLER, D.: *Wien 1888 – 2001: Zusammenhänge der Entwicklung der technischen Infrastruktur- und ÖV-Systeme in den Siedlungsgebieten*, Wien, 2005
- MYRDAL, G.: *Economic Theory and Underdeveloped Regions*, London, 1957
- RIEDL, Leopold: Possible Cities, Simulation von Siedlungsentwicklung mit zellularen Automaten, In: SCHRENK, M. (Hrsg.): *Beiträge zum Symposium CORP 1999*, Wien, 1999
- SCHÄTZL, L.: *Wirtschaftsgeographie 1: Theorie*, Paderborn/München/Wien/Zürich, 2001
- SCHWEITZER, F. und STEINBRINK J.: Analysis and Computer Simulation of Urban Cluster Distribution. In Humpert K, Brenner K, and Becker S (Eds.) *Fundamental Principles of Urban Growth*; Wuppertal, Müller + Busmann. 142-57, 2002
- TANK, H.: *Stadtentwicklung – Raumnutzung – Stadterneuerung*, Göttingen, 1987
- TRAFICO VERKEHRSPLANUNG: *Fußgängerfreundlicher Neubau*, Wien, 2000
- VERBAND DEUTSCHER ARCHITEKTEN- UND INGENIEUR-VEREINE: *Denkschrift über Grundsätze des Städtebaues.*, In: Baumeister, R.: *Beiträge zum Städtebau*, 1906
- WEBER, A.: *Über den Standort der Industrie*, Tübingen, 1909
- WHITE, R. und ENGELN, G.: Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A* 25 (8). 1175-99 1993