

Theoretisches

Verstehen urbaner Dynamik

Das Tätigkeitsfeld der Raumplanung umfasst die Organisation räumlicher Strukturen und deren Wechselwirkungen mit gesellschaftlichen Prozessen. Planung bedeutet stets die konzeptionelle Vorwegnahme noch nicht existierender Zustände. Dabei konzentriert sich die gegenwärtige Praxis der Planung lediglich auf den Vergleich von Soll und Ist. Wesentlich für eine nachhaltige Stadtentwicklung wäre aber eine Auseinandersetzung mit den Prozessen, die zu den jeweiligen Zuständen geführt haben bzw. führen sollen. Sowohl eine eingehende Analyse der für die städtische Entwicklung relevanten Zusammenhänge als auch ein bewusster Umgang mit der Dynamik und den zeitlichen Eigenschaften von Prozessen sind der räumlichen Planung fremd geblieben. Dementsprechend sind Pläne immer noch statische Repräsentationen, während solche in der Form dynamischer Karten nicht bekannt sind.

Verstehen und Prognostizieren

Erklärungen und Voraussagen sind nicht als gleichwertig zu betrachten. Die Bestandteile und Eigenschaften eines Modells, mit dem sich eine Prognose erstellen lässt, sind im Allgemeinen auch erklärbar, aber nicht umgekehrt. Bei einer Erklärung ist die Schlussfolgerung bereits vorher bekannt und nach geeigneten Voraussetzungen wird gesucht. Bei der Voraussage sind dagegen die Voraussetzungen bekannt, gesucht wird nach einer (nach Möglichkeit empirisch prüfbarer) Schlussfolgerung. Bei der Suche nach Erklärungen müssen also ganz andere Strategien angewandt werden als bei Voraussagen. Die Modelle dieser Ausstellung versuchen durchweg das Zustandekommen bekannter Phänomene zu erklären.

Modelle der Naturwissenschaften

Viele der hier ausgestellten Prozesse haben ihren Ursprung in den Naturwissenschaften und wurden für die Erklärung räumlicher Vorgänge adaptiert. Beispielsweise beruht die Simulation Wachstum im Diffusionsfeld auf einem Modell aus der Physik, genannt *dialectic breakdown*. Die Simulation Anlagerungsmodell findet ihre Entsprechung in dem physikalischen Prinzip der so genannten *diffusion limited aggregation*.

Erklärungsmodelle aus der Biologie, etwa zu dem komplexen System einer Ameisenkolonie, welches sich in seinem Verhalten wesentlich von dem einer einzelnen Ameise unterscheidet, bilden das Fundament für Erklärungen des komplexen Gebildes einer

Stadt. Sowohl bei Ameisenkolonien als auch bei Städten lassen sich Emergenzphänomene beobachten, welche weiter unten besprochen werden.

Als konkrete Beispiele für eine Übertragung biologischer Prinzipien haben wir die Simulation des Verhaltens eines Schleimpilzes in einem Modell und die Entstehung und Erhaltung eines Wegesystems in einem weiteren gegenübergestellt. Auf dem vorliegenden Abstraktionsniveau haben beide Prinzipien eine verblüffende Ähnlichkeit miteinander.

Multi Agenten Systeme

Alle Elemente eines Modells, welche in dem grafischen Ausgabefenster zu sehen sind, können als Agenten bezeichnet werden. Ein Agent hat verschiedene Eigenschaften, beispielsweise seine Farbe und räumliche Position. Außerdem kann ein Agent mit seiner Umwelt, welche aus anderen Agenten besteht, Informationen austauschen und daraufhin sein Verhalten ändern. Sowohl die Eigenschaften als auch das Verhalten werden in Zahlenwerten gespeichert und unter bestimmten Bedingungen abgerufen oder ausgeführt.

Aus pragmatischen Gründen werden zwei Arten von Agenten unterschieden. Die Mitglieder der ersten Gruppe können sich frei über die gegebene Fläche bewegen und sind in den Simulationsprogrammen als Kreise dargestellt, während jene der zweiten Gruppe fest an einen Ort gebunden und in den Modellen in einem regelmäßigen Kästchenraster angeordnet sind. Die Agenten der zweiten Gruppe werden als Zellen bezeichnet und bilden zusammen einen Zellulären Automaten, der im nächsten Abschnitt erläutert wird.

Der Informationsfluss findet in der Regel so statt, dass die mobilen Agenten bei der jeweiligen Zelle, über der sie sich gerade befinden, Informationen ablegen und abrufen. Die mobilen Agenten kommunizieren auf diese Weise indirekt über das Zellenraster miteinander.

Zellulärer Automat

Ein Zellulärer Automat besteht aus einer Anordnung einzelner Zellen, von denen jede einen definierten Zustand annehmen kann. In den hier vorgestellten Modellen werden ausschließlich regelmäßige Raster mit quadratischen Zellen verwandt. Die Struktur entspricht der eines Schachbretts. Wichtig für die Funktionsweise eines Zellulären Automaten ist die Definition der Zellen, welche als Nachbarn

gelen. Man unterscheidet hier hauptsächlich zwischen der von Neumann Nachbarschaft, welche aus den vier orthogonal angrenzenden Zellen im Westen, Norden, Osten und Süden besteht (Abb. 01, a) und der Moore Nachbarschaft, bei welcher zusätzlich die vier diagonalen Zellen einbezogen werden, so dass sie aus den acht umliegenden Zellen besteht (Abb. 01, b).

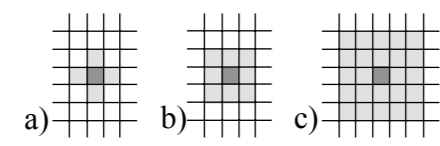


Abb. 01: Die verschiedenen Nachbarschaften eines Zellulären Automaten.

Der Zustand einer Zelle wird mit jedem Zeitschritt neu berechnet und hängt von den Zuständen der Nachbarzellen ab. Bei einem Automaten, bei dem die Zellen entweder den Zustand 0 oder 1 haben können, könnte beispielsweise eine Regel lauten, dass eine Zelle vom Zustand 0 zu 1 wechselt (Transformationsregel), wenn in ihrer Nachbarschaft mindestens eine Zelle bereits den Zustand 1 besitzt.

Emergenz

Was man unter Emergenz versteht lässt sich mit dem Satz „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ zusammenfassen. Das Zitat wird häufig anderen Autoren zugeschrieben, stammt aber ursprünglich aus Aristoteles' *Metaphysik*.

Im Kontext der ausgestellten Simulationsmodelle bezeichnet Emergenz das Zustandekommen der Strukturen auf der Makroebene, welche wir hier als das grafische Ausgabefenster der Programme verstehen können. Auf dieser Ebene bilden sich mehr oder weniger geordnete Strukturen, die aber nicht absichtlich durch eine zentrale Instanz gestaltet wurden, sondern ausschließlich durch das Verhalten der einzelnen Elemente (Agenten und Zellen) zustandekommen. Das individuelle Verhalten wird durch Regeln den Elementen vorgegeben, welche aufgrund der Gegebenheiten in ihrer unmittelbaren, lokalen Umgebung Entscheidungen treffen. Die Individuen agieren demnach auf einer Mikroebene ohne die globalen Verhältnisse der Makroebenen als Ganzes zu kennen.

Es gilt für alle Modelle das Prinzip, dass die Strukturen der Makroebenen durch lokales Verhalten auf der Mikroebene entstehen, also nicht etwa eine „unsichtbare Hand“ für Ordnung sorgt. Die Elemente organisieren sich selbst. Die Parameter, die sich für jedes Modell einstellen lassen, wirken sich immer nur auf die Eigenschaften und das Verhalten der einzelnen Elemente der Mikroebene aus.

Referenzen

Für die einzelnen Modelle möchten wir auf folgende Quellen verweisen:

- Skalenerträge.** Die dynamische Simulation wurde von uns erdacht, das ökonomische Grundmodell stammt aus FRANCK, Georg (1992): *Raumökonomie, Stadtentwicklung und Umweltpolitik*, Stuttgart: Kohlhammer.
- Segregation.** Das ursprüngliche Konzept wurde jeweils unabhängig voneinander publiziert, einmal von James M. Sakoda in dem Artikel *The Checkerboard Model of Social Interaction* (1971) und in einer wesentlich bekannteren Fassung von SCHELLING, Thomas (1969) *Models of segregation. American Economic Review* 59, pp. 488-493. Eine aktuelle Umsetzung der Idee findet sich bei BATTY, Michael (2005): *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge: MIT Press, pp. 51-57.
- Schleimpilz.** Das Modell wurde übertragen von einer NetLogo Simulation, welche wiederum beruht auf RESNICK, Mitchel (1994): *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*, Cambridge, Ma: MIT Press.
- Wegesystem.** Das Modell wurde von unabhängig von uns entwickelt. Die Idee ist allerdings bereits veröffentlicht von SCHWEITZER, Frank (2003): *Brownian Agents and Active Particles. Collective Dynamics in the Natural and Social Sciences*. Berlin, Springer Verlag.
- Anlagerungsmodell.** Das Prinzip ist in der Physik bereits länger bekannt unter der Bezeichnung *diffusion limited aggregation*. Wir haben das Konzept aus BATTY, Michael (2005): *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge: MIT Press, p. 50.
- Wachstum im Diffusionsfeld.** Das Prinzip ist in der Physik bereits länger bekannt unter der Bezeichnung *dialectic breakdown*. Wir haben das Konzept aus BATTY, Michael (2005): *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge: MIT Press, pp. 122-131.

Die ausgestellten Simulationsmodelle und zahlreiche Andere sind im Internet verfügbar unter:

<http://www.entwurforschung.de/Strukturfor/delphi/delphi.htm>

Die Stadt im Reagenzglas

Einleitung

Bisher gibt es für die Raum- und Stadtplanung nur eine Möglichkeit, die Tauglichkeit einer Planung und der zugrunde liegenden Theorie zu überprüfen: ein entsprechendes Projekt wird gebaut und die Auswirkungen werden in einer Art Feldversuch beobachtet. Bei der Auswertung der gebauten Projekte beschränkt man sich allerdings meist auf qualitative Aussagen und verzichtet auf Langzeiterhebungen zur Gewinnung quantitativer Ergebnisse, welche zu einer Falsifizierung der zugrunde liegenden Planungstheorie herangezogen werden könnten. Die Gründe hierfür liegen zum einen in den methodischen Schwierigkeiten solcher Langzeiterhebungen, zum anderen am Desinteresse der Beteiligten und der skeptischen Haltung gegenüber wissenschaftlichen Methoden innerhalb der Planungsdisziplinen im Allgemeinen.

Um nun einen alternativen Weg zur Überprüfung bestimmter Planungstheorien zu skizzieren, möchten wir in dieser Ausstellung die Möglichkeiten eines virtuellen Laboratoriums für die Untersuchung räumlicher Prozesse aufzeigen. Computersimulationen bieten hierfür relativ neue Techniken wie Zelluläre Automaten und Multi Agenten Systeme, welche die Modellierung der entsprechenden Theorien erlauben.

Die hier vorgestellten Simulationsansätze weisen den Weg, einmal die Auswirkungen unterschiedlicher Planungen anhand von Szenarienmodellen in einer abgegrenzten Laborumgebung untersuchen zu können. Der Erkenntnisgewinn beruht hier auf einem Wechselspiel von Theorie und Simulation.

www.entwurforschung.de

Reinhard König Christian Bauriedel

Die Modelle

Beschreibung

Neben den Petrischalen befindet sich für jedes Modell eine Beschreibung. Diese gliedert sich in drei Teile:

- Das erste Kästchen ist mit dem Titel des Modells überschrieben und beinhaltet eine allgemeine Beschreibung desselben.
- Parameter. In dieser Box werden die Steuerungsparameter erläutert, die Sie bei den Simulationen per Mausinteraktion verändern können.
- Die mathematischen Beschreibungen im dritten und letzten Kästchen ermöglichen Interessierten einen vertieften Einblick in die Funktionsweise der Modelle.

Experimentieren

Der Sinn der Simulationen besteht darin, dem Benutzer ein Gefühl für die dynamischen Zusammenhänge zu vermitteln, die durch das Zusammenwirken vieler Elemente zustande kommen. Es ist wichtig, dass Sie die Parameter verstellen und die Auswirkungen beobachten. Wir möchten Ihnen durch das Experimentieren mit den Simulationen den Zugang zum Verständnis komplexer Systeme eröffnen. Wir haben uns darum bemüht, die Bedienungselemente der einzelnen Programme sind so einfach wie möglich zu gestalten.

Bedienungselemente

Wenn Sie zu einer Petrischale kommen und ein neues Modell erkunden möchten drücken Sie bitte zuerst den Schalter *alle Werte zurücksetzen* um mit den voreingestellten Werten zu beginnen und Änderungen der vorherigen Benutzer rückgängig zu machen. Anschließend können Sie den Prozess mit dem Schalter *neuSetup* neu initialisieren und starten. Die Einstellungen, welche sich in dem Rahmen *setup settings* befinden, wirken sich nur bei einem neuen Setup aus und beeinflussen nicht die laufende Simulation. Mit dem Schalter *start/stop* kann das Programm bei einem beliebigen Zeitschritt angehalten und wieder gestartet werden. Manche Simulationen bieten zusätzlich die Möglichkeit nach dem Anhalten der Simulation einen einzelnen Schritt mit dem Schalter *oneStep* auszuführen.

In dem Rahmen *timesteps* wird angezeigt, wie viele Zeitschritte die Simulation bereits ausgeführt hat. Wenn diese Zahl nicht hoch gezählt wird, wurde das Programm angehalten und kann mit *start/stop* weiter ausgeführt werden.

Der Rahmen *parameter* enthält schließlich jene Bedienungselemente mit denen der laufende Prozess beeinflusst werden kann. Diese Werte stellen die Variablen der Algorithmen innerhalb der Programme dar.

Grafik

Alle Anweisungen einer Simulation werden einmal pro Zeitschritt ausgeführt. Um die Ergebnisse der Berechnungen sichtbar zu machen, werden die Werte durch grafische Elemente in einem Ausgabefenster dargestellt. Die Berechnungen der Programme sind meist durch verschiedene Farben der Zellen oder die Positionen der Agenten repräsentiert. Dem Betrachter wird der Eindruck vermittelt, als würden die Anweisungen aller Elemente gleichzeitig berechnet. Da herkömmliche Computer nur einzelnen Schritte, einen nach dem anderen ausführen können, ist eine Gleichzeitigkeit wie wir sie aus der wirklichen Welt kennen in den Simulationen nicht möglich und nur durch die enorme Geschwindigkeit mit denen die Berechnungen durchgeführt werden vorgetäuscht.

Der zweidimensionale Raum, der im Ausgabefenster dargestellt ist, repräsentiert eine quasi unbegrenzte Fläche, welche für die Visualisierung der Prozesse als Abwicklung abgebildet ist. Der Simulationsraum entspricht dem geometrischen Körper eines Torus. Man kann sich die Übertragung der Fläche in diesen dreidimensionalen Körper vorstellen, indem man die linke und rechte Kante eines Blatt Papiers zusammenfügt und die so entstandene Röhre anschließend zu einem Ring verbiegt, so dass die beiden Röhrenden miteinander verbunden werden. Die Oberfläche des Torus hat, ähnlich wie die einer Kugel keine Begrenzung (siehe Abb. 02).

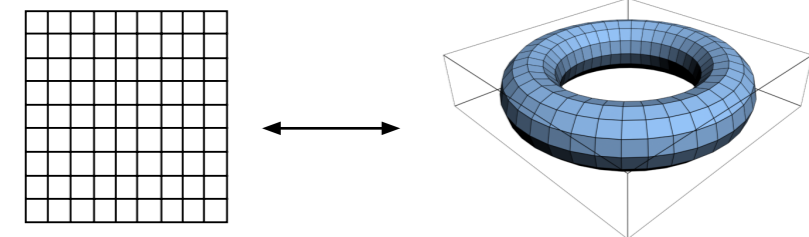


Abb. 02: Die zweidimensionale Fläche der grafischen Ausgabe stellt die Abwicklung einer Torusoberfläche dar.

Mathematische Beschreibungen

Notation

Die Dokumentationen, welche neben den Petrischalen liegen, enthalten in den grau gekennzeichneten Boxen mathematische Notationen und einfache Gleichungen. Es ist aber für das Verständnis der Modelle nicht notwendig, sich in die mathematischen Hintergründe zu vertiefen. Man kann diesen Teil der Beschreibung überspringen, ohne Gefahr zu laufen, Teile der Prozesse nicht zu verstehen.

Das wirft die Frage auf, warum die mathematischen Beschreibungen integriert wurden, wenn es möglich ist, sie einfach zu überspringen. Am einfachsten lässt sich darauf eine Antwort geben, wenn man einen ähnlichen, aber vertrauteren Bereich betrachtet: die Musik. Jeder kann mit geringer Mühe komplizierte Musik bewusst wahrnehmen, aber es gibt musikalische Feinheiten, die schwierig ohne Notation zu transportieren sind. Beispielsweise hängen die ausgeklügelten Kompositionen von Bach, Beethoven und Prokofiev von der Disziplin ab, welche die musikalische Notation ermöglicht. Diese Notation zu verstehen bereichert das Verständnis der Musik und des Prozesses der Komposition. Mathematische Notation ist für den Wissenschaftler, was musikalische Notation für den Musiker ist. Vieles geht verloren, wenn man keinen Zugang zur Notation hat. Durch die Integration der mathematischen Notation möchten wir den Interessierten einen tieferen Einblick in die Feinheiten der Modellkonstruktion gewähren. Es erfordert einige Anstrengung, aber der Gewinn sollte diesen Aufwand weit entschädigen. Die Notation ist möglichst einfach gehalten und setzt keine Vorkenntnisse voraus. Im nächsten Abschnitt werden einige der formalen Konventionen und deren Anwendung erläutert.

Formale Konventionen

Wir haben uns bemüht, die Bezeichnungen der verschiedenen Modellelemente weitgehend einheitlich zu gestalten. Im Folgenden sind noch einmal die häufigsten Benennungen zusammengefasst:

A: steht für einen Agenten. Um die einzelnen Agenten auseinander halten zu können, werden sie mit einem hochgestellten Index *m* versehen. Die gesamte Anzahl der Agenten in einem System wird mit dem Buchstaben **M** angegeben. Daraus ergibt sich die Angabe einer Menge **M** von Agenten **A** durch: $A^m, m = 1, 2, \dots, M$. Die

Position eines Agenten wird mit den tiefgestellten Indizes *i* oder *j* angegeben. Ein Agent A^m , der an einem zufälligen Ort *i* positioniert wird, kann daher beschrieben werden mit $A_i^m = random(i)$

P, D, ...: Die Eigenschaftswerte einer Zelle in einem Zellenraster werden mit Großbuchstaben angegeben. Beispielsweise steht **P** für Potential und **D** für Development, also der Entwicklung oder Besiedlung einer Zelle. Der Ort der Zelle und damit die Zelle selbst wird wieder mit den tiefgestellten Indizes *i* oder *j* angegeben. Das Potential **P** der Zelle am Ort *i* demnach mit P_i .

i, j, k: Der Index *i, j* oder *k* steht für die x- und y-Koordinaten einer Zelle oder eines Agenten.

t: Gibt den Zeitschritt an, in dem sich das System befindet. Alle Berechnungen werden normalerweise einmal pro Zeitschritt *t* ausgeführt. Die Bezeichnung wird meist verwendet um den Systemzustand zu einem Zeitpunkt *t* von dem darauf folgenden bei *t+1* zu unterscheiden.

Summenzeichen

Mit dem Summenzeichen \sum wird angegeben, dass beispielsweise die Parameterwerte bestimmter Zellen oder die Anzahl an Agenten innerhalb eines definierten Bereichs zusammengezählt werden.

Angenommen wir betrachten eine Zelle an Ort *i* und möchten wissen, wie viele Agenten sich auf dieser Zelle und den acht umliegenden Zellen befinden. Den Bereich der insgesamt neun Zellen definieren wir durch Ω_i . Nun können wir mittels des Summenzeichens schreiben: $\sum_{i \in \Omega_i} A_i^m(t)$

Es werden alle Agenten A^m zu einem Zeitpunkt *t* betrachtet und geprüft, ob ihr Aufenthaltsort *k* innerhalb des definierten Bereichs Ω_i liegt, was unterhalb des Summenzeichens durch $k \in \Omega_i$ angegeben ist. Ist dies der Fall, wird die Summe um 1 erhöht.