

Ein computergestütztes Modellsystem für die Generierung von städtischen Raumstrukturen

Ein computerbasierter generativer Ansatz zur Erzeugung von räumlichen Stadtstrukturen als methodische Ergänzung zur heutigen Planungspraxis in der Stadtentwicklung

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Architektur
der
Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von
Dipl. Ing. Architekt Christian Bauriedel
geb. 27.12.1973
Weimar 2008

Gutachter:

1.
2.
3.

Tag der Disputation:

Danksagung

Die vorliegende Dissertation wäre nicht zustande gekommen, wenn ich nicht breite Unterstützung und Hilfe gehabt hätte.

An erster Stelle sei Herrn Professor Dr. Dirk Donath herzlichst gedankt für die Übernahme und Betreuung meiner thematischen Fragestellung. Ferner sei an dieser Stelle meinem Kollegen und Partner Herrn Dipl. Ing. Reinhard König und seiner Lebensgefährtin Frau Dipl. Psych. Eva Brunner gedankt, die mir kontinuierlich mit Rat und Tat zur Seite standen. Herrn Prof. Dr. Ulrich Winko und Herrn Prof. Wolfgang Christ danke ich herzlich für ihre Bereitschaft, meine Dissertationsschrift zu begutachten. Mein größter Dank aber gilt meinen Eltern, die meine Wege und Ziele immer unterstützten. Ebenso sei allen denen ein Dankeschön ausgesprochen, die nicht namentlich Erwähnung fanden, aber zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Thesen

These 1: Grundlagen

Stehen größere Bauprojekte an, so sind es mittlerweile meist private Investoren, die diese finanzieren und verwirklichen; dass dabei wirtschaftliche Interessen im Vordergrund stehen, ist durchaus nachvollziehbar. Das öffentliche Interesse – zum Beispiel städtebauliche oder architektonische Aspekte – spielt oftmals eine untergeordnete Rolle.

- Zukünftig muss es gelingen, den Investoreninteressen gerecht zu werden und dabei gleichzeitig architektonische und städtebauliche Aspekte mit einzubeziehen.
- Mithilfe eines neu zu entwickelnden Computerprogramms soll es möglich sein, qualitativ hochwertige räumliche Konfigurationen zu schaffen, die sowohl dem ökonomischen Aspekt als auch dem ästhetischen Empfinden gerecht werden.
- Der ökonomische Nutzen, das heißt vor allem die optimale Nutzung der Flächen in Abhängigkeit von GRZ und BGF als Grundlage für eine profitable Bebauung, muss gewährleistet sein.
- Das Argument, dass sich die Architekten durch solche Programme selbst überflüssig machen, ist nicht haltbar; neue Technologien verändern unser Arbeiten in allen Bereichen und Berufsfeldern, im Idealfall optimieren, verfeinern oder erleichtern sie es. (Neue Diagnoseverfahren oder Operationsmethoden machen auch den Arzt nicht überflüssig, ganz im Gegenteil.)

These 2: Planungspraxis

Der Bebauungsplan kann als Instrumentarium sowohl Nutzungsart und Nutzungsverteilung vorschreiben als auch rudimentäre Vorgaben für eine räumliche Gestaltung über Baugrenzen, Baulinien und Ausnutzungskennziffern machen. Er wird im besten Fall aus einem Wettbewerb abgeleitet, der im Vorfeld stattgefunden hat.

- Abstandsflächen und Baugrenzen können weit flexibler gehandhabt werden, wenn man die zugrunde liegenden Parameter zueinander in Beziehung setzt und den primären Sinn dieser Regelungen zum Beispiel über die Berechnung der Belichtung und Belüftung jedes einzelnen Zimmers eines Gebäudes ableitet und sich an den daraus ersichtlichen Bebauungsmöglichkeiten orientiert.
- Mittels Computer kann der Energieaufwand für die Erstellung und Benutzung eines Wegesystems oder einer Gebäudestruktur berechnet und besser optimiert werden.
- Ein neuer Ansatz zur Durchführung eines Bebauungsplanes könnte mittels sich in regelbasierter Abhängigkeit befindenden Parzellenstrukturen erfolgen. Das würde die Möglichkeit eröffnen mit Softwareapplikationen die Regeln und damit die abgeleiteten Strukturen kontrollieren zu können.

These 3: Generative Planungssysteme

Ökonomische Zwänge fordern heute eine Verkürzung der Planungszeiträume in der Projektentwicklung. Dies führt dazu, dass bei einem herkömmlichen Entwurfsprozess meist auf standardisierte Lösungsmuster zurückgegriffen wird, anstatt nach einer optimalen und anspruchsvollen Konzeption zu suchen. Die Qualitätsoptimierung über Wettbewerbe bleibt bei privaten Investoren die Ausnahme.

- Der Computer kann bei richtiger Anwendung die Rationalität, aber als kreatives Planungsinstrument auch die Qualität von Entwurfsprozessen verbessern.
- Sind einmal die Regeln für eine Struktur gefunden, die sich in der Praxis als tauglich herausgestellt hat, können diese Regeln für weitere Planungen verwendet werden. Die Entwicklung des Entwurfs hängt stark vom Kontext ab, so dass das Ergebnis jedes Mal völlig unterschiedlich sein wird.
- Durch die regelbasierte Strukturgenerierung wird es möglich, auf erprobte Lösungsmuster zurückzugreifen, ohne sich in einfachen Kopien zu erschöpfen. Es werden lediglich die Wesensmerkmale eines Entwurfes übernommen.
- Durch die Strategien der Kreuzung und Selektion können mehrere erfolgreiche Regelsätze miteinander kombiniert werden, um bei sich widersprechenden Anforderungen zu maximal optimierten Lösungen zu gelangen.

These 4: Komplexität der Randparameter

Da nur die großen Ballungszentren mit einer ständigen Bevölkerungszunahme zu rechnen haben, werden in allen anderen Städten zukünftig zunehmend Strategien für den Umbau und die Neustrukturierung bestehender Stadtstrukturen bis hin zu deren Rückbau erforderlich. Dies bedeutet, dass innerhalb eines komplexen städtischen Gefüges operiert werden muss und vielfältige Szenarien und Entwicklungsmöglichkeiten aufzuzeigen sind.

- In einem Computermodell lassen sich bis zu einem nahezu beliebigen Komplexitätsgrad alle relevanten Daten bestehender Strukturen erfassen.
- Die gesammelten Informationen dienen als Grundlage für die Umstrukturierung nach den neuen Zielkriterien, womit ein optimierter Um- oder Rückbau möglich ist.
- Veränderungen lassen sich auf ihre sozialen Auswirkungen hin überprüfen. Neben der nüchternen Analyse ist es ein besonderes Anliegen, mit der vorgeschlagenen Methode zu neuartigen räumlichen Konfigurationen zu gelangen, um den städtischen Raum wieder aufregender zu machen.

These 5: Sozialer Kontext

Die sozialen Auswirkungen kristallisieren sich erst nach der Realisierung eines Projektes heraus. Die sozial-utopischen Ansätze der klassischen Moderne haben zum Beispiel nach ihrer Umsetzung vor allem im Wohnungs- und Siedlungsbau ihre Schwächen sichtbar werden lassen.

- Die entwickelten Modelle lassen sich um soziale Komponenten erweitern, wodurch gesellschaftliche Prozesse, sofern sie statistisch erfassbar sind, in die Simulationen mit einfließen können.
- Die stochastischen Prozesse sozialer Dynamiken können simuliert werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, den Gedanken der partizipativen Planung von einer anderen Seite zu betrachten. Es ist nicht mehr notwendig, die Wünsche und Bedürfnisse der zukünftigen Nutzer im Einzelnen zu erfassen (was aufgrund der Tatsache, dass den Nutzern diese zum Zeitpunkt der Planung meist selbst noch nicht bekannt sind, oftmals zum Scheitern solcher Projekte führt).
- Durch Simulation können die räumlichen Planungen auf ihre sozialen Auswirkungen hin überprüft werden und Umgekehrt dient auch die Modellierung sozialer Prozesse als Grundlage für die räumlichen Planungen.

Inhaltsverzeichnis

Thesen.....	3
1 Grundlagen	12
1.1 Einführung.....	13
1.2 Motivation	16
1.3 Zielsetzung	18
1.4 Überblick.....	20
2 Planungstheorie zur Stadtgenerierung – Potential, Strategien, Methodik.....	23
2.1 Geschichtliche Differenzierung stadtgenerierender Faktoren	24
2.1.1 Industrielle Revolution	25
2.1.2 Die „post-liberale“ Stadt.....	28
2.1.3 Die moderne Stadt.....	32
2.1.4 Die heutige Situation – Stadtplanung nach 1945.....	39
2.2 Potential und Risiken von Simulationen	45
2.2.1 Vorteile der Anwendung von Simulationssoftware.....	46
2.2.2 Nachteile der Anwendung von Simulationssoftware	48
2.2.3 Simulationsstrategien	49
2.3 Einflussgrößen und Randparameter des Systems.....	51
3 Stand der Forschung	56
3.1 Wissenschaftliche Vorarbeiten.....	57
3.2 Erläuterung parametrisierter Entwurfsmodelle	59
3.2.1 Beispielprojekte.....	61
3.3 Analyse computergenerierter Entwurfsprojekte.....	63
3.3.1 Entwurfsgenerator	64
3.3.2 Induction City.....	68
3.3.3 KaisersRot	70
3.3.4 Grundrissoptimierung.....	72
3.3.5 SEED	73
3.3.6 Konsensmaschine	75
3.3.7 CityEngine.....	77

4	Konzeption des Prototypen.....	78
4.1	Beschreibung der Entwurfsebenen.....	81
4.2	Einzelziele der Teilsysteme.....	83
4.3	Strukturelemente des Modellsystems.....	87
5	Beschreibung verwendeter Computermodelle.....	90
5.1	Agentensysteme.....	92
5.2	Diffusion limited aggregation.....	96
5.3	Termitensysteme.....	98
5.4	Felder.....	100
5.5	Zelluläre Automaten.....	103
5.6	Lindenmayer-Systeme.....	105
5.7	Genetische Algorithmen.....	107
5.8	Graphen.....	109
6	Entwicklung des Prototypen.....	110
6.1	Basisinformationsebene.....	112
6.2	Ebene des Erschließungssystems.....	115
6.2.1	Zielstellung.....	115
6.2.2	Ab- und Anlagerungssysteme.....	118
6.2.3	Strukturanalogien, Maßstabsfrage.....	131
6.2.4	Beschreibung typologischer Feldtypen.....	140
6.2.5	Ableitung eines Systems für die Generierung.....	145
6.2.6	Weitere Untersuchungen und Ausblick.....	159
6.3	Raumstrukturebene.....	161
6.3.1	Generierungsversuche.....	161
6.3.2	Interpretationsmöglichkeiten.....	181
6.4	Optimierungsebene.....	183
7	Exemplarische Erprobung des Prototypen.....	189
7.1	Aufbau des Benutzerinterfaces.....	191
7.2	Ausdifferenzierung der Raumstrukturen.....	196
7.3	Erprobung am „Franzosenviertel“ in München.....	205
7.3.1	Beschreibung des Gebietes.....	205
7.3.2	Blockstrukturen.....	210
7.3.3	Zeilenstrukturen.....	212
7.3.4	Clusterstrukturen.....	214
7.3.5	Auslegerstrukturen.....	216
7.4	Maßstäblichkeit und Entwicklungspotenziale.....	218
		10

8 Zusammenfassung und Ausblick	221
8.1 Zusammenfassung	222
8.2 Bewertung und Ausblick	226
8.3 Schlussbetrachtung	231
Appendix A	234
A1-Abkürzungen und Akronyme	235
A2-Abbildungen	238
Appendix B.....	247
B1-Mathematische Nomenklatur	248
B2-Exemplarischer Programmcode	251
Appendix C	268
C1-Curriculum Vitae.....	269
C3-Copyright	281
C4-Ehrenwörtliche Erklärung	283
Literaturverzeichnis	284
Glossar.....	292

1 Grundlagen

1.1 Einführung

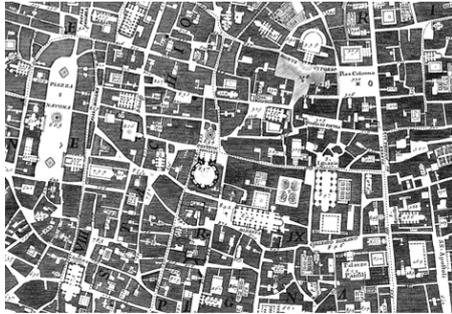


Abb. 1-1 Ausschnitt des Nolli Planes von Rom, 1748

Wieso fühlt man sich in historischen Städten wohler als in neu geplanten Siedlungen?

Warum funktionieren mittelalterliche Altstädte seit Jahrhunderten, während moderne Einkaufsstraßen häufig wenig Qualität aufweisen, was sich oft in kurzen Lebenszyklen niederschlägt?

Worauf beruhen die Wesensmerkmale unterschiedlicher Stadtstrukturen und wie sind sie jeweils entstanden?

Wenn man sich diesen Fragen zum ersten Mal widmet, sucht man den Grund zuerst in Gefühlen von Nostalgie, die alte Stadtteile wecken. Auch sind vielleicht all die unregelmäßigen Ecken und Kanten in ihrer Nichtperfektion dem menschlichen Wesen näher und vertrauter (Abb. 1-1), als die aus einfachen, streng geometrischen Formen und Winkeln bestehenden modernen Planungen. Wenn man aber auf wissenschaftliche Untersuchungen zurückgreift (ALEXANDER [3], SALINGAROS [71]), liegt der wichtigste Grund für die Verbundenheit zu alten Städten woanders: Diesen Strukturen liegt in aller Regel eine weit komplexere Planung als gedacht zugrunde, und das Ergebnis ist geometrisch weit differenzierter und somit fehlerfreier ausgefallen (unter den damaligen Planungszielen), als das mit den heute gängigen Methoden möglich wäre.

Die Unregelmäßigkeiten in alten Städten sind eher Zeichen ihrer Perfektion, nicht Ihrer Unvollkommenheit. Wenn die Geometrie der Straßen und Bauten vom 90 Grad

Winkel abwich, dann nur um damit wichtigere Ziele zu verfolgen, beispielsweise einen Platz besser zu fassen oder sich in die vorhandene Bebauung einzugliedern. Man kann durchaus geometrische Kriterien dafür finden, ob Plätze, Straßen und Gassen funktionieren oder nicht. Bei der Analyse von Schwarzplänen stellt man fest, dass es weniger Strukturfehler in historischen als in modernen Stadtgrundrissen gibt (ALEXANDER [3]).

Aber wie konnten diese Städte entstehen, die in ihren Strukturen weit mehr Entwurfsvariablen in sich gelöst haben, als das die meisten heutigen Planungen vermögen? Hier sucht man den Grund zuerst in der langen Entstehungszeit von Städten, in der diese über Jahrhunderte immer wieder neu überformt und angepasst worden sein sollen, und damit geometrisch optimiert wurden. Dies war aber selten der Fall, denn die meisten mittelalterlichen Städte wurden durchaus einmalig geplant, haben sich über die Zeit relativ wenig verändert, und sind in den überwiegenden Fällen nicht wie oben beschrieben über Jahrhunderte aus einem kleinen Kern heraus „gewachsen“ (HUMPERT [49]).

Der Schlüssel scheint tatsächlich in der historischen Planungsmethode zu liegen, die aus vielen einzelnen Prozessschritten bestand: Zuerst begann man das Terrain auszumessen. Danach hat man auf dieser Grundlage nach einem speziellen Schema, in das sowohl die topographischen Verhältnisse als auch die Erfahrungen aus anderen Stadtplanungen einfließen, den Stadtgrundriss entworfen. Dieser wurde dann mit langen Seilen und Pflöcken als Konstruktionshilfe auf das Baugelände übertragen, und hier nochmals der Topographie und den örtlichen Begebenheiten angepasst (HUMPERT [49]). Nun wurden bei der

Planung der Gebäude nicht nur der Bauherr sondern auch die Nachbarn und weitere Interessensbeteiligte stark miteinbezogen. So wurden Erfahrungen, Ideen und Engagement von weit mehr Menschen eingearbeitet als in der heutigen Zeit, was bis zu den Handwerkern ging: Jeder Ziegel und jeder Dachbalken wurde hier genau geprüft, und nochmals kontrolliert ob er an der richtigen Stelle saß oder speziell angepasst werden musste. Die Planung wurde so in sinnvolle einzelne Teilschritte zerlegt; deren Abarbeitung durch Experten lieferte ein besseres Ergebnis, als wenn die Planung wie heute üblich in einem Schritt und nur von einem Team ausgeführt wird.

Die Gründe, die es heute so schwierig machen, Stadtplanungen ähnlich komplex durchzuführen, sind vielfältig: Immer kürzere Bau und Planungszeiten, komplizierte Genehmigungsverfahren, wenig Handlungsspielraum der Verantwortlichen der Stadtplanung, komplizierte Rechtsvorschriften im Baubereich und moderne Baustoffe, die keine Vor-Ort-Anpassung mehr zulassen, machen es fast unmöglich.

1.2 Motivation

„Ist der Forscher einem Schiffer zu vergleichen, der sich gern im engen Fahrwasser des ihm bekannten Flusses hält, begibt sich der Laie kühn auf die hohe See ohne ihrer Gefahren zu achten (wohl auch ohne sie zu kennen), so wird - im Gegensatz zu beiden – unser Schiff gleichsam an der Mündung kreuzen, immer bereit, im sicheren Flussbette Deckung zu suchen, und immer im Begriff einen Ausblick zu gewinnen auf die Weite des Horizonts.“

Aus FRIEDMANN [39], Vorwort zur ersten Auflage

Jeder von uns war bereits in zahlreichen Städten und kennt Bilder von vielen anderen, die er zwar noch nicht besucht hat, die aber dennoch belegen, dass es eine Vielzahl an Formen, Mustern und Strukturen in ihnen gibt, die sich besonders deutlich zeigen, wenn man Luftbilder oder abstrahierte Schwarzpläne verwendet. Keine Stadt ist einer anderen völlig gleich, aber alle Städte sind durch gewisse Gesetzmäßigkeiten verbunden und folgen bestimmten Organisationsprinzipen. Bei näherer Betrachtung lassen sich Gemeinsamkeiten und wesentliche Unterschiede, beispielsweise in den Wegesystemen, der Bebauungsstruktur, der Dichte und des Maßstabs, erkennen.

Mit dieser Arbeit bewegt man sich auf einem Feld, das über weite Strecken nur noch wenige Ähnlichkeiten mit der für Architekten vertrauten Landschaft hat. Ich glaube, dass es, -um der konstruktiven Auseinandersetzung mit der hier gestellten Aufgabe gerecht zu werden,- nötig ist, jenseits der wohlbekanntem und ausgetretenen Wege nach neuen Möglichkeiten nicht nur der Problemlösung, sondern bereits der Problemstellung und Methodengenerierung zu suchen. Daher habe ich Modelle und Ansätze aus Bereichen der Informatik, Biologie, Geologie, Physik, Wissenschaftstheorie und Gesellschaftswissenschaften untersucht, mit dem Ziel, daraus ein Computermodell für die Stadtsimulation abzuleiten. Ich musste mich auf jene Teile beschränken, die mir für mein abstraktes Modellsystem als wesentlich erschienen. Doch mit dem erworbenen Wissen glaube ich, dass man alle Strukturen von real exis-

tierenden Städten in regelbasierten Modellen abbilden kann. Allgemein gesprochen bedeutet Planung ja stets die konzeptionelle Vorwegnahme noch nicht existierender Zustände. Dabei konzentriert sich die gegenwärtige Praxis der Planung lediglich auf den Vergleich von Soll und Ist und kann deshalb nur statische Lösungen vorschlagen. Wesentlich für eine qualitätvolle und nachhaltige Stadtentwicklung ist aber eine Auseinandersetzung mit dynamischen Prozessen. Pläne sind noch statische Repräsentationen, während solche in der Form dynamischer Karten unbekannt sind. Die Repräsentation von Planungszuständen im mit Intelligenz ausgestatteten Rechner ermöglicht nun dem Anwender, durch das Steuern von Parametern sich mehr um Prozesse und Inhalte zu kümmern und komplexe, mathematische Probleme der Maschine zu überlassen.

Die vorliegende Arbeit nährt sich aus dem Glauben, der Planungspraxis zukünftig mithilfe des Computers wieder mehr Komplexität, Nachhaltigkeit und somit Qualität geben zu können, und zugleich Bauzeiten, Termine und Kosten einzuhalten und zum Teil noch zu unterbieten.

1.3 Zielsetzung

„Computer offer an indispensable aid. For instance, instead of studying a rain forest top-down, starting from the forest as a whole and dividing it into species, we unleash within the computer a population of interacting virtual „animals“ and „plants“ and attempt to generate from their interactions whatever systematic properties we ascribe to the ecosystem as a whole. Only if the resilience, stability, and other properties of the whole (such as the formation of complex food webs) emerge spontaneously in the course of the simulation can we assert that we have captured the nonlinear dynamics and combinatorics of rain forest formation.“

Aus DE LANDA [56]

Diese Arbeit soll:

- aufzeigen wie die Parameter, welche die bestehenden Stadtstrukturen erzeugt haben, in mathematische Steuerungsparameter für ein Programm übersetzt werden können
- dazu beitragen, ein entsprechend neues Verständnis für die Stadtentwicklung zu erlangen
- die Grundlage für ein Experimentieren mit den strukturellen Eigenschaften bereitstellen
- zeigen, wie einfach und effizient Alternativen generiert werden können
- gültige, rechnerische Modelle schaffen, anhand derer Stadtentwicklungsprozesse simuliert, gedeutet und prognostiziert werden können.

In der vorliegenden Arbeit wird es immer wieder um die folgenden drei Leitfragen gehen:

- Wie kommt es in Städten zu bestimmten Raumstrukturen und welche Kräfte spielen dabei eine Rolle?
- Auf welche Elemente lassen sich Bildung und Veränderungen von Raumstrukturen in Städten reduzieren und wie können die zugehörigen Kombinationsregeln gefunden werden?
- Wie müssen allgemeingültige Prinzipien formuliert sein, um die urbanen Prozesse beschreiben zu können und möglichst unterschiedliche strukturelle Eigenschaften zu erzeugen?

1.4 Überblick

Nach dem ersten Kapitel mit den Grundlagen zur Arbeit, wird im zweiten Kapitel die Stadtentwicklung innerhalb verschiedener historischer Perioden betrachtet und die Grundthemen der Stadtstruktur, -diese „gewissen Gesetzmäßigkeiten“- erfasst und zu erklären versucht. Nach der Darlegung des Forschungsstandes und der Analyse und Besprechung einiger beispielhafter Arbeiten, die sich diesem Thema auf ähnliche Weise angenähert haben, wird im vierten Kapitel ein umfassendes Konzept dafür entwickelt, das aufzeigt, unter Verwendung welcher Methoden und mittels welcher Abstraktionsbedingungen sich Stadtstrukturen sinnvoll simulieren lassen.

Unter Zuhilfenahme mathematischer Verfahren werden im Rahmen von vier Grundebenen Modelle im Computer erstellt, so dass die Zusammenhänge zwischen den Elementen und den Regeln ihres Zusammenwirkens untersucht werden können. Die einzelnen Ebenen setzen sich jeweils mit folgenden Aspekten für die Bearbeitung auseinander:

- den zugrunde liegenden Informationsstrukturen
- den linearen Erschließungswegen, verbunden mit der Flächenbesetzung
- den darauf aufbauenden Bebauungsstrukturen
- der Optimierung der Ergebnisse nach definierten Kriterien

Aus dem Zusammenwirken der vier Ebenen soll die Erfassung eines möglichst breiten Spektrums der städtischen Entwicklungs- und Veränderungsprozesse möglich werden. Die dazu notwendigen Computermodelle werden im fünften Kapitel beschrieben. Die eigentliche Umsetzung der vier Entwurfsebenen, deren Zusammenspiel im Rahmen eines Programms als „Entwurfsumgebung“ bezeichnet werden soll, wird im sechsten Kapitel beschrieben.

Der Arbeitsmethode zur computergestützten Simulation von Entstehungs- und Veränderungsprozessen städtischer Strukturen liegt ein systemtheoretisches Modell zugrunde, nach welchem das komplexe System „Stadt“ in seine wesentlichen Elemente gegliedert wird. Diese können -je nach Abstraktionsgrad, Maßstabebene und Aufgabenstellung- mit verschiedenen Eigenschaften belegt werden. Sind die Elemente bestimmt, werden deren Relationen definiert und die Grenzen des Systems festgelegt. Innerhalb dieses Systems lassen sich Informationen zusammenstellen, die es erlauben, Rückschlüsse zu ziehen auf:

- die Zusammenhänge der Elemente
- die Funktionsweisen von Entstehungsprozessen
- die zukünftige Entwicklung von wachsenden Städten

Anschließend kommen Prinzipien der Selbst-Organisation zum Tragen, durch welche sich die Elemente nach dem Bottom-Up-Prinzip ordnen können. Das bedeutet, dass es keine vorgegebenen Muster gibt, sondern dass sich die Elemente aufgrund ihrer inhärenten Eigenschaften und den emergierenden Verhaltensregeln gegenseitig so beeinflussen, dass sich eine übergeordnete Struktur ergibt.

Da durch dieses Vorgehen nicht alle urbanen Entwicklungsprozesse beschreibbar sind, werden auf unterschiedlichen Ebenen Restriktionen eingeführt, die das System global steuern, was als Top-Down-Verfahren bezeichnet wird. Durch flexible Kombination beider Prinzipien werden unter Verwendung mathematischer Beschreibungen die vielfältigen Erscheinungen eines städtischen Gefüges beschrieben, und dessen Entwicklung unter veränderten Bedingungen simuliert.

Nach der Entwicklung der Entwurfsumgebung werden die Möglichkeiten des Programms im siebten Kapitel exemplarisch anhand eines Bebauungsgebietes in München erprobt und veranschaulicht.

Die Ergebnisse werden im letzten Kapitel zusammengefasst, dann einer kritischen Betrachtung unterzogen und abschließend weitere Entwicklungsmöglichkeiten der Arbeit aufgezeigt.

2 Planungstheorie zur Stadtgenerierung – Potential, Strategien, Methodik

2.1 Geschichtliche Differenzierung stadtgenerierender Faktoren

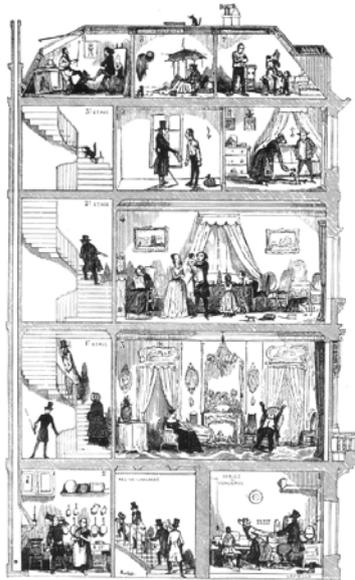


Abb. 2-1 Querschnitt eines Pariser Hauses aus dem Jahr 1853. Aus BENEVOLO [12], S. 849

In Abb. 2-1 werden die Wohnverhältnisse der einzelnen Mieter auf den verschiedenen Stockwerken gezeigt: „Die Familie des Hausmeisters im Parterre; ein sich langweilendes reiches Bürgerhepaar im ersten Stock; eine Familie aus dem weniger reichen Bürgertum, die im zweiten Stock bereits etwas beengter wohnen; im dritten Stock die Kleinbürger, von denen einer gerade Besuch vom Hausbesitzer hat; die Armen, die Künstler und die Alten in den Dachkammern; und die Katze auf dem Dach.“
Aus BENEVOLO [12]

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Entwicklungslinien in der Geschichte der neueren Stadtentwicklung im Allgemeinen dargestellt, um die entscheidenden Parameter für die Gestalt der Stadt direkt oder indirekt abzuleiten.

Neben den zahlreichen Einflüssen, die bei der Entwicklung einer Stadt zusammentreffen, gibt es meist wenige, entscheidende Kriterien, die die Struktur der Stadt maßgeblich prägen.

Zur Darstellung dieser Einflüsse habe ich auf ausgewählte Stellen aus ‚Die Geschichte der Stadt‘ von Leonardo Benevolo [12] zurückgegriffen, um am Ende jedes Abschnitts die relevanten Parameter in abstrahierter Form zusammenzufassen.

2.1.1 Industrielle Revolution

Wesentliche Einflüsse auf die Stadtentwicklung:

1. Die sinkende Sterblichkeitsrate bewirkte ein Bevölkerungswachstum.
2. Veränderte Produktionsbedingungen, Dienstleistungen, der technische Fortschritt und der allgemeine wirtschaftliche Aufschwung führten zu sich stetig verbessernden Lebensbedingungen.
3. Als Folge des Bevölkerungswachstums und der Veränderung der Produktivkräfte (Landflucht) setzte eine Umverteilung der Bevölkerung innerhalb der einzelnen Länder ein, was zu einem Anwachsen der Städte führte.
4. Die wachsende Bevölkerung beschleunigte die Entwicklung der Verkehrsmittel und Verkehrswege.
5. Die Veränderungen vollzogen sich schnell und waren von begrenzter Dauer. Es galt, sich darauf einzustellen und bei allen Planungen den Zeitfaktor mit zu berücksichtigen. Ein Gebäude wurde nicht mehr als eine dauerhafte Veränderung der Landschaft angesehen, sondern als vorläufiges Bauwerk, das jederzeit durch ein anderes ersetzt werden konnte. Dadurch galt ein bebaubares Grundstück als eigenständiger Vermögenswert, dessen Wert von der Lage, der Nachfrage, den Auflagen, denen es unterlag, und Ähnlichem abhing.
6. Das politische Denken veränderte sich: Die Ökonomen rieten dazu, die öffentlichen Eingriffe in allen Bereichen des sozialen Lebens – auch in dem der Städtepla-

nung und im Bauwesen – einzuschränken. Adam Smith empfahl der Regierung, den öffentlichen Grund und Boden zu verkaufen und mit dem Erlös ihre Schulden zu bezahlen. Dies führte zur Emanzipation des privaten Unternehmers auch im Immobilienbereich. Die Verminderung des öffentlichen Engagements hatten eine unkontrollierte Stadtentwicklung zur Folge, deren materielle Auswirkungen (Verkehrschaos, Gesundheitsgefährdung, Hässlichkeit) das Leben der unteren Klassen immer unerträglicher werden ließ, und von einem bestimmten Punkt an auch die Lebensbedingungen der übrigen Bevölkerung bedrohte. Daraus leiteten sich Forderungen nach neuen Formen öffentlichen Eingreifens ab.

(Zusammengefasst aus BENEVOLO [12] S. 781)

Die Situation in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts:

Die Peripherie bestand nicht aus wohldurchdachten, im Voraus geplanten Stadterweiterungen – wie die mittelalterlichen oder die aus der Zeit des Barock -, sondern aus einem zunächst unbebauten Gebiet, das durch eine Vielzahl unabhängig voneinander durchgeführter Initiativen mit den verschiedenartigsten Bauwerken überzogen wurde. So entstand ein ungeordnetes Nebeneinander von Stadtteilen mit Luxusbauten, Armenvierteln, Fabriken, Lagerhäusern und technischen Anlagen. Ab einem bestimmten Punkt bildete sich daraus ein geschlossener Organismus, der jedoch auf keiner vorausschauenden Planung beruhte. Die Größe des Abstandes zum nächstliegenden Gebäude wurde

zum Gradmesser für den sozialen Status. Diese ungeordnete und unbewohnbare Umgebung – die im folgenden als „die liberale Stadt“ bezeichnet wird – war das Ergebnis einer Vielzahl sich überlagernder privater und öffentlicher Initiativen, die weder umfassend geplant, noch aufeinander abgestimmt waren.

Die unternehmerische Freiheit des Einzelnen, die als Grundvoraussetzung für die Entwicklung der kapitalistischen Industrie-Gesellschaft galt, erwies sich als ungeeignet, um die mit dem wirtschaftlichen Aufschwung verbundenen Veränderungen im Bereich des Wohnungs- und Städtebaus in geordnete Bahnen lenken zu können.

Die ärmeren Teile der Bevölkerung waren von den schlechten Lebensbedingungen in den Industriestädten am stärksten und unmittelbarsten betroffen, aber auch die höheren Gesellschaftsschichten konnten sich ihnen nicht völlig entziehen.

Daher gab es vermehrt Bürgerproteste gegen die herrschenden Zustände (verschmutzte Städte, Choleraepidemien) diese hatten die Einführung von Gesundheitsgesetzen zur Folge. Diese veränderten die Baustrukturen und damit die hygienischen Bedingungen.

2.1.2 Die „post-liberale“ Stadt

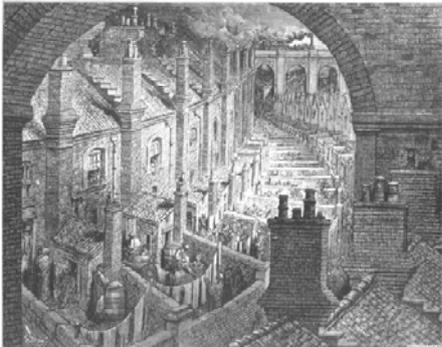


Abb. 2-2 Ein zwischen Eisenbahnbrücken gelegenes Arbeiterviertel

London (Stich von Gustave Doré aus dem Jahre 1872).

Aus BENEVOLO [12], S. 792

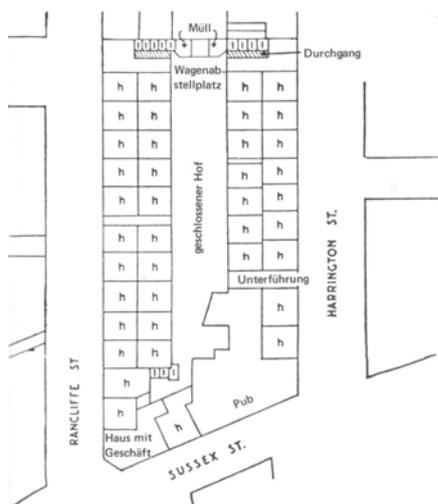


Abb. 2-3 Die Häuser (h) einer Arbeitersiedlung in Nottingham.

Mit im Hof liegenden Toiletten (1) nach den Aufzeichnungen einer Untersuchungskommission aus dem Jahre 1845.

Aus BENEVOLO [12], links S. 799.

Nach der Revolution von 1848 entwarf die siegreiche Bourgeoisie ein neues Modell der Stadtplanung: Nach diesem wurden einerseits die Interessen der verschiedenen Gruppen der Bourgeoisie – Unternehmer und Grundbesitzer – untereinander teilweise koordiniert und andererseits die durch die Existenz der unteren Klassen produzierten Spannungen teilweise korrigiert (Abb. 2-2).

„Die absolute unternehmerische Freiheit wurde durch Eingriffe der staatlichen Verwaltungsorgane eingeschränkt, die Bauvorschriften erließen und öffentliche Baumaßnahmen durchführten. Innerhalb der nunmehr enger gesteckten Grenzen jedoch hatte der einzelne Bauherr weiterhin völlige Freiheit.“

Aus BENEVOLO [12] S. 813

Dies markierte den Übergang von der „liberalen“ zur „post-postliberalen“ Stadt. (Abb. 2-5 bis Abb. 2-8)

Wesentliche Einflüsse auf die Stadtentwicklung:

1. Es gab eine Einigung zwischen öffentlicher Verwaltung und privaten Grundstücksbesitzern: Die Verwaltung verfügte danach über ein Minimum an Grund und Boden, nämlich den, der für die Anlage eines Verkehrsnetzes (Straßen, Plätze, Eisenbahnlinien usw.) und für die übrigen Einrichtungen (Wasserleitungen, Kanalisation, später Gas, Elektrizität, Telefon usw.) nötig war. Alle übrigen Teile, also alle Grundstücke, die durch diese städtische Infrastruktur urbanisiert, d. h. bebaubar

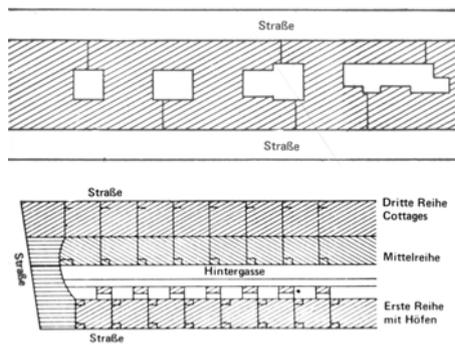


Abb. 2-4 Zwei Detailskizzen der neuen Stadtviertel von Manchester

von Friedrich Engels seiner Abhandlung zugefügt, S. 803



Abb. 2-5 Straßenkorridor von Le Corbusier.

Aus BENEVOLO [12], S. 814

Zwei Zeichnungen von Le Corbusier: (oben) der „Straßenkorridor“ und (unten) drei Stadttypen, die nach dem Muster dieser „Straßenkorridore“ angelegt wurden (Paris, New York und Buenos Aires) - Schwarzpläne unten.

gemacht wurden, standen zur freien Verfügung ihrer Besitzer.

2. Über die Nutzung der einzelnen Grundstücke entschied der jeweilige – private oder öffentliche – Besitzer. Die Verwaltung nahm nur indirekt Einfluss durch die von ihr erlassenen Verordnungen. Die durch den Aufschwung einer Stadt bewirkte Wertsteigerung eines Grundstücks oder eines Gebäudes kam ausschließlich den Eigentümern zugute, so dass die Verwaltung die Kosten für die Infrastruktur nicht decken konnte.

3. Der Verlauf der Grenzlinie zwischen den öffentlichen und den privaten Bereichen – die Straßenfronten – bestimmte die Grundstruktur einer Stadt. Die Gebäude konnten in zwei verschiedenen Positionen angelegt werden:

- Direkt an der Straßenfront: Diese Position war am besten geeignet für die Gebäude im Stadtkern, weil die Straßen die Funktion von Korridoren für den Verkehr hatten und den im Parterre befindlichen Läden und Geschäften als Zugang dienten. Alle für andere Zwecke bestimmten Räume und Einheiten mussten sich diesem primär an den Anforderungen des Verkehrs und des Handels ausgerichteten Schema unterwerfen und die damit verbundenen Unannehmlichkeiten in Kauf nehmen.
- Abgelegen von der Straße: Mit Häusern in dieser Lage konnte man diese Unannehmlichkeiten vermeiden; aber diese weniger dichte Bauweise war nur am Stadtrand möglich. Um Grundstücke für Wohnzwecke zu bebauen, standen den Besitzern

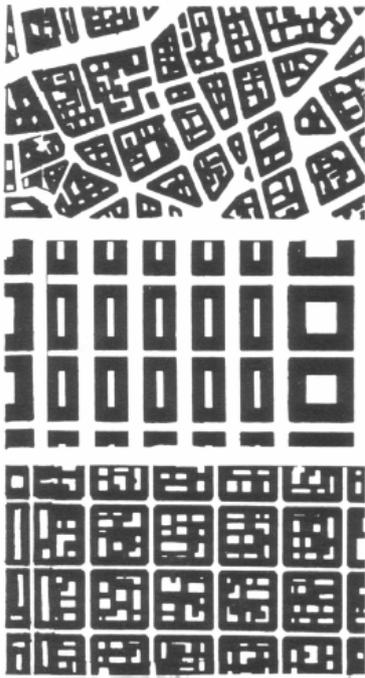


Abb. 2-6 Schwarzplan Paris, New York und Buenos Aires.

Aus BENEVOLO [12], S. 814

zwei Bauweisen zu Auswahl: eine Bebauung von geringer Dichte, d.h. das Errichten einer kleinen Zahl von Häusern bzw. Villen für die wohlhabenderen Schichten, oder eine Bebauung mit hoher Dichte, mit weniger kostspieligen, mehrstöckigen Reihenhäusern für die unteren Schichten.

4. Ausgedehntere Gebäudekomplexe wurden aus Platzmangel an den Stadtrand verdrängt.
5. Übermäßige Dichte des Stadtzentrums führte zu der Anlage von öffentlichen Parks.
6. Verbreiterung der Straßen veränderte das Stadtgefüge – halböffentliche Räume wurden verdrängt.

(zusammengefasst aus BENEVOLO [12] S. 813-822)

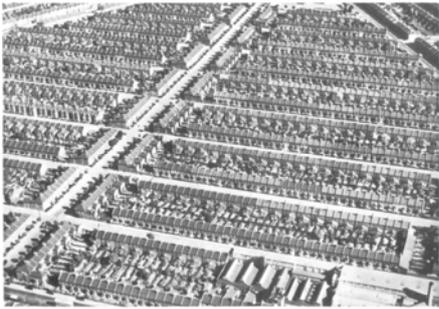


Abb. 2-7 englische Siedlung nach 1875.

Aus BENEVOLO [12], S. 818

Beispiel für die Siedlungen an der Peripherie englischer Städte, die gemäß den 1875 erlassenen Bestimmungen angelegt worden sind: Das Bestreben, trotz dieser Verordnungen möglichst profitable Häuser zu bauen, führte zu einer extremen Uniformität dieser Siedlungen.

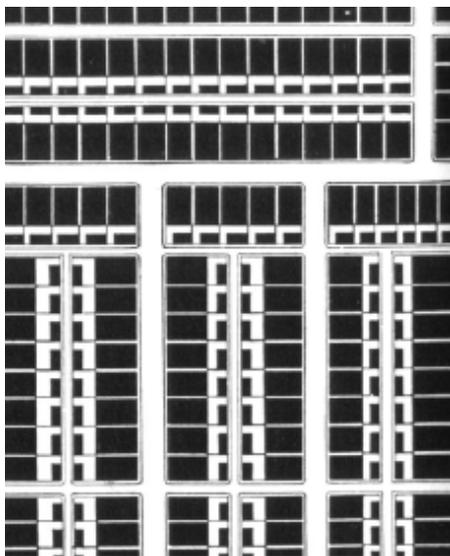


Abb. 2-8 Schwarzplan einer englischen Siedlung nach 1875.

Aus BENEVOLO [12], S. 818

Weitere Abstraktion als Vorbereitung für das Modellsystem:

Bauweise für innerstädtische Gebiete:

- Der Entwurf der Wohnung wurde in das Muster der Straßenzüge und Baulinien eingeordnet, das durch die Planung vorgegeben war. Deshalb Blockrandbebauung mit entsprechender Parzellierung, die sich wiederum an den wirtschaftlichen Bedingungen orientierte.

Parametersystem A:

- Erschließungssystem; davon abgeleitete Blocks, welche in Parzellen unterteilt werden.
- Bebauung entlang der Baulinie zur Straße mit definierter Traufhöhe; Auffüllung der Hinterhöfe mit kleingliedriger Struktur.

Bauweisen für die Vorstadt

- eine Bebauung von geringer Dichte, d. h. das Errichten einer kleinen Zahl von Häusern bzw. Villen für die wohlhabenderen Schichten
- eine Bebauung mit hoher Dichte, mit weniger kostspieligen, mehrstöckigen Reihenhäusern für die unteren Schichten.

Parametersystem B:

- Erschließungssystem; davon abgeleitete Grundstücke mit zurückgesetzten Einzelhäusern. Erschließungssystem; Parzellen einheitlicher Breite im rechten Winkel dazu. Reihenhäuser entlang der Baulinie von Straße zurückgesetzt.

2.1.3 Die moderne Stadt

„Zur gleichen Zeit [etwa 1922] veränderten sich auch die Vorstellungen von dem, was Stadtplanung leisten sollte. Bis dahin war es offenbar darum gegangen, das Stadtgefüge an Entwicklungen in Wirtschaft und Gesellschaft anzupassen, die weder vorhersehbar noch steuerbar erschienen. Nun aber – angesichts der ersten wissenschaftlichen Forschungsergebnisse über das Wesen der Stadt, die sich mit Namen wie Georg Simmel, Max Weber, Werner Sombart, oder Charles Horton Cooley verbinden – schien sich die Möglichkeit zu bieten, zumindest einen Teil der künftigen Entwicklungen zu prognostizieren und damit einen räumlichen Rahmen zu entwerfen, in den sich solche evolutionären Kräfte ohne allzu viele Reibungen einfügen ließen: ‚Koordination‘ wurde zum Schlagwort dieser Zeit.“

Aus ALBERS [1], S. 36ff (Abb. 2-9 bis Abb. 2-20)

Wesentliche Einflüsse auf die Stadtentwicklung:

1. Analyse der Aktivitäten, die das Leben in der modernen Stadt bestimmen.

Le Corbusier hat folgende vier Aktivitäten innerhalb der Stadt unterschieden:

- Wohnen
- Arbeiten
- Kultivierung von Geist und Körper
- Fortbewegung

Die „post-liberalen“ Städte begünstigten eindeutig die produktiven Aktivitäten und dabei vor allem die des tertiären Sektors (Handel, Verkehr). Die moderne Architektur kritisierte diese Prioritätensetzung und bestimmte sie folgendermaßen neu:

- Der Wohnbereich, in dem die Menschen den größten Teil des Tages verbringen, wird zum wichtigsten Element der Stadt.
- Alle Sektoren des produktiven Bereichs (Landwirtschaft, Industrie und Handel) gelten als gleichgewichtig und bestimmen die drei Grundtypen menschlicher Ansiedlungen: Die über das ganze Land verteilten landwirtschaftlichen Betriebe, die lang gestreckte lineare Industriestadt und die radiozentrisch angelegte Stadt für den Handel

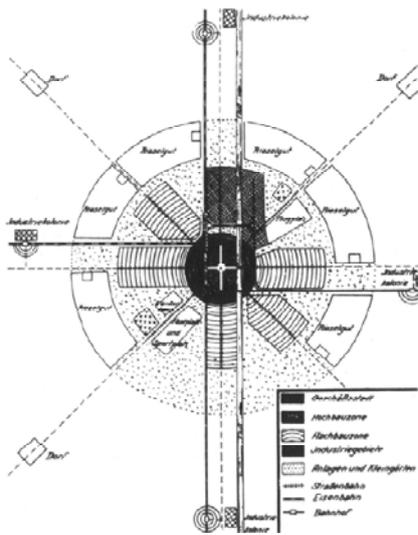


Abb. 2-9 Stadtdiagramm Heiligenthal, 1921.

Aus ALBERS [1], S. 38

- Die Freizeitaktivitäten werden in ihrer Bedeutung aufgewertet (Grünanlagen für Sport und Spiel unmittelbar vor den Wohnhäusern, Parks für einzelne Stadtteile und für die Stadt als Ganzes, und ausgedehnte regionale und nationale Natur-Schutzgebiete).
- Das herkömmliche Verkehrswesen wird je nach Art der eingesetzten Verkehrsmittel und nach den Anforderungen und der Bedeutung der einzelnen städtischen Funktionen und Bereiche gegliedert. Die „Korridor-Straße“, mit ihren Bürgersteigen für die Fußgänger und der Fahrbahn für alle Arten von Fahrzeugen, soll durch Systeme verschiedener, getrennt verlaufender Verkehrswege ersetzt werden.

(zusammengefasst aus BENEVOLO [12] S. 909)



Abb. 2-10 Bebauungsschema Dulsberg, Hamburg, 1919.

Aus ALBERS [1], S. 40

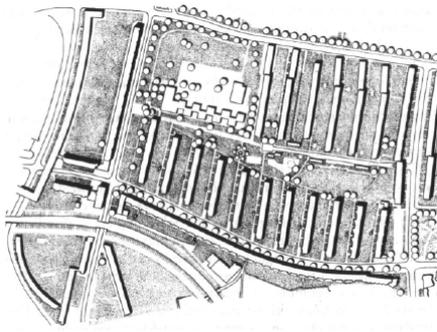


Abb. 2-11 Bebauungsschema Berlin-Charlottenburg, Siemensstadt, 1929.

Aus ALBERS [1], S. 43

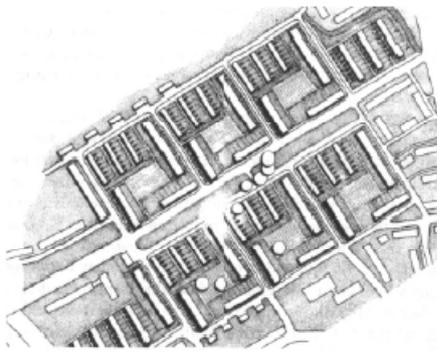


Abb. 2-12 Wohngruppen in Hengelo/Niederlande, 1956

Aus ALBERS [1], S. 230

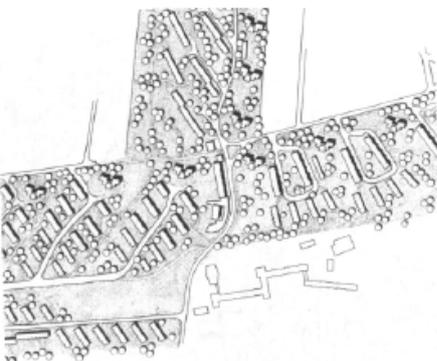


Abb. 2-13 Lockere Zeilenbebauung in Hamburg- Hohnerkamp, 1953.

Aus ALBERS [1], S. 231

2. Bestimmung der Grundelemente, die für jede dieser städtischen Funktionen nötig sind.

„Die Methode des Voranschreitens vom Besonderen zum Allgemeinen, ein fester Bestandteil der wissenschaftlichen Tradition, wurde von Anfang an auch von den neue Gestaltungsmöglichkeiten erforschenden Architekten als Instrument schrittweiser Kontrolle der Ergebnisse und als Garantie für deren Gültigkeit benutzt.“ Aus BENEVOLO [12] S. 914

Jede Konstruktion muss auf diese Weise in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt werden, um dann wieder zusammengefasst zu werden. Diese Vorgehensweise diente besonders zur Bestimmung und Gestaltung der grundlegenden funktionellen Elemente.

Insofern das Wohnen als Hauptfunktion der Stadt galt, wurde in der Wohnung das Grundelement der Stadt gesehen. Weil die Wohnung zum Ausgangspunkt der Neugestaltung der Stadt gewählt wurde, konnten auch die für die bürgerliche Stadt charakteristischen Haustypen kritisiert und als Vorbilder abgelehnt werden. Diese Gebäude waren ein Resultat der Wechsel-Beziehung zwischen öffentlichem Bereich und privatem Grundbesitz und konnten ihre große Bedeutung und weite Verbreitung nur auf der Grundlage dieser Wechselbeziehung erlangen.

Die Wohnung dagegen ist das Element, das die Bewohner direkt interessiert; insofern bedeutet die Entscheidung auch, sich bei der Neugestaltung der Stadt an den Bedürfnissen und Interessen der Bewohner zu orientieren, und nicht an denen der Grund- und Hausbesitzer



Abb. 2-14 Bebauungsschema Westhausen, Frankfurt, 1929.

Aus ALBERS [1], S. 42

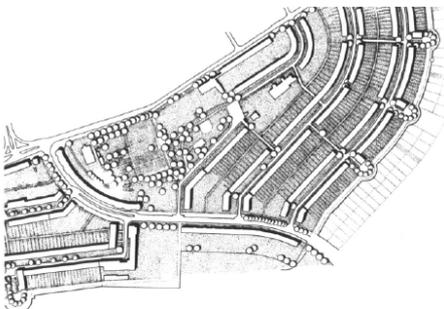


Abb. 2-15 Bebauungsschema Römerstadt, Frankfurt, 1926.

Aus ALBERS [1], S. 41

und der Bürokratie. Von diesen Voraussetzungen ausgehend, löste die moderne Architektur zunächst die beiden folgenden Aufgaben:

- Sie analysierte sehr genau die innere Struktur der Wohnung und bestimmte die verschiedenen Möglichkeiten der Raumanordnung.
- Sie legte Regeln fest, nach denen die Wohnungen anzuordnen waren, um den Bedürfnissen der Bewohner zu entsprechen. Im Blickpunkt standen also die Beziehung der einzelnen Wohnungen untereinander und die zwischen Wohnungen und öffentlichen Einrichtungen.

(zusammengefasst aus BENEVOLO [12] S. 814-920)

3. Suche nach einem geeigneten Modell

Wie können die einzelnen funktionellen Elemente zusammengesetzt werden, um damit langfristig nach dem Modell für die komplexe Gesamtstruktur der modernen Stadt zu forschen?

Zur Bestimmung der verschiedenen Möglichkeiten der Raum-Aufteilung innerhalb der Wohnung ist es erforderlich, auch das Verhältnis der einzelnen Wohnungen untereinander zu berücksichtigen. Deshalb kann sich die Suche nach neuen Wohnformen nicht auf den Bereich der Wohnung im engeren Sinne beschränken, sondern sie muss die Gestaltung des gesamten Stadtteils mit einbeziehen. Aufgrund dieser Überlegungen konzentrierte man sich auf die so genannten „Unités d’Habitation“ – die „Wohneinheiten“ –, die aus einer Vielzahl von Wohnungen und den dazugehörigen Gemeinschaftseinrichtungen bestanden.

Die kleineren Einheiten – mit etwa 300 bis 400 Wohnungen, einem Kindergarten, Lebensmittelgeschäften und Freizeitanlagen für Erwachsene und Kinder – sollen die Grundelemente der neuen städtischen Struktur bilden und sind in dieser Funktion den einzelnen Gebäuden des herkömmlichen Stadttyps vergleichbar. Mehrere dieser kleinen Einheiten können zu einem größeren Komplex zusammengesetzt werden, der mit umfangreicheren Gemeinschaftseinrichtungen ausgestattet ist. So bilden zum Beispiel drei der oben beschriebenen Einheiten einen Komplex mit 1000 bis 1200 Wohnungen, drei Kindergärten, einer Grundschule, Geschäften und Sport- und Freizeitanlagen. Durch diese Art der Planung und Gestaltung können die einzelnen Grund-

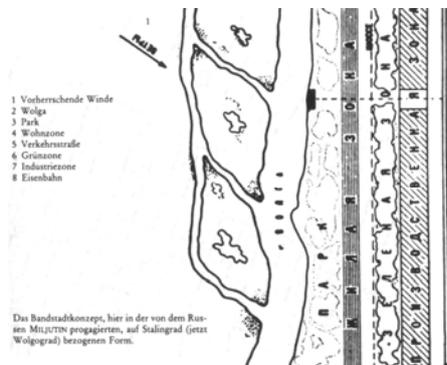


Abb. 2-16 Bebauungsschema Miljutin, 1930

Aus ALBERS [1], S. 39

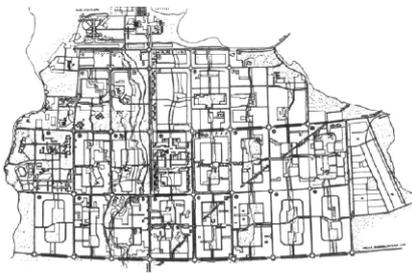


Abb. 2-17 Gesamtplan von Chandigarh, 1951.

Aus ALBERS [1], S. 214



Abb. 2-18: Großbaukörper in Berlin, Märkisches Viertel, 1963.

Aus ALBERS [1], S. 233

elemente der Stadt (die verschiedenen Infrastruktureinrichtungen, die Freizeitbereiche, die Straßen, die Parkplätze und sogar die Industrieanlagen) an der Größe der Wohnkomplexe ausgerichtet, und damit die Struktur der gesamten Stadt tatsächlich dem Wohnbereich untergeordnet werden – wie es in der Ausgangshypothese gefordert worden war. Das Konzept der Wohneinheiten ermöglicht einen kontinuierlichen Übergang von den kleinsten Elementen über die größeren bis zur Stadt als Ganzen, und dient damit einer durchgehenden architektonischen Kontrolle auf allen Ebenen.

Das nach diesem Prinzipien gestaltete Stadtbild erwies sich als äußerst abwechslungsreich, auch wenn es nur aus einer beschränkten Anzahl von immer wiederkehrenden Elementen und Kombinationen bestand, deren technische Auswirkungen und optischen Effekte bereits im Voraus bekannt waren.

Der herkömmliche Stadttyp bestand aus vielen kleinen Grundstücken, auf denen jeweils einzelne, voneinander isolierte Häuser standen. Die moderne Stadt konnte dagegen aus wesentlich größeren Grundelementen zusammengesetzt werden, wobei jedes dieser Grundelemente selbst bereits ein architektonisch durchgestaltetes Gebilde darstellte. Die Zusammenstellung und Anordnung dieser Grundelemente konnte im Voraus geplant und koordiniert werden, so dass das gesamte Stadtbild geordnet und abwechslungsreich zugleich sein konnte.



Abb. 2-19 Wohngruppen in Frankfurt-Nordweststadt, 1961.

Aus ALBERS [1], S. 232

Weitere Abstraktion als Vorbereitung für das Modellsystem:

Die Beschäftigung mit dem Wohngrundriss, seiner Orientierung, seiner funktionalen Gliederung führte zu neuen Modellen für Gebäudestellung und Straßenführung. Es wurden parallel „Zeilen“ angeordnet, die zur Kostenersparnis durch senkrecht zur Fahrstraße verlaufende Wohnwege erschlossen wurden. Eine alternative Möglichkeit bot die frei im Raum komponierte Anordnung größerer Baukörper, die von Grünflächen umgeben werden, sowie Konzepte des Superblocks und später der Nachbarschaftseinheit – eine Gruppierung von Wohnungen um die für ihre unmittelbare Versorgung erforderlichen Gemeinbedarfseinrichtungen wie Läden und Grundschule, frei von Durchgangsverkehr und durch Grünflächen begrenzt.

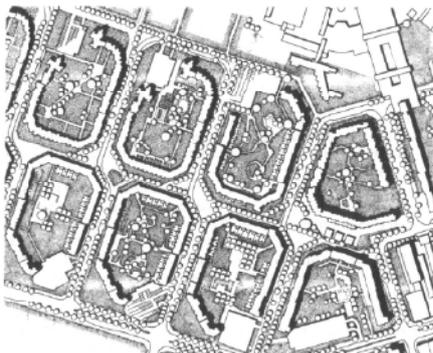


Abb. 2-20 Hofbildung in Hamburg-Steilshoop, 1968.

Aus ALBERS [1], S. 235

Parametersystem:

- Wohnung als kleinste Einheit, von der alle anderen Elemente der Stadt abgeleitet werden.
- Funktionstrennung: Wohnen, Arbeiten, Erholung, Verkehr.
- Gemeinschaftseinrichtungen als zentrale Bauten.
- Kombination in Zeilen mit jeweils zugeordneter Grünfläche, umgeben von öffentlichem Grün.
- Komposition in größeren Einheiten, umgeben von großzügigen Parkflächen.
- Differenzierung der Erschließung in Wohn- und Fahrstraßen.

2.1.4 Die heutige Situation – Stadtplanung nach 1945

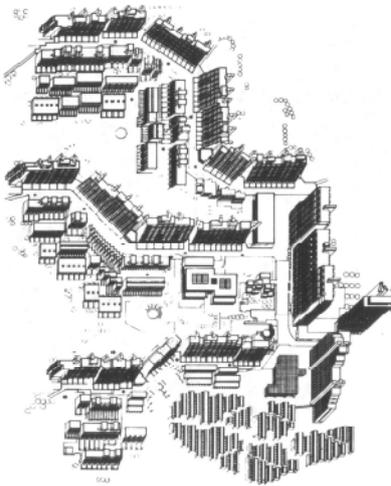


Abb. 2-21 Terrassenartige Gruppierung im Olympischen Dorf, München, 1968.

Aus ALBERS [1], S. 234

„Die moderne Architektur entstand als Programm zur Überwindung der in den „post-liberalen“ Städten herrschenden sozialen Diskriminierung und sah es als ihre Aufgabe an, alle Einwohner in den Genuss der Vorteile und Annehmlichkeiten einer auf wissenschaftlicher Grundlage gestalteten Umwelt kommen zu lassen. Ihre Vorschläge sind nur teilweise und mit Verspätung realisiert worden, weil sie nur gegen den Widerstand der die „post-liberale“ Städte beherrschenden Interessen und Institutionen durchgesetzt werden konnten.“

Aus BENEVOLO [12], S. 1057

Die Entwicklung des Städtebaus nach dem 2. Weltkrieg ist geprägt von der Umsetzung der Konzepte der Vorkriegsmoderne und der daraus gewonnenen Erkenntnisse, welche aus verschiedenen Gründen schließlich zu einer Kritik der modernen Ideen und einer Rückwendung zum Stadtgefüge des 19. Jahrhunderts führten. Die sehr unterschiedlichen Konzeptionen, die sich seit den 60er Jahren entwickelt haben, können hier nur allgemein angedeutet werden, um einige wesentlichen Probleme und Lösungsversuche darzustellen, die im Kontext der Suche nach aussagekräftigen Parametern wichtig erschienen (Abb. 2-21 bis Abb. 2-26).

Eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung moderner städteplanerischer Ideen spielte die Tatsache, dass nach dem Krieg ein enormer Bedarf an Wohnraum bestand, welcher durch öffentliche Bauprojekte gedeckt werden sollte. So konnten Großprojekte entstehen, die den Planern die Möglichkeit boten, ihre theoretischen Modelle in der Wirklichkeit zu überprüfen.

In Deutschland war eine entscheidende Einrichtung die ‚neue Heimat‘ und andere Wohnungsbaugesellschaften. In England wurden nach dem Krieg ganze Städte neu angelegt und konnten als ‚Versuchs-Laboratorien‘ genutzt werden. Dennoch waren Planungen nach modernen städtebaulichen Kriterien die Ausnahme und ein Großteil der Kriegszerstörungen wurden nach den alten Strukturen rekonstruiert und technisch auf den neuesten Stand gebracht.

In den sechziger Jahren war die Zeit der städtebaulichen Utopien, der Träume von städtebaulichen Großstrukturen und von neuen Verkehrseinrichtungen sowie die Zeit der

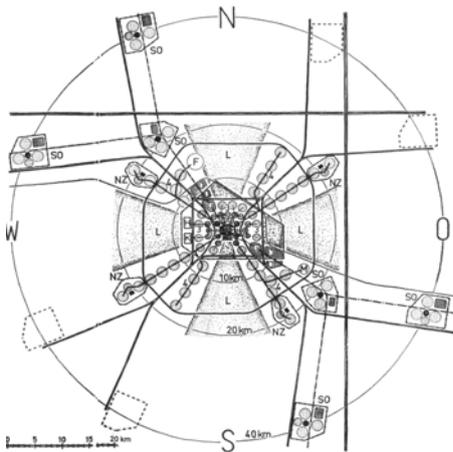


Abb. 2-22 Regionalstadtmodell nach Hillebrecht, 1962

Aus ALBERS [1], S. 216

Verwirklichung von großmaßstäblichen ‚integrierten Zentren‘, also Gebäudekomplexen, in denen sich über mehrgeschossige Garagen umfangreiche Geschäftsbereiche in mehreren Ebenen erstreckten, die ihrerseits wiederum von Wohnhochhäusern überragt wurden.

Zu Beginn der siebziger Jahre veränderten sich die Bedingungen durch den ‚Ölschock‘ und die Einsicht in die ‚Grenzen des Wachstums‘ und der Unzufriedenheit mit dem, was nun als Monotonie und Ideenlosigkeit der modernen Architektur erschien. So wurden zu dieser Zeit die Großprojekte aufgegeben oder umgeformt: kleine Schritte, Umkehrbarkeit, Flexibilität wurden zu Schlagworten der späten siebziger Jahre.

Heute lässt sich keine allumfassende Planungstheorie mehr konstruieren, welche die vielfältigen Probleme und Widersprüche aufnehmen könnte; so ist einerseits eine Art evolutionäre Entwicklung unterschiedlicher Modelle zu beobachten, wobei sich einige eine Zeit lang behaupten können, um schließlich von weiterentwickelten Methoden abgelöst zu werden, und andererseits eine nostalgisch verklärte Rückwendung zu historischen Stadtmodellen, deren Nachteile entweder nicht berücksichtigt, oder mittels moderner Technik als lösbar erklärt werden.

Im Folgenden sind einige Textausschnitte aus dem Buch ‚Stadtplanung‘ von Gerd Albers [1], S. 51ff zitiert, die einen Überblick über weitere Eckpunkte der Stadtentwicklung nach 1945 geben sollen:

„In den fünfziger Jahren verschob sich dann das Interesse der Planer zu Fragen der Versorgung mit öffentlichen Einrichtungen und deren Standort im Stadtgefüge; um diese

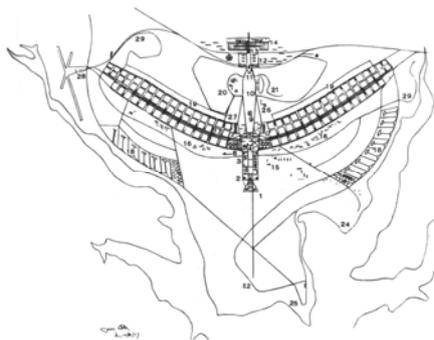


Abb. 2-23 Gesamtplan von Brasilia, 1958.

Aus ALBERS [1], S. 215

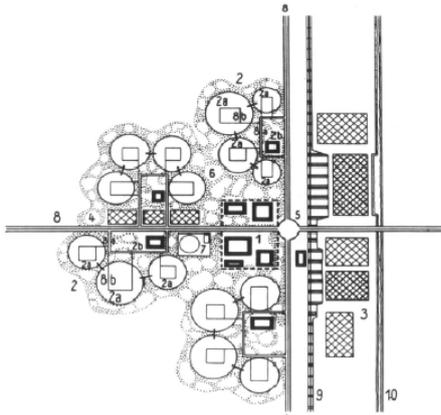


Abb. 2-24 Gliederungskonzept der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“

Nach Göderitz, Rainer, Hoffmann, 1957,
aus ALBERS [1], S. 213

Zeit begann die Vorstellung eines hierarchisch gestuften Zentrumsystems – vom Großstadtkern bis zum Nachbarschaftszentrum – eine beherrschende Rolle zu spielen.

Alle solche Überlegungen nun wurden zu Beginn der sechziger Jahre überlagert und in den Schatten gestellt durch die unüberhörbare Kritik an der Stadtplanung und an denjenigen Ausprägungen von Stadt, die unter dem Einfluss planerischer Leitideen in den letzten Jahrzehnten zustande gekommen waren. Die Kritik kam zunächst von außen. Der Soziologe Bahrdt fand, dass die Vorstellung der Architekten und Stadtplaner vom Wesen der Stadt durch einen „Nebel der Vorurteile“ verunklärt seien.

Dies führte in eine Situation, in der sich nach dem Stolz auf die quantitativ beachtliche Aufbauleistung der Nachkriegszeit eine gewisse Ernüchterung hinsichtlich ihrer Qualität ausgebreitet hatte. Hinzu kam aber noch ein ganz neues Moment: mit den sauberen, lockeren, durchgrüntem Siedlungen hatte sich das städtische Leben verändert, und man begann der Vielfalt und Lebendigkeit der dicht bebauten Mietskasernenstadt, der Eckkneipen und der geschlossenen Straßenzüge nachzutrauern – vielleicht auch deshalb, weil man inzwischen von ihrer Kehrseite, den lichtlosen Hinterhöfe und dem sozialen Elend, zeitlich hinreichend abgerückt war. Da man gern nach einfachen Lösungen und nach leicht dingfest zu machenden Sündenböcken sucht, lastete man der Stadtplanung diese Entwicklung an – und hatte damit natürlich sogleich das Gegenrezept: statt Gliederung und Auflockerung nunmehr Verflechtung und Verdichtung: ein Rezept, von dem man sich die Wiedergewinnung eines vermeintlich in Verlust geratenen städtischen Lebens erhoffte. Hierfür fand sich auch bald mit dem Begriff der „Urbanität“ eine zwar unscharfe, aber vielleicht gerade deshalb um so begieriger aufgegriffene Bezeich-

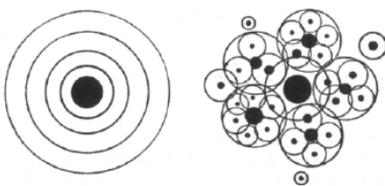


Abb. 2-25 Konzentrisches und dezentrales Stadtsystem nach Bardet, 1945.

Aus ALBERS [1], S. 210

nung; in ihrem Namen wurde jetzt die Abkehr von den bisherigen, nunmehr als ‚stadtfeindlich‘ kritisierten und dem verderblichen Einfluss der Charta von Athen zugeschriebenen Planungskonzeptionen propagiert.

Ein weiterer Kritikpunkt war die ungehemmte Ausdehnung des freistehenden Einfamilienhauses in den Randlagen der Städte und in ländlichen Orten – vor allem im Einzugsgebiet von Großstädten –, eine Entwicklung, die einerseits als Flächenvergeudung, andererseits als ästhetisch höchst unbefriedigend empfunden wurde. Der gleichzeitig propagierte Begriff der ‚Verflechtung‘ löste zwar ebenso viel Faszination aus, weil man sich von der Mischung der Funktionen ein vielfältiges städtisches Leben ‚rund um die Uhr‘ versprach – im Gegensatz zur beklagten Langeweile der Wohngebiete tagsüber und der ‚Verödung‘ der Innenstädte nach Geschäftsschluss.

Hier erwies sich die Verwirklichung allerdings als weitaus schwieriger, denn die ökonomischen Mechanismen, welche die Verdichtung unterstützt hatten, wirkten einer Verflechtung eher entgegen – ganz abgesehen von der Tatsache, dass eine solche interessante Mischung niemals die ganze Stadt überziehen, sondern sich immer nur auf eng begrenzte Zonen erstrecken kann, weil Anzahl und Flächenbedarf von publikumsanziehenden Institutionen begrenzt sind. Das Bekenntnis zur Mischung der Funktionen wird zwar immer noch erwartet; in der Wirklichkeit allerdings kollidiert es zu häufig mit anderen Belangen, als dass man daraus ein Dogma machen könnte.“

ALBERS [1] S. 51ff

Weitere Abstraktion als Vorbereitung für das Modellsystem:

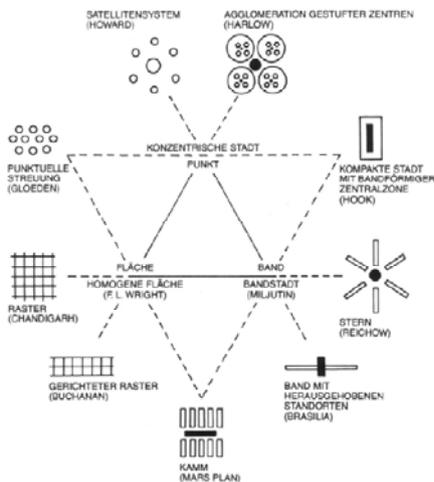


Abb. 2-26 Typologie der Strukturmodelle.

Aus ALBERS [1], S. 217

Aus den vielschichtigen Entwicklungen seit dem 2. Weltkrieg werden hier lediglich einige Punkte herausgegriffen: Die Großprojekte der 60er Jahre konnten durch öffentliches Engagement entwickelt werden, da die Verwaltungen über große Flächen verfügt, wodurch es möglich war, einheitliche Planungen umzusetzen, ohne auf Besitzrechte Rücksicht nehmen zu müssen. Es war somit nicht nötig, sich an den Parzellengrößen zu orientieren.

Die Verkehrswege wurden nach ihren Funktionen getrennt voneinander angelegt und zum Teil auf verschiedenen Ebenen organisiert:

- Der öffentliche Personen-Nahverkehr wurde zumindest im Bereich der Innenstädte unterirdisch konzipiert.
- Die Straßen für den Automobilverkehr mit den zugehörigen Stellflächen wurden ebenerdig abgewickelt
- Die Wege für die Fußgänger und Fahrradfahrer befanden sich eine Ebene erhöht, abgehoben vom motorisierten Verkehr. Dadurch verlor das Erdgeschoss seine bisherige Funktion als Raum für das städtische Leben und wurde mehr zu einer Abstell- und Nebenfläche.

Zugrundeliegendes Parametersystem:

- Großstrukturen sind aus einzelnen Elementen zusammengesetzt.
- Die Wohnung ist nach dem Vorbild der Moderne die Maßstabseinheit.
- Es gibt mehrere nach ihren Funktionen getrennte Verkehrssysteme auf unterschiedlichen Ebenen.
- Ab den 70er Jahren war schließlich eine Rückbesinnung auf die Stadt des 19. Jahrhunderts wesentlich, mit ihren dicht bebauten Blocks und einer belebenden Funktionsmischung.

2.2 Potential und Risiken von Simulationen

In dieser Arbeit werden häufig Simulationstechniken verwendet, die das Verhalten komplexer Systeme zu erfassen und nachzubilden versuchen. Abschließend soll näher auf diese Methoden eingegangen werden. Man mag sich fragen, wozu der Aufwand betrieben wird, eine computergenerierte Entwurfsumgebung zu erarbeiten, um die Entwicklung von Stadtstrukturen zu simulieren, wenn die Ergebnisse solcher Simulationen einfach in Natura zu beobachten sind. Dazu möchte ich folgende, allgemeingültige Gedanken anführen, die teilweise über den konkreten Bezug zu dieser Arbeit hinausgehen.

2.2.1 Vorteile der Anwendung von Simulationssoftware

Kostensparnis

Ein gutes Beispiel sind die Crash-Tests, die Automobilhersteller durchführen lassen. Da es sehr teuer und wenig umweltfreundlich ist, nach jedem Test einen Prototypen mit Sensoren und Dummies als Totalschaden bezahlen und entsorgen zu müssen, benutzen die Entwickler heute meist Simulationssoftware. Ebenso kann man sich vorstellen, eventuell auftretende Probleme bei der Planung einer Siedlung in der Simulation zu erkennen und vorzeitig einzugreifen.

Einfache Analyse von komplexen Beziehungen

Die Ausgangsparameter eines Softwareprogramms sind leicht und schnell beliebig zu verändern, so kann man spielerisch komplexe Beziehungen zwischen den Parametern erkunden.

Allgemeine Verwendbarkeit

Nachdem Modell und Software für die Simulation erstellt wurden, kann man das Programm einfach verändern. Man hat damit die Möglichkeit, mit demselben Programm die Entwicklung unterschiedlicher Siedlungsstrukturen zu untersuchen und beliebige Alternativen zu erstellen.

Minimierung der Planungsrisiken

Funktionale und technische Zusammenhänge können vorher getestet, und somit die Planung bestimmter öffentlicher Einrichtungen (Über- oder Unterversorgung) oder verkehrstechnischer Anlagen (Stau, Rationalität des Wegesystems) überprüft werden, bevor es überhaupt zu Unstimmigkeiten kommen kann.

Beschleunigung der Planungsabläufe

Oft ist es sehr aufwendig und zeitintensiv, echte Modelle zu bauen und diese dann unter Belastung zu testen, wie beispielsweise der Entwurf eines Tragwerks. Wenn eine Softwareumgebung existiert, kann erstens in kürzester Zeit ein Tragwerk eingegeben und simuliert werden. Zweitens existieren danach auch schon die genauen Daten für die Werk- und Konstruktionspläne.

Lösung von komplexen Problemen

Die genannten Vorteile in der Anwendung von Simulationen lassen sich auf ein Hauptargument bündeln: Man kann mithilfe einer Simulationssoftware mit vergleichsweise geringen Kosten optimierte Lösungen für nahezu jedes komplexe Problem finden.

2.2.2 Nachteile der Anwendung von Simulationssoftware

Fehlerhaftes mathematisches Modell

Es können Einflussparameter vergessen oder unrichtig mit der Fragestellung in Beziehung gesetzt worden sein, oder es können sich Fehler einfach eingeschlichen haben. Dieses fehlerhafte mathematische Modell kann sowohl vom Hersteller der Software als auch vom User übersehen werden, und so werden falsche Simulationsergebnisse als Grundlage für die Planung herangezogen.

Reduktion der Einflussparameter

Damit man komplexe Fragestellungen untersuchen kann, müssen die Einflussparameter in aller Regel reduziert werden. Durch diese Abstraktion des Kontextes sollten zwar nur die weniger wichtigen Einflussparameter wegfallen, aber das sind meist sehr viele.

Auswertungsfehler

Simulationen können trotz richtiger Ergebnisse unrichtig ausgewertet und gedeutet werden.

Rest- und Rundungsfehler

Binäre Systeme arbeiten immer mit endlichen Dezimalstellen, damit entstehen immer automatisch Rundungsfehler. Bei bestimmten mathematischen Operationen werden diese Fehler sehr groß, man läuft in Gefahr, sie zu übersehen.

2.2.3 Simulationsstrategien

Der Kern jeder Simulation ist der Algorithmus, worunter man eine Folge von eindeutig bestimmten Anweisungen versteht, mit deren Hilfe aus gegebenen Anfangswerten ein Ergebnis berechnet werden kann. Die Schwierigkeit besteht darin, den richtigen Algorithmus zur Lösung eines Problems zu finden. Man kennt dazu zwei Strategien:

Experimentelle Strategie

- Erstellung einer Theorie des untersuchten Zusammenhanges
- Nichtformale Programmierung dieser Theorie
- Auswertung des Simulationsergebnisses mit den realen Beobachtungen des untersuchten Zusammenhanges
- Die Anpassung der Theorie und/oder der Programmierung an diese Auswertung.
- Die Wiederholung dieser Tests solange, bis die Simulationsergebnisse mit den Beobachtungen übereinstimmen.

Rechnerische Strategie

- Physikalische Zusammenhänge feststellen
- Formale Programmierung der physikalischen Zusammenhänge
- Auswertung des Simulationsergebnisses mit den realen Beobachtungen des untersuchten Zusammenhanges
- Anpassung der Programmierung an diese Auswertung
- Wiederholung dieser Tests solange, bis die Simulationsergebnisse mit den Beobachtungen übereinstimmen.

Für das in dieser Arbeit beschriebene Vorgehen, welches eng in Verbindung zur lebendigen Natur steht, eignet sich der experimentelle Weg wesentlich besser, da das Sammeln von physikalischen Daten auf diesem Gebiet sehr zeitraubend wäre. Der experimentelle Weg ist weniger aufwändig und liefert im Allgemeinen recht brauchbare Ergebnisse. Dieser Weg birgt jedoch ein großes Fehlerrisiko in sich: Die Ausgabe kann sehr genau mit der Wirklichkeit übereinstimmen, aber der Konstruktionsweg kann trotzdem gänzlich falsch sein. Es darf nicht nur das bloße Endergebnis der Simulation interessieren, sondern insbesondere muss der Faktor Zeit, das heißt der Konstruktionsablauf, berücksichtigt werden.

Dazu wird der Begriff der Konstruktionstopologie eingeführt, der den logisch korrekten Ablauf einer Simulation bezeichnet. Bei der Simulation eines Hauses sollte das Programm mit der Generierung des Erdgeschosses beginnen, davon sollte sich die Dachkonstruktion ableiten und nicht umgekehrt – bei einer Siedlung beginnt man beispielsweise mit dem Wegesystem, und nicht mit der Straßenbeleuchtung. Ein adäquates Beispiel bei der Simulation natürlicher Prozesse ist die Generierung eines verzweigten Systems, abgebildet auf einer zweidimensionalen Ebene.

Wenn es sich von einer Linie ausgehend verästelt, so entspricht es der Konstruktionstopologie eines Baumes. Verbindet es dagegen verschiedene Linien zu einem Strang, beschreibt es die Entstehung eines Flusses aus einzelnen Quellen. Die Ergebnisse können am Ende identisch aussehen, unterscheiden sich aber dennoch wesentlich in ihrer Konstruktionstopologie.

2.3 Einflussgrößen und Randparameter des Systems

In der folgenden Aufstellung wurde versucht, die wesentlichen Einflüsse auf den Planungsprozess darzustellen und in Kategorien zu gliedern. Dies soll eine Beurteilung ermöglichen, in welchen Bereichen man sich mit der Konzeption der computergenerierten Entwurfsumgebung befindet, welche Punkte außer acht gelassen wurden und welche Einflüsse sich eventuell einer sinnvollen Simulation entziehen müssen. Im weiteren Verlauf wird gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, in die entwickelte Entwurfsumgebung alle im Folgenden aufgezählten Punkte zu integrieren. Eine zentrale Schwierigkeit stellt allerdings die Formalisierung komplexer Systeme wie sozialer, kultureller und politischer Prozesse dar. Die Fehler, die dabei auftreten können, sind im vorigen Kapitel beschrieben.

Beschreibung der Randparameter für ein allgemeines Planungssystem:

Modelle der Flächenbesetzung

- Additiv
- Dividierend
- Subtrahierend

Struktureigenschaften

- Raster- oder Parzellenbebauung
- Zeilenbebauung
- freistehende Gebäude
- Cluster

Erschließungsarten

1. Ebene Verkehrsstraßen

- Baumstruktur mit Sackgassen
- Halbverband
(teilweise Raster und Verästelungen)
- Straßenraster
(mit möglichen Störelementen wie Diagonalen)

2. Ebene Grundstückerschließung

- Wohnblock (Spännertypen); von Straße oder Innenhof
- Zeilen (Spännertypen von Straße, Reihenhäuser Einzellerschließung)
- Sekundäres Wegesystem für fußläufige Erschließung
- Einzellerschließung bei freistehenden Gebäuden
- Interne Erschließung über Laubengänge, innenliegende Gänge

Berücksichtigung der topologischen Gegebenheiten

- Gelände- und Baugrundbeschaffenheit des Grundstücks
- Besonderheiten des Grundstücks (vorhandene Elemente, Ausrichtung usw.)
- Kontext (benachbarte Bebauung; Grundstücksrand im Allgemeinen)
- Kontext des städtebaulichen Gefüges

Definition der Elemente zur Bebauung

- Nutzung (was müssen die Einheiten in Bezug auf Ihre Nutzung leisten können?)
- Funktion (wie müssen die Einheiten in Bezug auf Ihre Funktion beschaffen sein?)
- Kombination (es müssen Einheiten sein, die frei miteinander kombiniert werden können)
- Bauelemente (es muss die Kombination mehrerer Bausteine möglich sein)
- Interne Erschließung
- Schnittstelle zum übergeordneten Erschließungssystem

Funktionale Zusammenhänge

- Parzellierung
- Flächennutzung
- Abstandsflächen
- Belichtung
- GFZ – GRZ; Verdichtung oder Auflockerung
- Nutzungsinteraktion (welche Nutzung ist von welcher abhängig)

Technische Zusammenhänge

- Allgemeiner Fortschritt (Elektrizität, Computer ...)
- Infrastruktur (Wasser-Abwassererschließung bis Telekommunikation)
- Konstruktion, Spannweiten, Stützen
- Verkehrsmittel (Eisenbahn, Auto, ÖPNV)

Wirtschaftlichkeit

- Parzellengröße /Generalübernehmerprojekte
- Feststellung über GFZ und GRZ
- Bautypologie verbunden mit Erschließungssystem
- Elementbauweise und Vorfertigung

Partizipatorische Planung

- Nutzerbeteiligung an der Planung
- Bürgerbeteiligung über schnell herstellbare Alternativen unter veränderten Planungsbedingungen
- dadurch Kompromissfindung politischer Lager

Individueller Einfluss

- künstlerische Konzepte
- formale Vorlieben des Architekten
- kulturelle Bedingungen, Moden, etc.
- beliebig definierbare Parameter zur Einflussnahme auf die entstehende Struktur (z.B. Diagramme zu Angsträumen in einer Stadt)

Exogene Einflüsse

- globale, kapitalistische Entwicklungen
bzw. politische Entscheidungen von Konzernen
- Politische/Wirtschaftliche Bestrebungen
und Regierungspolitik
- Bevölkerungsmigration

3 Stand der Forschung

3.1 Wissenschaftliche Vorarbeiten

Der Vorläufer aller Modelle von städtischen Entwicklungen ist das Community Land Use Game CLUG (FELDT [33]), in der eine Gruppe von Spielern auf einer gekachelten Karte einen Flächennutzungsplan entwickelt (COATES et al [21]). Die beste bekannte Überführung dieser Idee in ein Computerspiel ist Will Wright's SimCity, welches illustriert, wie die Weiterentwicklung der Computer immer komplexere urbane Modellsysteme möglich macht.

Die meisten publizierten Modelle von urbanen Strukturen basieren auf einer Maßstabebene die nicht bis zum Maßstab von Architektur und architektonischen Räumen reicht. Die Mehrzahl der Modelle kommt von einem ökonomischen oder geographischen Blickwinkel und behauptet, dass die städtischen Strukturen Ergebnis einer komplexen Wechselbeziehung von individuellen, ökologischen und ökonomischen Beziehungen sind.

Als eine der grundlegendsten und wichtigsten Beiträge zu einer generativen Theorie von architektonischen Räumen können wir Bill Hillier's „alpha syntax model of space“ betrachten (HILLIER et al, [47]), weiterentwickelt in “The social logic of space” (HILLIER und HANSON, [44], S. 52-81), in welchem morphologische Ergebnisse einer Auswahl an einfachen Regeln (syntaxes) erforscht wurden, um einfache Grammatiken von Form zur Entwicklung von Agglomerationen von Gebäuden abzuleiten.

Andere relevante Arbeiten sind “The geometry of environment” (MARCH und STEADMAN, [60]), in der die

Effekte der Geometrie auf räumliche Konfigurationen untersucht wurden. Auf der Maßstabebene von Einzelhäusern muss man die Arbeiten von MITCHELL [62], wie auch STINY und GIPS [76] erwähnen, in denen unter dem Oberbegriff "Shape Grammar" Erkundungen zur Kombination von architektonischen Elementen gemacht wurden. Weiter sind für die vorliegende Arbeit die Forschungen von WATANABE [78], COATES et al [21], die Forschungen des DFG-Sonderforschungsbereiches SFB 230 (TEICHMANN und WILKE, [77]) und die Beiträge von SCHAUR [72] über ungeplante Siedlungen als wichtig zu erwähnen.

3.2 Erläuterung parametrisierter Entwurfsmodelle

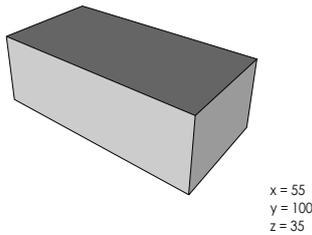


Abb. 3-1 Quader mit Parametern

Der parametrische Entwurf in der Architektur ist ein Verfahren der Formalisierung kontextueller Parameter einer natürlichen Logik des Bauens

Beginnen wir mit dem einfachen Beispiel eines parametrischen Objektes. Darunter kann man z.B. einen Würfel verstehen, dessen Eigenschaften wie Länge, Höhe und Breite einzelne Parameter darstellen, die die Gestalt eines Quaders definieren. In gängigen 3D-Programmen wird ein solcher Würfel über die Angabe der entsprechenden Parameter erzeugt, und es kann nachträglich jederzeit auf diese Werte zugegriffen werden, um den Würfel zu verändern.

Die Erzeugung eines solchen Würfels stellt einen sehr einfachen parametrischen Entwurf dar. Die Parametrisierung von Objekteigenschaften, wie z.B. deren Maße, ist also eine grundlegende Operation beim parametrischen Entwerfen und in dieser simplen Ausprägung häufig zu finden, wobei sich daraus noch keine besonderen Vorteile für den Entwurfsprozess erkennen lassen. Der Vorteil liegt lediglich in der bequemen Anpassung eines digitalen Gebäudemodells bei nachträglichen Änderungen, beispielsweise der Brüstungshöhe eines Fensters.

Der nächste Schritt, um einen möglichen Gewinn für den architektonischen Entwurf zu erreichen, ist die Verknüpfung der einzelnen Parameter untereinander, wodurch sich ein sog. intelligentes digitales Gebäudemodell ergibt. Beispiele hierfür wären, dass der Computer die Fenstergrößen an die Belichtungsanforderungen eines Raumes anpasst, oder die korrekte Position einer Türe kontrolliert. Nützlich sind derlei Verfahren des Weiteren für die technische Gebäudeplanung, da sich z.B. die Installationsleitungen der

Gebäudestruktur anpassen können. Für den am Entwurf orientierten Architekten werden die computerunterstützten Modelle allerdings erst interessant, sobald die Parameter eines Objektes mit den Bedingungen der Umgebung verknüpft werden.

Diese Verhältnisse stehen im Allgemein dafür, wie man mit der Umwelt interagiert, also für die Wechselwirkungen der Menschen untereinander und für die mit der sie umgebenden Welt.

3.2.1 Beispielprojekte



Abb. 3-2 Nike – personalise your shoe, August 2004

www.nike.com

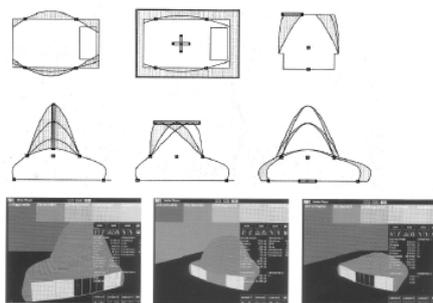


Abb. 3-3 Variomatic House, Kas Oosterhuis.

Aus www.oosterhuis.nl

Nike - personalize your shoe

Diese Überlegungen führen zu jenen Entwicklungen, die sich mit der parametrischen Anpassung vorgefertigter Lösungen an individuelle Bedürfnisse befassen. Die Grundidee kann sehr gut mit dem ‚personalize your shoe‘ Konzept der Firma Nike illustriert werden:

Das Konzept besteht darin, durch die Kombination einer vorgegebenen Anzahl von Parametern verschiedene Alternativen und damit einen differenzierteren Artikel zu erhalten, der allerdings immer noch in einen Prozess der Massenproduktion eingebunden ist (vgl. Mass Customization oder individuelle Massenproduktion).

Variomatic House

(<http://www.oosterhuis.nl/variomatic/>)

Ein entsprechendes architektonisches Projekt findet man in dem ‚variomatic house‘ von Kas Oosterhuis wieder. Dabei können die Gebäudemaße über Steuerpunkte eingestellt werden.

Embryological House

<http://www.glform.com/>

„You can have young ones, egg-like ones that haven't been mutated much, but when these things get adult - in other words, after they've been designed and customized for their context, the client, the whims of the architect, whatever they mutate into full-blown monsters.“

Greg Lynn, www.glform.com

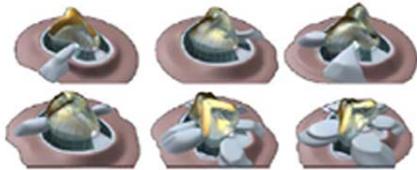


Abb. 3-4 Embryological House, Greg Lynn, www.glform.com

Greg Lynn arbeitet bei seinem Projekt ‚embryologic house‘ auf Grundlage desselben Prinzips der parametrischen Anpassung bestimmter Werte, die in diesem Fall untereinander und mit den Bedürfnissen der Nutzer zu einem komplexen System von Abhängigkeiten verknüpft sind. Dabei wird der Ausgangsplan eines Hauses, welcher als ‚Samen‘ oder ‚Ei‘ bezeichnet wird, mit bestimmten Parametern versehen und dadurch einer Anpassung an unterschiedliche Gegebenheiten zugänglich gemacht. Beispielsweise könnte das Schlafzimmer vergrößert werden, wenn sich die zukünftigen Bewohner häufig darin aufhalten werden. Greg Lynn verwendet in diesem Kontext auch den Begriff der Mutation, wobei er damit lediglich die Anpassung der ‚seed‘, der ‚Saat‘ eines Planes (welche mit der Veränderung der Werte eines vordefinierten Ausgangswürfels verglichen werden kann), an die Anforderungen der Nutzer und die Umgebung des Gebäudes umschreibt.

3.3 Analyse computergenerierter Entwurfsprojekte

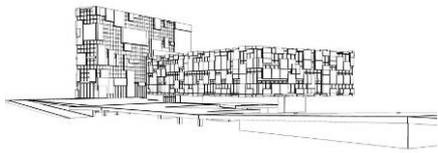


Abb. 3-5 Fassadenprojekt München,
König-Bauriedel, Peter Haimerl

Bei den vorher vorgestellten Arbeiten liegt der Reiz vorwiegend in der formalen Ausführung und der Verbindung mit neuen maschinellen Fertigungstechniken, welche als wichtiger Teil des Feldes computerbasierter Entwurfs- und Fertigungsmethoden gesehen werden müssen. Man sieht an diesen Beispielen die Grenze der Möglichkeiten dessen, was hier unter parametrischem Entwerfen verstanden wird. Weiterreichende Konzeptionen sollen im Folgenden unter dem Begriff des computergenerierten Entwerfens zusammenfasst werden.

Diese Verfahren werden zwar über Parameter gesteuert, unterscheiden sich aber von den oben angeführten Beispielen insofern, als sie relativ eigenständige, nicht vorher definierte Ergebnisse erzeugen können. Der Unterschied zu computerunterstützten Entwurfshilfsmitteln ist, dass der Entwerfer den Computer wesentlich weitreichender benutzt, als dies beim klassischen CAD – Computer Aided Design - der Fall ist, wo die Programmfunktionen lediglich die Entwurfsdarstellung, nicht aber die Ideenfindung unterstützen.

3.3.1 Entwurfsgenerator

primäre Beziehungen	Kongressgebäude	Vortragsgebäude	Museum	Verwaltung	Lounge	Mensa	Internet Café	Küche	Schulung	Forschung	Appartments	Firmen	technischer Betrieb	Service	mobile Einheiten	Ganghoferstrasse	Tiefgarage	Feuerwerk	IG Feuerwache	Zulieferung RG	Aussicht West	
Kongressgebäude	80	20	40	70	60	40																10
Vortragsgebäude	80										85											15
Museum	20			20	80																	35
Verwaltung	40	20																				25
Lounge	70	80				80	70															30
Mensa	60			80	70	95																30
Internet Café	40			70	70													65	45	35		15
Küche				95									20									95
Schulung									50	30							60					15
Forschung	30	85							50	25	65											30
Appartments																		75				70
Firmen										30	65											25
technischer Betrieb												30	65									30
Service				20						75	30											50
mobile Einheiten																						
Ganghoferstrasse	70	70	65			65	60															
Tiefgarage	90	75	65																			
Feuerwerk	20	30																45				
IG Feuerwache																			35			
Zulieferung RG	35								95		25	75	50									
Aussicht West	10	15	20	25	30	30	15			15	30	70	30	30								

Abb. 3-6 Tabelle: primäre Beziehungen, aus Entwurfsgenerator König / Bauriedel

www.entwurforschung.de

Der „Entwurfsgenerator“, der von Reinhard König und mir im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule München im Winter 2002 entwickelt wurde, nimmt eine Sonderstellung unter den betrachteten Beispielen ein, da dieses Projekt auf der Auseinandersetzung mit uns zur damaligen Zeit bereits bekannten Projekten beruht. In dieser Arbeit sind viele Modelle konzeptionell integriert worden, wodurch sie sich als charakteristisches Projekt für eine umfangliche Kritik anbietet.

Die zentrale Fragestellung lautete: Wie kann der Computer zur Lösung komplexer Probleme innerhalb des architektonischen Entwurfes beitragen?

Es wurde ein computergestütztes Konzept entwickelt, welches über Abfragen formaler Strukturen vielfältige Lösungen auf der Grundlage von Raumbeziehungen erzeugt. Die Ergebnisse werden dann in einem genetisch-evolutionären Prozess, geleitet durch die Diskussion eines interdisziplinären Bewertungsteams, zu einer Lösung mit den kontextuell am besten angepassten, positiven Eigenschaften entwickelt, und am Beispiel der Medien-Werk-Stadt, einem Zentrum für neue Medien, das die Stadt München an der Ganghoferstrasse vorgesehen hat, exemplarisch erprobt. In diesem Sinne wurden Kompositionsprogramme der Neuen Musik, im Speziellen von Iannis Xenakis untersucht, um deren, auf stochastischen Wahrscheinlichkeitsfeldern beruhende Prinzipien auf architektonische Anwendungen zu übertragen. Durch die Kreuzung und Mutation der Datensätze werden evolutionäre Lösungen auf unterschiedlichen Ebenen generiert. Die entwickelte Entwurfsumgebung vereinfacht das Organisieren eines Gebäudekomplexes durch Erzeugung

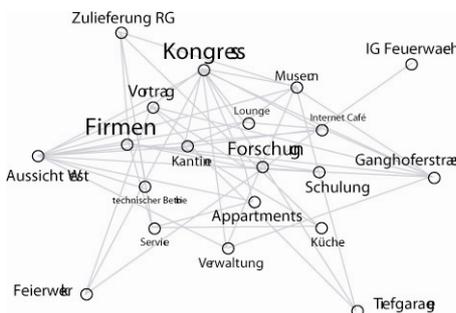


Abb. 3-7 Diagramm primäre Beziehungen, aus Entwurfsgenerator König / Bauriedel

www.entwurforschung.de

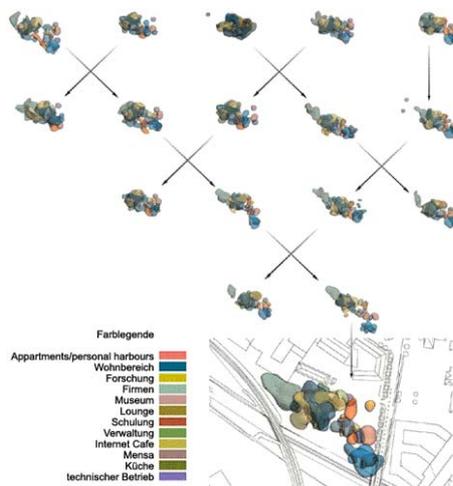


Abb. 3-8 Evolutionäre Entwicklung, aus Entwurfsgenerator König / Bauriedel

www.entwurforschung.de

vielfältiger Variationen funktioneller Beziehungen und vererbter Eigenschaften.

Dadurch kann der Planer von der Lösung einengender mathematischer Aufgaben entlastet werden, wodurch das Tätigkeitsfeld des Entwerfenden hin zu umfassenderen Reflexionen verlagert wird, bei denen kreative, semantische, nichtmaterielle, gesellschaftliche Einflussfelder im Vordergrund stehen können. Ein Problem, welches in der anfänglichen Problem-Formalisierung angelegt ist, stellt das determinierte Beziehungsgefüge dar. Dies ist notwendig, um die subjektiv gewählten Gewichtungen vornehmen zu können, die wiederum das Datengrundgerüst für spätere Variationen und Mutationen darstellen.

Dadurch bleiben Beziehungen auch dann noch festgelegte Verknüpfungen im strukturellen Gefüge, wenn sie den Wert 0 erhalten und somit keine Relevanz mehr besitzen. Die Möglichkeit, auf diese Weise alle Elemente mit allen anderen zu verknüpfen, lässt die Komplexität des Systems exponentiell anwachsen, wodurch aber die Nachvollziehbarkeit der generierten Ergebnisse abnimmt, da die Auswirkungen des Vielteilchenproblems um entsprechende Dimensionen zunehmen. Ferner kann durch diese Verbesserung nicht das eigentliche Problem umgangen werden, dass das System nicht in der Lage ist, seine Beziehungen dynamisch den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen, da die notwendigen Mechanismen der Selbstanalyse fehlen, die eine fortwährende Überprüfung des Systemzustandes und eine daraus folgende Reaktion der Elemente, welche wiederum die Relationen beeinflussen müssten, ermöglichen könnten. Wünschenswert wäre demnach eine Struktur, die sich dynamisch anpasst und über Selbstorganisationsregeln erzeugt wird.

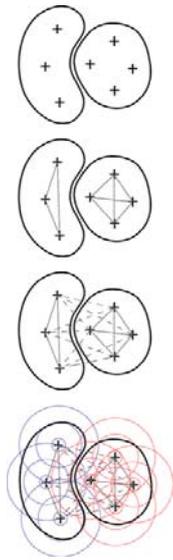


Abb. 3-9 Implementierungskonzept, aus
Entwurfsgenerator König / Bauriedel

www.entwurfsforschung.de

Unter diesem Gesichtspunkt kann auch auf die mangelhafte Fähigkeit des Systems hingewiesen werden, sich auf kontextuelle Bedingungen einstellen zu können, die ebenfalls lediglich als festgelegte Abhängigkeiten zu Beginn implementiert werden können. Hier fehlt eine offene Schnittstelle, die es erlaubt, Einflussgrößen im Laufe des Entwurfsprozesses zu implementieren, die anfänglich nicht bekannt waren oder vernachlässigbar erschienen.

Eine solche Fähigkeit des Programms würde darüber hinaus eine experimentellere Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Parametern und deren Werten, gesteuert über ein interaktives Interface, ermöglichen. Eine weitere Schwierigkeit offenbart sich bei dem Optimierungskonzept über die so genannten Mutationen oder Kreuzungen der repräsentierenden Datensätze. Aufgrund des Umstandes, dass sich das gesamte System sehr instabil verhält und bereits bei einer geringen, singulären Parameteränderung ein signifikant differentes Ergebnis mit völlig anderen Qualitäten liefern kann, ist abzusehen, dass eine gezielte Optimierung über Zwischenergebnisse nicht möglich sein wird.

Eine stetige ‚Festsetzung‘ bestimmter Elemente ließe sich wegen der vielfachen Verknüpfungen und deren Relevanz innerhalb des Systems ebenfalls kaum realisieren, da das Einfrieren eines Elementes eventuell die ursprünglichen Interaktionen anderer Elemente vollständig unterbindet, was die Gesamt-Konzeption stark verändern würde, auf welcher die Logik des gesamten Prozesses beruht. Ein generelles Problem, welches sich bei generierenden Verfahren beobachten lässt, stellt die Selektion dar, also das Erkennen der Qualitäten beziehungsweise der Schwächen der Ergebnisse und deren dadurch begründete Beurteilung.

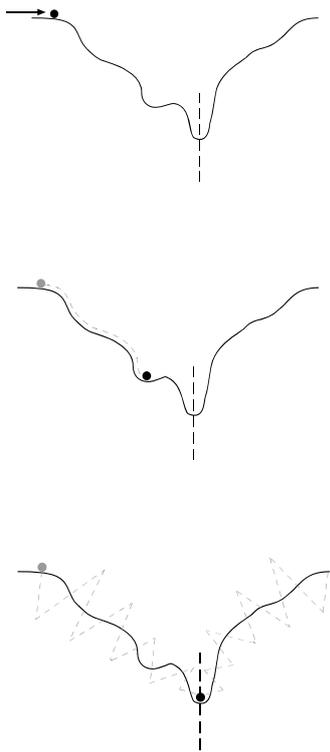


Abb. 3-10 Vielteilchenproblem, finden des energetischen Minimums

www.entwurforschung.de

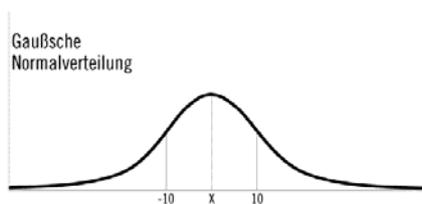


Abb. 3-11 Variation um Gaußsche Normalverteilung

www.entwurforschung.de

Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass sich in der Natur, welche diese Verfahren nachahmen, nicht die Organismen oder Ideen der Wirklichkeit anpassen, sondern die Wirklichkeit – durch ihre Beschränkung des Möglichen – vernichtet, was nicht lebensfähig ist.

Es gibt somit keine Optimierung in Bezug auf extern vorgegebene Zielkriterien, da die Anpassung nach Mutation oder Perturbationen (Störungen) die aktive Wiederherstellung der Lebensfähigkeit des Organismus ist. Es findet also keine positive Auswahl des „Besten“, „Tüchtigsten“ oder „Wahrsten“ statt, sondern eine negative Auslese: das Nicht-Passende stirbt.

Das Verfahren, welches beim Entwurfsgenerator angewandt worden ist, betrachtet dagegen den Planer als selektive Instanz, die aufgrund nicht eindeutig festgelegter Kriterien eine Auswahl vornimmt und eine Optimierung nach übergeordneten Wertmaßstäben -wie ästhetische Qualitäten oder gestalterische Präferenzen- vornimmt.

Der Nachteil liegt offensichtlich zum einen in der Umgehung der grundlegenden Fragestellung, wie welche Einflussgrößen erfassbar und formalisierbar sind, und des weiteren in der Unmöglichkeit, die endlose Anzahl der generierten Lösungen adäquat beurteilen zu können, da eine vorgeschaltete Instanz fehlt, die eine Vorauswahl aufgrund bestimmter Kriterien durchführt, was unter anderem wiederum mit dem Problem der Formalisierung und der Selbstanalyse zusammenhängt.

3.3.2 Induction City

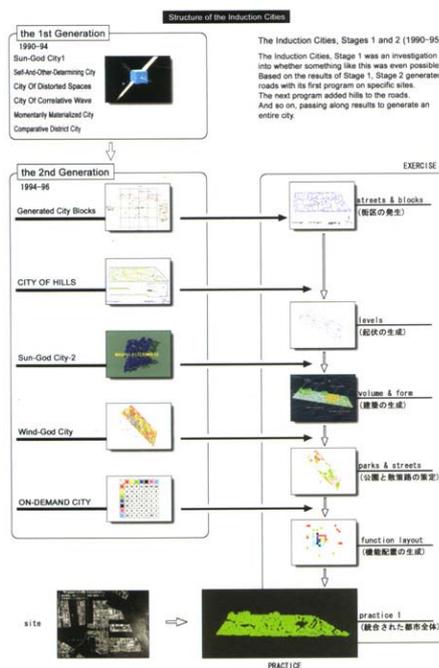


Abb. 3-12 aus WATANABE [78] S. 44

Das Projekt „Induction City“ von Makoto Sei Watanabe [78] besteht aus mehreren Modulen, die zusammen eine städtische Struktur generieren können. Die einzelnen Teile sind in folgende Kategorien gegliedert:

Sun-God City

Das Modul Sun-God City beruht auf einer allgemeinen in Japan gültigen Bauvorschrift, dass jede Wohnung eine bestimmte Menge direkter Besonnung pro Tag erhalten muss, wodurch indirekt die Abstandsflächen definiert werden. Das Programm beginnt, von einem gegebenen, homogenen Block, bestehend aus vielen einzelnen Zellen, zufällig Anfangsteile wegzunehmen, so dass innen liegende Zellen ausreichend belichtet werden. So wird nach und nach die gesamte Struktur aufgrund der Lichtverhältnisse errechnet. Dieses subtrahierende Konzept führt weg vom konventionellen Bauen in Form von aneinander addierten Blöcken.

Generated City Blocks

Auf Basis einer Bewertungsmatrix wird eine Relation zwischen ‚Erreichbarkeit‘ und ‚angenehmer Wirkung‘ festgelegt, die eine Straße zu erfüllen hat. Dies bewirkt im Grunde die Kombination von einem Direktwegesystem und einem Umwegesystem. Die Flächen zwischen den so entstandenen Straßenzügen stellen die Baublöcke dar.

City of Hills

Wiederum mittels einer Bewertungsmatrix kann die ‚Hügeligkeit‘ des Straßenverlaufs und der Stadtfläche bestimmt werden.

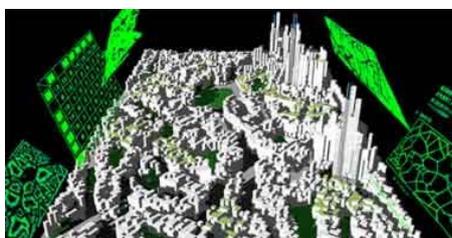


Abb. 3-13 Visualisierung Induction Cities

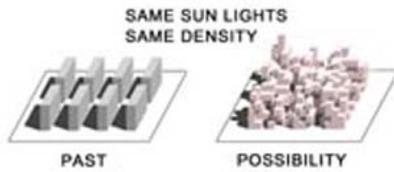


Abb. 3-14 Strukturvergleich Wind-God City

Wind-God City

Auf der Grundlage der Programme ‚Sun-God-City‘ und ‚Generated City Blocks‘ wird die resultierende Windrichtung und –stärke errechnet. Über die Ergebnisse dieser Simulation kann die Struktur so verändert werden, dass gewünschte Windeigenschaften verstärkt werden.

On-Demand City

Mit diesem Modul lassen sich die gewünschten Entfernungen unterschiedlicher Nutzungen zueinander festlegen. Das Programm verteilt dann auf dieser Grundlage die Nutzungen so, dass die definierten Bedingungen so gut wie möglich erfüllt werden, da es kein Ergebnis geben kann, das alle Anforderungen gleichzeitig erfüllt, da sich viele Parameter gegenseitig widersprechen.

3.3.3 KaisersRot

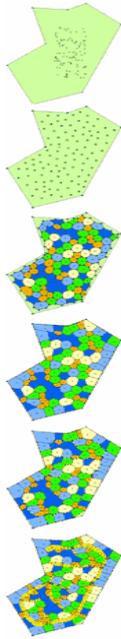


Abb. 3-15 Entwicklung der Parzellen, aus Projekt „KaisersRot“

www.kaisersrot.com/

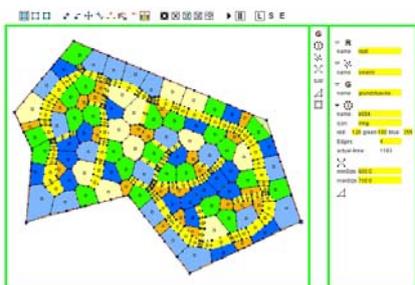


Abb. 3-16 Programmumgebung, aus Projekt „KaisersRot“

www.kaisersrot.com/

Den Rahmen für das von der TU Kaiserslautern unter Kees Christiaanse und der ETH Zürich unter Ludger Hovestadt entwickelte Projekt bildete ein Siedlungsprojekt in Holland mit restriktiven Bauvorschriften bezüglich Dichte, Grundstücksgröße, Nutzung usw.

Zur Lösung der Aufgabe wurde folgende Strategie entwickelt:

1. Import der Bürgerwünsche: Nachbarn, Lage zur Umgebung wie Wald, Straßenbahn, Grundstücksgröße usw.
2. Verteilung auf dem Grundstück
3. Polygonbildung für Grundstücksgrößen
4. Straffung der Polygone zu rechteckigeren Formen
5. Straßenbildung

Die Vorteile eines solchen Vorgehens bestehen in der Erzeugung einer „demokratischen Struktur“, welche die Wünsche der zukünftigen Bewohner bei der Generierung der Struktur berücksichtigt.

- einer Zeitersparnis, da ein Entwurf in Sekunden statt in vielen Stunden erstellt werden kann.
- der Möglichkeit, rückwirkende Änderungen vorzunehmen.
- einer spielerischen Interaktion aller Beteiligten. Die Nachteile der Methode sind darin erkennbar, dass kaum räumliche, städtebauliche Maßnahmen ergriffen

werden können, wie z.B. die Einführung einer Baulinie oder sonstiger Organisationsmittel, die eine differenziertere Strukturierung ermöglichen. Die Gebäude werden einfach in der Grundstücksmitte platziert, was auch Reihenhausbebauungen ausschließt, und insofern nur für ländliche Einzelhausbebauungen geeignet ist.

- bei partizipatorischen Planungsansätzen die Schwierigkeit meist darin besteht, dass zum Beginn der Planungen die zukünftigen Nutzer beziehungsweise Grundstücksbesitzer noch nicht bekannt sind.

3.3.4 Grundrissoptimierung

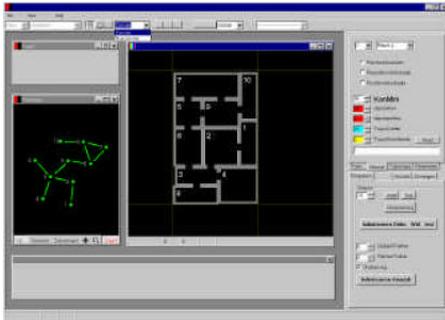


Abb. 3-17 Interface des Programms, Tomor Elezcutaj

www.iemar.tuwien.ac.at

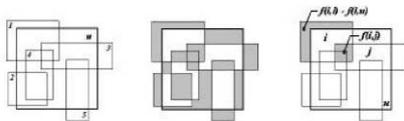


Abb. 3-18 Darstellung des Lösungsalgorithmus, Tomor Elezcutaj

www.iemar.tuwien.ac.at

Zweck des von Tomor Elezcutaj an der TU Wien 2005 entwickelten Programms ist die Unterstützung des kreativen architektonischen Entwerfens in den frühen Phasen der Grundrißfindung.

Das Verfahren basiert auf evolutionären Algorithmen und liefert in kreativer Weise Grundrißvarianten, die nach bestimmten Kriterien, wie z.B. Raumbeziehungen, Proportionen oder Erschließungswegen optimiert werden.

Besonders vorteilhaft ist der Einsatz des Programms bei Grundrissen, die relativ viele Räume aufweisen - wie z.B. größere Wohnbauten - bzw. bei Grundrissen mit komplexeren Topologien - beispielsweise Krankenhäuser.

Als Resümee kann gesagt werden, dass mit diesen Verfahren sehr schnell eine Vielfalt an Grundrißlösungen mit komplexer Aufgabenstellung geschaffen werden kann, in der der Anwender permanent die Möglichkeit hat, graphisch und interaktiv Veränderungen durchzuführen.

3.3.5 SEED

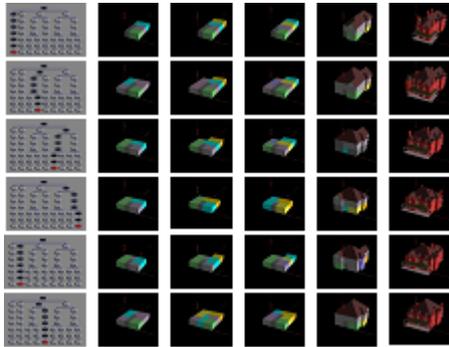


Abb. 3-19 Visualisierung der Varianten-generierung

www.seedling.org

Dass unter Ulrich Flemming an der Carnegy Mellon Universität entwickelte SEED-Projekt beabsichtigt eine Software-Umgebung bereitzustellen, die die frühen Phasen des Gebäudeentwurfes begleitet (FLEMMING [36]). Ziel ist prinzipiell alle Aspekte des (Vor)Entwurfs zu unterstützen, die durch IT-Werkzeuge vereinfacht werden können. Dies beinhaltet, den Computer nicht nur für die Analyse und Auswertung einzusetzen, sondern auch für die Erzeugung von Entwürfen, oder genauer: für die schnelle Erzeugung von Entwurfsvarianten

Eine Hauptmotivation für die Entwicklung von SEED war, die Ergebnisse aus zwei Forschungsprojekten mit Schwerpunkt auf generative Entwurfssysteme in die Praxis zu überführen:

LOOS/ABLOOS: a generative system for the synthesis of layouts of rectangles.

(<http://www.seedling.org/>)

GENESIS: a rule-based system that supports the generation of assemblies of 3-dimensional solids.

(<http://www.seedling.org/>)

Die schnelle Erzeugung von Entwurfsvarianten kann von speziellen Randbedingungen profitieren, wenn sie mit standardisierten Gebäudetypen zu tun hat, z.B. mit einem Gebäudetyp, der oft von den Nutzern des Systems bearbeitet wird. Entwerfer, ob Fertighausbauer oder staatliche

Agenturen, sammeln extensive Erfahrung im Entwerfen von bestimmten, sich wiederholende Bautypen.

Aktuelle CAD-Systeme erfassen nur selten Erfahrungen, und sind deshalb nicht in der Lage, diese wieder anzuwenden. SEED soll systematische Unterstützung für die Speicherung und Wiederverwendung von vorangegangenen Lösungen und deren Anpassungen auf ähnliche Problemstellungen anbieten. In dieser Hinsicht folgt SEED ähnlichen Zielen wie AI-Forschungsansätze, die auf case-based design basieren.

3.3.6 Konsensmaschine

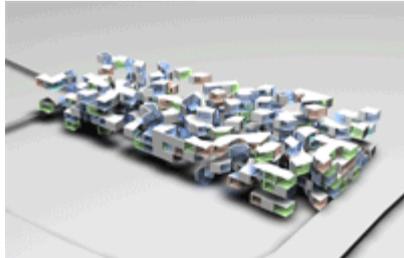


Abb. 3-20 Ansicht des generierten 3D-Modells, Konsensmaschine ETH Zürich

www.kaisersrot.com/

Dieses Projekt wurde unter Kees Christiaanse an der ETH Zürich 2005 entwickelt. Nach Auffassung der Entwickler gruppiert der herkömmliche städtebauliche Planungsprozess alle Beteiligten um eine oder mehrere Studien, die die unterschiedlichen Interessen der Beteiligten widerspiegeln, und sich im Wettbewerb konkurrierend gegenüber stehen.

Das Entwurfsergebnis, unabhängig welche Lösung gewählt wird, ist immer statisch. Dynamisch ist der Diskussions- und Verhandlungsprozess, aus dem jeweils neue Lösungen hervorgehen, die dann schrittweise in neuen Entwurfsanordnungen präsentiert werden. In diesem Prozess muss eine große Zahl parallel vorhandener Ansprüche synchronisiert werden, die man aus Gründen der Komplexität ohne Computer nicht gleichzeitig behandeln kann.



Abb. 3-21 Schemadarstellung der Nutzerverteilung, Konsensmaschine ETH Zürich

www.kaisersrot.com/

Gegenstand der vorliegenden Entwurfsmethodik ist die Entwicklung eines flexiblen und reaktionsfähigen Planungswerkzeugs, das diese linearen Abläufe und Interventionen parallel behandelt. Dieses Werkzeug erlaubt das unmittelbare Eingreifen aller Beteiligten und die direkte Übersetzung ihrer Wünsche in den Entwurf. Nicht die lineare Abfolge der Entscheidungen, sondern die Gleichzeitigkeit der Wünsche reguliert den Entwurf.

Das Planungswerkzeug (der Entwurf) selbst ist in der Lage, unmittelbar auf die Anforderungen aller Beteiligten zu reagieren und ihre Vorschläge zu verarbeiten. Auf diese Weise werden langwierige und kontroverse Diskussionen abgekürzt, Ergebnisse und Anforderungen unmittelbar auf

ihre Tragfähigkeit und Tauglichkeit hin überprüft. Mit dieser Studie für das Papierwerd-Areal wird ein solcher computergestützter dynamischer Prozess erprobt. Der Entwurfsprozess funktioniert als Konsensmaschine.

Auf der Grundlage einer eigens entwickelten Software wird ein großer Lösungsraum generiert, in dem alle Faktoren genau aufeinander abgestimmt werden können.

Es entsteht ein «programmierter Entwurf», der je nach den Wünschen der jeweiligen Interessensgemeinschaften nicht eine endgültige Lösung zeigt, sondern eine Vielzahl von Varianten generiert und zur Diskussion stellt.

3.3.7 CityEngine

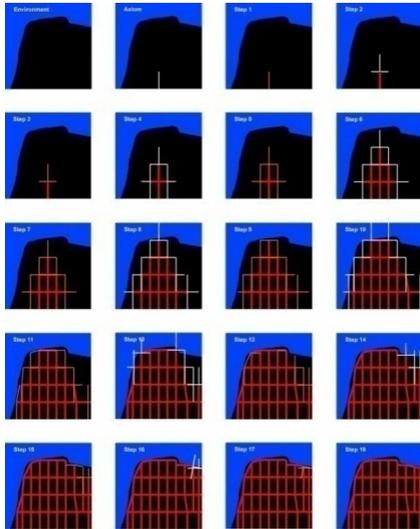


Abb. 3-22 Streetnetwork Development, City Engine

[www.vision.ee.ethz.ch/
~pmueller/wiki/CityEngine](http://www.vision.ee.ethz.ch/~pmueller/wiki/CityEngine)

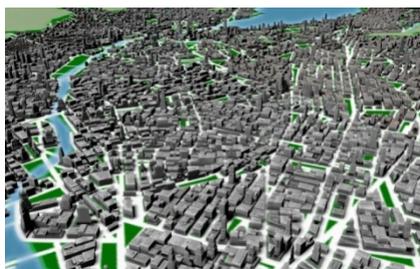


Abb. 3-23 generiertes Stadtmodell Zürich, City Engine

[www.vision.ee.ethz.ch/
~pmueller/wiki/CityEngine](http://www.vision.ee.ethz.ch/~pmueller/wiki/CityEngine)

Das CityEngine-Projekt, welches von Yoav I H Parish an der ETH Zürich und von Pascal Müller von Central Pictures entwickelt wurde [63], basiert auf dem kommerziellen Softwarepaket CityBuilder und besteht aus einer Sammlung von Softwaretools, welche die automatische Generierung von virtuellen Städten aus einfachen 2D Eingabedaten ermöglicht.

Grundlage der Erzeugung ist die Verwendung von Lindenmayer-Systemen, die aus einfachen Anfangskonfigurationen und einer Anzahl Regeln prozedural eine Instanz des gewünschten Stadtnetzes herstellen können. Aufgrund dieser Daten können Gebäude erzeugt und platziert werden.

„We propose a system using a procedural approach based on L-systems to model cities. From various image maps given as input, such as land-water boundaries and population density, our system generates a system of highways and streets, divides the land into lots, and creates the appropriate geometry for the buildings on the respective allotments. For the creation of a city street map, L-systems have been extended with methods that allow the consideration of global goals and local constraints and reduce the complexity of the production rules. An L-system that generates geometry and a texturing system based on texture elements and procedural methods compose the buildings.“
Aus PARISH/MÜLLER [63]

4 Konzeption des Prototypen

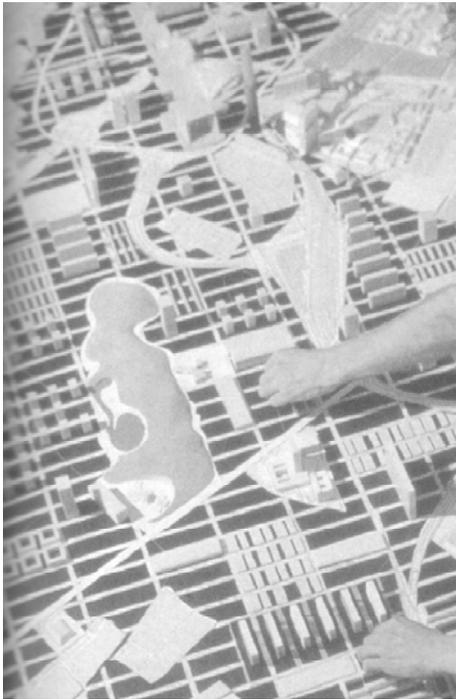


Abb. 4-1 Aus Arch+: Der Sprawl [6]

Für die Bearbeitung der komplexen Aufgabe, Stadtstrukturen mit Hilfe von Computermodellen zu generieren, werden vier Ebenen eingeführt:

- Optimierungsebene
- Bebauungsebene
- Erschließungsebene
- Informationsebene

Diese Gliederung ermöglicht zum einen, die Untersuchungen in voneinander getrennte Etappen zu gliedern, zum anderen lassen sich dadurch die einzelnen Module, auf die im 6. Kapitel näher eingegangen wird, differenzierter kombinieren. Die Kategorisierung kommt vorwiegend dadurch zustande, dass sich für jede Ebene, was die Auswahl der Algorithmen betrifft, eine andere Modellsystematik anbietet.

Die **Informationsebene** gleicht einer Datenbank, die Informationen an bestimmten Orten speichert und wieder zugänglich macht.

Für die **Erschließungsebene** werden Anlagerungsmodelle untersucht und bei der **Bebauungsebene**, wo es hauptsächlich um die Erzeugung dreidimensionaler Bebauungsstrukturen geht, wird sich der zellulären Automaten bedient.

Die Anlage der **Optimierungsebene** wird mit Hilfe von Agentensystemen - im Speziellen mit der des Termitenmodells - umgesetzt werden, welche sich für die Veränderung bestehender Strukturen besonders eignen.

Mit der Idee zur Aufgliederung in die genannten Ebenen schlieÙe ich an die Methode der Maßstabsfenster an, wie sie bei HUMPERT [43], „Einführung in den Städtebau“, zu finden ist. Das Modell stammt ursprünglich aus einem Beitrag zum 1. Internationalen Symposium des SFB 230 und wurde unter dem Titel „Natürliche Prozesse – Haus und Stadt, die universellen Gestaltwerdungsprozesse menschlicher Siedlungen“ eingereicht. Dieser Originalbeitrag ist in der Publikation „Das Phänomen der Stadt – Berichte aus Forschung und Lehre“ [43] zu finden, woraus dann die Einführung in den Städtebau entstand. Die dort vorgestellten Grundelemente werden im Modell in die Erschließungs- und Bebauungsebene integriert.

4.1 Beschreibung der Entwurfsebenen

„Ein Modell ist eine zweckorientierte, relationseindeutige Abbildung der Realität“

Aus GOHOUT [41]

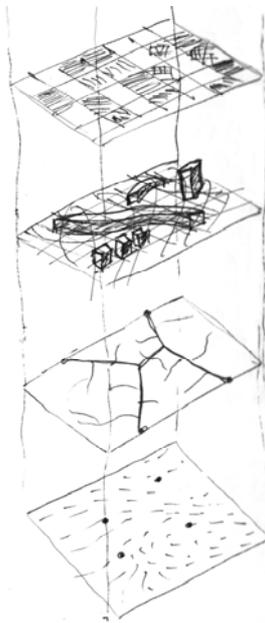


Abb. 4-2 Skizze zur Veranschaulichung des Modells mit vier Ebenen

Zugeordnete Computermodelle

Die folgende Aufstellung ist eine erste Sammlung von Modellen, die sinnvoller Weise für die jeweiligen Problemstellungen innerhalb der einzelnen Ebenen untersucht werden müssen:

Informationsebene

- Agentensysteme
- Vektorfeld
- Datenbanken
- Felder

Erschließungsebene

- Diffusion Limited Aggregation
- Voronoi Diagramm, Delauney Triangulierung
- Pathfindingalgorithmen
- Graphen (Steiner Tree)
- L-Systeme
- Shape Grammar

Bebauungsebene

- Zelluläre Automaten
- Agentensysteme
- Atom-, Molekülmodell
- Shape Grammar

Optimierungsebene

- Genetische Algorithmen für Optimierung
- Zelluläre Automaten für Nachbarschaften
- Termitensysteme

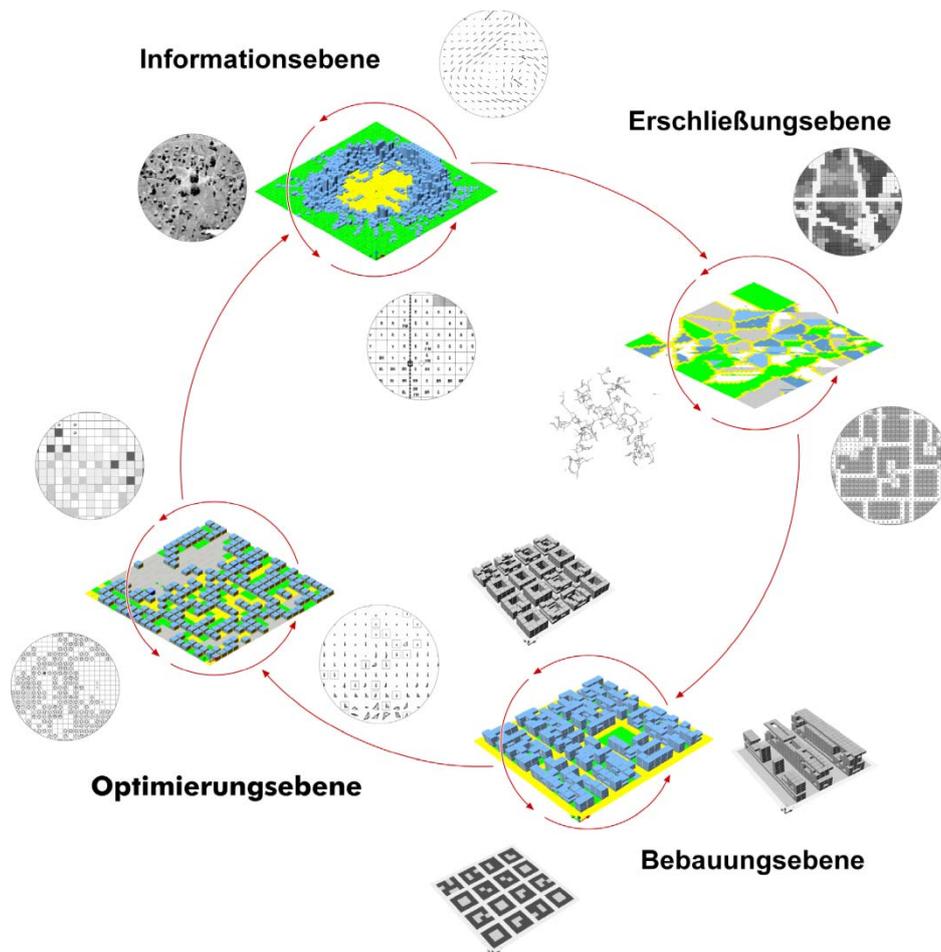


Abb. 4-3 Die vier Entwurfsebenen des vorgeschlagenen Simulationsmodells

4.2 Einzelziele der Teilsysteme

Informationsebene

Die Informationsebene dient als Möglichkeit, jene Informationen zu verarbeiten, die sich einer Reduktion auf elementare Bestandteile entziehen und die hier als gegeben angenommen werden müssen. Hier findet sich die kontextuelle Grundlage, auf welche die Systeme der übergeordneten Ebenen wie auf eine Datenbank zurückgreifen können, um ihre Steuerungsparameter anzupassen.

Erschließungsebene

Eines der wesentlichen Strukturierungselemente einer Stadt stellt die Anlage des Straßensystems dar, welches wiederum eng mit der Parzellierung verbunden ist. In der Erschließungsebene geht es vorwiegend um diese Elemente. Über die Steuerung von Anlagerungsprozessen lassen sich verschiedene Feldtypen generieren, durch deren Kombination alle Arten von Stadtstrukturen erzeugt werden können. Die Erschließungssysteme können in drei Kategorien unterteilt werden:

- Baumstruktur mit Sackgassen.
- Halbverband (mit Teilrasterausbildung und Verästelungen).
- Straßenraster (mit möglichen Störelementen wie Diagonalen).

Da die Flächenaufteilung nicht unabhängig von der Erschließung betrachtet werden kann, wurde sie in diese Ebene integriert. Für die Flächenaufteilungen gibt es drei Modelle:

a) Dividierend

Das Baufeld wird in einzelne Parzellen unterteilt. Anzahl und Funktion können zu Beginn festgesetzt werden.

b) Subtrahierend

Aus einer gegebenen Fläche (oder einem Volumen) wird solange etwas abgezogen, bis die gewünschte Dichte übrig bleibt. Abzuziehen sind: Erschließung, Freiflächen, Plätze usw.

c) Additiv

Einzelne Elemente werden nach bestimmten Regeln so lange auf dem Grundstück verteilt, bis eine ‚Sättigung‘ erreicht ist.

Bebauungsebene

Im Rahmen dieser Ebene werden einige Modellexperimente entwickelt, wie sich innerhalb eines vorgegebenen Straßenrasters verschiedene dreidimensionale Bebauungsstrukturen generieren lassen. Anschließend werden die Eigenschaften der verwendeten Automaten, die sie für weitere architektonische Anwendungen interessant machen, näher beleuchtet.

Optimierungsebene

Diese Ebene behandelt Methoden, die es erlauben, gegebene Strukturen hinsichtlich bestimmter Kriterien umzubauen. Dies können Vorgaben wie Flächennutzungen, Sonneneinstrahlung, Durchlüftung, rationale Parzellierung, Ver-

ringerung der Erschließungswege und andere sein. Grundsätzlich müssen die wesentlichen Kennwerte einer Struktur erfasst und ausgewertet werden, was im folgenden als Kontrollieren und Evaluieren bezeichnet wird.

Zugeordnetes Maßstabsfenster

„Jede menschliche Siedlung lässt sich unabhängig von ihrer Größe, ihrem Komplexitätsgrad, ihrer Entstehung und ihrem Kulturraum auf drei „Urelemente“ zurückführen; diese Elemente sind die Linie („Bewegen“), die Fläche („Besetzen“) und der Körper („Aufrichten“). Man begegnet ihnen täglich in Form der Straße, des Grundstücks und des Hauses. ... Die höheren Organisationsstrukturen müssen vielmehr durch Wechselwirkungen der drei Elemente untereinander, also aus dem System „Bewegen – Besetzen – Aufrichten“ selbst heraus entstehen.

Solche Selbstorganisations-Prozesse (und um Prozesse handelt es sich stets!) erleben wir häufig als chaotisch (stochastisch) und mit Nachteilen behaftet, doch kein einzelner Beteiligter könnte von sich behaupten, er habe sie ausgelöst oder gar gewollt.“

aus HUMPERT [43], S. 35.

Wie in der Einleitung zu diesem Kapitel bereits erwähnt, wird hier das Modell von HUMPERT [43], welches auf der nächsten Seite abgebildet ist, mit dem im Sinne der Computermodelle gebildeten Ebenensystem verglichen.

Es sind die Elemente des „Bewegens“ und des „Besetzens“ in die Erschließungsebene integriert worden, aber innerhalb dieser Ebene, in der mit Anlagerungsprozessen gearbeitet wird, wird die Unterteilung in diese beiden Kategorien für die Behandlung der unterschiedlichen Maßstabsfenster übernommen, und es wird getrennt darauf eingegangen.

Das Element des „Aufrichtens“ schließlich findet sich in der Bebauungsebene wieder und ist zum Maßstabsfenster des ‚Siedlungsmusters‘ analog.

MASSTABS-FENSTER	MASSTABS-FENSTER A GLOBAL-MASSTAB z.B. M. 1 : 100 000 000	MASSTABS-FENSTER B REGIONAL-MASSTAB z.B. M. 1 : 500 000	MASSTABS-FENSTER C STADTFELD-COLLAGE z.B. M. 1 : 50 000	MASSTABS-FENSTER D STADTFELD-TYPOLOGIE z.B. M. 1 : 10 000	MASSTABS-FENSTER E SIEDLUNGSMUSTER z.B. M. 1 : 2 500	MASSTABS-FENSTER F PARZELLE z.B. M. 1 : 500	MASSTABS-FENSTER G GRUNDRISS z.B. M. 1 : 100
PLANBEISPIELE							
BEWEGEN LINIE	Eisenbahnen Fernstraßen Wasserwege Flugrouten	Hauptverkehrsstraßen Öffentlicher Personennahverkehr	Reihenschließung der Stadtfelder Parallelschließung der Stadtfelder	Stadtfeldgrundriß (Erschließungstypen)	Straßen und Wege (Differenzierung von Fahrbahn und Gehweg)	Zugang Zufahrt	Flure Treppen Aufzüge
BESETZEN FLÄCHE	Länder Staaten Geographische Räume Kulturlandschaften	Gemarkungen Kommunalverbände	Stadtteile Bezirke Boroughs Arrondissements	Sechs Feldtypen: 1. Nukleus 2. Wegelagerer 3. Ausleger 4. Cluster 5. Vernetzer 6. Plan	Öffentliche und private Parzellen	Lageplan	Zimmer
AUFRICHTEN KÖRPER	Siedlungspunkte (Geographische Orte)	Siedlungsflächen	Mosaik aus Stadtfeldern	Bebaute Flächen (Aufsiedelungstypen)	Bebauung (Geschoßzahl, Funktion, Ausrichtung)	Gebäude	Möbel

Abb. 4-4 Die Grundelemente Linie (Bewegung), Fläche (Besetzen) und Körper (Aufrichten) in verschiedenen Maßstabsfenstern sind Grundlage der morphologischen Analyse der Stadt.

Aus HUMPERT [43] S. 35

4.3 Strukturelemente des Modellsystems

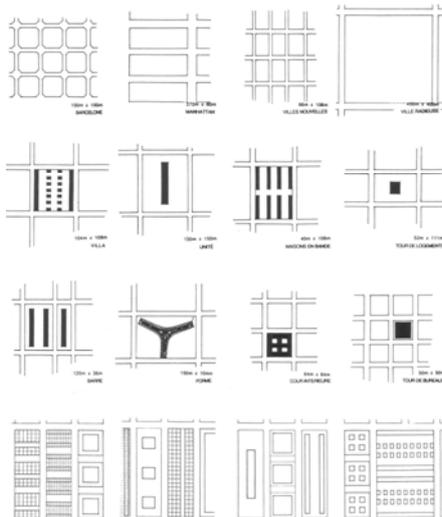


Abb. 4-5 aus Arch+ [6] : Der Sprawl

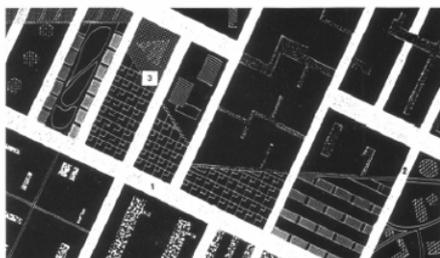


Abb. 4-6 Detailausschnitt mit unterschiedlichen Gebäudetypen in einem Raster.

Aus Arch+ [11] : Der Sprawl

Erschließung

Die Konzeption des Straßennetzes ist meist darauf bedacht, Wohnstraßen und Erschließungsstraßen getrennt voneinander zu behandeln und den Durchgangsverkehr möglichst nicht durch Wohngebiete zu leiten. Es lassen sich folgende elementare Prinzipien der Bebauung ableiten (vgl. ALBERS [1], S. 181ff.):

- Der allseitig von Straßen umgebene Blockbau mit einer geschlossenen Randbebauung, die den öffentlichen Straßenraum klar von dem weitgehend privaten Blockinneren trennt.
- Der streng parallele Zeilenbau, durch Wohnwege entlang der Zeilen erschlossen, die in die quer zu den Zeilen verlaufende Erschließungsstraße einmünden. Eine Variante bietet die Erschließung zweier benachbarter Zeilen aus einem gemeinsamen Hofraum, wobei die anschließenden Zeilenzwischenräume als Grünflächen eher privaten Charakters ausgebildet sind.
- Übergangsformen zwischen diesen beiden Grundmodellen, meist auf räumliche Wirkung hin konzipiert, häufig auch mit unterschiedlichen Höhen der Baukörper.
- Eine Gruppierung von rein freiplastisch konzipierten Baukörpern, in der Regel Punkthäuser, die allerdings in der Zahl begrenzt sein müssen, wenn ihre gestalterische

Wirkung nicht verloren gehen soll; ihre extreme Ausbildung ist

- der auf freiplastische Wirkung konzipierte Großbaukörper mit einer bis zu dreistelligen Anzahl von Wohnungen.

Parzellierung

Entspricht der Einteilung einer Fläche in Bereiche, deren Bebauung durch bestimmte Regeln festgeschrieben ist.

Baukörper

Die Baukörper, die auf dem zu bebauenden Feld zu platzieren sind, bestehen aus einzelnen Elementen, die zu größeren Kombinationen verbunden werden können. Weiterhin ist es möglich, komplexere Elemente zu ‚Spielsteinen‘ zusammensetzen. Die Regeln dieses Spiels, bzw. die möglichen Kombinationen, müssen mittels eines Systems gestaltet werden, das sich unter Rückgriff auf die Grammatik der Sprache (Shape Grammar) oder auf Modelle der Bindungen von Atomen zu Molekülstrukturen entwickeln lässt.

Eine weitere Technik stellen die zellulären Automaten zur Verfügung, durch welche sich komplexe Nachbarschaftsverhältnisse analysieren lassen, um daraus Handlungsanweisungen zu gewinnen.

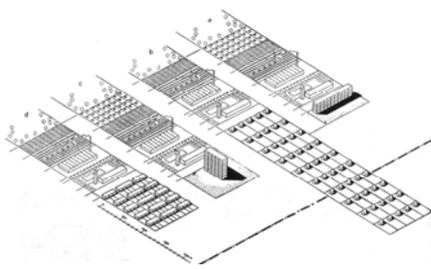


Abb. 4-7 Flächenansprüche nach Göderitz, Rainer, Hoffmann, 1957, aus ALBERS [1], S. 199

Die Flächenanteile je Einwohner und damit die Ausdehnung der Stadt variiert mit der Form der Wohnbebauung, wobei für Geschosswohnungen zusätzlich Kleingärten vorgesehen sind. Die übrigen Nutzungsarten werden als konstant angenommen.



Abb. 4-8 Strukturmodell für Milton Keynes, 1970, aus ALBERS [1], S. 218

Abstandsflächen (lokale Freiflächen)

Maßgebendes Kriterium für die Festsetzung von Obergrenzen der Ausnutzung war und ist die Belichtung und Belüftung der Wohnungen. Einerseits ergeben sich daraus Forderungen nach natürlicher Belichtung aller zum dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmten Räume in der Wohnung, die mittelbar zur Beschränkung der Gebäudetiefe und damit der Baumassen führen; andererseits müssen bei gegebenen Ansprüchen an den Tageslichteinfall die Gebäudeabstände mit der Stockwerkszahl wachsen.

5 Beschreibung verwendeter Computermodelle

Ausgehend von den Überlegungen zur Struktur der Entwurfsumgebung werden in diesem Kapitel Computermodelle beschrieben, welche zur Umsetzung der Konzeption interessant erscheinen. Es lassen sich eine große Fülle unterschiedlicher Modelle finden, die in anderen Untersuchungen für Stadtstrukturen generierende Systeme verwendet wurden.

Anfangen von einfachen Wachstumsstrukturen, so genannter L-Systeme, über zelluläre Automaten, welche die Eigenschaft besitzen, ihren Zustand aufgrund der Nachbarschaftsverhältnisse anpassen zu können, bis hin zu genetischen Verfahren, die eine evolutionäre Entwicklung zu simulieren versuchen, sind im folgenden untersucht worden. Es werden ferner Modelle zum Einsatz kommen, die aus dem Kontext der „computational Geometry“ stammen, und die, wie beispielsweise Voronoi-Diagramme (nächste Nachbarn) oder Steiner-Trees (Minimalwege), für die Problemstellung geeignete Verfahren bieten.

Im Folgenden werden die einzelnen Systeme (möglichst) getrennt voneinander beschrieben. Wie die einzelnen Teilprogramme ineinander greifen können und zu einer Synthese in der Entwurfsumgebung führen, wird im 6. Kapitel erläutert.

5.1 Agentensysteme

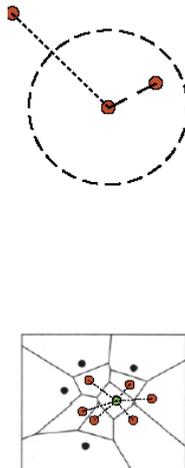


Abb. 5-1 Nachbarschaftsbeziehungen eines Agentensystems

Zu Beginn soll geklärt werden, worin der Unterschied zwischen Partikelsystemen, Schwärmen und Agentensystemen liegt. Unter Partikelsystemen versteht man eine Menge autonomer Einheiten, die ebenfalls alle über gleiche Eigenschaften und somit über ein gemeinsames Verhalten verfügen. Die Einheiten des Systems können mit Objekten in ihrer Umgebung interagieren. Man kann die Partikel mit Wassermolekülen vergleichen, die alle über dieselben Eigenschaften verfügen und beispielsweise mit einem Stein in einem Wasserstrom insofern in Wechselwirkung treten, als sie von diesem abgelenkt werden oder der Stein vom Strom bewegt wird.

Ein Partikelsystem wird zum Schwarm, wenn die Einheiten des Systems untereinander Informationen austauschen können und sich so gegenseitig beeinflussen, um von außen betrachtet zu einer übergeordneten Einheit zu werden. Vergleiche finden sich in der Tierwelt etwa bei Insekten oder Fischen. Die individuellen Teile eines solchen Schwarmes können zwar unabhängig voneinander handeln, sich aber auch auf Grundlage einfacher, festgesetzter Regeln so verhalten, dass ein Schwarm entsteht, der als Ganzes ein anderes Verhalten aufweist als eines seiner Elemente.

Das Agentensystem unterscheidet sich wiederum dadurch, dass die ihm zugehörigen Elemente mit ihrer Umwelt, ähnlich den Schwarmelementen, kommunizieren können. Durch den Informationsaustausch kann ein Agent allerdings sein Verhalten und seine Eigenschaften ändern, sowie eine solche Änderung in seiner Umwelt bewirken. So

ist ein Agent in der Lage, sein Wissen über seine Umgebung zu vergrößern, was als eine Form des Lernens bezeichnet werden kann. Aus diesem Grund wird einem solchen System eine gewisse Art von Intelligenz zugesprochen. Allen Systemen gemeinsam ist die Fähigkeit zur Selbstorganisation (Abb. 5-1 und Abb. 5-2)

Bedeutung von Kommunikation in diesem Zusammenhang:

Generell versteht man darunter, dass eine beliebige Information von einer Person oder einem Terminal zu einem anderen gelangt. In unserem Fall kann dies etwas präzisiert werden, und man kann sagen, dass eine Reaktion zwischen den beiden Teilnehmern ausgelöst wird.

Beispiele der Reaktionen sind (Abb. 5-2):

- die Agenten ziehen sich gegenseitig an oder stoßen sich ab
- die Agenten können ihre Farbe und/oder Größe ändern
- die Agenten können Informationen austauschen - jeder Agent besitzt beispielsweise einen Wert wie „Energie“, und wenn eine Kommunikation stattfindet, kann derjenige mit mehr Energie diese an einen anderen mit weniger „Energie“ abgeben

Beschreibung des implementierten Kommunikationsverhaltens:

1. Beeinflussung des Bewegungsvektors oder der Geschwindigkeit; folglich resultiert eine Anziehung

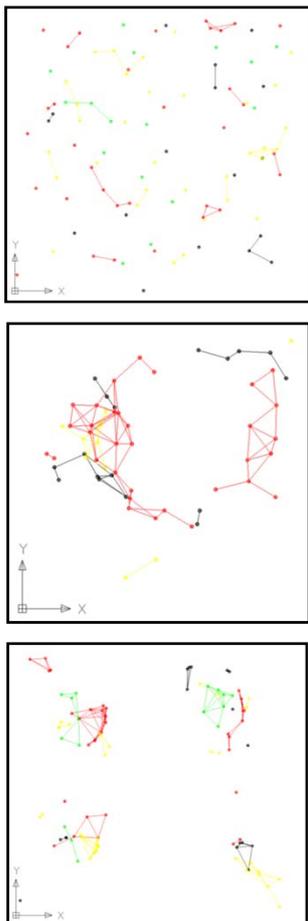


Abb. 5-2 Beispiele von Nachbarreaktionen eines Agentensystems

Durch die in Abb. 5-2 abgebildeten Einstellungen kann das Verhalten der Agenten gesteuert werden, so dass sie sich beispielsweise von einem ungeordneten Zustand (oben) zu differenzierteren Strukturen (Mitte und unten) organisieren, was wiederum eine abstrakte Form der Nutzungsdifferenzierung darstellen kann.

Agenten	
60	Anzahl Agenten
1,05	Dämpfung bei Annäherung
1,11	Anschub bei Annäherung
50	Entfernung Annäherung
20	Entfernung Dämpfung
0,01	BewegungsDämpfung

Abb. 5-3 Parameter des Agentensystems

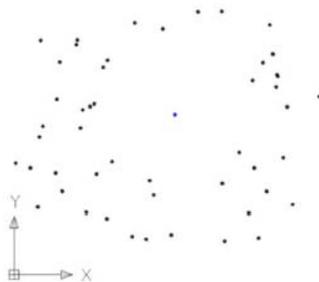


Abb. 5-4 Schwarmmodell

Durch Hinzufügen eines Schwarmmodells können weitere Verhalten implementiert werden, wie z.B. Attraktoren oder Deflektoren oder wie links abgebildet die Anordnung innerhalb eines Rings in bestimmtem Abstand zu einem Mittelpunkt.

oder eine Abstoßung und somit die Regulierung des Abstandes der Agenten.

2. Austausch von Informationen beliebiger Art, die beispielsweise im Farbcode gespeichert sind (RGB - Code; drei Werte von 0 - 255):
 - Art der Nutzung
 - Geschosßigkeit
 - Freiflächenbedarf
 - Erschließung zu nächster Ebene (Geschoss)
 - Andockeigenschaften (Atommodell wird in einem gesonderten Abschnitt beschrieben)

Zweck des Kommunikationsverhaltens

- Definition der untersten Strukturebene (Informationsebene), aus der sich später die Bebauungs- und Erschließungsstrukturen ableiten.
- Interaktion mit dem Vektor-Field, welches im Abschnitt 5.4 beschrieben ist.

Schwarmverhalten

Autonome Objekte und Selbstorganisation: Vereinfacht beschrieben ist ein autonomer Agent eine Einheit, die mit ihrer Umgebung (welche ebenfalls aus Agenten bestehen kann) interagiert und dabei unabhängig von anderen Agenten oder einer zentralen Steuerung agiert. Einige Anregungen zu diesem Thema sind aus FLAKE [35] S. 261ff, „Autonomous Agents and Self-Organisation“ entnommen. Siehe auch RESNICK [69]. Es existiert auch kein übergeordneter Plan, der zu befolgen ist. Ein Agent handelt mit anderen Worten für sich selbst.



Abb. 5-5 Schwarmversuch

Hier sind drei der vier oben angeführten Verhalten verwendet worden. Die Agenten können ihre Bewegungsrichtung aneinander anpassen, was durch die Einstellung ‚same-Dir‘ realisiert ist. Ferner bewegen sie sich aufeinander zu um Gruppen zu bilden, stoßen sich aber ab, wenn sie sich zu nahe kommen. (Einzustellen über ‚interakt - ‚minDist‘ und ‚maxDist‘) In der linken Abbildung ist eine Momentaufnahme der Gruppenbewegung zu sehen.



Abb. 5-6 Autonomous Agents and Self-Organization.

Aus FLAKE [35] S. 271

Vier Regeln, nach denen sich die Agenten verhalten: a) vermeiden, zu dicht aneinander zu geraten; b) die eigene Bewegungsrichtung an die der anderen anpassen; c) auf das Zentrum des Schwarms zubewegen; d) auf eine möglichst freie Sicht hin orientieren.

Mit dieser Definition kann untersucht werden, wie mehrere Agenten anscheinend Aufgaben erfüllen, denen scheinbar ein Plan zugrunde liegt. Den Prozess, durch den mehrere autonome Agenten in einer Weise interagieren, die eine globale Ordnungsstruktur zur Folge hat, bezeichnet man als Selbstorganisation, welche bei verschiedensten Phänomenen, wie z.B. chemischen Lösungen, genetischen Systemen, Superorganismen, Tierkollektiven wie Ameisenkolonien und ökonomischen Systemen beobachtet werden kann.

Im Folgenden sind einige dieser Systeme beschrieben, um im nächsten Kapitel ihre Verwendbarkeit für architektonische Konzepte zu untersuchen.

```
nodeA = dude.Centroid
nodeB = ThisDrawing.ObjectIdToObject(agent(j).index).Centroid
```

```
dx = nodeA(0) - magicM(0)
dy = nodeA(1) - magicM(1)
```

```
abstand = distance(nodeA, magicM)
```

```
If abstand > maxDist Then
```

```
agent(m).deltaX = (agent(m).deltaX - (dx * k * k)) * damp
agent(m).deltaY = (agent(m).deltaY - (dy * k * k)) * damp
```

```
End If
```

```
If abstand < minDist Then
```

```
agent(m).deltaX = (agent(m).deltaX + (dx * k)) * damp
agent(m).deltaY = (agent(m).deltaY + (dy * k)) * damp
```

```
End If
```

5.2 Diffusion limited aggregation

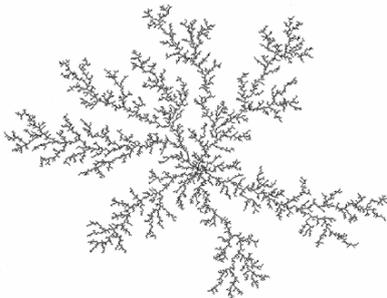


Abb. 5-7 Beispiel Wachstum, diffusion limited aggregation.

Aus FLAKE [35] S. 74

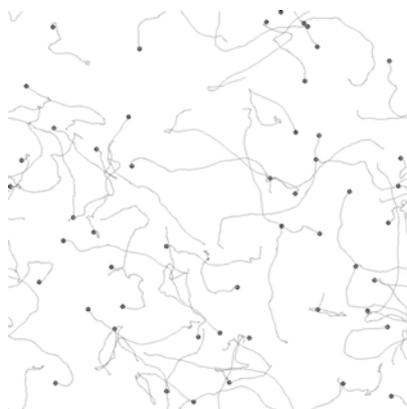


Abb. 5-8 Beispiel einer Brownsche Bewegung eines Agentensystems

Die Linien werden von den Agenten während ihrer Zufallswanderung erzeugt und vermitteln so ein Bild des Ablaufs der Brownschen Bewegung über eine bestimmte Zeit hinweg.

Eng verwandt mit der nebenan erklärten Brownschen Bewegung ist ein Prozess, den man als ‚diffusion limited aggregation‘ bezeichnet. Dabei wird ein Medium angenommen, in dem viele Partikel zufällig herumschwirren.

Die Partikel haben die Eigenschaft, sich so lange zu bewegen, bis sie auf ein feststehendes Objekt treffen, wodurch jetzt ein Wachstumsprozess ausgelöst werden kann, indem z.B. in der Mitte ein einzelner Partikel fixiert wird.

Wenn nun ein Partikel auf diesen Fixierten trifft, wird er ebenfalls angehalten und angelagert. Während dieses Vorgangs werden sich mit der Zeit immer mehr Partikel anlagern und eine ähnliche Struktur bilden, wie sie unten abgebildet ist.

‚Diffusion limited aggregation‘ kann man bei der Entstehung von Kristallen, Korallenriffs und anderen natürlichen Systemen beobachten.

$$dX = (\text{Rnd}() * 0.6 - 0.3)$$

$$dY = (\text{Rnd}() * 0.6 - 0.3)$$

$$\text{agent}(m).\text{deltaX} = (\text{agent}(m).\text{deltaX} + (dX * k)) * \text{damp}$$

$$\text{agent}(m).\text{deltaY} = (\text{agent}(m).\text{deltaY} + (dY * k)) * \text{damp}$$

Brownsche Bewegung

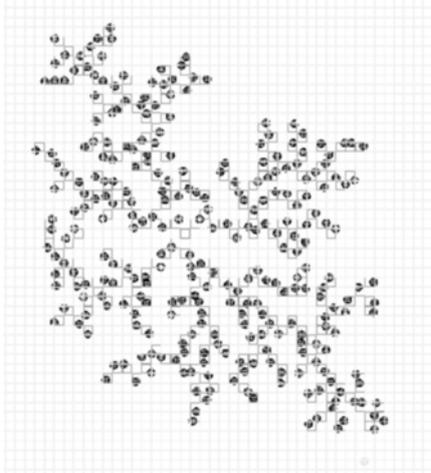


Abb. 5-9 diffusion limited aggregation mit Abstandsmessung und Hilfsraster

Die Umgebung eines Agenten für den ‚diffusion limited aggregation‘ Prozess kann über die Methode der Abstandsmessung zu allen anderen Agenten untersucht werden. Dieses Verfahren ist allerdings mit einem hohen Rechenaufwand verbunden, weshalb auf ein Hilfsraster zurückgriffen werden muss. Dadurch braucht ein Agent nur die Zustände seiner acht unmittelbaren Nachbarzellen zu untersuchen. Dieses Vorgehen ist verwandt zu den zellulären Automaten, die auf einem ähnlichen Prinzip beruhen.

Die Brownsche Bewegung ist eine Zufallsbewegung, die erzeugt wird, indem man von der x- und y- Koordinate eines Objektes bzw. des Bewegungsvektors einen zufällig erzeugten Wert (dx/dY) zwischen -1 und 1 hinzufügt.

Bei jedem Schritt wird ein neuer Zufallswert erzeugt und evtl. mit einem Dämpfungswert (damp) versehen. Die abgebildeten vier Codezeilen stellen den wesentlichen Teil des Algorithmus dar.

5.3 Termitensysteme

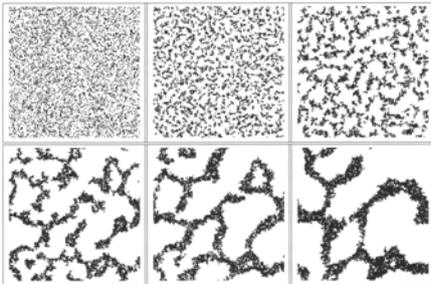


Abb. 5-10 Termiten platzieren mittels der Braunschen Bewegung „Holzstückchen“.

Aus FLAKE [35], S. 263

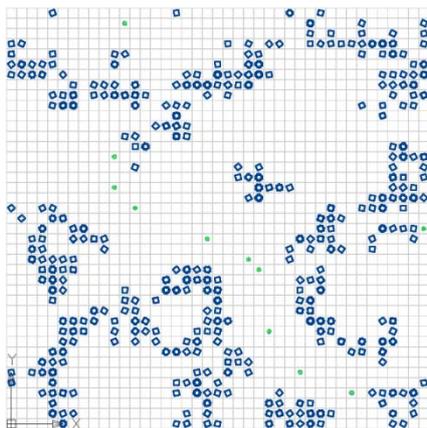


Abb. 5-11 Termiten platzieren „Holzstückchen“, Stapelung erlaubt

In diesem Experiment werden den Agenten die Eigenschaften verliehen, welche in vereinfachter Weise für das Verhalten von Termiten ausschlaggebend sind. Es werden dafür einige Agenten in einem Feld platziert, welches mit einer großen Anzahl zufällig verteilter Elemente gefüllt ist, die im folgenden als Holzstückchen bezeichnet sind, um die Analogie zur Welt der Termiten aufrecht zu erhalten.

Atommodell

Als Atommodell wird hier der Untersuchungsrahmen bezeichnet: er zeigt, wie sich Elemente mit unterschiedlichen Eigenschaften, welche zu verschiedenen Umgebungsanforderungen führen, miteinander kombinieren lassen. Die Eigenart von Atomen, sich über bestimmte Kombinationen von Bindungen zu Molekülen zusammenschließen, welche dann dem Stoff, den sie bilden, ein spezifisches Verhalten verleihen, dient als Leitidee für eine abstrakte Zusammenstellung von Elementen mit unterschiedlichen Funktionen und Anforderungen. Das Scannen der Umgebungselemente erfolgt -wie bei der ‚diffusion limited aggregation‘ - über Zellenfelder.

Abb. 5-11 und Abb. 5-12. Die beiden Abbildungen zeigen Experimente mit Termitensystemen. Bei dem oberen Bild durften die Holzstückchen noch aufeinander gestapelt werden, während sie im unteren Beispiel nur nebeneinander platziert werden konnten.

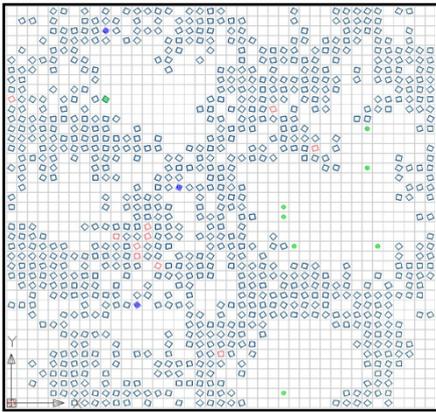


Abb. 5-12 Termiten platzieren „Holzstückchen“, Stapelung nicht erlaubt

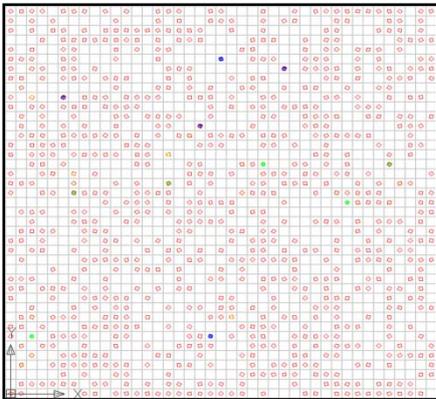


Abb. 5-13 Termiten platzieren „Holzstückchen“, Startbedingung

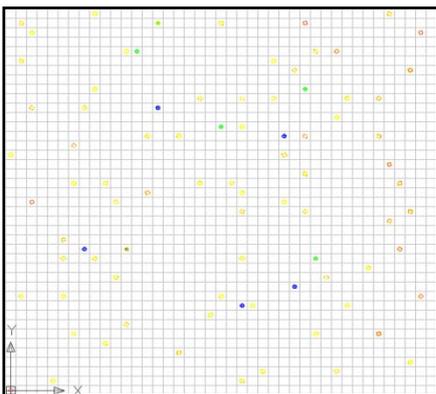


Abb. 5-14 Termiten platzieren „Holzstückchen“, nur noch wenige Haufen übrig

Abb. 5-13 und Abb. 5-14.

Wird der Prozess in seiner „Reinform“ durchlaufen, also ohne bestimmte Einschränkungen an dem Zufallsprozess vorzunehmen, dann räumen die Termiten-Agenten alle Holzstückchen auf einen einzigen Haufen.

Die Abbildung oben zeigt die Startbedingung; unten sind noch wenige Haufen übrig (gelb markiert). Lässt man den Vorgang noch sehr lange weiter rechnen, werden diese auf einen letzten Haufen geordnet.

5.4 Felder



Abb. 5-15 aus DE LANDA [56]

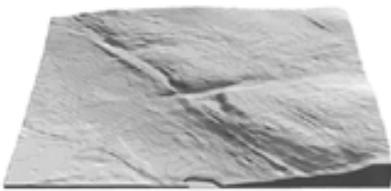


Abb. 5-16 aus DE LANDA [56]

Abb. 5-15 und Abb. 5-16 zeigen die Intention bei der Einführung des vector Field Modells für die Repräsentation z.B. topographischer Gegebenheiten.

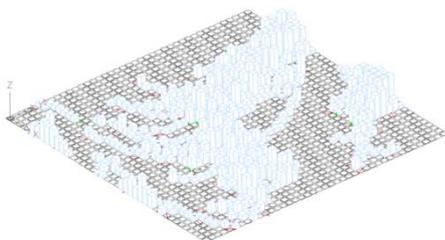


Abb. 5-17 Extrusion Field aus einer vector Field Simulation

Vektorfeld

Ein Vektorfeld besteht, wie der Name bereits verrät, aus vielen einzelnen Vektoren, die man mit Magnetfeldnadeln vergleichen kann. Die Ausrichtung der Vektoren gibt die Bewegungsrichtung für Elemente (im vorliegenden Fall Agenten) vor, die sich in der Reichweite des jeweiligen Vektors befinden. Der Wert für die Ablenkung errechnet sich aus dem Bewegungsvektor des Agenten und der Stellung der Nadel.

Die Differenz von beiden wird entweder zu der Bewegung des Agenten addiert oder mit einem Faktor ‚k‘ verändert, was den Einfluss der Vektornadel auf den Agenten repräsentiert. Außerdem kann man die errechnete Differenz auf die Agentenbewegung und die Nadelausrichtung verteilen, wodurch sich die Nadeln zusätzlich an den Bewegungen der Agenten ausrichten. Die beiden Systeme können somit Informationen austauschen und interagieren. Die Agenten sind in der Lage, Informationen, wie sie in den obigen Abschnitten beschrieben wurden, zu transportieren. Das Vektorfeld wird für die Repräsentation von topographischen Merkmalen oder bestehenden Elementen bzw. dem allgemeinen Kontext des zu betrachtenden Gebietes verwendet. Dies erfolgt durch die Struktur des Feldes, also die Ausrichtung der Nadeln und deren Eigenschaften, wie starker Abstoßung oder Anziehung auf die beweglichen Elemente.

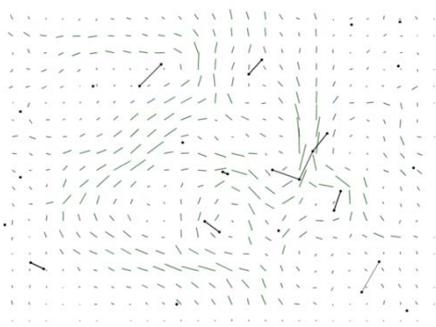


Abb. 5-18 Feldnadeln

Abb. 5-17 als einfaches Beispiel der Entwicklung eines extrusion Fields aus einer vector Field Simulation.

Abb. 5-18 zeigt Bereiche mit stärker ausgeprägten Feldnadeln und Regionen, die eine Abstoßung bewirken.

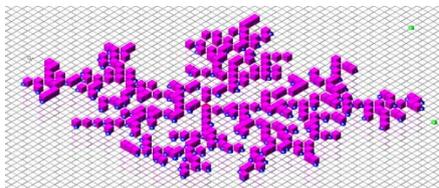


Abb. 5-19 Die Abbildung stellt das extrusion Field der ‚diffusion limited aggregation‘ dar.

Extrusions-Feld

Das Extrusions-Feld ermöglicht es, die komplexen Bewegungen der Agenten in eine Strukturform zu übersetzen, deren Abstraktionsebene zwischen der reinen Informationsebene der Agenten und des Vektorfeldes und der zu erzeugenden Bebauungsstruktur liegt.

Mit Hilfe dieses Feldes lassen sich Informationen wie die Häufigkeit des räumlichen Kontaktes mit einem Agenten und die von ihm beinhalteten Eigenschaften beispielsweise in Form der extrudierten Höhe oder der Farbkodierung visualisieren.

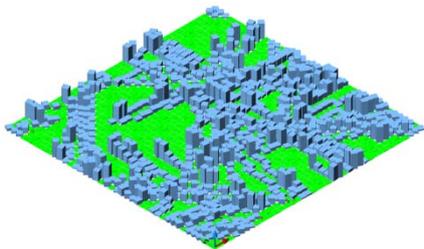


Abb. 5-20 Beispiel Schwarmverhalten

Information Field

Dieses Feld stellt einerseits das Zellenraster dar, welches die verschiedenen Zustände der jeweiligen Zellen speichert und weitergibt, wie zum Beispiel ‚besetzt‘, ‚frei‘, ‚Grünfläche‘, ‚Straße‘ usw. Darüber hinaus kann eine Zelle noch beliebige Informationen speichern, die beispielsweise die geographischen, ökonomischen und ökologischen Daten des repräsentierten Grundstücksbereiches wiedergeben (vergleiche FELDT [33]).

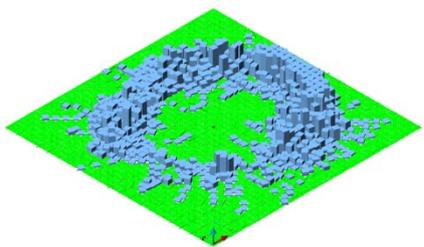


Abb. 5-21 Beispiel Ringverhalten

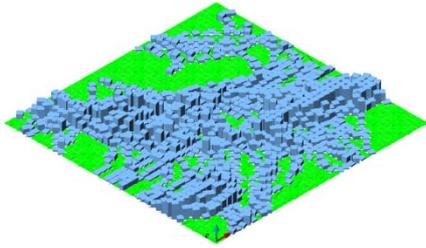


Abb. 5-22 Beispiel Strom eines Vektorfeldes

Eine andere Verwendung wäre die Sammlung statistischer Informationen städtischer Gefüge wie die Kriminalität, Hygieneparameter, Sozialstruktur und viele mehr. Aus den Informationen der Nachbarzellen lassen sich Rückschlüsse für die betrachtete Zelle ziehen und deren Informationen anpassen, wodurch eine Art Informationsfluss zustande kommt.

5.5 Zelluläre Automaten

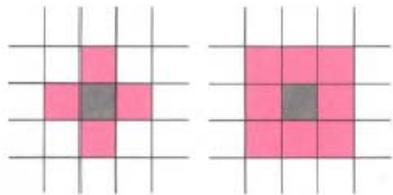


Abb. 5-23 Von Neumann- (links) und Moore- Nachbarschaft (rechts).

Aus SPEKTRUM [75] S. 62.

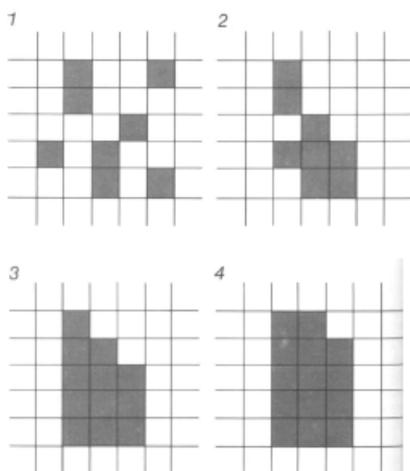


Abb. 5-24 Evolution eines zellulären Automaten nach der Wahlregel „zwei aus fünf“.

Aus SPEKTRUM [75] S. 62

Ein zellulärer Automat stellt ein Computermodell dar, das aus einer regelmäßigen Anordnung vieler identischer Zellen besteht, deren jede nur über einige wenige Zustände verfügt und nur mit einigen wenigen Nachbarn in Wechselwirkung steht.

Die Grundbestandteile eines solchen Systems, die Zellen und Regeln zur Berechnung des nächsten Zustandes einer Zelle, sind sehr einfach strukturiert, bringen in ihrem Zusammenwirken jedoch komplexe Systeme hervor. Dabei sind vier Merkmale zu unterscheiden:

- Das erste ist die Geometrie der Zellenanordnung. Meist verwendet man ein rechtwinkliges Kästchen-Gitter aus identischen Quadraten. Auch drei- oder vierdimensionale Anordnungen lassen sich ohne weiteres konstruieren, allerdings nicht mehr so ohne weiteres veranschaulichen.
- Als zweites muss festgelegt werden, welche Plätze in einer bestimmten Anordnung als benachbart zu einer beliebigen Zelle gelten. Im zweidimensionalen Kästchen-Gitter wurden bisher hauptsächlich zwei Arten der Nachbarschaft betrachtet. Bei von Neumann brauchte sich eine Zelle nur um ihre vier unmittelbaren Nahbaren oben, unten, links und rechts kümmern. Diesen Satz von Zellen nennt man daher heute die von Neumann-Nachbarschaft. Rechnet man neben diesen vier Zellen auch noch die vier diagonal benachbarten

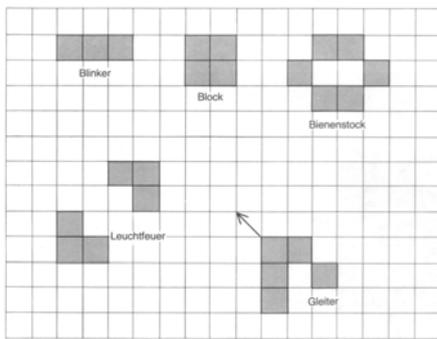


Abb. 5-25 Einige bemerkenswerte Konfigurationen aus John Horton Conways zweidimensionalem „Spiel des Lebens“,

Aus SPEKTRUM [34] S. 76.

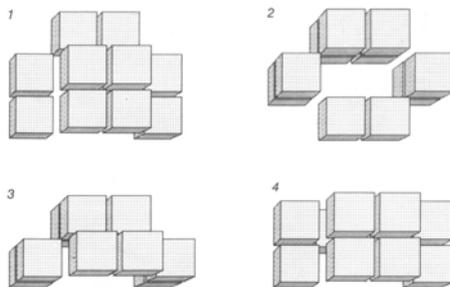


Abb. 5-26 Fortbewegung eines Gliders in „Life 4555“ - in einem dreidimensionalen zellulären Automaten.

Aus SPEKTRUM [34] S. 76.

mit, so spricht man Edward F. Moor zu Ehren von Moore- Nachbarschaft.

- Die dritte Kenngröße eines zellulären Automaten ist die Zahl der Zustände pro Zelle. Es gibt reichlich Variationsmöglichkeiten selbst bei den binären Automaten – denen mit nur zwei Zuständen pro Zelle. Man kann diese Zustände als 1 oder 0, wahr oder falsch, an oder aus, lebendig oder tot deuten.
- Für Vielfalt im Universum der zellulären Automaten sorgt vor allem die enorme Zahl möglicher Regeln, nach denen der künftige Zustand einer Zelle aus der momentanen Nachbarschafts-Konstellation ermittelt wird (sie sind das vierte Merkmal eines zellulären Automaten). Siehe [75] SPEKTRUM S.60 ff

5.6 Lindenmayer-Systeme

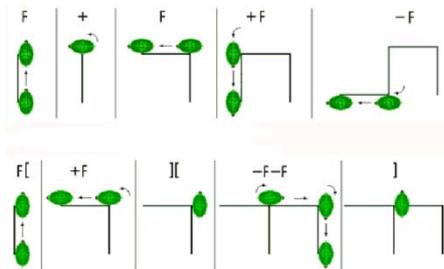


Abb. 5-27 Veranschaulichung der Funktionsweise eines L-Systems.

Aus JOSSEN und EYER [52]

Das Alphabet des L-Systems entspricht diesen Befehlen:

$$V = \{F, G, \dots, +, -, [,]\}$$

Das Wort $F+F+F-F$ würde also von der Schildkröte wie in der oberen Reihe der Abbildung interpretiert ($d = 90^\circ$). Das Wort $F[+F][-F-F]F$ wie in der unteren Reihe.

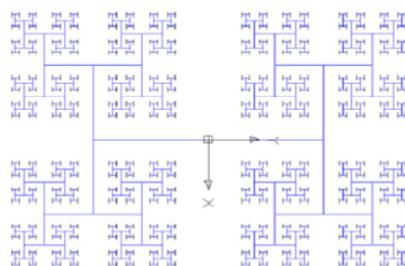


Abb. 5-28. : Big-H, Axiom: (F)- - F, Rule: $F \rightarrow FF; B \rightarrow F(-B) + B$

„1968 begann der deutsche Biologe Aristid Lindenmayer (Bild N° 1) ein Modell zu entwickeln, das mit Hilfe einiger weniger „Produktionsregeln“ Pflanzenwachstum beschreibt. Dieses Modell wird heute Lindenmayer-System oder kurz L-System genannt. Im Amerikanischen ist auch der Begriff „Parallel Rewriting System“ gebräuchlich. Zwei weitere Pioniere auf dem Gebiet der L-Systeme und Wachstumssimulationen waren der Mathematiker Grzegorz Rozenberg und der Informatiker Premyslaw Prusinkiewicz.

„Das Grundprinzip eines L-Systems ist denkbar einfach: Beginnend mit einem Startelement generieren wir, eben mit Hilfe der Produktionsregeln Elementketten, die dann graphisch darzustellen sind. Ein solches Element kann ein Blatt, eine Knospe, ein Stück Stengel, etc. sein. Jedes Element kann Parameter enthalten, die Größe, Alter, Farbe, Hormonkonzentration o.ä. beschreiben können. Aufgrund seiner Einfachheit ist das L-System sehr gut für eine Übertragung auf den Computer geeignet.“

Aus Jossen und Eyer [52]: Geschichte und Funktionsweise eines L-Systems

Das Startelement wird als Axiom bezeichnet. Die Produktionsregeln ersetzen in der nächsten Generation jedes Zeichen eines Satzes durch eine definierte Zeichenfolge. Diese Regel wird beispielsweise folgendermaßen notiert:

$$F \rightarrow FF; B \rightarrow F(-B) + B$$

Die Zeichen stellen dabei Befehle für eine so genannte ‚Schildkröte‘ dar, die als Zeichnungsinstrument dient und

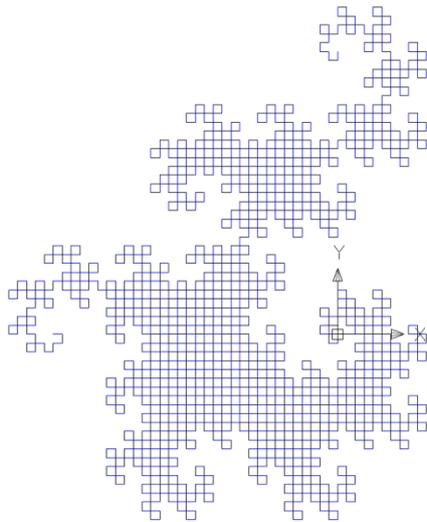


Abb. 5-29 Dragon-Curve

Axiom:

F, Rules: $F = - F++G$; $G = F - - G+$

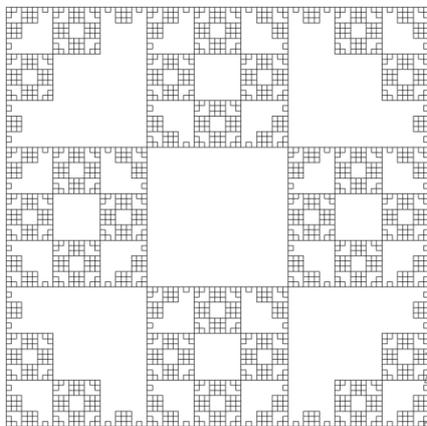


Abb. 5-30 Sierpinski-Square

Axiom:

$F-F-F-F$, Rule: $F(F)-F+F(--F)+F-F$

die wie folgt gesteuert werden können:

F Zeichne Element F und bewege dich um die Länge des Elements F nach vorne

G Zeichne Element G und bewege dich um die Länge des Elements G nach vorne

+ Drehe dich um d gegen den Uhrzeigersinn

- Drehe dich um d im Uhrzeigersinn

[Merke deine aktuelle Position

] Kehre zur letztgemarkten Position zurück

Mit Hilfe der Schildkröteninterpretation (amerik. turtle interpretation) lassen sich Verzweigungen jeder Art realisieren. Je mehr Iterationsschritte ausgeführt werden, desto verästelter wird das Ergebnis sein.

5.7 Genetische Algorithmen

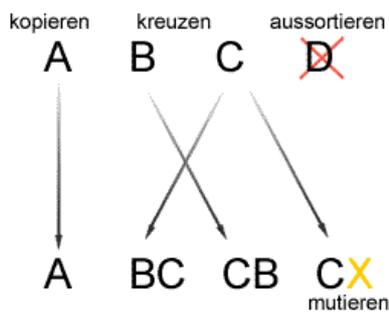


Abb. 5-31 graphische Darstellung der Funktionsweise eines genetischen Algorithmus



Abb. 5-32 Evolved Virtual Creatures, Karl Sims

Ein genetischer Algorithmus verwendet die Prinzipien, welche in der Natur für die Entwicklung und Veränderung von Lebewesen verantwortlich sind. Die Kreuzung zweier Datensätze entspricht der Kombination der Chromosomen von Mutter und Vater bei einem Kind. Mutationen sorgen für zufällige Veränderungen des Erbguts mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsrate. Der Unterschied zu natürlichen Prozessen besteht in der Selektion der Ergebnisse.

Während in der Natur die untauglichen Lebewesen aufgrund ihrer schlechteren Anpassung an die Umwelt sterben und dadurch die besser angepassten Überleben, wird für das Computermodell ein Ersatz für die Selektionsinstanz der Umweltbedingungen benötigt. Diesen erhält man entweder über eine manuelle Auswahl durch einen Benutzer, dem so genannten „eyeball test“, oder durch die Definition einer Zielfunktion. Die so ausgewählten beiden besten Ergebnisse dienen als Datengrundlage für die nächste Generation (Mutter und Vater). Die Hauptbestandteile des Algorithmus sind:

- die Funktion zur zufälligen Erstellung des Gencodes für jedes digitale Wesen. Dieser Kode wird in binärer Form gespeichert. Beispielsweise:
 „0001111001001111101001100101001110000101000“
- die Dekodierungsfunktion, welche aus dem binären Kode die entsprechenden Eigenschaften ausliest, was über eine Umrechnung in dezimale Zahlen geschieht.

Mithilfe eines genetischen Algorithmus

werden Anordnungen mit verschiedenen Arten der Fortbewegung selbständig erstellt. Zu Beginn wird eine Zielfunktion definiert, z.B. schwimmen, gehen oder springen. An einen zufälligen Ausgangskörper lagern sich ebenfalls zufallsgesteuert weitere an. Nun werden verschiedene Bewegungen und Verdrehungen getestet. Erfolgreiche Bewegungen im Sinne des Ausgangsziels (also z.B. schwimmen) werden gespeichert. Die besten Anordnungen werden miteinander gekreuzt.

- die Funktion zur Kreuzung der Elternchromosomen. Dazu wird ein Teil des Kodes der Mutter mit einem Teil des Kodes des Vaters kombiniert, wobei die Länge des Kodes gleich bleibt.
- die Mutationsfunktion, welche mit einem definierten Wahrscheinlichkeitswert den genetischen Code verändert, also z.B. eine 1 in eine 0 umschreibt.
- eine Zielfunktion, anhand welcher das generierte Ergebnis auf seine Tauglichkeit hin überprüft wird. Alternativ kann der „eyeball test“ verwendet werden.

5.8 Graphen

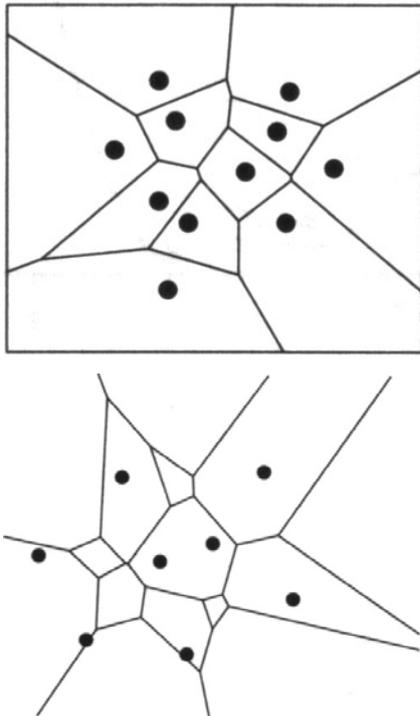


Abb. 5-33 aus ‚Computational Geometry‘.

Aus SCHAUR [72]

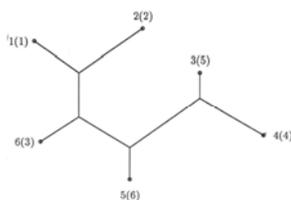


Abb. 5-34 Steiner Tree.

Aus HWANG, RICHARDS, WINTER [47]

Voronoi Diagramm

Geometrische Grundlage ist die Tatsache, dass für jeden Punkt ein Polygon definiert werden kann, das die Fläche beschreibt, die sich näher bei diesem Punkt befindet als bei allen anderen Punkten der Menge.

Jede Polygonseite trennt den Punkt von einem ihm ‚am nächsten‘ liegenden. Die dabei entstehende Struktur ist als Voronoi-Diagramm bekannt.

Eine Punktmenge kann so auf zwei verschiedene Weisen dargestellt werden: Durch ihre Umgebungspolygone, oder mit den Verbindungslinien zu ihren ‚nächsten Punkten‘, den Nachbarn.

Steiner Tree u.a.

Als Steiner Tree bezeichnet man einen Graphen, der die minimale Länge für die Verbindung beliebig vieler Punkte in einer Fläche hat. Dazu werden weitere Punkte (Torricelli points) eingefügt. Dieses Verfahren wird für die Generierung eines Minimalwegesystems interessant werden.

„The origin of the Euclidean Steiner problem is often traced back to Fermat (1601 – 1665) who proposed the following problem: find in the plane a point, the sum of whose distances from three given points is minimal.“

Aus HWANG, RICHARDS, WINTER [47]

6 Entwicklung des Prototypen

Abgeleitet von der Konzeption des Entwurfsmodells werden jetzt die einzelnen Computermodelle für eine konkrete Umsetzung in der Entwurfsumgebung wie Ebenen behandelt, welche sich, vergleichbar mit den Zeichnungsebenen eines CAD-Systems, ein- und ausschalten lassen. Die Systeme der aktivierten Ebenen agieren allerdings nicht unabhängig voneinander, sondern können beliebig auf die Informationen der anderen Ebenen zugreifen und diese verarbeiten.

Der Vorteil bei diesem Vorgehen besteht darin, dass die jeweiligen Systeme unabhängig voneinander entwickelt werden können, um nach bestimmten Gesichtspunkten miteinander kombiniert zu werden, was zu sehr komplexen Systemen führt. Ferner kann die Anzahl der Teilsysteme fortlaufend erweitert werden. Sie unterliegt in ihrem Zusammenwirken lediglich den Beschränkungen der momentan verfügbaren Computer-Rechenleistungen.

Mit der Strategie der Ebenenkombination wird die Möglichkeit eröffnet, das System je nach Präferenzen des Benutzers zu verwenden. Über Erweiterungen mittels „Ebenen-Plugins“ ist es für fortwährende Ergänzungen offen, wodurch unterschiedliche Entwurfsauffassungen einfließen und kombiniert werden können. Es entsteht ein Experimentierlabor zur Erforschung verschiedener Entwurfsideen auf einer abstrakten, strukturellen Grundlage.

6.1 Basisinformationsebene

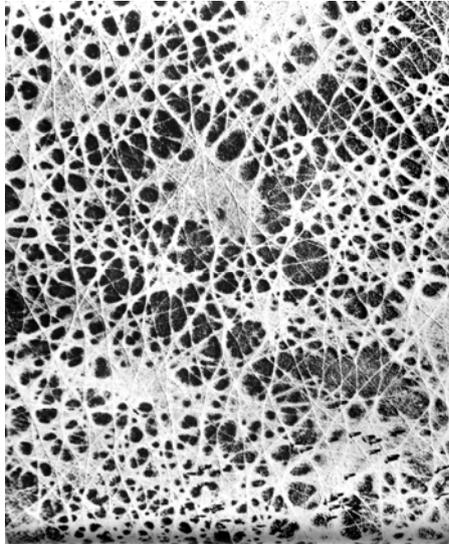


Abb. 6-1 Trampelpfade der Huftiere in der mesopotamischen Tiefebene, aus SCHAUR [72] S. 153

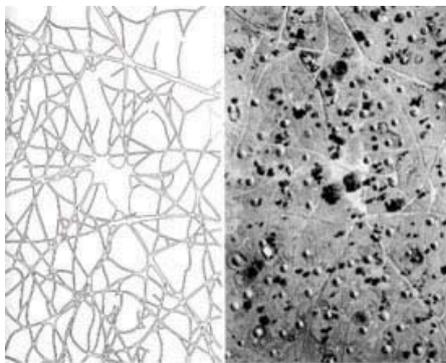


Abb. 6-2 Streudorf zwischen Natronsee und Serengeti, Tansania. Aus SCHAUR [72] S. 100

Die Idee für diesen Teil der Entwurfsumgebung kann konzeptionell abgehandelt werden. Unter Punkt 5.2 wurde bereits die dieser Ebene zugrunde liegende Idee umrissen.

Die Informationsebene dient als Möglichkeit, jene Informationen zu verarbeiten, die sich einer Reduktion auf elementare Bestandteile entziehen und die als gegeben angenommen werden müssen. Hier findet sich sozusagen die kontextuelle Grundlage, auf welche die Systeme der übergeordneten Ebenen zurückgreifen können, um ihre Steuerungsparameter anzupassen.

Die Umsetzung einiger konkreter Kontexte besteht beispielsweise in der Erfassung der topographischen Gegebenheiten. Dazu kann den Teilflächen, welche das Zellenraster bilden und als Grundlage der meisten Generierungssysteme dienen, ein Kennwert zugewiesen werden, der die Ebenheit der Fläche ausdrückt, um steile Hänge und ebene Grundstücke unterscheiden zu können. Über diese Werte lassen sich natürlich alle weiteren Informationen speichern – Vegetation, Bodenbeschaffenheit, Flüsse und Seen, Niederschlag und Windverhältnisse. Bei einem Bezug zu vorhandenen Strukturen eignet sich dieses Feld zur Erfassung der statistischen Werte – Kriminalität, Hygiene, Sozialstruktur und vieles mehr. Diese Informationen können vor allem für die Steuerung der Optimierungsprozesse dienen, die unter Punkt 6.4 beschrieben werden.

Speziell über das Vektorfeld lassen sich Systeme steuern, die beispielsweise Trampelpfade entstehen lassen. Bewegt sich ein Agent über ein solches Feld, so wird er von dem

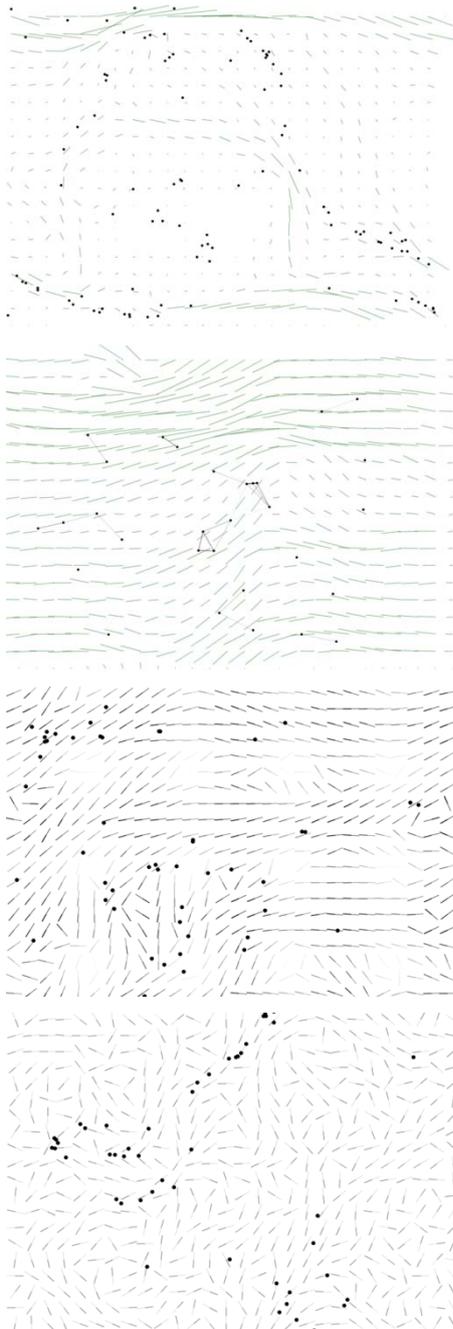


Abb. 6-3 Vector-Field Simulationen.

Darstellung der Interaktion zwischen Agenten und Vektornadeln.

Vektor abgelenkt, der das Resultat vorangehender Bewegungsmuster ist, beeinflusst aber seinerseits auch den Vektor in Betrag und Ausrichtung durch die eigene Bewegung (Abb. 6-2 und Abb. 6-3).

Ein weiteres Beispiel ist die Erfassung des Bewegungsverhaltens, wie es in der Arbeit „Interacting Unities“ von ELENI, TURNER, THUM [29] ausgeführt wird (Abb. 6-5).

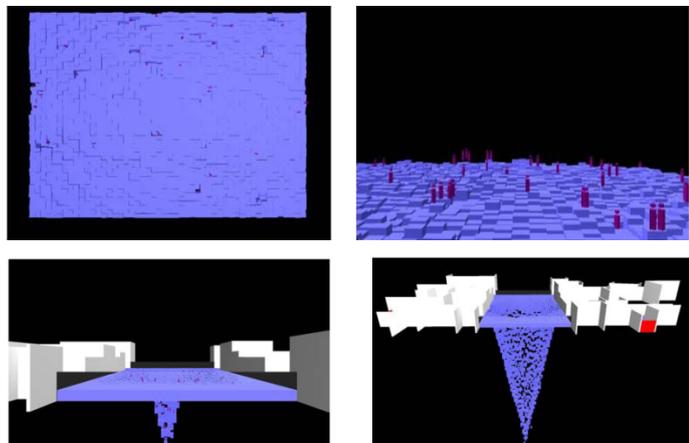
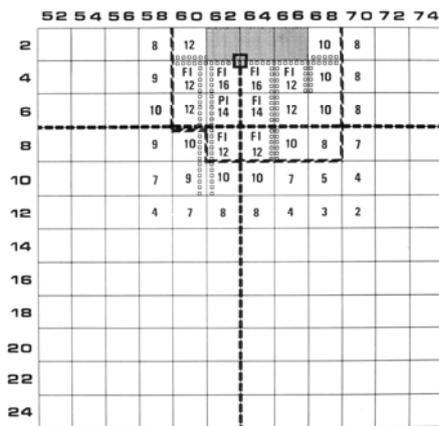


Abb. 6-5 aus „Interacting Unities“ von ELENI, TURNER, THUM [29]



Die Spielfelder verdeutlichen die Repräsentation verschiedener Daten in graphischer Form – von topographischen Aussagen bis zu Besitzverhältnissen und Grundstückspreisen. CLUG gilt als der Urahn von Computerspielen wie SimCity und anderen Simulationsprogrammen.

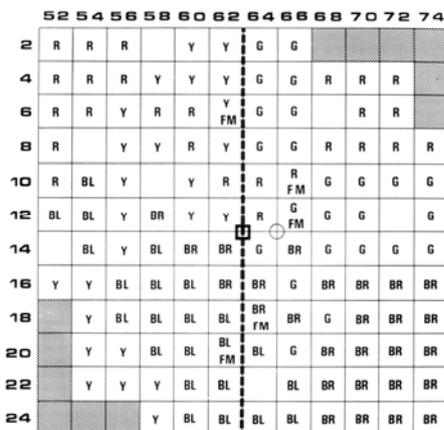
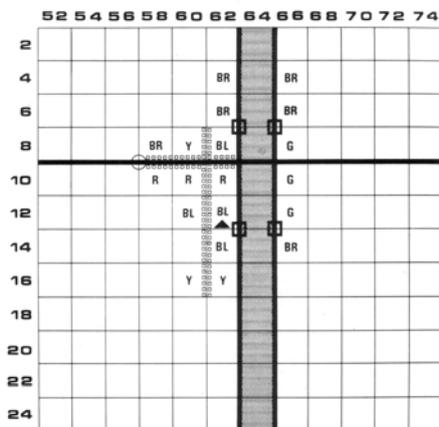


Abb. 6-4 aus CLUG – Community Land Use Game von FELDT [33].

6.2 Ebene des Erschließungssystems

6.2.1 Zielstellung

„Why, then, do people find so much pleasure roaming about in town that is a maze of streets? That question led to this project. What makes a street nice? First we need a yardstick for evaluating what a street should be. The yardstick involves both accessibility and enjoyability.

In other words, a road we judge good is one that takes you to your destination quickly and that gives you pleasure in the process of getting there. Accessibility is considered mainly in terms of traffic by car and enjoy ability in terms of walking.”

Aus WATANABE [78] S.73

In einer städtischen Struktur können, wie im Allgemeinen in jeder Siedlungsstruktur, verschiedene Arten von Wegesystemen existieren; zum Beispiel ein Wasser- und ein Landsystem. In modernen Großstädten besteht das Erschließungssystem aus einem Verbund verschiedener, nach Verkehrsmitteln differenzierter Subsysteme für Fußgänger, Autoverkehr, Untergrundbahn etc.

Die Systeme für die Erschließung mit Wasser, Gas, Strom usw. bilden ebenfalls eigene Wegesysteme, die hier allerdings nicht behandeln werden sollen.

Es wird sich im Wesentlichen auf die primären Wegesysteme konzentriert, die für die räumliche Organisation einer Stadt verantwortlich sind. Also die Wegesysteme der Fußgänger auf der einen Seite und jene des Automobilverkehrs auf der anderen, welche sehr verschiedene Anforderungen an die strukturelle Gestaltung stellen.

Diese Unterschiede können exemplarisch an den strukturellen Veränderungen während der Industrialisierung dargestellt werden, die unter anderem durch die Entstehung von Eisenbahn- und Automobilstraßennetzen ausgelöst wurden. Im Gegensatz dazu stehen die vorindustriellen Städte, die durch den Verkehr von Fußgängern und Pferdewagen geprägt waren. In der modernen Stadtplanung haben sich

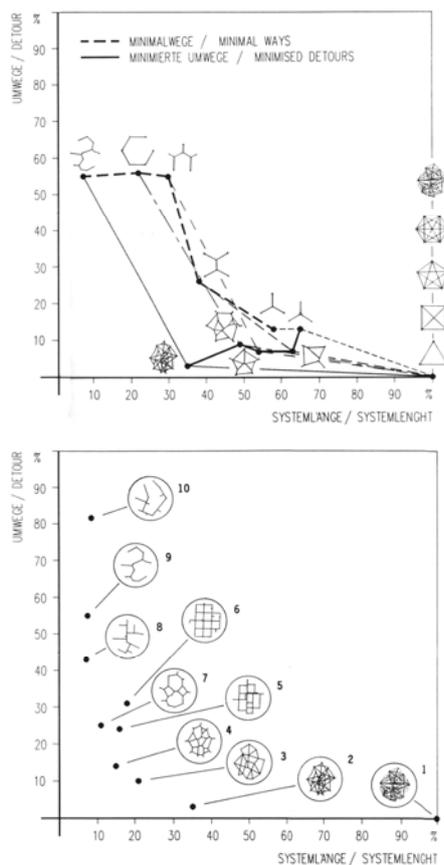


Abb. 6-6 Vergleich unterschiedlicher Wegesysteme nach Systemlänge zu Umwege.

Aus SCHAUR [72] S. 51.

daraus unterschiedlichste Konzepte entwickelt, die von der autogerechten Stadt bis zur Rückbesinnung auf die von Fußgängern dominierte Stadt reichen, die den als störend empfundenen Verkehr in den Untergrund oder in bestimmte Zonen verbannt. Zwischen diesen beiden Polen werden sich auch die folgenden Untersuchungen bewegen.

Eine Stadt beginnt mit dem Bau der Straßen:

„*‘Streets are major and houses are minor’ – this old saying seems to be true even today.*“

So beginnt das Kapitel “Generating Cities” bei WATANABE [78]. Es lässt sich feststellen, dass bei modernen, geplanten Städten die Straßen immer geradlinig verlaufen, da dies neben einer rationalen Parzellierung vor allem für den Autoverkehr günstig ist. Ältere, gewachsene Städte weisen dagegen eher einen verwinkelten Charakter auf, was auf den Entstehungsprozess, der überwiegend von Fußgängern geprägt wurde, zurückgeführt werden kann. Eine ausführliche Analyse dieser Prozesse kann man bei SCHAUR [72], „Ungeplante Siedlungen“ finden.

Jeder von uns ist sich des physischen und psychischen Unterschieds bewusst, sich als Fußgänger in verschiedenen Umwelten zu bewegen, sei es neben einer breiten, geradlinigen und viel befahrenen Autostraße zu laufen, oder in einer verkehrsberuhigten Altstadt zu flanieren. Ebenso ändern sich die Anforderungen an die Umwelt und die Verkehrsbedingungen, wenn man selbst in einem Auto sitzt.

Es werden entsprechend Methoden gesucht, Straßensysteme zu generieren, die den unterschiedlichen Anforderungen in ihrer Gestalt entsprechen und von dem Paradigma

der logischen Folgerung von rational zu orthogonal befreien. Es geht darum, Bedingungen festzulegen, die das System zu erfüllen hat und dabei Erkenntnisse einfließen zu lassen, die aus Bereichen der Verhaltens- und Wahrnehmungsforschung bereitgestellt werden.

Im Gegensatz zu Watanabe soll die Kriteriensuche über den Vergleich einer schönen mit einer funktionalen Straße hinausgehen. Er setzt dazu voraus, dass die verwinkelten, labyrinthischen Straßenzüge alter Städte stets eine positive Wirkung haben – im Gegensatz zu geradlinigen Rastersiedlungen.

Die ästhetische Beurteilung anhand solcher Maßstäbe ist schwierig und entspricht kaum der Idee des regelbasierten, computergenerierten Entwerfens. Interessanter scheint es da, auf jene Methoden zurückzugreifen, die Eda SCHAUR [72] beschreibt.

Es geht dabei um den Vergleich der Gesamtlänge eines Wegesystems mit den Umwegen, die ein solches System notwendig macht, um einen Zielpunkt zu erreichen (Abb. 6-6). Dies steht in direktem Zusammenhang mit dem Flächen- und Energieverbrauch bei dem Bau, beziehungsweise der Nutzung eines solchen Straßensystems. Die ästhetische Bewertung der Ergebnisse des Entwurfsprozesses wird, wie bei allen Verfahren, die in dieser Arbeit beschrieben sind, als Rückkoppelungsfunktion verwendet. Primär hat das System die gestellten Restriktionen zu erfüllen, um zu einem Entwurf zu führen.

6.2.2 Ab- und Anlagerungssysteme



Abb. 6-7 Alpha Syntax Studie der Isle of Dogs, Paul Coates

„Nearly all models of urban structure are based on a scale of development that never reaches down to the scale of architecture and architectural spaces, as one might find in a city. One of the major contributions to a generative theory of architectural space was that of Bill Hillier with his Alpha syntax model of space (HILLIER et al [47]) exposition of the effect of geometry on configurations – what he likes to talk of as ‘the topological necessities of space’, Hillier explored the morphological outcomes of a set of simple syntaxes – simple grammars of form for developing agglomerations of buildings. The alpha syntax was the simplest, and generated spatial arrangements similar to typical small towns in Europe.“

Aus der Alpha Syntax Studie der Isle of Dogs, Paul Coates

Die Untersuchungen werden bei den ‚Diffusion-Limited Aggregation‘ (DLA) Prozessen begonnen, welche sich auch treffend als Anlagerungsprozesse bezeichnen lassen. Für eine effiziente Simulation wird auf das von JOSSEN und EYER [52] beschriebene Verfahren zurück gegriffen.

Mit diesem System lassen sich Wachstumsprozesse von Städten simulieren, wie in Fractal Cities von BATTY und LONGLEY [8] detailliert nachgelesen werden kann (Abb. 6-8). In dem Zitat von DERIX, SIMON und COATES [25] (Abb. 6-7), ist die Anwendung auf Siedlungsstrukturen in kleinerem Maßstab beschrieben.

Hier werden nur einige Eigenschaften der Wachstumssysteme betrachtet, da diese lediglich die Voruntersuchungen für das eigentliche Thema, das Wegesystem, darstellen. Interessant ist, wie sich das System bei unterschiedlichen Ausgangskonfigurationen verhält, die im übertragenen Sinn als jeweils bestehender Kontext, wie Topografie oder Infrastrukturen usw. zu verstehen sind.

Ein lineares Element kann dementsprechend eine Straße, einen Bergrücken, ein Tal oder einen Fluss darstellen, woran sich die (Siedlungs-) Elemente anlagern.

Das zelluläre Hilfsmodell, das zur Berechnung verwendet wird, bietet einige nützliche Möglichkeiten, die Entwicklung der Struktur zu beeinflussen.

So kann man Zellen definieren, die keine Anlagerung zulassen und beispielsweise ein zu steiles Baugelände oder einen Grüngürtel oder Gründungskeil repräsentieren. Au-

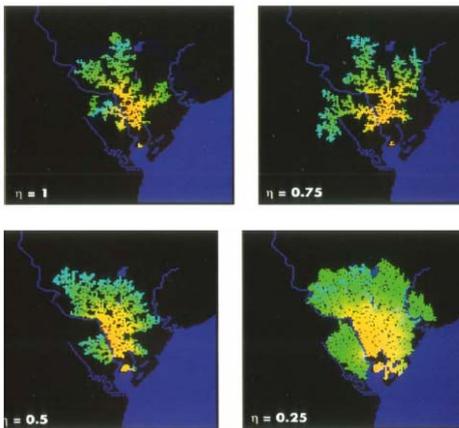


Abb. 6-8 Urbane Wachstumssimulation von Cardiff.

Abbildungen aus Fractal Cities [8], S. 74.

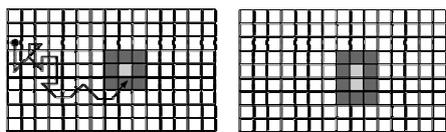


Abb. 6-9 Die Berührungsregeln eines Diffusion Limited Aggregation (DLA) Prozess

ßerdem hat man die Möglichkeit, Bereiche mit höherer Anlagerungswahrscheinlichkeit und andere mit einer geringeren zu definieren, was die Attraktivität des Geländes aus wirtschaftlichen, ökologischen und anderen Gründen widerspiegelt.

Der Wahrscheinlichkeitswert für eine Anlagerung, der über den Wanderpunkt definiert wird, ist schließlich ein Parameter, der die Dichte der Besiedelung beeinflusst. Verwendet man die Wahrscheinlichkeit, wie oft ein Wanderpunkt an einem Ort ankommt (Abb. 6-15), ließe sich daraus eine Regel zur Höhendifferenzierung der Siedlungsstruktur ableiten, die eine Höhenzunahme an den Rändern zur Folge hätte.

Derlei Regelungen kann man an verschiedenen Städten beobachten, denen ein historischer Kern zugrunde liegt, in dem bestimmte Bauwerke, wie Kirchen oder andere heilige Anlagen, die maximale Bauhöhe vorgeben.

Diese darf erst mit zunehmender Entfernung vom Zentrum überschritten werden. (München, Paris, Peking...) Bei moderneren Stadtanlagen tritt auch der umgekehrte Fall auf, dass, wie in Manhattan, das Zentrum die höchsten Gebäude aufweist und die Bebauung zum Rand hin kontinuierlich niedriger wird, was der Invertierung der oben beschriebenen Regel entspricht.

Die angegebenen Werte auf den nachfolgenden Abbildungen drücken die Wahrscheinlichkeit aus, dass ein Punkt angelagert wird - 1 stellt dabei 100% dar. Je Geringer dieser Wert, desto öfter Können Punkte weiter in das Innere der Struktur gelangen, wodurch diese dichter wird.

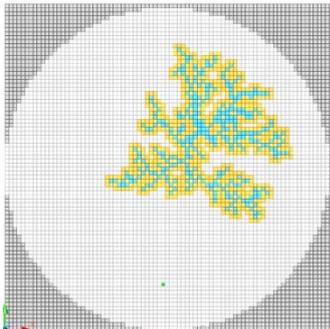


Abb. 6-10 Diffusion-Limited Aggregation, Wahrscheinlichkeitswert = 1

Es werden zwei Agenten und der Wahrscheinlichkeitswert = 1 (d.h. jeder Punkt wird angelagert) verwendet.

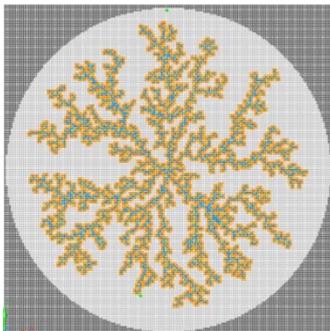


Abb. 6-11 Anlagerungswahrscheinlichkeit 1

Das Feld besteht aus 200 auf 200 Zellen. Die Wahrscheinlichkeit der Anlagerung beträgt 1. Es wurden 3127 Elemente (blau) angelagert.

Simulation im Computer

Um diesen Prozess im Computer simulieren zu können, wurde ein zweidimensionales, rechteckiges Zellenraster als zellulärer Automat (CA) verwendet. Bei einem zellulären Automaten Z wird jede der i Zellen des Rasters mit einem Index $H = \{H_1, H_2, \dots, H_i\}$ bezeichnet und kann sich in einem von k möglichen Zuständen $S^H = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ befinden.

Für die Simulation eines DLA Prozesses müssen mindestens drei Zustände $k=3$ definiert werden. Als erstes für leere Zellen der Zustand $S^H_1 = 0$, als zweites für besetzte Zellen, bei welchen ein Partikel angelagert wurde, der Zustand $S^H_2 = 2$, und als drittes der Zustand $S^H_3 = 1$ für Zellen, bei denen eine Anlagerung möglich ist. Als nächstes ist eine Repräsentation dieser Partikel innerhalb des Systems nötig. Zu diesem Zweck werden Brownsche Agenten (SCHWEITZER [73]) eingeführt. Diese m Agenten $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ können sich frei auf dem zellulären Feld bewegen und mit den Zellen an Ihrer Position interagieren.

Normalerweise ist es hilfreich, die Bewegung der Agenten auf dem CA auf diskrete Schritte von Zelle zu Zelle zu beschränken. PORTUGALI [64] folgend, kann ein System freier Agenten auf zellularem Feld als "Free Agents in a Cellular Space" (FACS) bezeichnet werden. Als letztes ist für eine DLA Simulation ein Transformations-Gesetz F für die Zellen notwendig.

Diese hängt entweder vom Zustand der Nachbarzellen $U(H)$ der Zelle H , ab, wobei $S^{U(H)}$ die Summe der Zustände der Nachbarzellen beinhaltet, oder F hängt von der Position P^A des Agenten A ab. Jetzt können wir das allgemeine

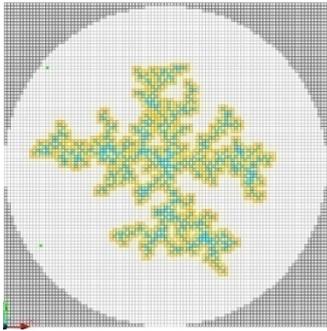


Abb. 6-12 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,5

Aufgrund der hohen Rechenzeiten wird das Feld auf 100 mal 100 Zellen verkleinert, was zur Darstellung der wesentlichen Gestalteigenschaften ausreicht. Hier mit dem Wahrscheinlichkeitswert 0,5 berechnet.

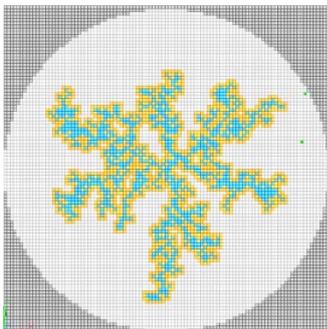


Abb. 6-13 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,25

Feld mit 100 mal 100 Zellen. Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,25. 928 angelagerte Elemente.

Transformationsgesetz des FACS Modells für einen DLA Prozess beschreiben:

$$S^H_{(t+1)} = F_t (S^H(t), S^{U(H)}(t), P^A(t)). \quad (6.1)$$

Zusammengefasst heißt das, dass der Zustand S der Zelle H im nächsten diskreten Zeitschritt $t+1$ vom Transformationsgesetz F zur Zeit t abhängt. Das Transformationsgesetz beinhaltet den Zustand S der Zelle H zur Zeit t , die Konfiguration der Nachbarzellen S^U der Zelle H zur Zeit t und die Position P des Agenten A zur Zeit t . In gleicher Weise ist das Transformationsgesetz L für die Position der Agenten A zu beschreiben:

$$P^A_{(t+1)} = L_t (A^{U(H)}(t), S^H(t), S^{U(H)}(t), P^A(t)), \quad (6.2)$$

wobei $A^{U(H)}(t)$ die möglichen Orte eines Agenten A beschränkt, sich zufällig beim nächsten Zeitschritt zu bewegen. Der Zustand S der Zellen H beschreibt, ob es dem Agenten erlaubt ist, an der Stelle anzulagern, oder ob der Agent eine bestimmte Zelle zum nächsten Zeitschritt betreten kann. Mit dieser formalen Ausrüstung kann man das Modell operativ noch mehr und detailgenauer ausstatten. Um den Prozess zu starten, müssen wir mindestens einen Agenten auf einem zufällig gewählten Ort am Rand des CA Rasterfeldes platzieren und mindestens eine angelagerte Zelle definieren. Als erstes Beispiel nehmen wir die Zelle H im Mittelpunkt des Feldes als Ursprung (die hellgrau markierte Zelle in Abb. 6-9 und alle anderen Zellen i werden als leer definiert).

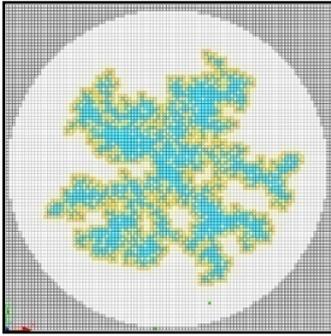


Abb. 6-14 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,1

Feld mit 100 mal 100 Zellen. Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,1. 1650 angelegerte Elemente.

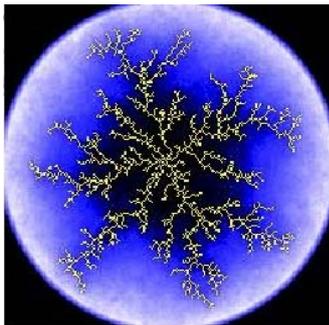


Abb. 6-15 Analyse aller Punkte

aus JOSSEN und EYER [52]. Es wurden sämtliche Punkte - mit einem beträchtlichen Rechenaufwand - analysiert. Punkte mit der gleichen Wahrscheinlichkeit sind mit derselben Farbe gekennzeichnet.

Der Initialisierungsprozess für die meisten DLA-Prozesse kann nun folgendermaßen geschrieben werden:

$$P^A(0) = \text{random}(H_b), S^{H_c}(0) = 2, S^{H_i}(0) = 0, \forall i \neq c. \quad (6.3)$$

Im nächsten Schritt werden die Transformationsgesetze des CA und der Agenten ausgeführt. Dafür müssen wir die Nachbarschaftsbeziehungen definieren, für welche die Mooresche Nachbarschaftsbeziehung definiert wird, welche die acht Umgebungszellen beinhaltet (siehe die acht hell markierten Zellen in Abb. Abb. 6-9) Die Zelle ändert ihren Zustand von 0 zu 1 unter folgender Bedingung:

$$S^H(t+1) = 1, \text{ if } (S^H(t)=0 \text{ and } C^{U(H)}(t)>0), \quad (6.4)$$

wobei

$$C^{U(H)}(t) = \sum_G \{1 | G \in U(H), S^G = 2\} \quad (6.5)$$

der Zähler für die kristallisierenden Zellen mit Zustand in $S=2$ der Umgebung von Zelle H ist. Konsequenterweise ist eine Anlagerung nur da möglich, wo zumindest eine Zelle in der Nachbarschaft angelagert ist. Um den Zustand der Zellen von 1 zu 2 zu ändern, wird eine weitere Verbindung definiert:

$$S^H(t+1) = 2, \text{ if } (S^H(t) = 1 \text{ und } P^A(t) = H(t)). \quad (6.6)$$

Wenn die Bedingung (6.6) zutrifft, wird der aktuelle Agent gelöscht und ein neuer wird zufällig $\text{random}(H_b)$ erzeugt.

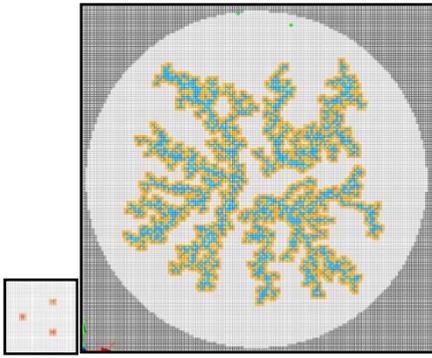


Abb. 6-16 drei besetzte Anfangszellen, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3

Ein Beispiel für die Entwicklung mit drei besetzten Anfangszellen. Die Agglomerationen wachsen entgegen der Erwartungen nicht zusammen, sondern entwickeln sich bei der verwendeten Feldgröße von 150x150 Zellen getrennt voneinander. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Wanderpunkte immer vom Kreisrand aus ihre Zufallswege beginnen und damit eher an den äußeren Armen angelagert werden ohne bis in die Mitte vordringen zu können. Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3.

Nach der Ausführung des CA bewegt sich der Agent/die Agenten einen zufälligen Schritt auf dem zellularen Feld:

$$P^A(t+1) = \text{random}(A^{U(H)}(t)), \quad (6.7)$$

Wobei die Position des Agenten zufällig, innerhalb der möglichen Positionen von denen aus er in einem Schritt zu den bereits definierten angelagerten Zellen kommen kann, ausgewählt wurde. In diesem Beispiel wurden die gleichen acht Zellen Moore Nachbarschaft $U(H)$ ausgewählt für $A^{U(H)}$ wie für den CA. Abb. 6-9 zeigt die Anlagerung eines Agenten nach einem zufälligen Wert (linke Seite), wenn er in die Nachbarschaft einer bereits angelagerten Zelle kommt mit dem dazugehörigen Zustandsänderung der Zelle von 1 nach 2 (rechte Seite). Ein Beispiel des Ergebnisses des beschriebenen DLA-Prozess kann man in den nebenstehenden Abbildungen sehen. Eine nützvolle Adaption des Verbindungszustandes (6.6) ist eine Wahrscheinlichkeit ρ für die Verbindung eines Partikels einzuführen:

$$S^H(t+1) = 2, \text{ if } (S^H(t) = 1 \text{ and } P^A(t) = H(t) \text{ and } \varepsilon < \rho) \quad (6.8)$$

Wobei ε ein zufälliger Wert zwischen 0 und 1 ist. Bei $\rho=1$ wird ein Partikel immer verbunden, wenn er eine Zelle mit Zustand 1 überquert. Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit relativ gering, dass ein Partikel zum Zentrum des Clusters kommen kann, ohne verbunden zu werden. Aus diesem Grund geschieht das Wachstum des Clusters überwiegend am Rand der Struktur. Wenn man die Verbindungswahrscheinlichkeit ρ senkt, können mehr Partikel den Rand passieren und Wachstum findet auch innerhalb des Clusters statt (Abb. 6-14). Die Struktur in Abb. 6-21 wird gene-

riert, indem man zwei Initialzellen nimmt und die Einschränkung aufhebt, dass die Agenten am Rand des zellulären Feldes mit ihrem zufälligen Weg beginnen müssen. Durch diese Maßnahme können zwei wachsende Strukturen zu einer zusammenwachsen.

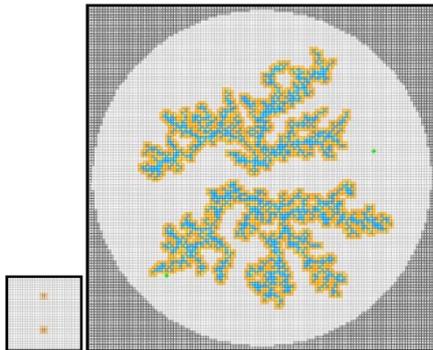


Abb. 6-17 zwei besetzte Anfangszellen, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3

Entwicklung mit zwei besetzten Anfangszellen. Auch hier wachsen die Agglomerationen bei den gleichen Bedingungen aus denselben Gründen nicht zusammen.

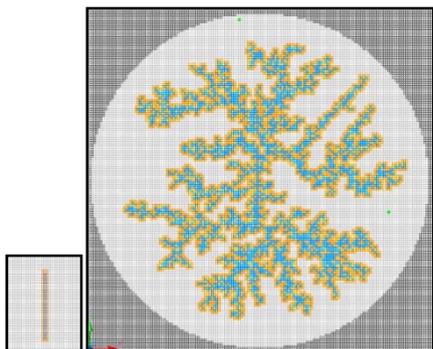


Abb. 6-18 lineare Ausgangskonfiguration, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3

Anlagerung an einer linearen Ausgangskonfiguration. Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3. 2667 angelagerte Elemente.

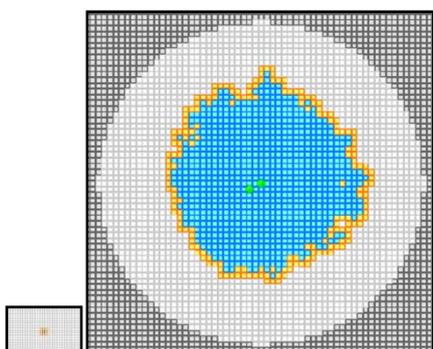


Abb. 6-19 Initialisierungspunkt im Zentrum

Die Wanderpunkte starten nicht mehr von dem Kreisrand, sondern vom Mittelpunkt der Struktur – also vom Initialisierungspunkt. Wie zu erwarten bildet sich eine homogene Fläche mit mehr oder weniger ausgefranster, kreisförmiger Umgrenzung, was wiederum mit dem Wahrscheinlichkeitswert für die Anlagerung korreliert. Wählt man die Wahrscheinlichkeit 1 – 100%, so wird jeder Punkt angelagert; und da er seltener in sich ausbildende Arme vordringen kann, entwickeln diese sich nicht weiter. Verringert man den Wahrscheinlichkeitswert, so kann der Wan-

derpunkt zwar die Grenzlinie häufiger überschreiten, dann gilt allerdings wiederum das Verhalten des ursprünglichen DLA Systems, dass bei einer niedrigen Anlagerungswahrscheinlichkeit die Verästelung verringert wird.

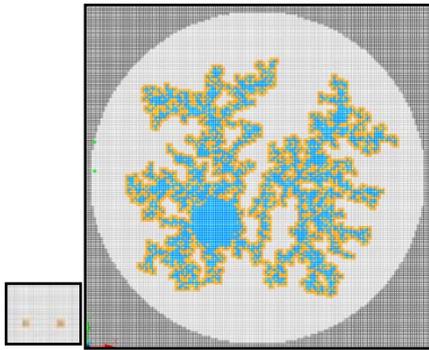


Abb. 6-20 Mischsystem

Auf der Suche nach einem Modell, dass zwei Agglomerationen zusammen wachsen lässt, sind hier beide Systeme miteinander gemischt, so dass der Wanderpunkt entweder vom Kreisrand oder vom Mittelpunkt startet. Das Verhältnis kann man mit einem Wahrscheinlichkeitswert bestimmen, wobei die wenigsten Punkte vom Mittelpunkt aus starten – in diesem Beispiel mit der Relation 1:100 gewählt; die Anlagerungswahrscheinlichkeit beträgt 0,2. Damit konnte jedoch kein Zusammenwachsen erreicht werden.

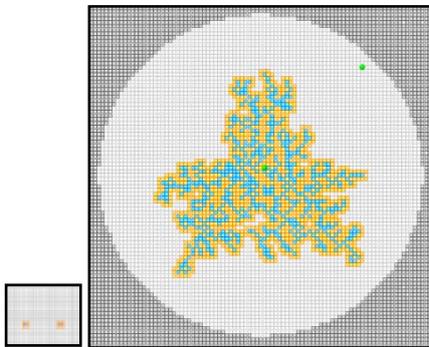


Abb. 6-21 zufällige Startposition, Mischform, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,5

Lässt man den Wanderpunkt nach einer Anlagerung eine zufällige Startposition auf einer weißen, also leeren Zelle einnehmen, gelingt es, die beiden Agglomerationen zusammenwachsen zu lassen. Man kann wiederum eine Mischform mit der ursprünglichen Methode verwenden, um die Ergebnisse anzupassen. Die Anlagerungswahrscheinlichkeit in diesem Beispiel beträgt 0,5.

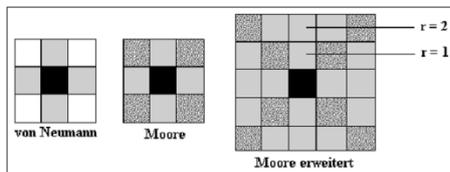


Abb. 6-22 Erweiterte Nachbarschaftsbe-
reiche.

Anlagerungspunkte mit erweiterter
Nachbarschaft sind durch Linien ver-
bunden: $AW = 1$

Aus JOSSEN und EYER [52]

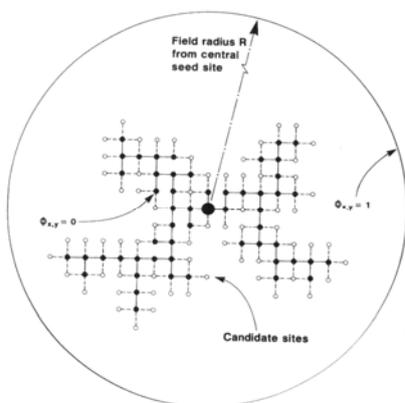


Abb. 6-23 Nachbarschaftssystem für
Anlagerungsmöglichkeiten beim Die-
lectric Breakdown Modell.

Aus BATTY, LONGLEY [8], Fractal
Cities, S. 280.

Dielectric Breakdown Modell

Als nächstes wird ein System untersucht, welches als Dielectric Breakdown Model bezeichnet wird (Abb. 6-23). Der Unterschied zu dem bisher verwendeten Modell besteht in der Festlegung der für die Anlagerung definierten Nachbarzellen einer besetzten Zelle. Der ‚Diffusion-Limited Aggregation‘ Prozess findet in der Natur selbstverständlich nicht mit einem Hilfsraster statt, sondern wird über den dreidimensional gemessenen Abstand erzeugt. Dies benötigt allerdings einen wesentlich größeren Rechenaufwand, so dass auf die Moorsche Nachbarschaft zurückgegriffen werden muss (siehe zelluläre Automaten). Das Dielectric Breakdown Modell verwendet dagegen die von Neumannsche Nachbarschaftsregel, also die orthogonalen Nachbarn ohne die diagonal angrenzenden, was zu anderen Strukturerscheinungen führt (Abb. 5.19 – 5.50).

Erschließungssystem

Wie kann man fortfahren, um aus dem abstrakten DLA Prozess ein komplexes System von Straßen generieren zu lassen? Um diese Frage zu beantworten, kann man auf Maßstabebene einer ganzen Stadt beginnen. Es ist möglich, die voraussichtliche Entwicklung einer Stadt über Jahre mit einem CA-Modell und einem Prozess der vom DLA abgeleitet wurde (BATTY and LONGLEY [8]) zu beschreiben. In ähnlicher Weise kann man den ersten Versuch mit einer leeren Landschaft beginnen, auf der ein System von Straßen schrittweise zu wachsen beginnt. Um die DLA Struktur in ein Straßennetzwerk zu überführen, werden nun die angelagerten Zellen als Knoten N (Kreuzungen) eingeführt. Sie werden durch eine Verbindung E (Straßen) der Länge d zu den anderen Knoten, welche sich

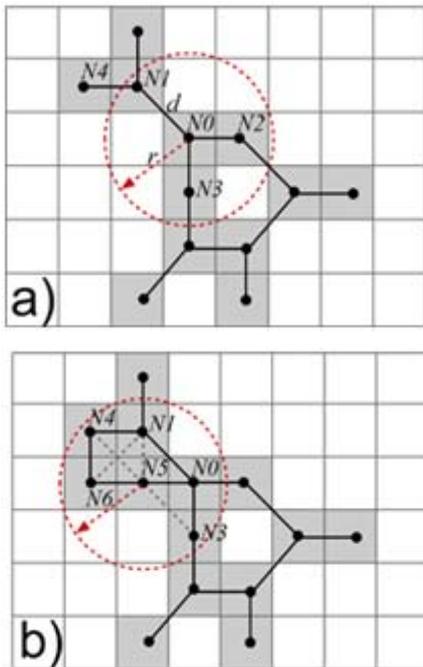


Abb. 6-24 Die Regeln, mit welchen man ein Straßennetzwerk baut

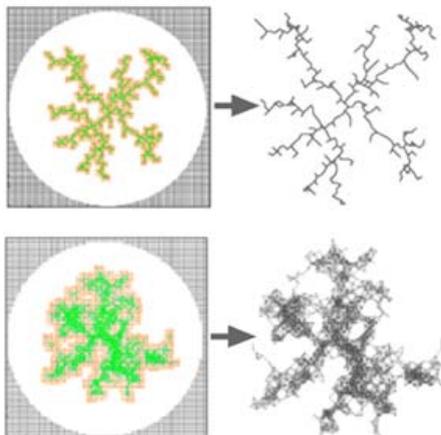


Abb. 6-25 mögliche Straßennetze ohne Einschränkung der Verbindungen

innerhalb eines Kreises mit Radius r befinden, erstellt. In Abb. 6-24 wird die Verbindungsregel veranschaulicht. Der Prozess beginnt mit $N0 = S^{He}(0) = 2$, und die Knoten N1 bis N4 werden nacheinander verbunden, während eine Verbindung zu N0 nur gezeichnet wird, wenn $d > r$. Mit dieser Methode erhalten wir Strukturen wie in Abb. 6-25 illustriert.

Das Problem, wie man besonders auf Abb. 6-25 unten sehen kann, ist die hohe Dichte der Verbindungen im Straßennetzwerk bei relativ geringen Werten für p . Um dieses Problem zu lösen, wurde eine weitere Einschränkung eingeführt. Wenn ein neuer Knoten N5 (Abb. 6-24 b) mit einem bestehenden Cluster verbunden wird (mit $N0 - N4$ und weiterhin ohne N6), wird eine Verbindung zu einem der nächsten Knoten (N0) gezeichnet und der kürzeste Weg zu den anderen Verbindungsvarianten berechnet. Die Knoten, welche man passieren muss um eine Verbindungsmöglichkeit durch den aktuellen Graphen zu erhalten, werden in C gezählt. Um die kürzeste Verbindung zu berechnen, wird der A* Algorithmus benutzt (RUSSEL und NORVIG [70]). Die Bedingung, um eine Verbindung zu zeichnen, kann folgendermaßen beschrieben werden:

$$E_{(Ni, Nj)} \text{ If } (d < r \text{ und } C > X) \quad (6.9)$$

Wobei X die Mindestanzahl der benötigten Knoten zwischen einem neuen Knoten und einem Verbindungskandidaten ist, bevor eine neue Verbindung gezeichnet wird.

Zum Beispiel in Abb. 6-24 b) ist $X=3$. Durch Manipulation der drei Hauptparameter $U(H)$, der Nachbarschaft H an der eine weitere Verbindung möglich ist, und die Wahr-

scheinlichkeit ρ um die Dichte des wachsenden Clusters sowie um die Frequenz der Verbindungen zu regulieren, können wir global Straßennetze mit verschiedensten Charakteristiken generieren. Im Allgemeinen können die möglichen Straßennetze in drei Kategorien unterteilt werden: Als erstes in eine Baumstruktur mit Sackgassen, zweitens in ein Netzwerk, wobei jeder Knoten mit mindestens zwei anderen Knoten verbunden ist, und drittens in eine Mischung der ersten beiden Kategorien, wobei einige Äste Sackgassen sind und als semi-lattice bzw. Halbverband-Struktur bezeichnet werden können (ALEXANDER [2]).

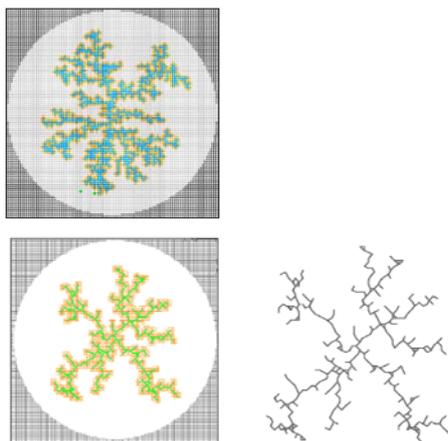


Abb. 6-26 und Abb. 6-27 Struktur mit DBM Regeln, Anlagerungswahrscheinlichkeit 1

Eine mit den DBM Regeln erzeugte Struktur. Die Merkmale unterscheiden sich nicht wesentlich von den DLA Strukturen. Anlagerungswahrscheinlichkeit 1. 1243 angelagerte Elemente. (unten links) Die verbundenen Anlagerungspunkte ergeben eine Wegestruktur.

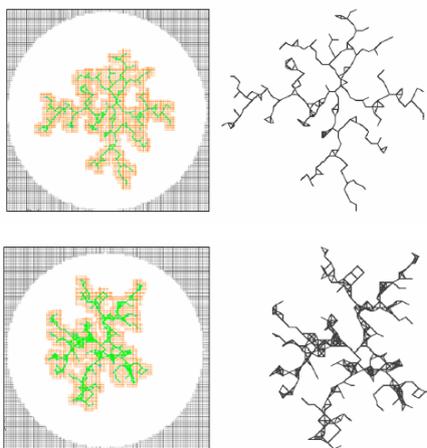


Abb. 6-30 und Abb. 6-31 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,5 (links) und 0,1 (rechts);

Die Abbildungen stellen zwei Anlagerungssysteme dar - mit der Wahrscheinlichkeit 0,5 (links) und 0,1 (rechts), in einer Umgebung von 100 mal 100 Zellen. Im Gegensatz zu der verästelten Baumstruktur auf der vorherigen Seite entstehen jetzt vernetzte Strukturen. Die Häufung von Anlagerungspunkten, wie in der rechten Abbildung deutlich zu erkennen, wird dadurch verursacht, dass in die Formel für die Anlagerungswahrscheinlichkeit die Anzahl der Nachbarn eingeht:

$$\text{Rnd}(1) \geq (1 - \text{Wahrscheinlichkeit}) ^ \text{zelle}(\text{rKoord}(0), \text{rKoord}(1)).\text{state}$$

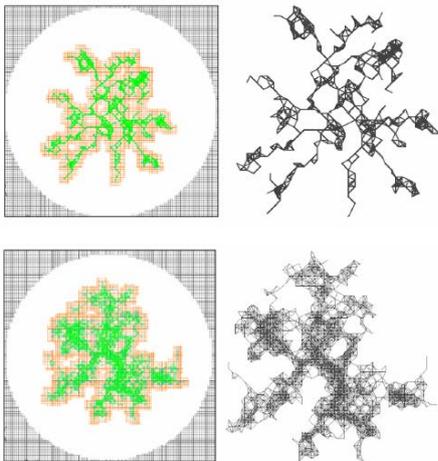


Abb. 6-28 und Abb. 6-29 Wahrscheinlichkeitswerte 0,05 (oben) und 0,01 (unten),

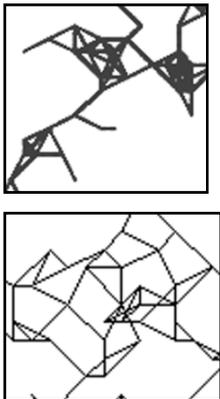


Abb. 6-32 Detail der Wegestrukturen.

Links mit unbegrenzter Anzahl an Armen, rechts mit maximal 4, wobei sich einige Wege überschneiden, was dadurch zustande kommt, dass der Nachbarschaftsradius auf zwei Ringe $r=2$ gesetzt wurde.

speichert die Anzahl der Nachbarn. Anhäufungen werden dadurch gesteuert, dass dort, wo bereits Punkte angelagert sind, die Wahrscheinlichkeit abnimmt, dass weitere angelagert werden. Je größer dieser Wert, desto stärker wirkt sich der Effekt aus.

In den Abbildungen links sind zwei Varianten mit den Wahrscheinlichkeitswerten 0,05 (oben) und 0,01 (unten) abgebildet, was zu einer dichteren Vernetzung führt, bis die Struktur in einigen Teilen zu undifferenzierten Klumpen übergeht, im Gesamten allerdings noch immer deutliche Unterschiede in der Dichte des Wegenetzes aufweist und sogar einzelne, freie Inseln entstehen lässt.

Bei näherer Betrachtung der erzeugten Strukturen soll die Aufmerksamkeit zuerst einmal auf die erzeugten Knoten gerichtet werden – womit die Punkte bezeichnet sind, an denen die Linien zusammentreffen. Man kann dies als eine topologische Beschreibung von Kreuzungen und Straßen verstehen, wobei im Folgenden die Straßen auch als Arme bezeichnet werden, die in einem Knoten zusammenlaufen. Bei den bisherigen Systemen kam die Armigkeit der Knoten durch die Anzahl der angelagerten Zellen zustande. In den Wegesystemen, die in den Städten vorgefunden werden können, kommen aber meist nur drei- oder vierarmige Knoten vor, weshalb die Anzahl der möglichen Arme eines Knotens im vorgestellten Programm ebenfalls auf 3, 4 bzw. 5 beschränkt wurde (Abb. 6-32).

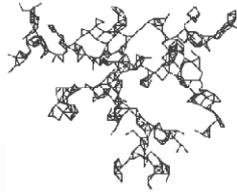
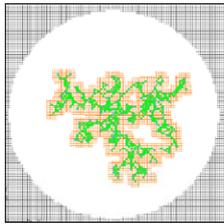


Abb. 6-33. System mit fünfarmigen Knoten.

Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,05; 100 x 100 Zellen.

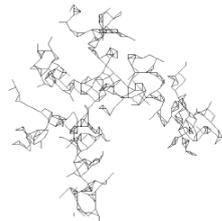
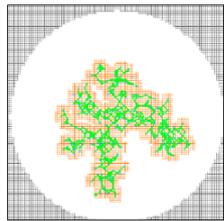


Abb. 6-34. System mit vierarmigen Knoten.

Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,04; 100 x 100 Zellen.

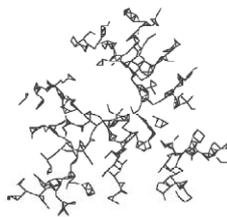
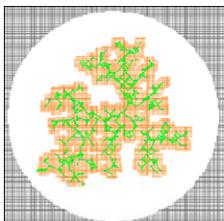


Abb. 6-35. Der Nachbarschaftsbereich ist auf drei Ringe $r=3$ erweitert.

Bei einer Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,04 und 150 x 150 Zellen.

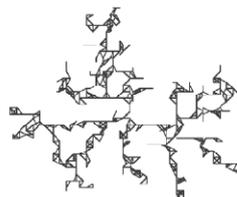
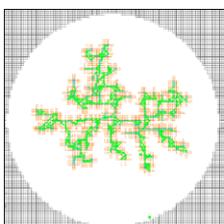


Abb. 6-36. Die von Neumannsche Nachbarschaft ist auf die orthogonalen Zellen beschränkt.

Mit dem Radius 2 und der Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,4; 100 x 100 Zellen.

6.2.3 Strukturanalogien, Maßstabsfrage

Neben dem oben beschriebenen Vergleich mit dem Stadtwachstum am Beispiel von Cardiff aus *Fractal Cities* [8] und den Anlagerungsprozessen, wird hier auf die Untersuchungen von Klaus HUMPERT [43] näher eingegangen. In den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 6-37) kann besonders die Entwicklung des Eisenbahnnetzes für eine Überprüfung des Anlagerungssystems verwendet werden. Im oberen Bild ist die Ausbreitung von sieben „Anlagerungspunkten“ zu sehen. Nachdem die Äste zusammengewachsen sind, vernetzt sich die Struktur zunehmend.

Zum Nachweis der Anwendbarkeit des Systems lassen sich die Abb. 6-11 bis Abb. 6-36 vergleichen, bei welchen mittels des Anlagerungsprozesses analoge Strukturen generiert wurden. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, wird im Folgenden immer wieder auf die Terminologie und die Maßstabsfenster aus Klaus Humperts Gliederung zurückgegriffen. Man befindet sich mit dem Beispiel des Stadtwachstums von Cardiff im Regionalmaßstab (z.B. 1:500.000) und mit den nebenstehenden Vergleichen mit u.a. dem Eisenbahnnetz im Globalmaßstab (z.B. 1:100.000.000). Zu diesen Maßstabsfenstern ist nebenstehend die Beschreibung aus HUMPERT [43] S. 36ff aufgeführt.

Maßstabsfenster A – Globalmaßstab

„In diesem Maßstabsfenster betrachten wir die Verbreitung und Ausbreitung menschlicher Siedlungen über ganze Kulturlandschaften (Welt: M. 1: 100.000.000, Kontinente: M. 1:20.000.000, Staaten und Länder M. 1: 5.000.000). Neben der Horizontalität der geographischen Ausdehnung gilt es, die Vertikalität der geschichtlichen Entwicklung darzustellen, also die Geschichte der Menschheit anhand der Geschichte des Siedelns. Die geographische Verteilung und Ausbreitung von Siedlungspunkten in der Landschaft zeigt unbestritten Ähnlichkeit mit gleichartigen Vorgängen in der belebten und unbelebten Natur (Anm.: die Beispiele beziehen sich auf die nebenstehende Abbildung). Die einzelnen Siedlungspunkte sind sowohl durch lokale Gunstfaktoren als auch durch bewusstes planerisches Handeln (Gründung!) determiniert. In der Summe zeigen sie aber – trotz regionaler oder linearer Verdichtung – eine stochastische Verteilung. Bei Kolonisationsvorgängen spielen sich Ausbreitung und Verdichtung gleichzeitig ab. Moderne Verkehrssysteme wie Eisenbahnen sind, was die Wahl der zu verbindenden Orte und die Streckenführung anlangt, Gegenstand menschlicher Planung, jedoch nur soweit, wie es sich um einzelne lokale, voneinander unabhängige Systeme handelt.

Überregionale Netze „in einem Stück“ sind oft geplant worden, aber stets Utopie geblieben! Größere Fernverbindungen entstehen gleichsam als ‚Brückenschlag‘ durch möglichst kurze Verbindungsstücke zwischen den einzelnen Lokalsystemen. Das so entstandene neue Netz stellt in seiner Qualität als Fernwegestruktur nunmehr Selbstorganisationsmechanismen dar, wie wir sie in der Anordnung von Siedlungspunkten beobachtet haben.“

HUMPERT [43] S. 36ff

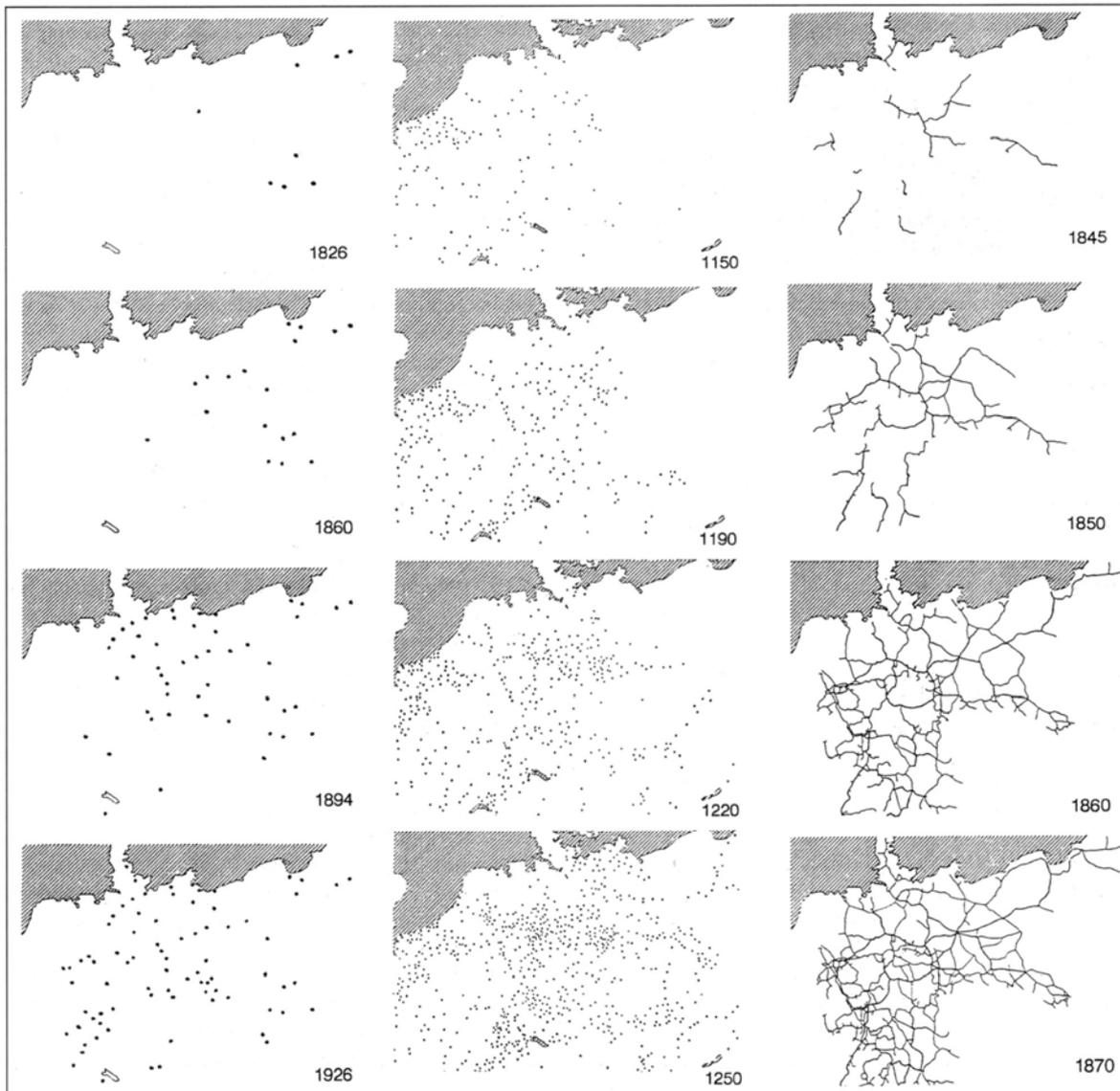


Abb. 6-37 Von links nach rechts: Vergleich der Ausbreitung des Frühlingsgeiskrautes und der mittelalterlichen Stadt in Europa und die Entwicklung des Eisenbahnnetzes in Deutschland.

Aus HUMPERT [43] S. 37.

„(...) Solche langfristigen (...) Wandlungen des Empfindens und Verhaltens, die ja durch die Verschränkung und Durchkreuzung der Absichten vieler Menschen zustande kommen, (lassen) sich nicht als Ergebnis von Plänen und Zielen einzelner Menschen oder Menschengruppen verstehen und erklären (...) sondern als Tatsachen eigener Art. Obgleich es sich ganz und gar nicht um Natursachen handelt, sondern um Tatsachen des gesellschaftlichen Verkehrs der Menschen, gehören solche (...) Veränderungen einem Tatsachenbereich an, der sich nicht erklären und verstehen lässt, als ob er auf gezielte und geplante Aktionen einzelner Menschen und Menschengruppen zurückginge“.

Aus HUMPERT [43] S. 36ff

In den Schlussfolgerungen – Zitiert aus HUMPERT [43]: Das Phänomen der Stadt – ist ein für diesen Kontext interessantes Zitat von Norbert Elias [30] abgedruckt (siehe links). Ich stimme hier Norbert Elias bei seiner Beschreibung der Entstehungsverhältnisse der Strukturen vollkommen zu. Für die Erklärung des Zustandekommens dieser Strukturen – wenn sie auch nicht bewusst geplant sind – suche ich allerdings anhand der Computermodelle nach Antworten, und denke, diese unter Bezugnahme auf die Forschungen von HILLIER und HANSON [44] in ‚The social logic of space‘, auch finden zu können. Es soll in der nächsten Maßstabsebene näher darauf eingegangen werden.

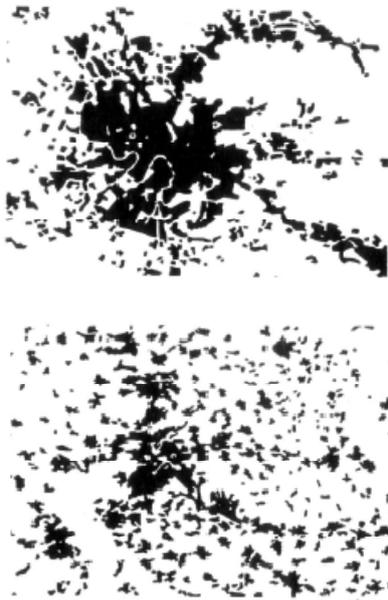
Maßstabsfenster B – Regionalmaßstab

Abb. 6-38 oben Moskau 10,0 Mio. Einwohner und unten Stuttgart mit 2,3 Mio.

aus HUMPERT [43]: Das Phänomen der Stadt. S. 42.

„Hier interessiert uns hauptsächlich die modernste Form menschlichen Siedelns, der großstädtische Ballungsraum. Dieser weist unabhängig von Ort und Kultur grundsätzlich ähnliche Strukturen auf. Die Merkmale dieser Strukturen (M. 1: 500.000) sind:

- *Ein Masseschwerpunkt, der als Mitte gedeutet werden kann.*
- *Eine vielfach geknickte und gezackte „fraktale“ Umrisslinie der Siedlungsflächen.*
- *Eine charakteristische Ausdünnung des Siedlungskörpers von der Mitte hin zum Rand.*
- *Viele einzelne, voneinander getrennte Siedlungsflächen.*
- *Nicht besiedelte Einschlüsse („Löcher“), vor allem in der Kernfläche.*
- *Weit in das Umland hinausragende Austriebe des Kernes.*
- *Ein Schwarm kleinerer inselartiger Siedlungsflächen im näheren Umkreis des Kernbereiches*
- *... Bei weiterem Wachstumsdruck wird deshalb mehr oder weniger das gesamte ‚Hintergrundrauschen‘ an Siedlungspunkten – meist Dörfer und kleinere Städte in der umliegenden Landschaft in Anspruch genommen. Hierbei lagern sich die zusätzlichen Siedlungsflächen an diese vorgefundenen Kristallisationskerne an oder*

bilden neue Siedlungsschwerpunkte (Trabanten). Dabei werden jene Orte bevorzugt, die in günstiger Zeitrelation zum Altkern liegen, d.h. an Ausfallstraßen oder U- und S-Bahnen. Dies führt im Trend zu spinnenartigen Strukturen

- *die „Spinnenarme“ werden im folgenden Entwicklungsachsen genannt. Solche neuzeitlichen Siedlungsstrukturen tragen einerseits dem fortwährenden Wunsch nach geringerer Siedlungsdichte bei hohem Wohnflächenverbrauch Rechnung, andererseits sind sie Abbild einer durch Technik hochmobil gewordenen Gesellschaft.“ HUMPERT [43] S. 36ff*

Die Beschreibung oben entspricht bis auf einige Entwicklungseinheiten, die zu einem späteren Zeitpunkt unter Rückgriff auf die Informationsebene integriert werden, den Feststellungen, die zu den Anlagerungsprozessen gemacht worden sind.

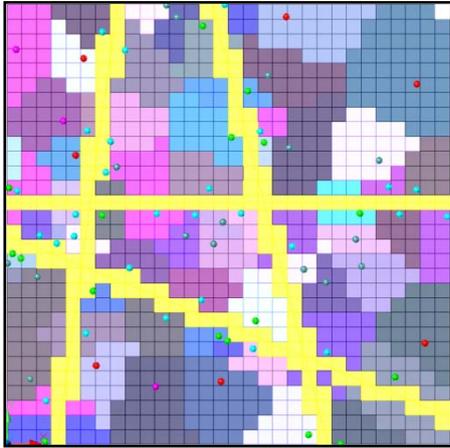


Abb. 6-39 Versuchssystem

Die gelben Zellen stellen die Wege dar. Die anderen Farben markieren jeweils die nächstgelegenen Zellen zu einem Agenten – eine Art Raster-Voronoiflächen, was zu einer entsprechenden Parzellierung führt. Die grünen Punkte sind Agenten des Typs 1, hell Cyan des Typs 3 und dunkel Cyan des Typs 2. Die roten und rosaroten Punkte stellen Agenten dar, die noch nicht angelagert wurden.

Maßstabswechsel

Während bisher die Anlagerungsprozesse zur Generierung abstrakter und eher übergeordneter Stadtstrukturen verwendet wurden, um die Eigenschaften und Steuerungsmöglichkeiten dieser Systeme zu erkunden, ist es nun besser, sich mit der Anwendung für einen kleineren Siedlungsausschnitt zu beschäftigen. Da das Wegesystem in direkter Abhängigkeit von der Parzellierung steht – und umgekehrt – sollen einige weitere Elemente in das System eingeführt werden. Bisher wurden mittels eines Rastersystems aus Zellen zufällig umherwandernde Punkte, die im folgenden als Agenten bezeichnet werden, angelagert. Durch die Verbindung der besetzten Zellen mit Linien ergab sich eine Art Wegesystem. Jetzt wird diese Struktur vergrößert dargestellt und die Bedingungen eines Teilgebietes untersucht. Es werden drei Fälle als Ausgangssituation unterschieden:

1. Ein freies Gebiet ist zu erschließen, wobei nur die Anschlusspunkte am Rand gegeben sind, welche die Verbindung zum umgebenden Verkehrsnetz darstellen.
2. Die Struktur lagert sich an bereits bestehenden, primären Erschließungswegen an.
3. Das Erschließungssystem erweitert sich sukzessive in Abhängigkeit der besetzten Flächen.

Für den ersten Fall wird eine Strategie benötigt, die zu einer primären Erschließungsform führt. Dafür eignen sich die im vorigen Kapitel erwähnten Graphen wie der Steiner Tree (Minimalwegesystem zwischen gegebenen Punkten), Kd-Trees (Bereichsunterteilung), pathfinding Algorithmen und andere.

Die Erforschung dieser Möglichkeiten ist allerdings zu komplex und aufwändig für den Rahmen dieser Arbeit, weshalb lediglich der zweite und dritte Fall bearbeitet wird. Es wird wieder das bereits bekannte Zellenraster als Grundlage verwendet. In dieses werden als erstes die Informationen über die Lage der Erschließung übertragen. Ausgehend von den linearen Elementen, die aus den bereits durchgeführten Experimenten übernommen werden können, werden die darunter liegenden Zellen als Straßen markiert. Diese Zellen dienen als Ausgangselemente für die Anlagerung.

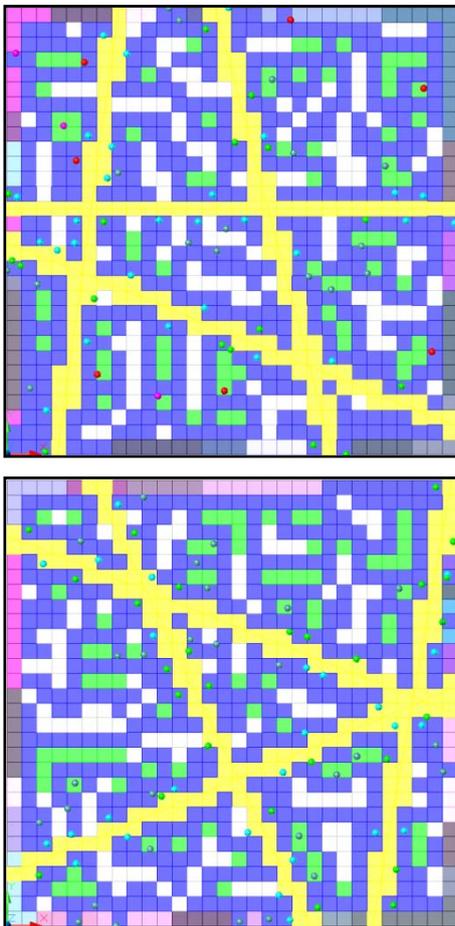


Abb. 6-40 Agentensystem auf zellularem Rasterfeld, Agenten besetzen die Zellen

Im nächsten Schritt werden Agenten eingeführt, die in ihrem Verhalten in etwa den Wanderpunkten entsprechen. Sie werden aber um einige Eigenschaften ergänzt, um sie in verschiedene Typen einordnen zu können:

1. Agenten, die sich nur an der Straße anlagern können, haben außerdem die Fähigkeit, Agenten anderen Typs die bereits angelagert sind, zu verdrängen. Sie repräsentieren Funktionen, für die es von Vorteil ist, an größeren Straßen zu liegen, wie etwa Handel, Gewerbe und Verwaltung.
2. Agenten, die sich nur an anderen Agenten anlagern können, wodurch sie von den Hauptverkehrswegen fernbleiben. Diese Agenten können als Wohnbereiche betrachtet werden, für die ein hohes Maß an Privatheit förderlich ist.
3. Agenten, die sich sowohl an Straßen als auch an anderen Agenten anlagern können und eine Mischung der beschriebenen Nutzungen darstellen.

4. Agenten, die Freibereiche generieren, die sich als Puffer zwischen unterschiedlichen Nutzungen, als Innenbereiche in Wohngebiete oder Plätze an Straßen anlagern können. Die Agenten markieren, nachdem sie angelagert wurden, eine bestimmte Anzahl an Zellen als von ihnen besetzt, was einer Parzelle bestimmter Größe entspricht (Abb. 6-40). Die sekundäre Erschließung der einzelnen Parzellen findet über ein Wegesystem an den Grenzen der jeweiligen Bereiche statt.

Von hier aus kann der Prozess der Bebauung über die angelagerten Zellen initialisiert werden, was zu Ergebnissen führt, wie sie in den beiden Abbildungen zu sehen sind. Einzig die Parzellierung wird nicht ersichtlich, was sich aber durch die Informationsweitergabe über das „Informationsfeld“ an den Bebauungsalgorithmus lösen lässt, welcher dann die nötigen Abstandsregeln ableitet. Angeregt von den Untersuchungen von Bill HILLIER und Julienne HANSON in „The Social Logic of Space“ [44] werden die Möglichkeiten der Anlagerungsprozesse weiter untersucht.

Die Beziehung zu den sozialen Bedingungen räumlicher Strukturen ist ein außerordentlich interessanter Aspekt, dem später noch einige Aufmerksamkeit gewidmet werden soll.

6.2.4 Beschreibung typologischer Feldtypen

Es sollen hier wieder die Darstellungen und Beschreibungen von HUMPERT [43] zitiert werden: Das Phänomen der Stadt S. 56ff, um die sechs dort beschriebenen Grundelemente des Maßstabsfensters der Stadtfeldtypologie, in dem man sich nun befindet, als methodische Ausgangsbasis zu verwenden (Abb. 6-41 bis Abb. 6-46). Dazu ein längerer Abschnitt, da diese Typen einen wesentlichen Bezugspunkt bilden:

„In diesem Maßstabsfenster (M. 1:10.000) beschreiben wir die sechs Feldtypen, aus denen sich alle Formen menschlicher Siedlungen zusammensetzen lassen. Die Individualität einer Stadt liegt also nicht in der Kreation neuer Feldarten, sondern in der jeweils individuellen Anordnung universeller Feldtypen. Dabei sind diese in beliebiger Reihenfolge und in beliebigem Mischungsverhältnis kombinierbar.“



Abb. 6-41 Der Nukleus

1. Der Nukleus (N), ein Punkttyp

Er markiert den Übergang vom Haus zur Stadt. Der N ist eine autonome, kräftige bauliche Anlage, etwa eine kleine Gebäudegruppe, die sich im Wesentlichen auf ein größeres Grundstück beschränkt. Ein Erschließungssystem im klassischen Sinne (Straßen, Wege) fehlt daher. Bei Gebäudegruppen übernimmt meist ein platzartiger Hof diese Funktion. Der N dient häufig als Starter für eine spätere Siedlungstätigkeit, er kann eine solche aber auch geradezu verhindern.



Abb. 6-42 Der Wegelagerer

2. Der Wegelagerer (W), ein passiver Lineartyp

Dieser Typ verkörpert eine sehr ökonomische Form des Siedelns. An Haupt-Ausfallstraßen werden die anliegenden Grundstücke ohne Plan bebaut. Haus um Haus entsteht so zwangsläufig ein lineares Gebilde. Die anfängliche Ökonomie dieses Typs (keine Erschließungskosten) kann sich ins Gegenteil verkehren, sobald sie die spätere Tiefenererschließung der Grundstücke und den Ausbau der Hauptstraße behindert.

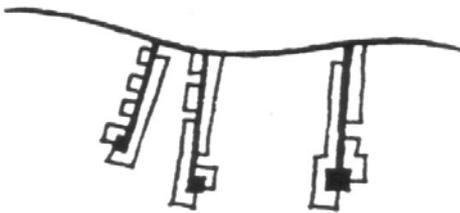


Abb. 6-43 Der Ausleger

3. Der Ausleger (A), ein aktiver Lineartyp

Bei diesem Typ wird im Gegensatz zum (W) eine eigene Straße angelegt. Diese kann öffentlich oder privat angelegt worden sein. Sie steht in der Regel senkrecht zu einer vorhandenen Hauptstraße und erschließt beidseitig einen Vorrat an Baugrundstücken. Das kleine Stadtfeld kann auf einem einzelnen größeren Grundstück entstehen, oder es verwendet einen alten Feldweg.

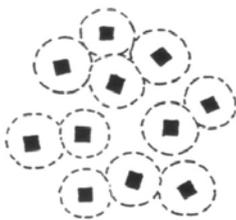


Abb. 6-44 Der Cluster

4. Der Cluster (C), ein stochastischer Feldtyp

Hier ist keines der drei Grundelemente Erschließung, Parzellierung, Bebauung von vornherein festgelegt. Eine mehr oder weniger zufällige Anfangsverteilung von Einzelgebäuden determiniert die weiteren Schritte.

a) Jedes Gebäude beansprucht um sich herum ein „Revier“, das die frei zugängliche öffentliche Fläche allmählich zurückdrängt und sich zu einer Parzelle verfestigt.

b) Ergebnis dieses Verdrängungsprozesses ist ein auf eine lineare Struktur reduziertes Erschließungssystem.

c) Am Ende verfügt das Erschließungssystem, das nicht weiter reduziert werden kann, ohne dass das Gesamtsystem kollabiert, über eine viel höhere Resistenz als die angrenzenden Parzellen. Dieser Entstehungsprozess führt zuletzt also zu einem logischen System aus Erschließung, Parzellierung und Bebauung, welches man aus vielen winkligen

Altstädten, aber auch aus vielen Spontansiedlungen am Rande Dritter-Welt-Metropolen kennt.

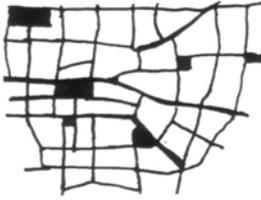


Abb. 6-45 Der Vernetzer

5. Der Vernetzer (V), ein iterativer Feldtyp

Der V entsteht meist auf der Basis älterer Überland- und Feldwegenetze, die nach und nach – iterativ – reguliert werden, sowie einzelner neu ausgelegter Straßen, die die Altstrukturen miteinander verknüpfen. Einige Gabelungen, „Schrägen“ und krumme Trassenverläufe, die vor allem die Überlandwegesysteme mit sich bringen, werden ganz eliminiert, da bei zunehmend dichter Packung der Parzellen deren Zuschnitt (Bebaubarkeit) auf das Erschließungsnetz zurückwirkt. Die fortschreitende Orthogonalisierung des Feldgrundrisses ist keineswegs Ergebnis gesamtplanerischen Willens. Vielmehr entsteht der rechte Winkel im Zuge der Aufsiedlung gleichsam aus dem System ‚selbst‘ heraus. Da dieser Prozess nie zum Abschluss kommt, zeigt das Erschließungssystem noch an vielen Stellen kleine Störungen. Der V ist die direktmögliche Verwandlung von Acker- und Weideland in Bauland. Seine iterative Allmählichkeit und die Mitverwendung älterer Erschließungs- und Parzellierungsstrukturen beugen einer übermäßigen Grundstücks- und Bauspekulation vor.



Abb. 6-46 Der Plan

6. Der Plan (P), ein determinierter Feldtyp

Hier tritt der Mensch als Planer auf. Er legt das Erschließungssystem, den Parzellenplan und die Bauungsstruktur fest. Im Extremfall kann dies bis in die Architektur aller Gebäude gehen. Beschränkt sich die planerische Festlegung nur auf das Erschließungssystem, kann die spätere Aufsiedlung rein stochastisch, d.h. in individueller Bauweise erfolgen. Der P läuft häufig Gefahr, niemals vollständig verwirklicht zu werden und damit ein Torso zu bleiben.“

HUMPERT [43] S. 36ff



Abb. 6-47 Villa Rustica, Ludwigsburg-Hoheneck. Beispiel für einen Nukleus.

Aus HUMPERT [43] Das Phänomen der Stadt S.57.



Abb.6: Berlin-Neukölln, Karl-Marx- und Richardstraße

Abb. 6-48 Berlin-Neukölln, Karl-Marx- und Richardstraße. Beispiel für einen Wegelagerer.

Aus HUMPERT [43] Das Phänomen der Stadt S.100

Soweit aus HUMPERT [43]: Das Phänomen der Stadt. Was kann nun aus diesen Darstellungen für das Modell an weiteren Erkenntnissen abgeleitet werden?

Die Vorgehensweise lässt sich als eine Top-Down Methode identifizieren. Vom Globalmaßstab werden die gefundenen Strukturelemente immer weiter unterteilt, bis schließlich der Maßstab eines einzelnen Gebäudes erreicht ist. Die dabei entdeckten Typen sind durchaus hilfreich, auch kann man die Feldtypen mit den vorgestellten Methoden generieren. Dennoch soll im Grunde der entgegen gesetzte Weg gegangen werden, um aus den Elementen des Maßstabsfensters E – Siedlungsmuster, welches das Verhältnis zwischen Straße, Grundstück und Haus genauer untersucht, die nächst höheren Strukturen über die Methode der restriktiv gesteuerten Selbstorganisation herzuleiten.



Abb. 6-49 London um 1680, Ausleger in Southwark.

Beispiel für den Feldtyp Ausleger. Aus HUMPERT [43] Das Phänomen der Stadt S.103.



Abb. 6-50 Entwicklung des Zellen-Haufendorfes. Beispiel für einen Clustertyp.

Aus HUMPERT [43] Das Phänomen der Stadt S.61.

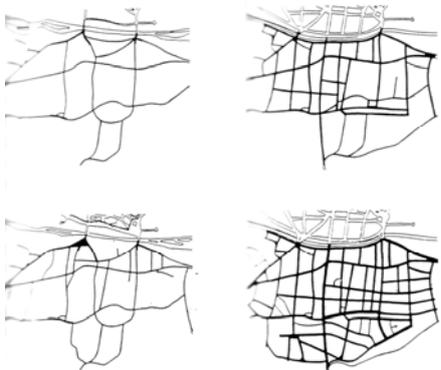


Abb. 6-51 Die Wiehre – Eine Freiburger Vorstadt. Entwicklung des Wegenetzes. Beispiel für den „Vernetzer“.

Aus HUMPERT [43] Das Phänomen der Stadt S.63.

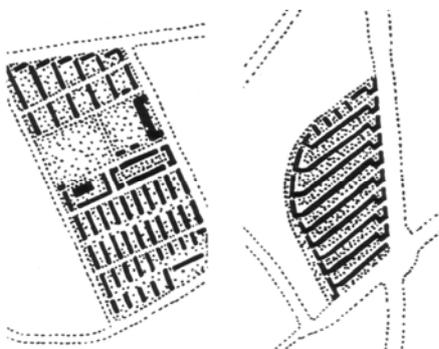


Abb. 6-52: Die Friedrich-Ebert-Stiftung von Ernst May in Frankfurt a. M.

Rechts: Die Heimat-Siedlung von Ernst May in Frankfurt a. M. Beides Beispiele für den Feldtyp Plan.

Aus HUMPERT [43] Das Phänomen der Stadt S.108.

6.2.5 Ableitung eines Systems für die Generierung

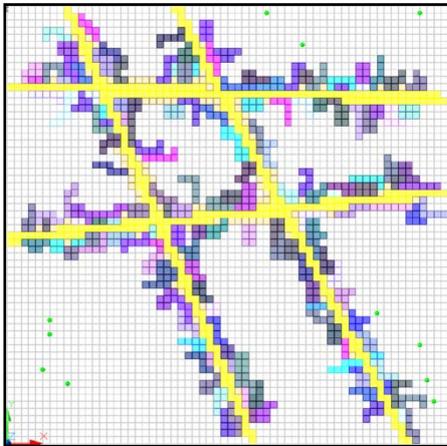


Abb. 6-53 Agenten des Typs 1, Wegelagererstruktur

Agenten des Typs 1, die sich nur an den Straßen anlagern können, bilden eine Wegelagererstruktur. Bei jeder Anlagerung werden bis zu sechs Zellen als eine Parzelle markiert, dies kann pro Agent variieren, wenn verschiedene Grundstücksgrößen gewünscht sind. Es können noch weitere Differenzierungen eingeführt werden, z.B. wie viele Zellen einer Parzelle an der Straße liegen dürfen.

Folgerung für ein mögliches Generierungssystem für Stadtstrukturen:

Wenn wir, wie bei HUMPERT [43], Das Phänomen der Stadt, S.85ff. „Die Städte in der Stadt“ beschrieben, mit den sechs Feldtypen alle Stadtstrukturen analysieren können, dann lässt sich folglich über eine Mischung oder Kreuzung dieser Typen auch das gesamte Spektrum generieren. Durch das „Stören“ der Entwicklungsregeln werden die Systeme an ihre Umwelt, also den bestehenden Kontext angepasst, was durch Zugriff auf die Informationsebene geschieht.

Vergleicht man nun diese Feldtypen mit den Möglichkeiten, die sich aus dem Anlagerungssystem der Agenten an vorgegebene Straßen ergeben haben, so kann man feststellen, dass einige der Feldtypen durch die Arten der Agenten verkörpert werden, bzw. durch eine Kombination unterschiedlicher Agententypen abgeleitet werden können:

Der Nukleus ist noch relativ unabhängig und wird durch die Restriktionen der Kombination der Agenten untereinander realisiert. Der Wegelagerer dagegen ist bereits die direkte Folge des Agententyps 1, der sich nur an die Straße anlagert (Abb. 6-53 und Abb. 6-54). Der Ausleger kann durch den Agententyp 3 erzeugt werden, der sich sowohl an die Straßen, als auch an bereits besetzte Felder anlagert – auch in Kombination mit dem Agenten des Typs 2, der sich nur an besetzte Felder anlagern kann. Der Clustertyp schließlich kann durch die Agenten des Typs 2 erzeugt werden, wobei dafür allerdings Kristallisationspunkte vorhanden sein müssen, die den Prozess anstelle der Straßen auslösen, die in diesem Fall erst nachrangig eingeführt werden. Die Feldtypen Vernetzer und Plan können durch

die Zuhilfenahme der Graphen erzeugt werden, die unter 5.8 dargestellt worden sind. Da dies jedoch Typen relativ hoher Determiniertheit sind, sollen diese hier nicht eingehender betrachtet werden.

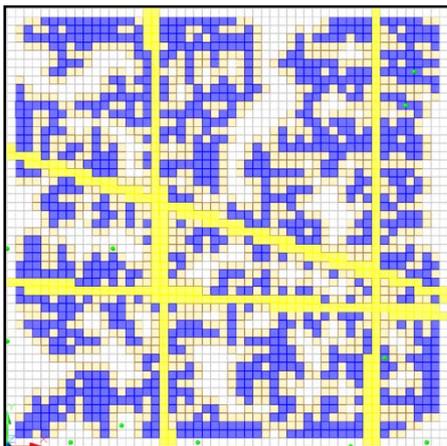
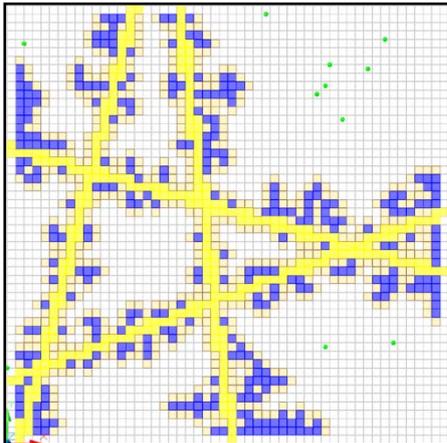


Abb. 6-54 und Abb. 6-55. Agenten Typ 3, Ausleger und vereinzelt Wegelagerer

Die Komplexität wird zu Beginn wieder auf wenige Elemente reduziert. Gelb – Straßen, Blau – besetzte Zellen. Gezählt werden nur die orthogonalen (von Neumann) Nachbarn und es gibt nur Agenten des Typs 3, die sich sowohl an der Straße als auch an besetzten Zellen anlagern können. Durch dieses System entsteht hauptsächlich der Feldtyp des Auslegers und vereinzelt Wegelagerer. Die Auslegerarme wachsen nach einiger Zeit und entsprechender Dichte zusammen. Es ist noch keine Endbedingung festgelegt worden, wie die Anzahl der besetzten Zellen begrenzt wird, beim linken Bild beispielsweise 2000 und beim rechten 5000 Iterationen. Freiflächen und Erschließung müssen noch über eine zusätzliche Zellenanalyse eingefügt werden.

Zur Erschließung der Auslegerzellen darf jede Zelle, die sich nicht an einer Straße anlagert, zwei Straßenzellen für eine Anbindung an das Wegesystem erstellen. Neben der unzureichenden Flächenbesetzung für die Bebauung, dient diese Regel als erster Schritt zu einer dynamisch generierten Erschließung, führt allerdings noch zu einem hohen Flächenverbrauch für die Straßen, die zudem nicht überall zusammenhängen. Um den Anschluss jeder angelagerten Zelle an das übrige Wegesystem zu garantieren, wird ein pathfinding-Algorithmus verwendet. Von einer beliebigen Stelle in einem Feld (grüne Punkte) wird ein Pfad zur nächsten Straße gesucht, wobei die Hindernisse umfahren werden. In dem oben abgebildeten Beispiel wurde ein zufällig erzeugtes Hindernisfeld verwendet.

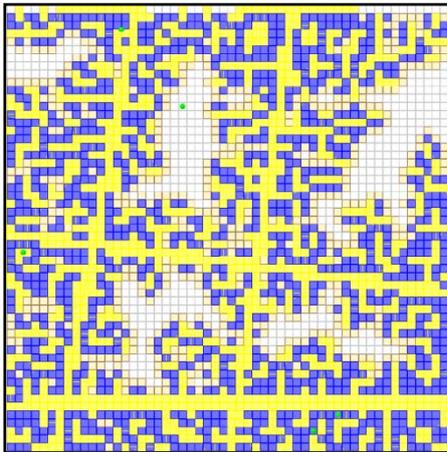


Abb. 6-56. Erschließung der Auslegerzellen

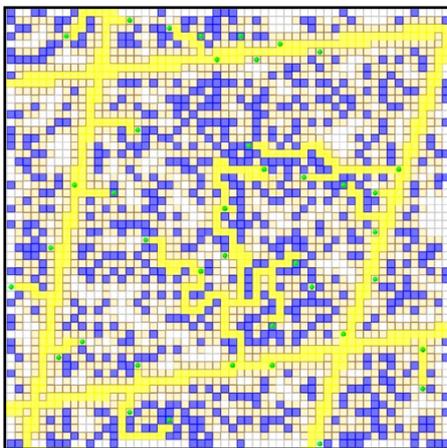


Abb. 6-57. Anschluss über pathfinding-Algorithmus

In dieser Untersuchung werden nur zwei Straßen vorgegeben, so dass die frei zu organisierende Fläche größer wird.

Als nächstes besetzen die angelagerten Zellen ein größeres Gebiet, welches eine Parzelle darstellt (verschiedene Farben). Jede Parzelle muss wiederum mittels des pathfinding-Algorithmus an das Wegenetz (gelb) angeschlossen werden. Mit dieser Methode kommt man dem aktiven Linientyp des Auslegers schon sehr nahe. Die Abbildung links zeigt die Struktur mit Parzellierung und rechts nur die bebaubare Fläche (blau). Die grünen Zellen sind nicht besetzte Freiflächen.

Um nun den Feldtyp „Vernetzer“ generieren zu können, wird eine zweite Methode, den Feldtyp „Ausleger“ zu generieren, vorgestellt. Dafür wird die generative Logik derart invertiert, dass die aggregierten Agenten keinen Bauplatz mehr repräsentieren, sondern die Weiterführung einer Straße, welche beidseits von einem Gebiet Land flankiert wird. Zusätzlich zu den bereits eingeführten Zuständen einer Zelle (leer und besetzt=Straße) und für eine mögliche Anlagerung, wird ein vierter Zustand $S^H_4 = 3$ für eine Parzelle eingeführt.

Die Bedingung für eine Zelle, den Zustand in “Parzelle” zu wechseln, ist ähnlich zu (6.4):

$$S^H(t+1) = 3, \text{ if } (S^H(t)=0 \text{ und } L^{U(H)}(t)=3), \quad (6.10)$$

wobei

$$L^{U(H)}(t) = \sum_G \{1 \mid G \in U(H), S^G = 2\} \quad (6.11)$$

die Zählregel für die Straßenzellen mit Zustand $S=2$ in der Moore Nachbarschaft der betrachteten Zelle H ist. Die

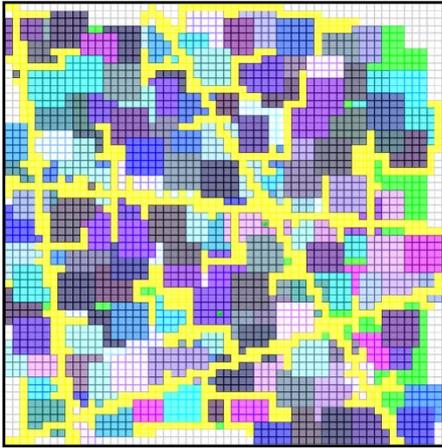


Abb. 6-58. Das System ist bis auf die Größe der Parzellen unverändert.

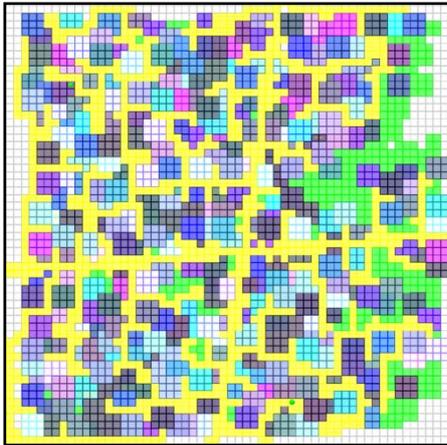


Abb. 6-59. Randbedingung maximal 2 Erschließungstrassen

folgende Reihenfolge sollte eingehalten werden, um die verschiedenen Regeln pro Zeitschritt auszuführen: Als erstes ist zu untersuchen, ob ein Agent sich anlagern kann (6.8), zweitens, ob die Zellen in Parzellen konvertiert werden können (6.10), und drittens sich Zellen zu finden, bei denen eine weitere Anlagerung möglich ist. Für die letzte Regel muss die Zählregel (6.5) verändert werden:

$$C^{U(H)}(t) = \sum_G \{1 \mid G \in U(H), S^G = (2, 3)\}. \quad (6.12)$$

Diese Änderung bedeutet, dass nicht nur Straßen gezählt werden sondern auch Parzellen. Als letzte Regel muss pro Zeitschritt die Wahrscheinlichkeit p für die Verbindung eines Agenten zur Gleichung (6.8) berechnet werden. Nun wird die Wahrscheinlichkeit p lokal für jede Zelle abhängig vom Zustand der Nachbarzellen definiert:

$$\begin{aligned} \rho^H(t) &= 0,1 \quad \text{wenn} \quad L^{U(H)} = 3 \quad \text{ansonsten} \\ \rho^H(t) &= 1 \quad \text{wenn} \quad L^{U(H)} < 3 \quad \text{ansonsten} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\rho^H(t) = 0;$$

$$L^{U(H)}(t) = \sum_G \{1 \mid G \in U(H), S^G = 2\}.$$

Diese Grundregeln können angepasst werden, um das Gebiet von Parzellen neben den Straßen auszuweiten. Dafür werden die leeren Zellen betrachtet und ihnen wird der Zustand der Zellen in der von Neumann Nachbarschaft zugewiesen, falls sie nicht leer sind. Die von Neumann Nachbarschaft beinhaltet die vier angrenzenden Zellen im Norden, Osten, Süden und Westen. Zum Schluss können die leeren Zellen, welche eine Zelle mit dem Zustand „Parzelle“ in ihrer von Neumann Nachbarschaft haben, auf $S^H = I$ (Kandidat) gesetzt werden und die Wahrscheinlichkeit $\rho^H = 0,1$ zugewiesen bekommen. Schließlich können alle

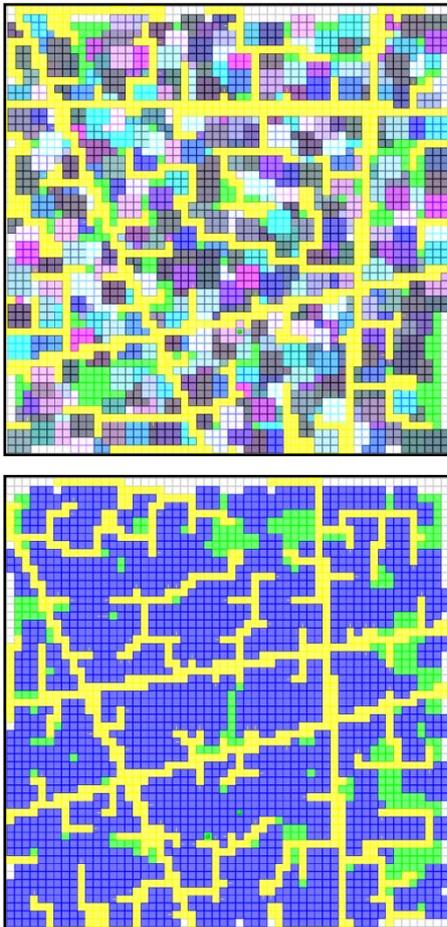


Abb. 6-60 und Abb. 6-61. Besetzen eines größeren Gebietes

Veränderungen an der generativen Methode zur Bildung des Feldtypes „Vernetzer“ leicht von der Methode des Feldtypes „Ausleger“ abgeleitet werden.

Dafür muss am Ende der Berechnungen pro Zeitschritt eine neue Regel eingeführt werden.

Wenn eine Zelle eine leere oder eine mögliche Anlagezelle in ihrer von Neumann Nachbarschaft hat, kann sie als offener Knoten betrachtet werden und man kann nach anderen offenen Knoten in einem bestimmten Umkreis suchen (analog zum Fall in Abb. 6-24, $r > d$). Zwei offene Knoten werden durch eine neue Straße verbunden, wenn die Bedingung (6.9) gilt. Um die Schritte zu den anderen offenen Knoten zu finden, werden die Straßenzellen, die passiert werden müssen um von einem Knoten zum nächsten zu kommen, in C gezählt. Der Parameter X gibt die Mindestanzahl der benötigten Straßenzellen zwischen zwei offenen Knoten an, bevor eine neue Straße gebaut wird.

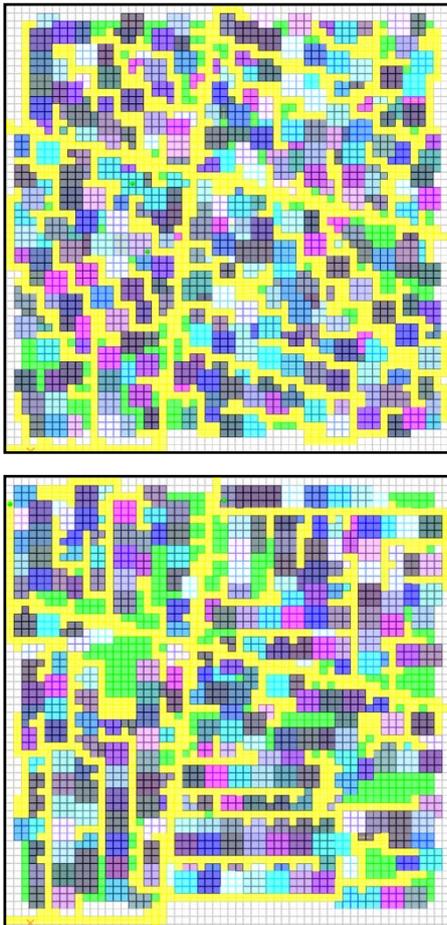


Abb. 6-62 und Abb. 6-63. Weiterentwicklung des Modellsystems

Um geordnetere Strukturen zu erzeugen, werden bei einer Anlagerung mehrere Parzellen in einer Reihe von der entsprechenden Straße weg besetzt. In der Abbildung unten links richten sich die Parzellen an dem Vektor aus, der die nächste Verbindung zu einer Straße beschreibt, rechts daneben wird nur der größere Betrag des Vektors verwendet um orthogonale Strukturen zu erzeugen. Der pathfinding-Algorithmus ist noch nicht optimiert und generiert einige Umwege. Des Weiteren wird eine Methode benötigt, die Sackgassen miteinander zu verbinden um die Ausleger zu vernetzen.

Dynamische Erschließung

Das Wegesystem, welches für die Erschließung der angelegerten Parzellen erzeugt wird, wird im Folgenden als dynamische Erschließung bezeichnet, da sie sich der jeweiligen Struktur besetzter Flächen anpassen kann. Dazu wird, wie auf der letzten Seite detailliert gezeigt, ein pathfinding-Algorithmus, der eine Verbindung von der Parzelle zu dem bestehenden Wegesystem herstellt, verwendet (Abb. 6-56 und Abb. 6-57). Dabei entsteht ein eher ungeordnetes Siedlungsmuster, welches durch ein System von Sackgassen erschlossen wird.

Die folgenden Untersuchungen werden sich darauf konzentrieren, wie sich diese sekundären Erschließungsarme miteinander vernetzen lassen. Dafür bieten sich zwei Strategien an. Zum einen können die Endpunkte der Sackgassen miteinander verbunden werden, was eher einer Optimierung des Systems entspricht. Oder man verändert die Anlagerungssystematik so, dass sich die Erschließung primär generiert und die Parzellen seitlich davon erstellt werden. Eine Vernetzung ließe sich dann über die Anlagerungswahrscheinlichkeit steuern. Diese Steuerung wird mit der Formel realisiert:

$$\text{Rnd}(1) \geq (1 - \text{zelle}(\text{rKoord}(0), \text{rKoord}(1)).\text{aW}) \wedge \text{zelle}(\text{rKoord}(0), \text{rKoord}(1)).\text{state}$$

Das bedeutet, dass ein Zufallswert zwischen 0 und 1 mit der Anlagerungswahrscheinlichkeit \wedge Anzahl der besetzten Nachbarn verglichen wird. Die Anlagerungswahrscheinlichkeit hängt von der Moorschen Nachbarschaft (siehe zelluläre Automaten) der Straßenzellen ab und wird mit $1/\text{Anzahl Nachbarn} * x$ berechnet. Über den Faktor x lässt

sich die Häufigkeit der Ausnahmen einer Anknüpfung neben den gewünschten Punkten angeben. Die Erzeugung dieses Datenfeldes stellt eine weitere Anwendung des im Abschnitt 6.1 beschriebenen Informationsfeldes dar. Für die Berechnung wird eine ähnliche Methode wie unter 6.3 bei den zellulären Automaten für die Bebauungsstrukturen verwendet. Alle Zellen müssen ‚gleichzeitig‘ ihre Nachbarn überprüfen um ihren eigenen Status abzuleiten, der sich aus der Straßenzellendichte innerhalb einer definierten Nachbarschaft ergibt. Die Überprüfung muss je nach Tiefe des Anlagerungsfeldes wiederholt werden.

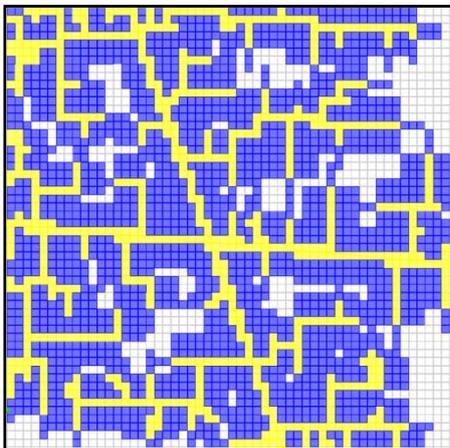


Abb. 6-64. Bebauungstiefe drei Zellen

In diesem Versuch wird die Systematik verändert und es wird um die generierten Straßen ein Bereich von drei Zellen als bebaubares Gebiet definiert.

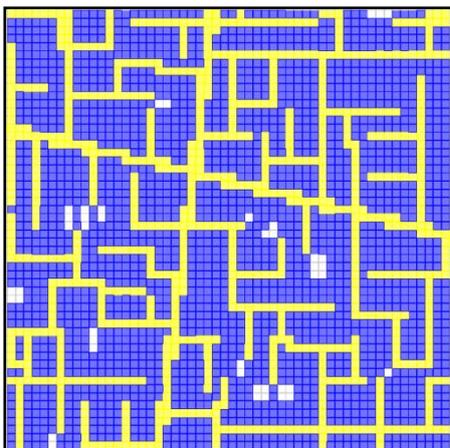


Abb. 6-65. Bebauungstiefe drei Zellen und zwei Zellen in Gegenrichtung

Um die Arme miteinander zu verbinden, lassen wir die angelaagerten Straßenzellen neben einer Verbindung zum Wegenetz zwei Zellen in die entgegengesetzte Richtung besetzen. Trotz einer Anlagerungswahrscheinlichkeit von 1 wird dadurch eine teilweise Vernetzung erreicht.

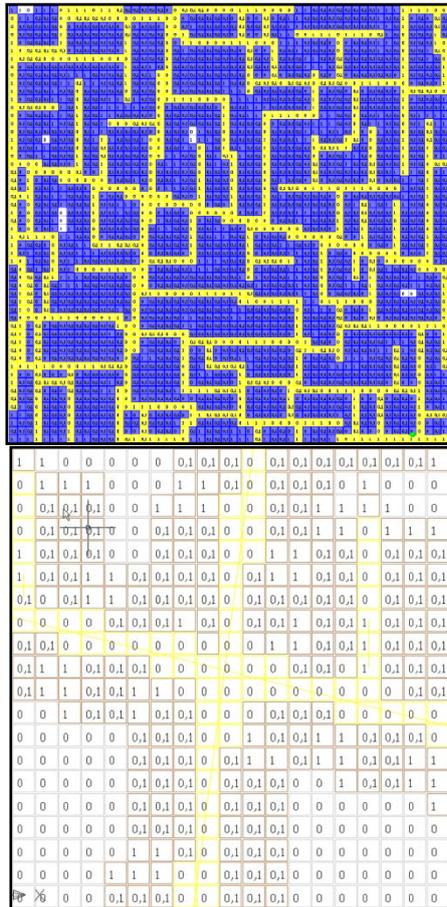


Abb. 6-66 und Abb. 6-67. Anlagerungswahrscheinlichkeit 100%, Sonderfall für Zellen mit drei Nachbarn

Die Anlagerungswahrscheinlichkeit wird lokal von den Zellen vorgegeben, wodurch bestimmte Stellen bevorzugt werden können. In diesem Beispiel sind die Enden mit dem Wert 1 belegt, also 100%, und Zellen ab drei benachbarten Straßenzellen mit $1/\text{Anzahl Nachbarn} * x$.

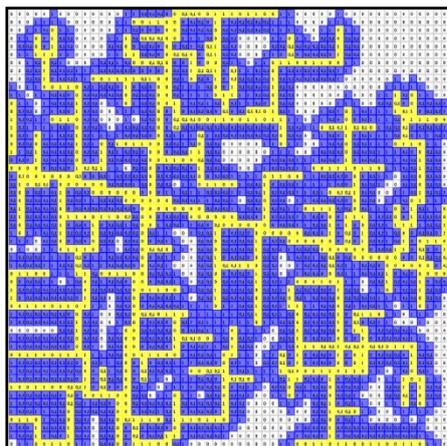


Abb. 6-68. Tiefe Anlagerungsfeldes und zusätzliche Straßenzellen auf zwei reduziert

Die so erzeugten Strukturen haben die Eigenschaft, dass sie zuerst die Verzweigungen in die freie Fläche ausbauen und die Vernetzung erst bei einer höheren Dichte entscheidend zunimmt. In diesem Beispiel wurden die Tiefe des Anlagerungsfeldes und die zusätzlichen Straßenzellen auf zwei reduziert, was zu einer feingliedrigeren Struktur führt.

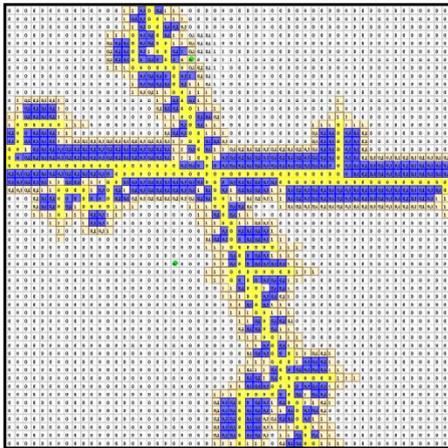


Abb. 6-69. Zufällig platzierte Straßen. Feldtiefe 3 Zellen, nur eine Anlagerungszelle

Für das Arbeitsmodell sind zwei zufällig platzierte Straßen als Ausgangssituation für den Anlagerungsprozess verwendet worden. Wesentlich dabei sind die Anknüpfungspunkte, die als hellbraune Zellen markiert sind. In diesem Beispiel wird die Häufigkeit dieser Punkte über die Neigung der Geraden definiert. Es könnten aber genauso gut bestimmte Abstände vorgegeben werden. Die Feldtiefe ist hier auf 3 Zellen festgelegt, wobei 2 davon nicht mehr als Anlagerungszellen verfügbar sind (blau).

Die Einführung des Datenfeldes und der daraus resultierenden Steuerungsmöglichkeiten hat keinen wesentlichen Fortschritt hinsichtlich der Vernetzung der Struktur ergeben, die über die Resultate davor hinausgehen. Wir werden uns deshalb nun den Enden der Sackgassen zuwenden, um diese entweder miteinander zu verbinden, oder sie an andere Teile des Wegesystems anzuschließen. Dazu wird weiterhin die Markierungsmethode des Datenfeldes verwendet, um die zu verbindenden Zellen zu identifizieren. Liegen sie innerhalb eines bestimmten Radius, wird mittels des path-finding-Algorithmus ein neuer Verbindungsweg generiert. Dieses Vorgehen stellt eine angemessenere Konstruktions-topologie dar, da ein Weg eher an einen bestehenden angeschlossen, als in eine andere Richtung gebaut wird.

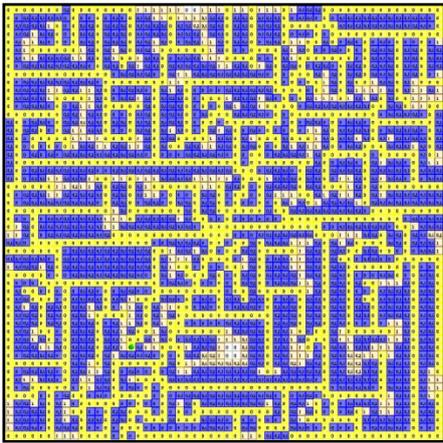


Abb. 6-70. Zellen mit aW – Wert von 1, Feldtiefe 3 Zellen

Die Wanderpunkte starten entweder von den leeren Zellen aus, was die Ausbreitung in die freie Fläche fördert, oder sie werden auf den Zellen mit einem aW – Wert von 1 platziert, was eine direkte Erweiterung des Wegesystems bewirkt und zu einer besseren Vernetzung führt. Die Feldtiefe beträgt in diesem Beispiel 3 Zellen.

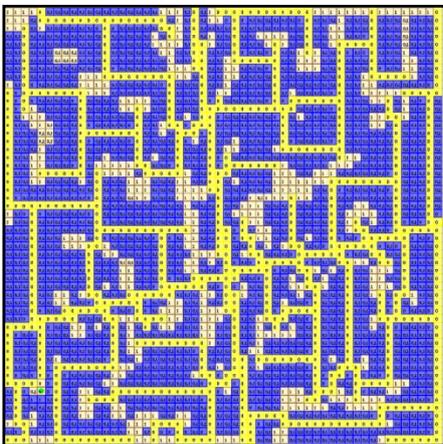


Abb. 6-71. vier Zellen Feldtiefe

Dieser Variante unterscheidet sich von der vorigen dadurch, dass die Feldtiefe auf 4 Zellen erhöht wurde, was eine weitmaschigere Struktur entstehen lässt. Stellt man zu Beginn weniger Anknüpfungspunkte zur Verfügung, verfranzt die Struktur nicht so sehr im Inneren.

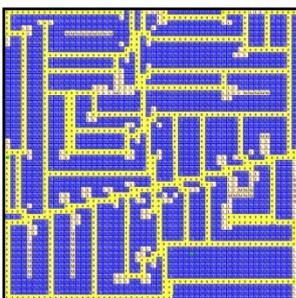
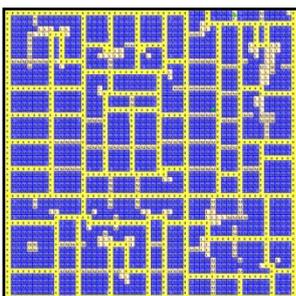


Abb. 6-72 und Abb. 6-73. Verbindung der Anlagerungszellen mit nächstem Punkt im Wegesystem

Bei dem System links unten verbinden sich die angelagerten Zellen in der einen Richtung mit dem nächsten Punkt des bestehenden Wegesystems und verlängern die Straße in die andere Richtung, bis sie auf eine andere Straßenzelle treffen oder am Rand ankommen. Das Ergebnis hängt stark von der Anfangskonfiguration der Anlagerpunkte ab. Um diese Abhängigkeit zu verhindern, wird eine maximale Zeilenlänge definiert, bei deren Überschreiten eine Unterbrechung in der Bebauungsstruktur eingefügt wird (unten).



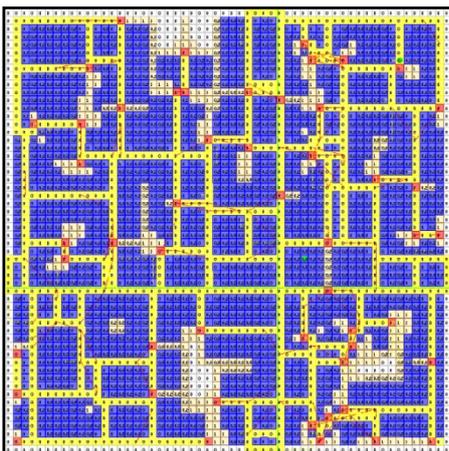
Vernetzung

Die Übergänge von einem Feldtypen zum anderen lassen sich in den verwendeten Computermodellen nicht immer scharf voneinander abgrenzen. Die Verbindung der Ausleger führt direkt zu Methoden, die zum Ausbau des Typs des Vernetzers verwendet werden können. Dazu muss man lediglich die bestehenden Feldwege in das Modell aufnehmen und kann so die Verbindungspunkte direkt oder indirekt, beispielsweise über die Bebauungsdichte, definieren.



Abb. 6-74 und Abb. 6-75. Darstellung der Anschlusspunkte

Die rot markierten Zellen stellen die Anschlusspunkte des Wegesystems dar, die zur Vernetzung verwendet werden können. Diese können sowohl in vorgegebene Wege eingefügt, als auch dynamisch bei den generierten Abschnitten hinzugefügt werden. Befinden sich zwei rote Zellen innerhalb eines bestimmten Radius, werden sie über einen neu erstellten Weg miteinander verbunden, sofern diese Verbindung nicht bereits über bestehende Straßenabschnitte verfügt.



Die beiden abgebildeten Beispiele unterscheiden sich dadurch, dass beim linken Versuch lediglich die Straßenzellen rot markiert wurden, bei welchen eine Nachbarzelle die Anlagerungswahrscheinlichkeit eins hat. Bei der rechten Untersuchung werden alle Zellen mit einem unbebauten Nachbarn herangezogen.

Cluster

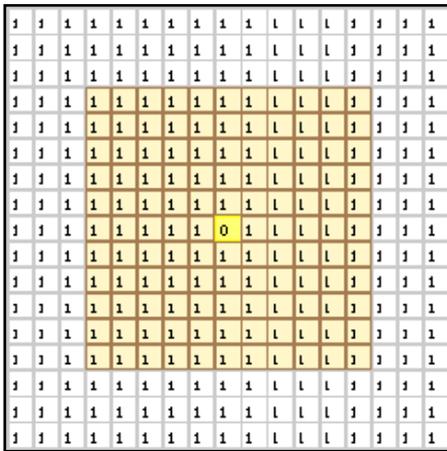


Abb. 6-76 Anfangskonfiguration für die Initialisierung des Anlagerungsprozesses.

Dieser Feldtyp lässt sich erzeugen, indem nach der Anlage eines Wanderpunktes eine Parzelle bestimmter Größe definiert wird. Der Prozess wird bei den hier abgebildeten Modellen von einer vorgegebenen Zelle in der Mitte der Fläche initialisiert. Für alle folgenden Anlagerungen können über verschiedene Wahrscheinlichkeitswerte Bereiche angegebene werden, innerhalb derer weitere Punkte ange-dockt werden können. Dies ist neben der Parzellengröße der zweite Parameter für die Steuerung der Dichte. Nach der so erfolgten Flächenbesetzung werden die Wege an den Grenzlinien der Parzellen eingefügt (Abb. 6-76 bis Abb. 6-78).

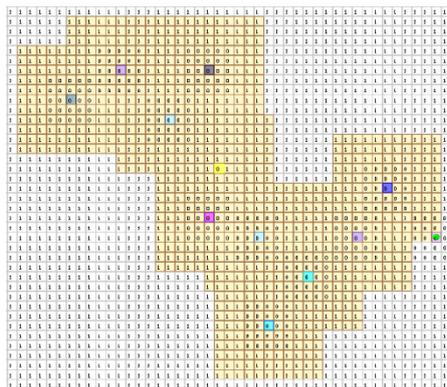


Abb. 6-77 minimaler Anlagerungsabstand 2 Zellen

Es können Bereiche mit unterschiedlicher Anlagerungswahrscheinlichkeit definiert werden. In diesem Beispiel können im Abstand von zwei Zellen (0) keine weiteren Punkte um eine angela-gerte Zelle angedockt werden. Die An-lagerung im Randbereich wird mit einem hohen Wahrscheinlichkeitswert (1) be-vorzugt.

Im Prinzip wird der Feldtyp „Cluster“ mit dem gleichen Prinzip, welches beim DLA Prozess (6.3 – 6.8) für die Anordnung in der Fläche verwendet wird, erzeugt. Die einzige Änderung für die Verbindungsbedingung (6.6) ist, dass die betrachtete Moore Nachbarschaft $U(H)$ bis zum Radius $r=5$ erweitert wird. Das bedeutet, dass die Nach-barschaft jetzt aus $5 \times 5 = 25$ Zellen besteht. Nachdem alle Agenten verbunden wurden, benutzen diese zuerst ihren individuellen Agenten Index m um eine Markierung $M^H=m$ auf die besetzte Zelle abzulegen. Danach breiten sich die besetzten Parzellen ($S^H=3$) schrittweise auf die Nachbar-zellen durch Diffusion aus, bis sie an andere sich ausbrei-tende Parzellen angrenzen.

$$S^H(t+1) = 3, \text{ if } (S^H(t)=(0 \text{ or } 1) \text{ and } L^{U(H)}(t) > 0), \tag{6.14}$$

wobei

$$L^{U(H)}(t) = \sum_G \{1 | G \in U(H), S^G = 3\}. \tag{6.15}$$

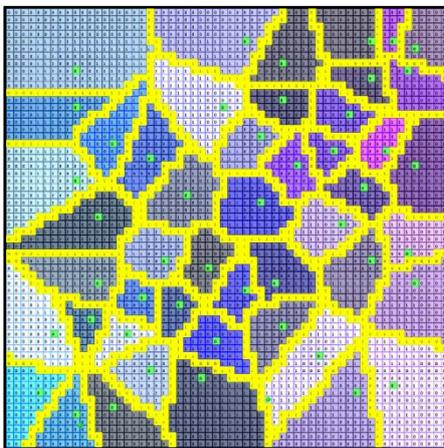


Abb. 6-78 und Abb. 6-79 Parzellierungsstruktur ohne Erschließungssystem.

Die Parzellen (versch. Farben) entstehen, indem sich jede Zelle dem nächsten Anlagerungspunkt (grün) zuordnet. Es entsteht ein gerastertes Voronoidiagramm. (unten) Die Wege (gelb) wurden an den Parzellengrenzen eingefügt.

Die Markierung M^H der neuen Parzellenzelle wird aus dem Durchschnitt der sie umgebenden Zellen berechnet:

$$M^H(t+1) = \frac{C^{U(H)}(t)}{L^{U(H)}(t)}, \quad (6.16)$$

wobei

$$C^{U(H)}(t) = \sum_{G \in U(H)} M^G. \quad (6.17)$$

Die Straßenzellen werden zwischen verschiedenen Parzellen generiert, was durch ihre unterschiedlichen Markierungen M^H angezeigt wird. Die Bedingung damit eine Zelle ihren Zustand auf Straße setzt, kann folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$S^H(t+1) = 2, \text{ wenn } \frac{C^{U(H)}(t)}{L^{U(H)}(t)} \neq M^H, \quad (6.18)$$

Wobei $C^{U(H)}$ von (6.17) genommen wurde und $L^{U(H)}$ von (6.15). Dieser Wechsel ist unabhängig vom Status $S(t)$ der gegenwärtigen Zelle.

Der letzte Feldtyp „Plan“ soll hier nicht diskutiert werden, weil die Struktur von Straßen und Parzellen bei diesem Feldtyp von einem Planer festgelegt wird. Im nächsten Abschnitt wird ein Rasterfeld als Beispiel für den Feldtyp „Plan“ benutzt, wobei die Positionen der Straßen durch die Distanzen untereinander definiert werden.

6.2.6 Weitere Untersuchungen und Ausblick

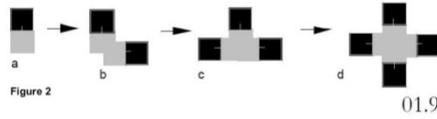
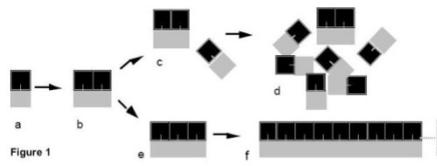
„The simple diagram summarises how these basic social dynamics are articulated by the social potential of space. Space is in short, everywhere a function of the forms of social solidarity, and these are in turn a product of the structure of society.

The realisation of these differences in systematically different special forms is because, as Durkheim showed, society has a certain special logic and, as we hope we have shown, because space has a certain social logic to it.“ HILLIER, HANSON [44], S. 22. „Society must be described in terms of its intrinsic spatially; space must be described in terms of its intrinsic sociality.“ S. 26

Es sind Möglichkeiten gezeigt worden, wie die elementaren Feldtypen aus dem Grundelement einer Zelle mittels des Anlagerungsprozesses erzeugt werden können, ohne auf bereits vorgegebene Wegesysteme angewiesen zu sein. Vielmehr werden diese als dynamisches System mit der Struktur als Gesamtes zu entwickelt. Zu diesem Zweck wurden für das Anlagern der Zellen bestimmte Restriktionen aufgestellt, die zu differenzierten Strukturen führen.

Mit diesen Untersuchungen wurde an die Forschungen von Bill HILLIER und Julienne HANSON aus „The Social Logic of Space“ [44] und einigen jüngeren Veröffentlichungen angeknüpft (Abb. 6-80). Sicherlich werden für die Erzeugung städtischer Strukturen auch globale Ordnungsstrukturen benötigt, die sich nicht vollständig aus der Kombination einzelner Elemente herleiten lassen. Dennoch kann man darin zustimmen, dass hier ein System gestaltet wurde, welches die Elemente in ihrer Verhaltenswahrscheinlichkeit zu vorher definierten Ordnungsmustern organisiert.

Diese Muster sind ihrerseits wiederum von Selbstorganisationsmechanismen gesteuert, denen in der Konzeption der Informationsebene nachzugehen ist. Eine weitere Vertiefung führt zu einer Beschäftigung mit den sozialen und gesellschaftlichen Bedingungen des Raumes und der Frage nach den Zusammenhängen zwischen Gesellschaft und Raum (Abb. 6-81).



01.9

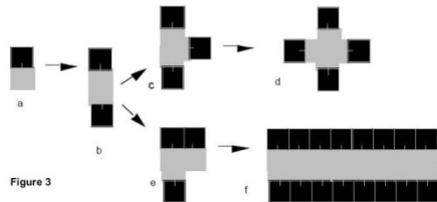


Abb. 6-80 aus Bill Hillier [46]: The knowledge that shapes the city, S. 9.



Abb. 6-81 aus HILLIER, HANSON [44]: The social logic of space, S. 22.

6.3 Raumstrukturebene

6.3.1 Generierungsversuche

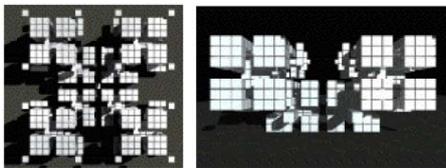


Abb. 6-82 aus dem Artikel von P.Coates [21].

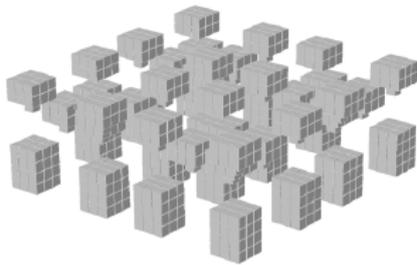


Abb. 6-83 Zelluläre Struktur.

Unter Verwendung der von P. Coates angegebenen Regeln: 2524, wobei für eine lebende Zelle der Zustandswert 4 gesetzt werden muss. Für die Nachbarschaften werden die neun Zellen unterhalb, die acht Zellen auf der gleichen Ebene und die eine Zelle genau über der betrachteten Zelle untersucht.

Zelluläre Automaten

Ausgehend von einigen Ideen, die in dem Artikel von P.Coates, N. Healy, C.Lamb, W.L. Voon : The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules [21], beschrieben sind (Abb. 6-82), werden im Folgenden einige Experimente entwickelt, wie sich innerhalb eines vorgegebenen Straßenrasters verschiedene Bebauungen generieren lassen.

Einen typologischen Rahmen geben die Untersuchungen aus Arch+: Der Sprawl [6] zu der Bebaubarkeit von Rasterfeldern vor (siehe Abb. 4-1 und Abb. 4-5). Das System besteht aus einem zweidimensionalen zellulären Automaten und einem dreidimensionalen, der auf dem strukturellen Ergebnis des ersten aufbaut, um die räumliche Gebäudestruktur zu erzeugen. Die relevanten Parameter sind dabei:

Systemzustände:

Zustand 0 ist die leere Zelle

Zustand 1 ist die besetzte Zelle

Weitere Zustände können beliebig eingeführt werden.

Systemregeln:**1. „counting rules“:**

Wenn die Zelle besetzt ist (Zustand 1)

- Regel Nummer eins legt fest, wie viele Nachbarn eine Zelle mindestens haben muss, damit sie nicht zugrunde geht. -> bleibt in Zustand 1
- Die zweite Regel bestimmt, wie viele Nachbarn die Zelle höchstens haben darf, damit sie nicht an Überbevölkerung zugrunde geht -> Zustand 0

Wenn die Zelle leer ist (Zustand 0)

- Die dritte Regel gibt an, wie viele lebende Nachbarn eine tote Zelle mindestens haben muss, damit sie wiedergeboren wird.
- Und die vierte Regel bestimmt entsprechend, wie viele Nachbarn sie höchstens haben darf, um wiedergeboren zu werden.

Die Notation dieser Regeln erfolgt entsprechend in vier Ziffern, z.B. 4555.

2. „voting rules“:

Diese Regel gibt an, welche Zellen in der Nachbarschaft untersucht werden sollen. Es kann beispielsweise eine von Neumannsche oder eine Moorsche Nachbarschaftsregel verwendet werden, bzw. man betrachtet im dreidimensionalen Raum die verschiedenen Ebenen relativ zu der untersuchten Zelle, was sich für eine architektonische Anwendung meist am besten eignet (Abb. 6-84).

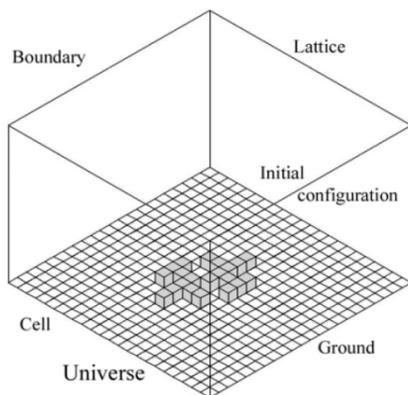


Abb. 6-84 Veranschaulichung des 3D-Raumes um eine Zelle

Aus Krawczyk [53]

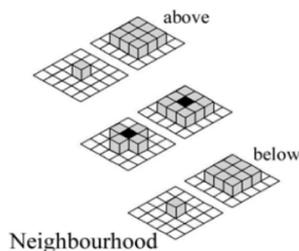


Abb. 6-85 zeigt den zellulären Raum und die Nachbarschaftsebenen.

Aus Krawczyk [53]

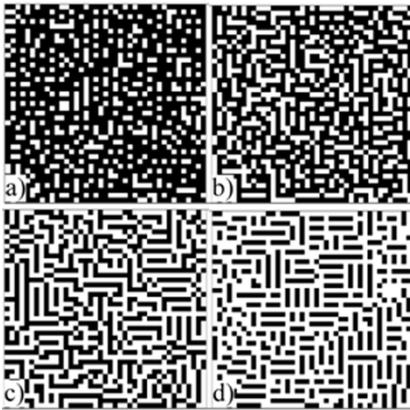


Abb. 6-86 Die Abbildungen zeigen vier verschiedene Möglichkeiten ein Gebiet mit Gebäuden zu füllen.

Die weißen Zellen sind die leeren Zellen $S^H=0$. Die generative Regel R und die Dichte D der Strukturen sind:

- a) $R_1=8114, D=0,72$;
- b) $R_2=7013, D=0,61$;
- c) $R_3=5012, D=0,46$;
- d) $R_4=3011, D=0,37$.

Zweidimensionale Strukturen

In der Bebauungsebene wurden nur Zellulare Automaten angewendet und die erste Aufgabe besteht darin, geeignete Regeln für binäre Automaten zu finden, die als Ergebnis eine Fläche mit nutzbaren Gebäuden füllen. Um die Automaten zu untersuchen, wird eine formale Beschreibung für ihre Zähl- und Wählregeln eingeführt. Unter den Wählregeln ist die Art Nachbarschaft gemeint, welche weiter vorne mit $U(H)$ beschrieben wurde. Im Folgenden ist für $U(H)$ die Moore Nachbarschaft benutzt, falls nicht anders angegeben. Die Zählregeln beschreiben die Bedingung, unter denen eine Zelle ihren Zustand ändert. Bei einem binären Automaten gibt es nur zwei Zustände $S^H=0$ für eine leere Zelle und $S^H=1$ für eine bebaute Zelle. Die explizite Formulierung der Zählregel lautet wie folgt:

$$S^H(t+1) = 0, \text{ if } (C^{U(H)}(t) \geq B_1 \text{ oder } C^{U(H)}(t) \leq B_2),$$

$$S^H(t+1) = 1, \text{ if } (C^{U(H)}(t) \geq B_3 \text{ und } C^{U(H)}(t) \leq B_4),$$

wobei

$$C^{U(H)}(t) = \sum_{G \in U(H)} S^G,$$

(6.20)

$B_n = \{ B_1, B_2, B_3, B_4 \}$ beschreibt die Schwellwerte für eine Zelle, ab wann ihre Umgebung zu dicht bebaut ist und sie ihren Zustand auf unbebaut ändern muss; bzw. wenn Potenzial und Nachfrage in der Nachbarschaft vorhanden ist und sie ihren Zustand auf bebaut (1) setzen muss. Die verkürzte Darstellung der globalen Zählregel R des CA und des Schwellwertes B_n kann zu $R=B_1B_2B_3B_4$ zusammengefasst werden. Mit dieser formalen Ausstattung kann die Untersuchung von Automaten begonnen werden, bei der jede bebaute Zelle zumindest eine unbebaute Zelle in ihrer

von Neumann Nachbarschaft hat. Diese Einschränkung scheint nötig, um genug Licht und Luft für jedes Haus sicherzustellen. Der Initialzustand eines Automaten wird normalerweise so beschrieben:

$$S^H(0) = \text{random}(0, 1),$$

(6.21)

Mit der Wahrscheinlichkeit $\rho^H(0) = 0,5$ oder 50%, dass eine Zelle entweder den Zustand 0 oder 1 am Anfang hat. Der erste untersuchte Automat hat die Regel $R_1=8114$ und produziert Strukturen mit einer hohen Dichte $D=0,72$ von bebauten Zellen. Die Dichte D ist ein Maß für das Verhältnis von bebauten Zellen zu allen Zellen. Das Problem mit den Strukturen, die aus Regel R_1 generiert werden ist, dass es sehr viele Zellen ohne eine freie Zelle in ihrer von Neumann Nachbarschaft gibt (Abb. 6-86a). Durch Änderung der Regel R_1 zu $R_2=7013$ wird diese Schwierigkeit für fast alle Zellen wie in Abb. 6-86b illustriert gelöst, jedoch die Dichte auf $D=0,61$ herabgesetzt. Wenn die Forderung nach mindestens zwei freien Zellen pro bebauter Zelle in der von Neumann Nachbarschaft laut wird, ist die Regel $R_3=5012$ geeignet, um die Dichte auf $D=0,46$ herabzusetzen -falls akzeptierbar und gewollt.

Um Strukturen mit noch niedrigerer Dichte zu produzieren kann die Regel $R_4=3011$ benutzt werden, wobei $D=0,37$ (Abb. 6-86c). Wenn eher ländliche Strukturen benötigt werden, sind die Regeln $R_5=4010$ und $R_6=3010$ dafür geeignet, Strukturen mit $D \sim 0,21$ und $D \sim 0,10$ zu generieren, aber für geeignete Ergebnisse muss die Initiierungswahrscheinlichkeit auf $\rho^H(0) = 0,3$ geändert werden.

Für die nächste Ausarbeitung der Siedlungsstruktur werden zwei neue Zustände für die Zellen eingeführt. Zunächst wird für die gelb markierten Straßen der Zustand $S^H=2$ reserviert. Sollte nun während des generativen Prozesses zufällig ein 3×3 Zellen großes Feld frei bleiben, wird es im weiteren Entwicklungsprozess von einer rot gefärbten Zelle im Zentrum und mit Zustand $S^H=3$ freigehalten. Für alle Zellen mit Zustand $S^H=(0, 1)$ bleibt die Zählregel die gleiche wie in (6.19), allerdings muss (6.20) folgendermaßen verändert werden:

$$C^{U(H)}(t) = \sum_G \{1 | G \in U(H), S^G = 1\}. \quad (6.22)$$

Zu Beginn werden die Straßenzellen definiert und danach die Initialisierungszustände der verbleibenden Zellen wie folgt gesetzt:

$$S^H(0) = \text{random}(0, 1), \text{ if } S^H(0) \neq 2. \quad (6.23)$$

Wenn eine Zelle einmal ihren Zustand auf Straßenzelle gesetzt hat, kann sie ihn nicht mehr ändern. Für die weiteren Untersuchungen werden die Regeln R_2 und R_3 als am geeignetsten ausgewählt und auf einem vordefinierten Rasternetz von Straßen ausprobiert. Ein Hauptproblem der rechteckigen Zellenstruktur des verwendeten zellularen Automaten ist neben den Einschränkungen durch die Geometrie selber, ist eine begründbare Größe für die Zellen zu finden, welche sowohl für Straßen als auch für Gebäude und den notwendigen Raum zwischen den Gebäuden geeignet ist.

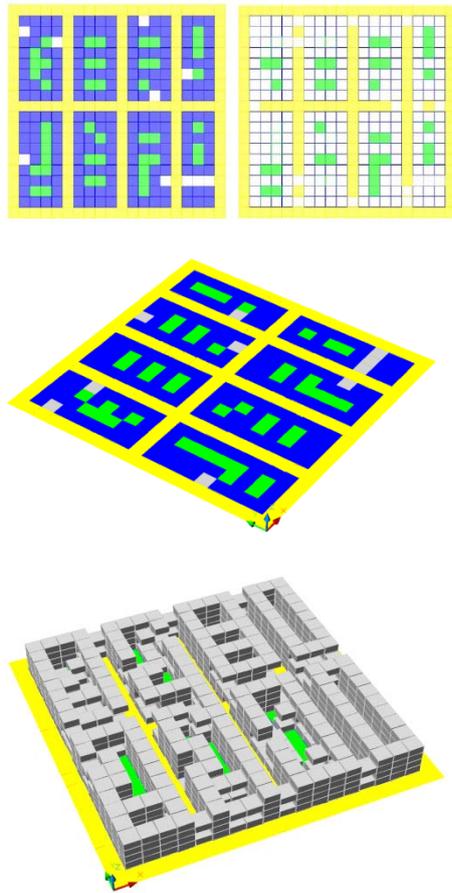


Abb. 6-87 Grundriss, nach 10 Iterationen des zweidimensionalen zellulären Automaten

(oben rechts) nach der 3D Bebauung.
 (mitte) Isometrie des Zellenfeldes (unten) die Blockstruktur nach der Generierung mittels des zellulären Automaten 2514.

gelb - Straßen
 blau - Bebauung
 grün (grau) - Freiflächen

Der Block

Als erstes bewegen wir uns in einer experimentellen Umgebung mit vorgegebenem orthogonalem Straßenraster. Um die Idee einer Blockrandbebauung mit den beiden zellulären Automaten zu verwirklichen, wird im ersten Schritt die 2D Grundstruktur erzeugt, welche die bebauten und die freien Flächen vorgibt. Dazu werden willkürlich einige Flächen zur Initialisierung des Automaten als bebaut markiert.

Die Regeln für den Automaten sind so beschaffen, dass die gelben Flächen, welche die Straßen darstellen, nicht bebaut werden können und als Freifläche gelten. Eine Zelle wird zur bebauten Fläche, wenn sie mehr als einen, jedoch maximal 3 bebaute Nachbarn hat, und zur Freifläche, wenn mehr als sieben Felder um sie herum bebaut sind, was gewährleistet, dass jedes Baufeld mindestens eine freie Seite hat, entweder zur Straße oder zu einer spezifischen Freifläche.

Im Anschluss daran wird ein dreidimensionaler zellulärer Automat verwendet, um die Gebäudestrukturen generieren zu können, wobei zur Initialisierung des Automaten die Zellen der untersten Reihe des Automatenraumes als besetzt angenommen werden, die von dem zweidimensionalen Generator vorgegeben wurden. Um eine relativ geschlossene Blockrandbebauung zu erzeugen, werden für die Nachbarschaften nur die direkt darunter liegende Zelle und die acht Zellen in der gleichen Ebene untersucht. Als Regel wird 2514 verwendet. Der Zustand der Zellen ist wie üblich 0 für aus und 1 für an (Abb. 6-87).

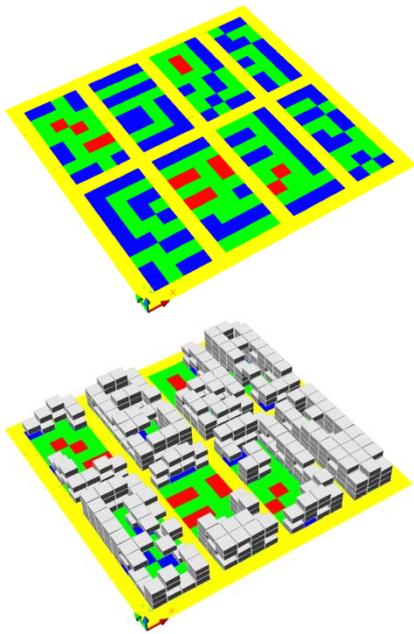


Abb. 6-88 Bereich der roten Felder kann keine Zelle besetzt werden.

Regeln 2D: 114 und 3D: 2414.

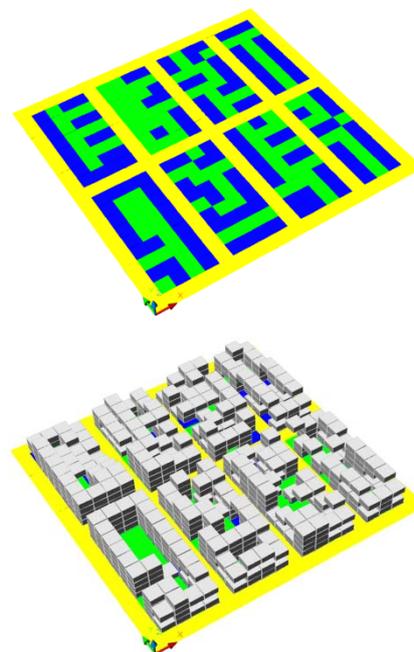


Abb. 6-89 Der Blockrand wird aufgelöst und mit Grünzügen verbunden.

Regeln 2D: 114 und 3D: 2513.

Freie Anordnung auf Rastergrundlage

Im nächsten Schritt wurden die Einstellungen des 2D Automaten so verändert, dass sich die strenge Blockrandbebauung auflöst. Dabei lässt sich als erstes beobachten, dass die Ergebnisse des Systems der zwei zellulären Automaten bei den Einstellungen für die Blockbebauung alle ähnlich waren und nur durch die Zufallsverteilung der Initialisierungszellen zu Beginn variierten. Sobald man allerdings die Regeln des 2D Automaten ändert -und somit die Ausgangsstruktur des 3D Automaten wesentlich modifiziert- führen die ursprünglichen Regeln zu unerwünschten Ergebnissen. Die beiden Automaten hängen also direkt voneinander ab (Abb. 6-90 bis Abb. 6-95). Zur Erzeugung der durchgrünten Struktur wurde für den 2D Automaten der Regelsatz 114 und für den Dreidimensionalen die Regeln 2513 verwendet. Die untersuchten Nachbarn bleiben die gleichen wie oben. Außerdem wurde festgelegt, dass über dem Straßenraum keine Zelle platziert werden darf. Für die Erzeugung komplexerer architektonischer Strukturen benötigt man weitere Differenzierungsmöglichkeiten. Zu diesem Zweck werden zusätzliche Zustände für die Zellen eingeführt. Im ersten Schritt wird für den zweidimensionalen Automaten ein Zustand definiert, der eine leere Zone um die entsprechende Zelle herum erzeugt, wodurch es möglich wird, größere Freiflächen festzulegen. Eine solche Zelle entsteht, wenn eine Freiflächenzelle von lauter freien Flächen, wozu auch die Straßen gehören, umgeben ist. Nachdem eine solche Zelle belegt wurde, dürfen neben ihr keine Zellen zur Bebauung mehr angelegt werden. Sie fungiert als eine Art abstoßendes Feld. Diese Eigenschaft wird auf den dreidimensionalen zellulären Automaten übertragen.

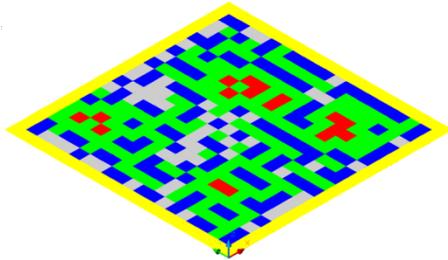


Abb. 6-90 Eine Konfiguration ohne Durchwegung

Die Abhängigkeit vom jeweiligen Rastermaß

Eine breite Palette an Variationsmöglichkeiten bieten die unterschiedlichen Rastermaße und die sich daraus ergebenden Grundstücksgrößen. Es gibt ferner einen Zusammenhang zwischen der Menge der Initialisierungszellen und dem daraus folgenden Ergebnis des zweidimensionalen zellulären Automaten. Bei einer geringen Anfangsdichte ergeben sich vorwiegend lineare Strukturen, bei höheren Dichten lockert sich die Struktur auf. Bei den folgenden Versuchen wird eine zufällige Anfangsbelegung von 30% verwendet, und es werden die Straßenabstände jeweils für die oben untersuchten Regeln 137 und 114 verändert.

Die Differenzierung in eine Blockrand- bzw. Zeilenbebauung und eine durchgrünte, freiere Anordnung der Bauflächen erweist sich in allen Beispielen als gültig. Hier wurden lediglich diese beiden Möglichkeiten eingehender betrachtet, es sind aber noch viele weitere Kombinationen möglich, die zu sinnvollen und interessanten Strukturen führen (Abb. 6-90 bis Abb. 6-91). Ferner kann durch die Verwendung weiterer Zellenzustände und dem daraus abgeleiteten Zellenverhalten die Komplexität des Gesamtsystems erhöht werden. Beispielsweise ist eine Konfiguration vorstellbar, die als Attraktor für die Bebauung dient.

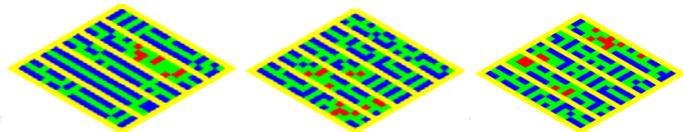


Abb. 6-91 Drei Resultate des 2D Automaten bei einem Rasterabstand von 3 Zellen zwischen den Straßen.

Als Anfangsbedingung wurden v.l.n.r einmal 10%, 30% und 50% der Zellen zu Beginn als bebaut definiert. Die Regeln für den 2D Automaten blieben unverändert 114.

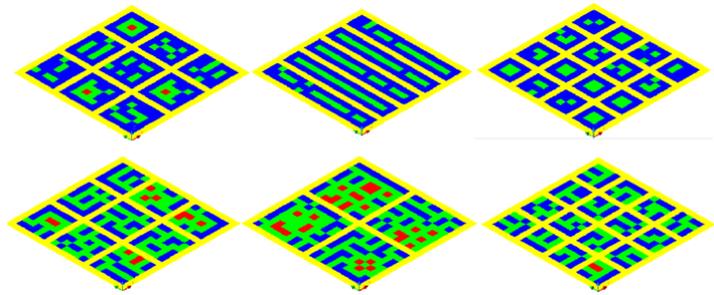


Abb. 6-92 Für die obere Reihe gilt 137 und für die untere 114.

Anfangsbelegung war 30%. Die Straßenabstände wurden sukzessive verändert.

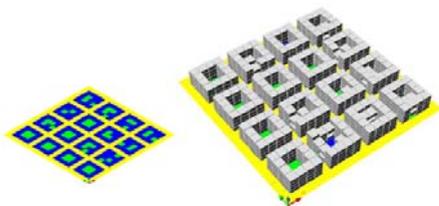


Abb. 6-93 Ein dreidimensionaler zellulärer Automat, der Ergebnisse liefert, die sich sehr eng an die Struktur des zweidimensionalen Automaten halten: 2514 nach 5 Generationen.

Ausweitung des Aufbaues in die dritte Dimension

Man könnte die zweidimensionale Bebauungsstruktur einfach extrudieren, um zu einer dreidimensionalen Gebäudestruktur zu kommen. Die Möglichkeiten dieser Methode wären damit allerdings bereits erschöpft. Stattdessen wird in den folgenden Experimenten nach Regeln des dreidimensionalen zellulären Automaten gesucht, die es ermöglichen, vielfältige Strukturen zu erzeugen, die alle bestimmte architektonische Gesichtspunkte berücksichtigen, wie z.B. das Bedürfnis nach Licht, Luft und Freiraum. Die Position der berücksichtigten Nachbarn wird hierbei eine besondere Rolle spielen. Um nahe an der Struktur zu bleiben, die vom zweidimensionalen Automaten erzeugt wurde, betrachtet man die Zelle direkt unterhalb und oberhalb und die acht benachbarten Zellen in der gleichen Ebene der untersuchten Zelle. Später werden freiere Strukturen untersucht und dazu die Nachbarschaft auf die neun Zellen in der Ebene unterhalb, die acht Zellen in der gleichen Ebene und die Zelle direkt über der betrachteten Zelle erweitert. Nachdem eine Vielzahl an Regelvariationen für den dreidimensionalen zellulären Automaten vorgenommen wurde, das System jedoch jedes Mal eine geschlossene Blockstruktur erzeugt

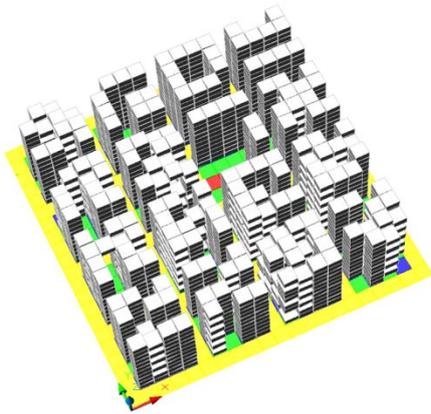


Abb. 6-94 hohe Bebauung

Abb. 6-94 und Abb. 6-95: Die Regeln für die dreidimensionale Struktur funktionieren bei unterschiedlichen Bebauungshöhen.

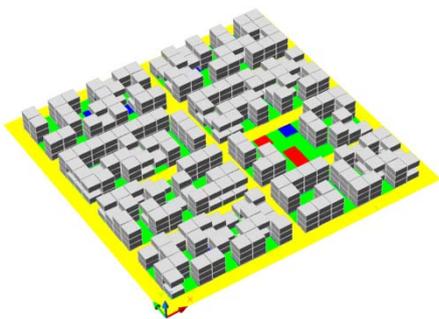


Abb. 6-95 niedrige Bebauung

hat, wurden die untersuchten Nachbarn verändert. Zur Umsetzung der aufgelockerten Struktur in eine dreidimensionale Gebäudestruktur wird die Zelle direkt unter und die vier Zellen in der gleichen Ebene der betrachteten Zelle untersucht, die der von Neumannschen Nachbarschaft entsprechen. Unter dieser Voraussetzung wurde die Regel 1311 gefunden, die den Charakter der zweidimensionalen, aufgelockerten Bebauungsstruktur erhält. Dieser Automat nimmt einen stabilen Zustand nach ca. 8 bis 10 Generationen an (Abb. 6-96 bis Abb. 6-98).

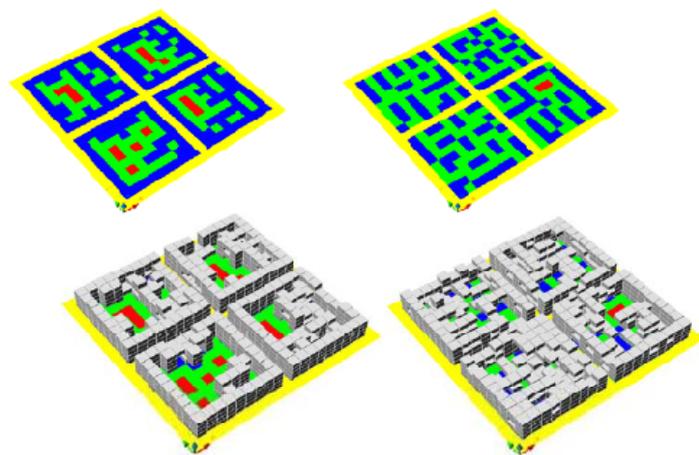


Abb. 6-96 Versuchsergebnisse mit Erschließungskreuz

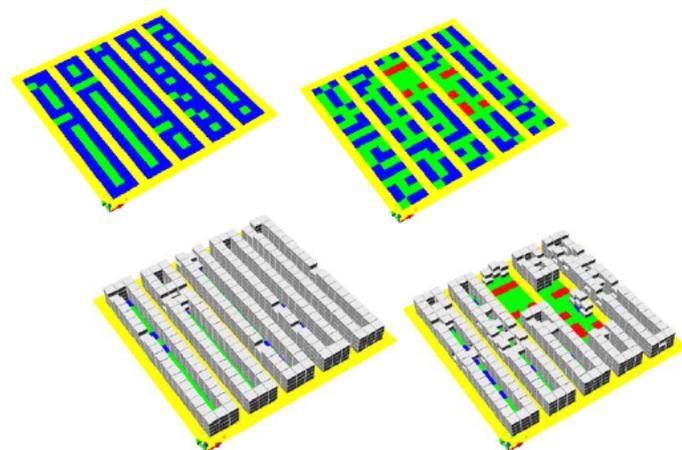


Abb. 6-97 Versuchsergebnisse mit Parallelerschließung

In der Versuchsreihe (Abb. 6-96 und Abb. 6-97) wurde die Bebauungsstruktur für unterschiedliche Rastersysteme jeweils mit dem 2D Automaten 114 und 137 generiert und anschließend eine dreidimensionale Struktur mit den Automaten 2514 für alle Beispiele erzeugt (5 Generationen). Es zeigt sich, dass dieser Automat relativ unabhängig von der Ausgangskonfiguration eine Randbebauung erzeugt. Diese Eigenschaft ist für den 2D Automaten 137 geeignet, für 114 allerdings unpassend.

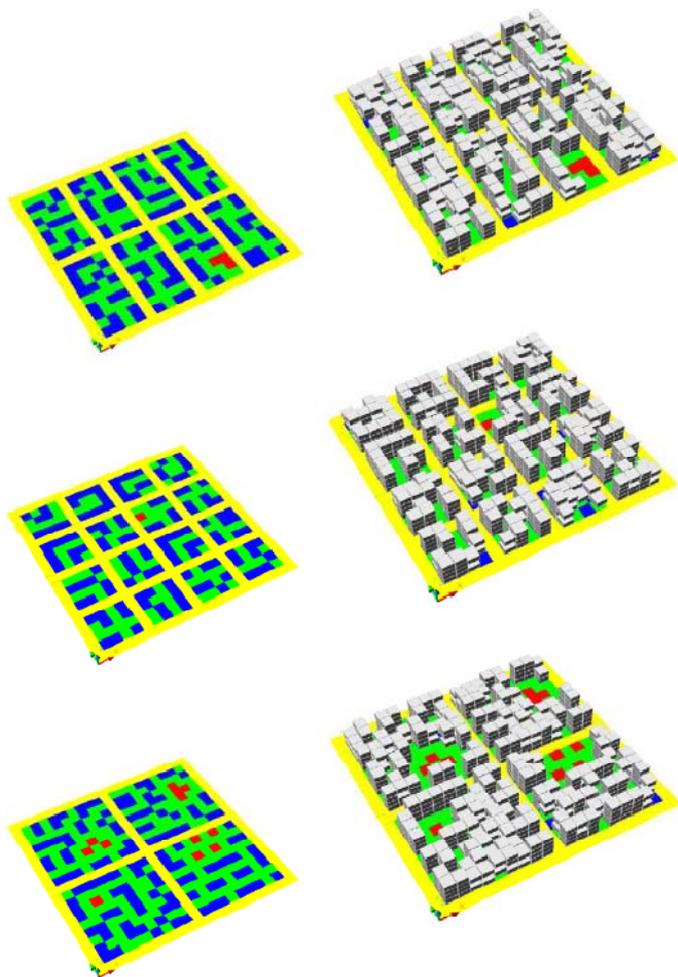


Abb. 6-98 die Ergebnisse des Automaten 1311 mit unterschiedlichen Straßenabständen nach der 10. Generation.

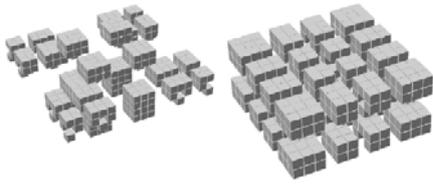


Abb. 6-99 3D binärer Automat 1111, links nach der 4. Generation und rechts nach der 10.

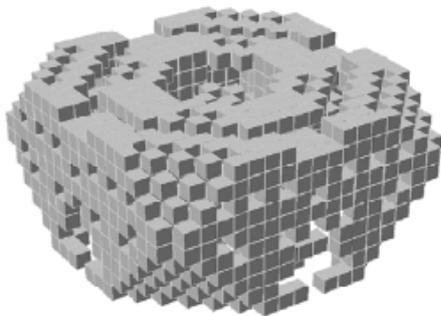


Abb. 6-100 3D binärer Automat mit der Regel 2524 nach der 10. Generation.



Abb. 6-101 ähnliche Zelluläre Automaten

Die untere Reihe in Abb. 6-101 bildet einen Vergleich zwischen den sehr ähnlichen Automaten 1111 (obere Reihe) und 1211 (untere Reihe) ab, die bis zur 10. Generation – Bild ganz links - das gleiche Ergebnis liefern und sich dann verzweigen. Von links nach rechts: Generation 14, 20, 24, 26 und 30.

Versuche mit freier Anordnung im Raum

Bisher wurde versucht, mit dem dreidimensionalen zellulären Automaten die vorgegebene Bebauungsstruktur räumlich umzusetzen und in den obigen Beschreibungen einige Möglichkeiten dazu erläutert. Jetzt geht es darum, die flächige Struktur als Initialisierung für sich d.h. relativ frei organisierende Automaten zu betrachten und die Restriktionen und räumlichen Qualitäten dieser Modelle zu untersuchen. Der eingangs beschriebene Automat von P. Coates ist ein gutes Beispiel dafür, dass die Ergebnisse dieser Automaten stark von der Anfangskonfiguration der Zellen abhängen.

Um mit diesem Automaten zu beginnen, wird die Abhängigkeit der Zelle von der Nachbarschaft so verändert, dass die neun Zellen in der Ebene unterhalb, die acht benachbarten Zellen in der gleichen Ebenen und die Zelle direkt über der untersuchten Zelle überprüft werden. Als Zählregel wird 2524 verwendet. Sofern dieser Automat richtig rekonstruiert wurde, muss, um mit dieser Regel das gewünschte Resultat zu erreichen, der Status einer besetzten Zelle auf den Wert 4 gesetzt werden.

Übersetzt man diesen Zusammenhang in den bisher verwendeten binären dreidimensionalen zellulären Automaten – der mit den Zuständen 0 und 1 rechnet -, lautet die Zählregel 1111. Die Ergebnisse des Automaten sind zwar nicht identisch mit den von P. Coates gezeigten, haben aber eine große Ähnlichkeit mit ihnen. Die Differenz ist möglicherweise mit unterschiedlichen Anfangskonfigurationen zu erklären. Wird für den binären Automaten die Regel 2524 verwendet, erhält man das nebenan abgebildete Ergebnis.

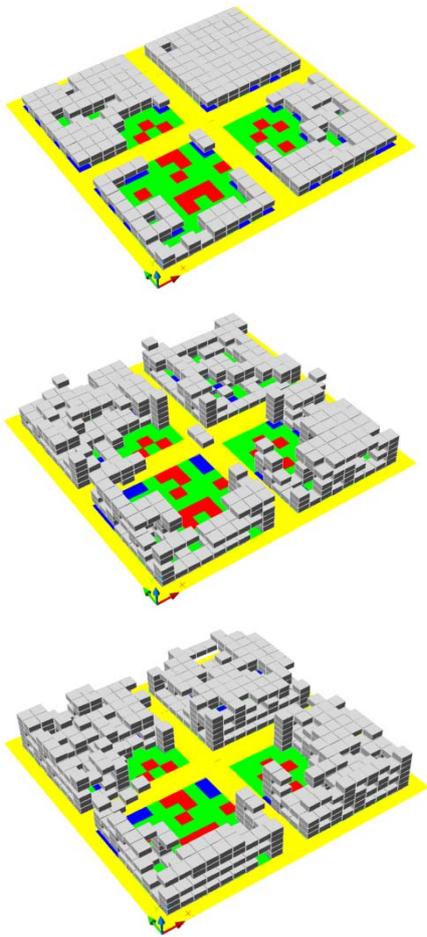


Abb. 6-102 Drei Entwicklungsstadien eines 2524 Automaten nach der 0., 6. und 10. Generation.

Nach einigen Generationen verändert sich die Struktur nicht mehr wesentlich, weshalb die meisten Untersuchungen nach 10 Generationen beendet werden.

Da sich die dreidimensionalen Automaten relativ unabhängig von der Bebauungskonfiguration des zweidimensionalen Automaten entwickeln, muss nach anderen räumlichen Ordnungsmechanismen Ausschau gehalten werden. Wie sich in den nebenstehenden Abbildungen erkennen lässt, entwickeln die 3D Automaten ein charakteristisches Erscheinungsbild für die vorgegebenen Regelsätze, was zu interessanten Raumstrukturen führen kann. Es lässt sich deutlich erkennen, dass bei diesen Systemen die definierten Freiräume jene ordnenden Instanzen sind, welche die Entwicklung der Automaten regeln – also die negativ definierte Umwelt der Zellen, die sich aus den Straßenräumen und den rot markierten, nicht zu überbauenden Freiflächen ergibt (Abb. 6-103 bis Abb. 6-105).

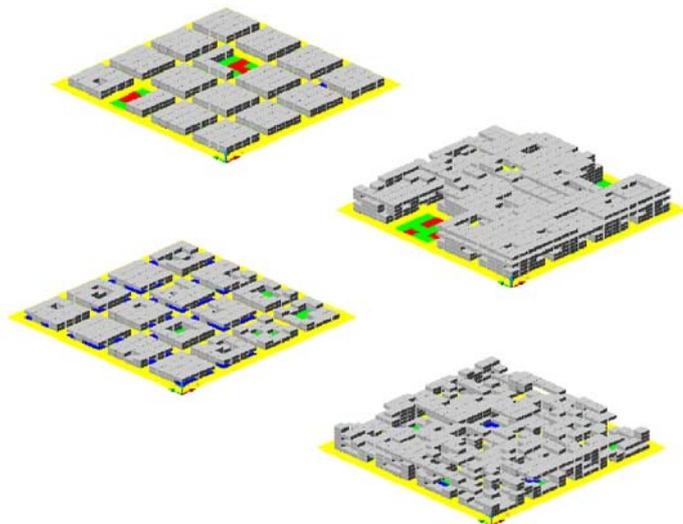


Abb. 6-104 Links der Automat mit 1515 und rechts mit 2524 jeweils nach der 0. und der 10 Generation.

Die Automaten entwickeln sich bereits nach der 0. Generation, also nach dem ersten Iterationsschritt so, dass sie in ihrer Struktur neben den internen Wachstumsregeln hauptsächlich von den negativ definierten Räumen beeinflusst werden. Der Straßenraum wird ab dem 3. Geschoss überbaut.

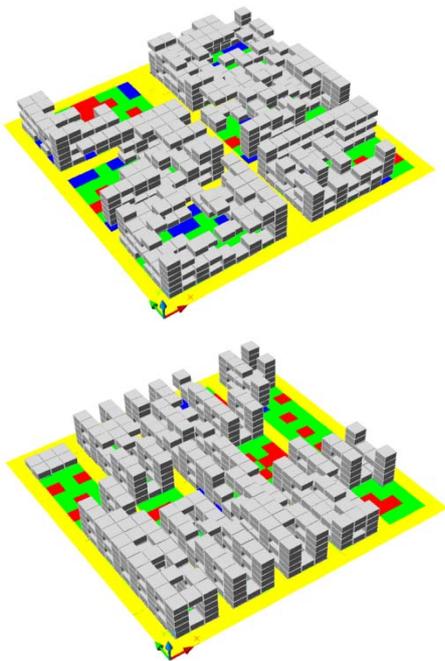


Abb. 6-103 Zwei Modelle mit anderen Straßensystemen, aber demselben Automaten 2524.

Das Verhalten ist überall ähnlich.

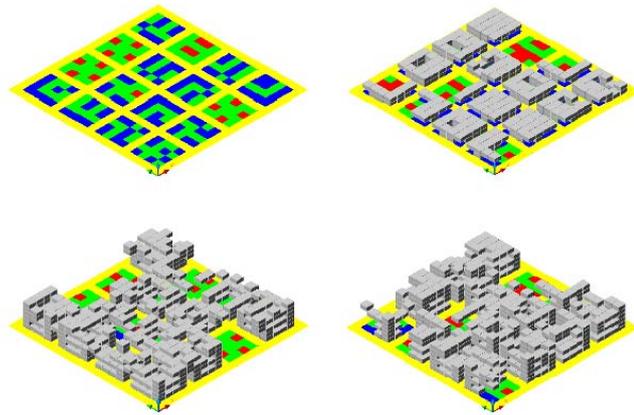


Abb. 6-105 Die Abhängigkeit der Automaten von den Freiräumen.

Bei den rechten beiden Bildern bleiben die Straßen als Schluchten erhalten. Die Zählregel ist für beide Automaten 2524.

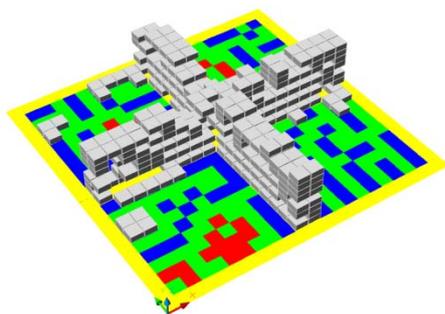


Abb. 6-106 Zellen können nur über Straßenflächen wachsen. Der Automat 2524 ist der gleiche wie oben, nur die Bedingung, wo Zellen entstehen können wurde geändert.

Invertieren des Systems

Bisher wurden die Straßen als nicht bebaubare Fläche und die daraus entstehenden Zwischenflächen als Bauland definiert, welches mittels des zweidimensionalen zellulären Automaten strukturiert wird. Zur Erzeugung monolithischer Strukturen wird in den folgenden Experimenten dieses Verhältnis umgedreht und man lässt Zellen nur dort entstehen, wo die Flächen als Straßen markiert sind. Es macht keinen Sinn, die Anfangsbedingung des zweidimensionalen zellulären Automaten zu übernehmen. Dieser wird entsprechend so angepasst, dass die nun zu bebauenden Flächen Cyan gefärbt sind und die Freiflächen grün. In den folgenden Modellen wird der dreidimensionale zelluläre Automat durch die Cyan gefärbten Flächen initialisiert,

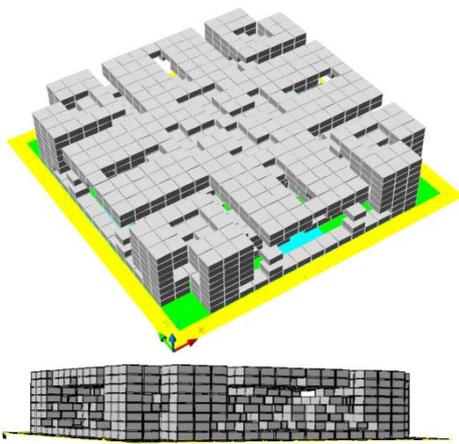


Abb. 6-107 und Abb. 6-108. Die beiden Abbildungen oben zeigen das Ergebnis bei einer kreuzförmigen Ausgangskonfiguration, wenn das Wachstum nicht auf die Cyan-farbenen Bereiche begrenzt bleibt.

was meist zu einer symmetrischen Figur führt. Diese Restriktion führt zu sehr interessanten Ergebnissen und macht deutlich, wie sich eine regelmäßige Anfangskonfiguration auf das System auswirkt (Abb. 6-107 bis Abb. 6-113).

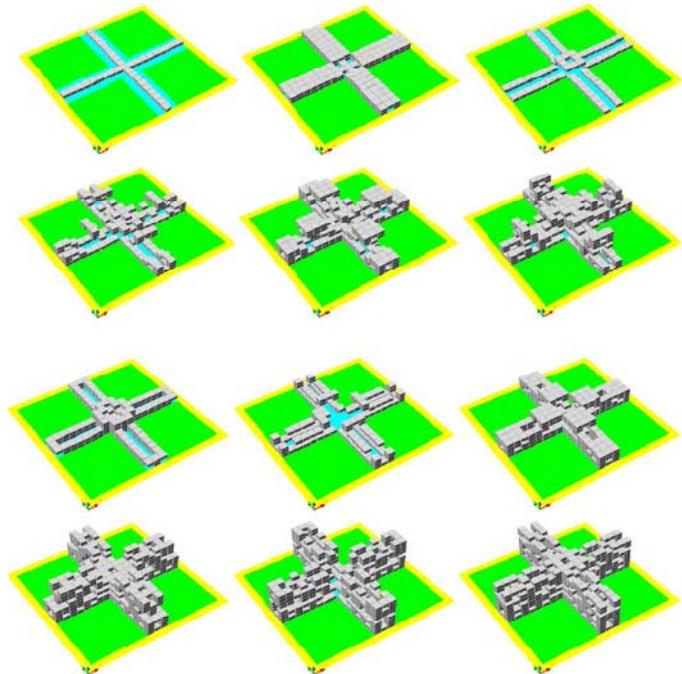


Abb. 6-109 Der 3D Automat 2524 wird durch die kreuzförmigen Reihen (cyan Zellen) initialisiert.

Die abgebildete Sequenz stellt die Entwicklung über 10 Generationen hinweg dar.

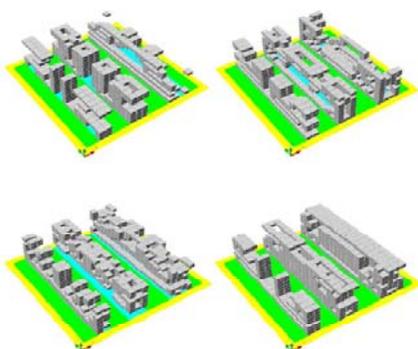


Abb. 6-110 und Abb. 6-111 Bilder aus der Versuchsreihe, bei der lineare Bauflächen unterschiedlicher Breite mit jeweils einer Reihe am Rand oder in der Mitte initialisiert wurden.

Von links nach rechts: Automat 1325 mit 9 Generationen, 2525 mit 9 Generationen, 3525 mit 10 Generationen, 1515 mit 8 Generationen.

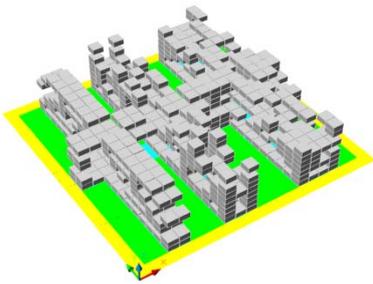


Abb. 6-112. Es wurde eine Verbindung eingefügt, wodurch eine Kammstruktur entsteht.

Oben 2525 mit 10 Generationen, darunter 1515 mit 7 Generationen.

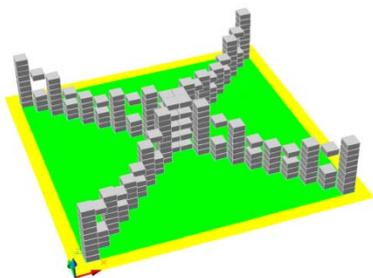
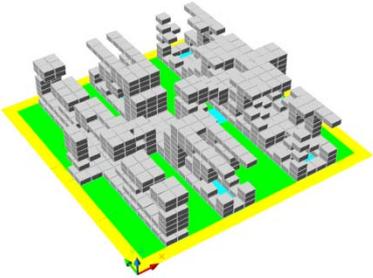
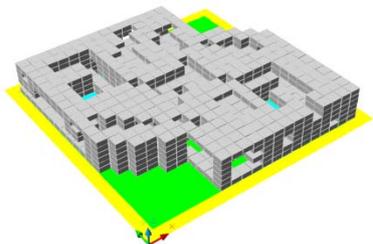
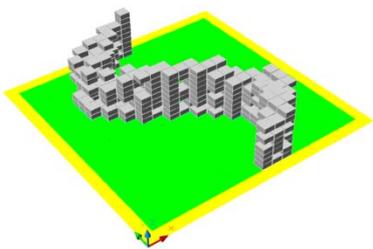
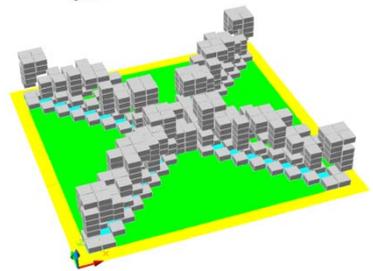


Abb. 6-113 (links) bis Abb. 6-114 (links unten) zwei x-förmige Strukturen mit verschiedenen Breiten.

Beide mit 1515 erzeugt. (unten) Zwei sinusförmige Strukturen, ebenfalls mit 1515 erzeugt – mit und ohne Wachstumsbegrenzung.



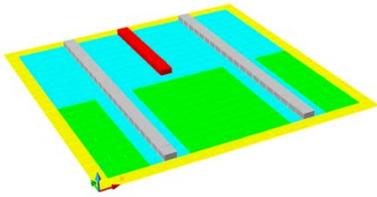


Abb. 6-115 Zwei Automaten:
Schritt 1

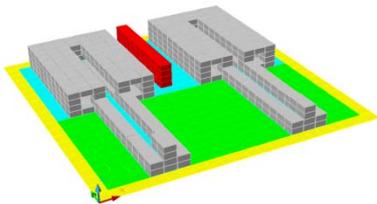


Abb. 6-116 Zwei Automaten:
Schritt 2

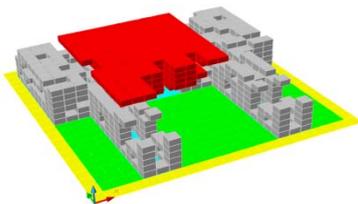


Abb. 6-117 Zwei Automaten:
Schritt 3

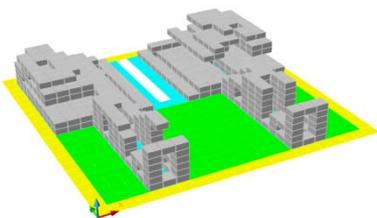


Abb. 6-118 Zwei Automaten:
Schritt 4

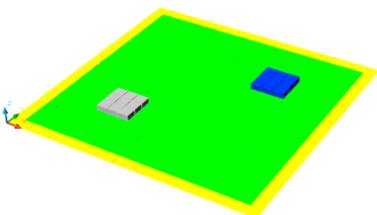


Abb. 6-119 Ausgangskonfiguration

Regelungen des Abstands

Abschließend werden die Zusammenhänge der Räume zwischen den Gebäudestrukturen eingehender untersucht. In den Erläuterungen oben wurden bereits rot markierte Flächen eingeführt, welche die Freiräume definiert haben und aus den Bedingungen des zweidimensionalen zellulären Automaten entstanden sind. Bei den dreidimensionalen Automaten entstehen freie Zellen, wenn sie aufgrund des Regelsatzes und der Umwelt entweder sterben oder erst gar nicht geboren werden. Diese Freiräume sind allerdings durch die lokalen Bedingungen einer Zelle definiert und können nicht für die Bestimmung eines größeren Freiraumes benutzt werden. Bisher wurde sich mit den bereits erwähnten roten Flächen beholfen, um dennoch größere Zwischenräume, beispielsweise für Plätze, zu erzeugen. Zur Regelung der Abstandsflächen zwischen zwei Gebäudestrukturen sind sie allerdings nur bedingt tauglich, da sie nicht auf die Höhe der umgebenden Bebauung reagieren können und statisch definiert sind.

Es wird folglich ein weiterer Zustand für eine 3D Zelle eingeführt, der im Folgenden als „frei“ bezeichnet wird und mit dem Wert 10 belegt ist. Diese Zellen sind in den Abbildungen rot gekennzeichnet, stellen allerdings ein unbebautes Volumen dar und sind nur für die Visualisierung der Funktionsweise eingeblendet. Diese „frei“- Zellen wachsen, solange die benachbarten Zellen nicht besetzt sind, vertikal nach oben. Wird jedoch eine Zelle in der Nachbarschaft besetzt, wachsen sie horizontal zur Seite, bis ein maximaler Winkel einer auf dem Kopf stehenden Pyramide erreicht ist, der das Wachstum begrenzt.

Dieser Winkel dient der Übertragung der Abstandsflächen in das System (Abb. 6-115 bis Abb. 6-124). Die roten Ab-

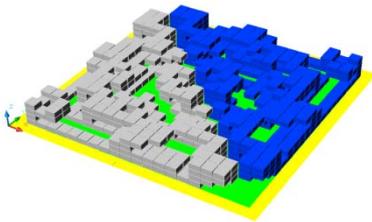


Abb. 6-120 Zwei 2525 Automaten

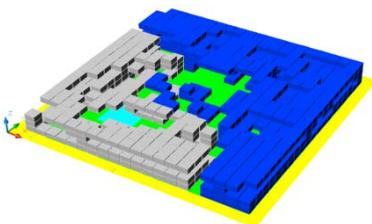


Abb. 6-121. Ein 2525 und ein 1515 Automaten

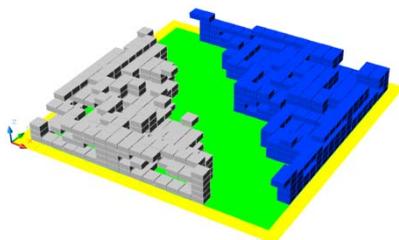
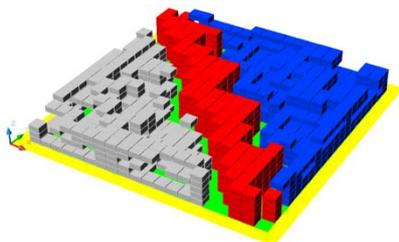


Abb. 6-122 Initialzellen am Berührungspunkt, vertikales Wachstum der Abstandszellen

standszellen können auch dynamisch entstehen, wenn sich zwei Baustrukturen zu nahe kommen. Die Arbeit an dem System zur Abstandserzeugung hat die Idee entstehen lassen, Zellen einzuführen, die wie Parasiten fungieren, und dort entstehen, wo sie eine günstige Umweltbedingung in der Konfiguration der anderen, lebenden Zellen vorfinden. Das Beispiel zeigt (Abb. 6-115 bis Abb. 6-118) einen 2525 Automaten, der durch die roten Zellen getrennt wird, welche wiederum einen Automaten darstellen, der die neun Zellen in der Ebene unter der untersuchten Zelle abzählt und mit der Regel 1999 formalisiert werden kann. Lässt man den Automaten die Zellen in der zweiten Ebene unter der betrachteten Zelle prüfen, wird der Winkel entsprechend steiler. In der letzten Abbildung sind die roten Zellen ausgeblendet.

Aus der Ausgangskonfiguration (Abb. 6-119) entwickeln sich zwei Automaten, die sich gegenseitig verdrängen. In der Abb. 6-120 zwei gleiche 2525 Automaten, und in der Abb. 6-121 ist der blaue ein 1515 Automaten. Es entsteht ein Kampf um das Territorium, in dem ein Automaten den anderen verdrängt.

Abb. 6-122: An der Grenze der beiden Automaten entstehen die Initialzellen des roten Automaten dort, wo sich der blaue und der graue Automaten berühren. In den beiden Abbildungen wachsen die ‚Abstandszellen‘ einfach nach oben, was in diesem System für die Abstandsflächen bei Strukturen dieser Höhe ausreicht.

Abb. 6-123: Die roten Zellen wachsen zusätzlich nach jedem zweiten Geschoss horizontal. Automaten wieder 2525 und 1515 und roter Automaten 1999.

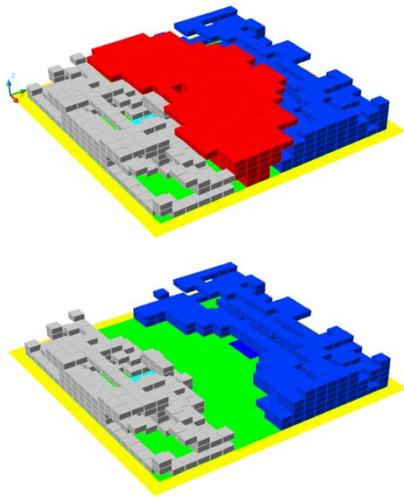


Abb. 6-123 Initialzellen am Berührungspunkt, vertikale und horizontales Wachstum der Abstandszellen

Abb. 6-124: Auch bei höheren Baustrukturen scheint die horizontale Verbreiterung der ‚Abstandszellen‘ keinen Sinn zu machen, da bereits zu viele rote Zellen zwischen den Automaten entstehen. Eine Verbreiterung ist demnach nur sinnvoll, wenn die Grenze als eine Zelle breite Linie vorher festgelegt wird, oder wenn die Entstehungsregeln entsprechend verfeinert werden.

Es genügt hier die Feststellung, dass sich Abstandsflächen dynamisch erzeugen lassen. Entweder direkt über den Abstand zwischen verschiedenen Automaten, der dadurch eingestellt werden kann, dass man die ‚Scan-Reichweite‘ nach fremden Zellen erhöht, oder indirekt, durch die Erzeugung eines Abstandsystems, welches wiederum seinen eigenen Regeln unterliegt.

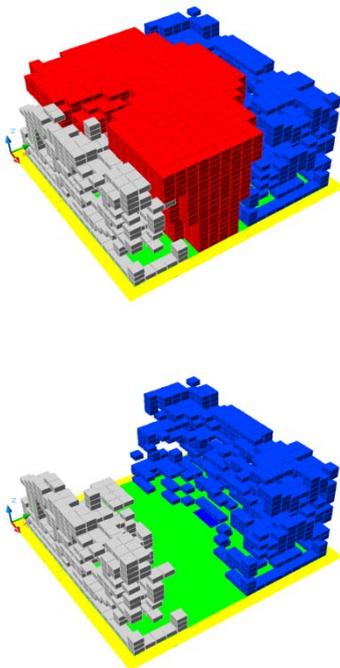


Abb. 6-124 Initialzellen am Berührungspunkt, vertikale und horizontales Wachstum der Abstandszellen

Bisheriger Ausblick

Man konnte im Rahmen dieser Arbeit, wo es hauptsächlich darum geht, die Anwendbarkeit des Modells der zellulären Automaten zur Stadtstrukturgenerierung in Kombination mit den anderen Methoden zu prüfen, nur einen verschwindend geringen Teil der Möglichkeiten untersuchen, welche als Potential in den zellulären Automaten liegen.

Durch die Kombination der Generierungsregeln und der beschriebenen Methoden kann eine endlose Variationsvielfalt erzeugt und in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Die gefundenen Strukturen können als Organisationsform eines daraus entstehenden Gebäudes betrachtet werden. Durch weitere Interpretationsverfahren können diese in architektonische Ergebnisse transformiert werden, wobei ein möglicher Ansatz im nächsten Abschnitt skizziert wird.

6.3.2 Interpretationsmöglichkeiten

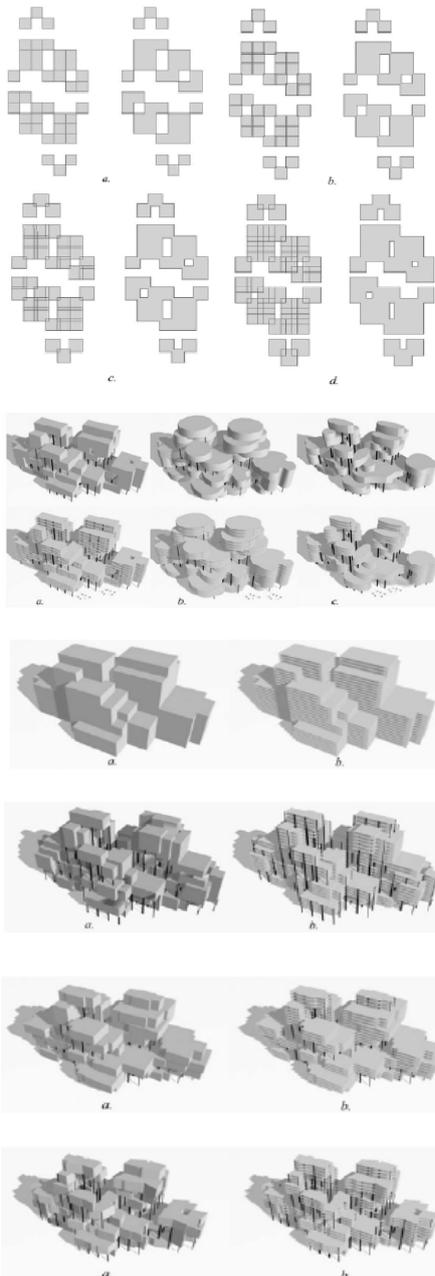


Abb. 6-125 Interpretationen einer dreidimensionalen zellulären Struktur.

Aus Krawczyk [53]

Zum Abschluss der Betrachtungen der zellulären Automaten werden einige Möglichkeiten vorgestellt, die erzeugten Strukturen architektonisch zu interpretieren. Es werden Arbeiten von P. Coates [21] und Krawczyk [53] zitiert, die sich damit bereits auseinandergesetzt haben (Abb. 6-125 bis Abb. 6-127).



Abb. 6-127 ist einem Artikel von P.Coates [24] entnommen.

Zu diesem Thema wurden keine weiteren Studien angefertigt, da sich diese Arbeit auf die Untersuchung der Zusammenhänge innerhalb der städtischen Strukturen beschränkt.

Schlussbemerkungen zu zellulären Automaten

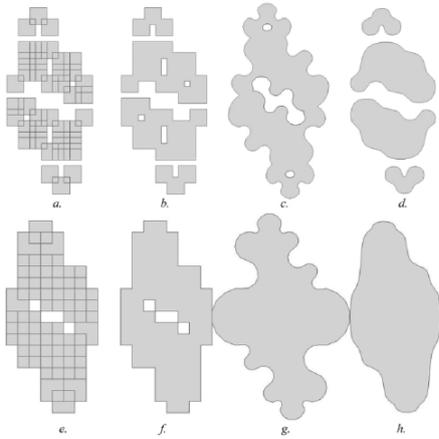


Abb. 6-126 Interpretationen einer Grundrissebene einer zellulären Struktur.

Aus Krawczyk [53]

Das gesamte System des zellulären Automaten besteht aus einheitlichen Zellen, die sich alle nach den gleichen festgesetzten Regeln verhalten. Ein bestimmter Regelsatz, von denen einige wenige oben untersucht wurden, ist dafür verantwortlich, wie sich das System entwickelt, wie es wächst.

Analog zu biologischen Systemen kann man sagen, dass diese Regeln den Gencode einer Zelle darstellen, der alle notwendigen Informationen besitzt, die es der Zelle ermöglicht, sich innerhalb einer bestimmten Umgebung zu entwickeln – in diesem Fall, verschiedene Zustände anzunehmen. Der resultierende Globalzustand des Systems, also die entstehende Form, kann zwar je nach Umgebungsbedingungen und Anfangszustand variieren, wird sich jedoch bei gleichem Gencode immer ähnlich sehen.

Die Gesamtmenge der Regeln und deren Kombinationen lassen sich entsprechend als Genotyp, also als Gesamtheit der Erbfaktoren eines Lebewesens betrachten, und ein bestimmter Regelsatz kann als Phänotyp bezeichnet werden, womit das individuelle Erscheinungsbild eines Organismus gemeint ist.

6.4 Optimierungsebene

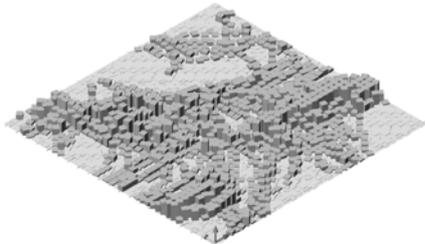


Abb. 6-128 Beeinflussung der Zellen-
geometrie.

In diesem Abschnitt werden Methoden behandelt, die es erlauben, gegebene Strukturen hinsichtlich bestimmter Kriterien umzubauen. Dies können Vorgaben wie Flächennutzungen, Sonneneinstrahlung, Durchlüftung, rationale Parzellierung, Verringerung der Erschließungswege und andere sein. Als Simulationsmodell für diese Ebene werden die Termitensysteme ausgewählt (siehe Kapitel 5.3).

Diese können einen definierten Bereich ihrer Umgebung untersuchen und nach bestimmten Kriterien verändern. Darüber hinaus bieten sich für die Optimierung genetische Algorithmen an. Diese können ein System über zufällige Veränderungen (Mutationen) an vorher definierte Optima heranführen, indem die geeignetsten Kreuzungen und Mutationen durch Selektion nach und nach ausgefiltert werden.

Evaluationsmöglichkeiten des Systems

Bevor eine Struktur hinsichtlich bestimmter Kriterien optimiert werden kann, benötigt man die charakteristischen Kennwerte des Systems. Die entsprechenden Werte lassen sich leicht aus den generierten Strukturen auslesen und als Berechnungsgrundlage verwenden. So kann aus der Relation der bebauten zur freien Fläche die bauliche Dichte berechnet werden. Unter Einbeziehung der Verkehrsflächen lässt sich ein Kennwert für den Erschließungsaufwand ableiten, aus dem sich mit Hilfe graphentheoretischer Berechnungen die Erreichbarkeit verschiedener Punkte unte-

reinander ableiten lässt. Man kann die erfassten Werte verändern, um sie als Grundlage eines neuen Generierungsprozesses zu verwenden. Dies bedeutet, dass der Prozess so lange wiederholt wird, bis ein zufrieden stellendes Ergebnis erreicht ist. Oder man verwendet die angepassten Werte, um die bestehende Struktur mittels eines Optimierungsalgorithmus umzugestalten.

Eigenschaften der Geometrie

Für die Untersuchungen der Generierungsmethoden bewegen sich die Untersuchungen aus Rationalitätsgründen in einem orthogonalen Raster. Bei den zellulären Automaten besteht dafür eine gewisse Notwendigkeit, da die Anzahl der Zellennachbarn definiert werden muss. Es können aber auch andere Zellenstrukturen wie beispielsweise sechseckige Wabenraster verwendet werden. Bei den Anlagerungsprozessen kann dagegen vollständig auf das zugrunde liegende Raster verzichtet, und die Anlagerung über Abstandsmessungen berechnet werden, was allerdings den Rechenaufwand enorm steigert.

Die Rasterstruktur lässt sich mittels geometrischer Operationen wie Drehen, Verschieben, Skalieren, Verzerren usw. einfach in eine neue Form übertragen. Diese Mittel dienen darüber hinaus einer Interpretation der erzeugten Strukturen, wie sie am Ende von Kapitel 6.3 beschrieben sind.

Da diese Methoden für die Auseinandersetzung mit den Optimierungsmöglichkeiten nur peripher sind, beschränkt sich diese Untersuchung auf die Darstellung des Drehens der Zellen nach den Straßentrassen (Abb. 6-128).

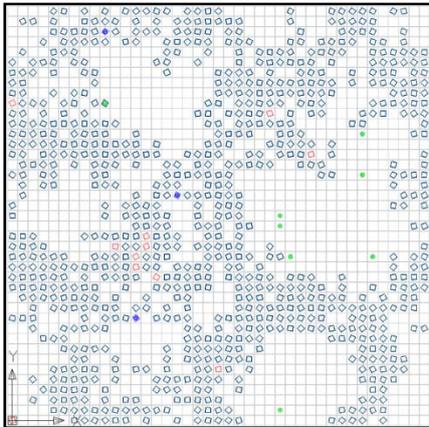


Abb. 6-129 Verdichtung blauer Zellen

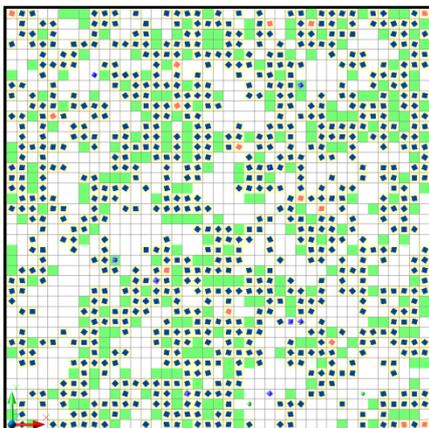


Abb. 6-130 Umbau mit Nachbarschaftsregeln

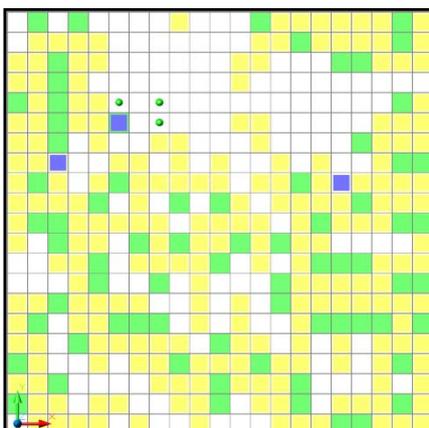


Abb. 6-131 Teilausschnitt der generierten Struktur

Versuche weiterer Umbaumöglichkeiten

Die Systeme, welche zur Generierung der Strukturen verwendet wurden, hatten alle die Eigenschaft, die verwendeten Elemente nach vorgegebenen Regeln miteinander zu kombinieren. Dies geschieht in einem additiven Ausbau eines Anfangszustandes, wobei das Zellenraster über die Prüfung der Nachbarschaft als kontrollierende Instanz fungiert.

Mit diesen Methoden können allerdings keine sich gegenseitig widersprechenden Kriterien angegeben werden, da durch die parallele Prüfung der Zellennachbarn entweder die vorgegebenen Regeln erfüllt werden oder nicht. Der Vorteil besteht darin, dass die Bedingungen innerhalb der gesamten Struktur erfüllt sind.

Die Einführung der Optimierungsmethoden erlaubt es, Anforderungen an das System zu stellen, von denen man weiß, dass sie zum einen nicht vollständig erfüllt werden können und zum anderen nicht gleichzeitig herstellbar sind, sondern schrittweise umgesetzt werden müssen, wobei sich der Zustand des Gesamtsystems erst einmal vom Optimum entfernen kann. Zuerst werden dazu die Termitensysteme untersucht. Diese bestehen aus Agenten, die ihre Umgebung in einer definierten Reichweite analysieren und daran bestimmte Änderungen vornehmen können.

So lässt sich eine Struktur beispielsweise an manchen Stellen nachverdichten oder auflockern. Die Agenten nehmen dafür Teile der Struktur weg, um sie an anderen Plätzen wieder hinzuzufügen, oder sie löschen die entsprechenden Elemente, wenn deren Anzahl nicht erhalten werden muss (Abb. 6-129 bis Abb. 6-132). Diese Methode bietet sich



Abb. 6-132 isometrische Darstellung der generierten Struktur

außerdem für die Entwicklung des Feldtyps ‚Vernetzer‘ an, der im Abschnitt 6.2 vorgestellt wurde. Aus einem bestehenden Feldwegesystem entsteht eine Siedlung, innerhalb der die Wege Schritt für Schritt umgebaut werden, um den Grundstücken einen besseren Zuschnitt zu erlauben und das Wegesystem zu rationalisieren.

In Abb. 6-129 erfolgte eine Verdichtung einer ursprünglich homogenen Verteilung von blauen Zellen. Die Struktur wurde in Abb. 6-130 so umgebaut, dass jede bebaute Zelle mindestens eine Freie als Nachbar hat. Bei Zellen mit drei besetzten Nachbarn wurde die vierte, leere Zelle grün markiert und damit für eine zukünftige Bebauung gesperrt. Abb. 6-131 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Struktur. In Abb. 6-132 ist die Struktur isometrisch dargestellt, wobei die bebauten Zellen mit einem Quader besetzt wurden. Für die blauen Quader wird von den Termiten eine neue Position gesucht.

Nutzungsverteilung

Die erzeugten Strukturen wurden nach grundlegenden Regeln wie Belichtung, Belüftung und Erschließung berechnet, wobei für die Dimensionierung der Elemente eine überwiegende Nutzung als Wohnraum vorausgesetzt wurde. Für ein Gewerbe- oder Industriegebiet werden angepasste Regeln für die Kombination der Einheiten sowie veränderte Elementgrößen benötigt.

Die Nutzungsverteilung unterliegt lediglich diesen Einschränkungen. Ansonsten beschränkt sich die Verteilung der Nutzungen nur auf die Abhängigkeiten der Funktionen untereinander. Diese Verhältnisse lassen sich tabellarisch erfassen. Mit den Zahlenrelationen können die gewünsch-

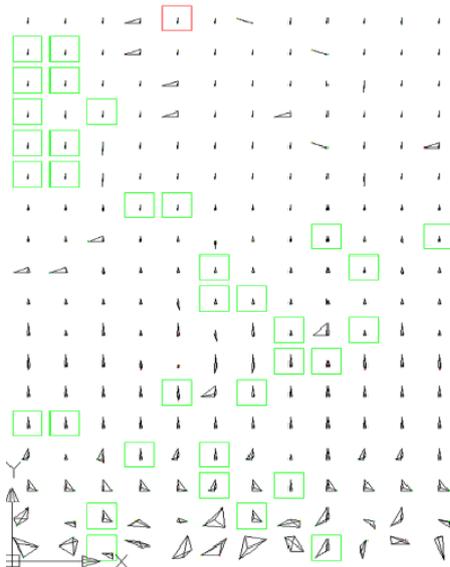


Abb. 6-133 genetischer Algorithmus

Die Relationen aus den unten abgebildeten Tabellen werden mit Hilfe des genetischen Algorithmus (Abb. 6-133) in eine geometrische Struktur umgesetzt. Jede Generation enthält 12 verschiedene Varianten, aus denen die zwei geeignetsten als Elternpaar (grün umrahmt) für die nächste Generation ausgewählt werden. Nach 18 Generationen ist eine Lösung gefunden, die alle Anforderungen erfüllt (rot umrahmt).

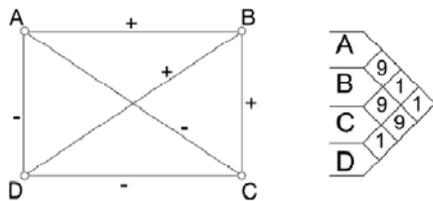


Abb. 6-134 Relationen zwischen vier Nutzungen.

In Abb. 6-134 links als Diagramm, in dem jeder Buchstabe mit jedem anderen in einer Beziehung steht, die entweder mit + oder - ausgedrückt ist. In der tabellarischen Darstellung rechts daneben ist + und - durch 9 und 0 ersetzt, die bereits eine Entfernung angeben. Bei vier Elementen entstehen sechs Abhängigkeiten.

ten Entfernungen untereinander ausgedrückt werden. Bei der Definition der Beziehungen werden sich einige Anforderungen gegenseitig widersprechen, weshalb meist nicht alle zugleich erfüllt werden können (Abb. 6-134). Es lässt sich dennoch eine optimale Lösung mit den geringsten Abweichungen suchen. Dafür gibt es immer mehrere mögliche Nutzungsverteilungen, welche dieses Optimum erreichen. Um die Verteilungsmuster zu finden, wird ein genetischer Algorithmus verwendet (siehe GOLDBERG [42], David E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning).

In den abgebildeten Beispielen (Abb. 6-133 und Abb. 6-135) wird das Prinzip des genetischen Algorithmus ersichtlich. In der ersten Generation (jeweils die unterste Zeile) werden einige Lösungen mit zufällig erzeugten Werten generiert. Diese werden danach ausgewertet, wie weit sie vom Optimum abweichen. Dazu werden die Abweichungen jeder Relation addiert, was einen numerischen Ausdruck ergibt, der im Folgenden als ‚Kosten‘ bezeichnet wird.

Aus den Varianten der jeweiligen Generation werden die beiden mit den geringsten Kosten ausgewählt und als Elternpaar für die nächste Generation verwendet (grüne Rahmen). Durch dieses Vorgehen wird allmählich eine optimale Verteilung gezüchtet.

Durch die Mutationen werden immer wieder andere Konfigurationen mit der aktuellen verglichen und sich ergebende Verbesserungen in die Population aufgenommen. Eine weitere Anwendung für dieses genetische Verfahren ist die Optimierung der Wegelängen, um die Erschließungsflächen und -kosten zu reduzieren. Das Zielkriterium ist die

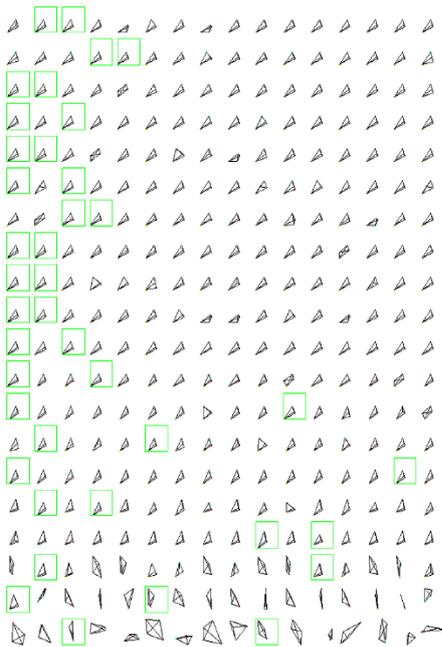


Abb. 6-135 Lösungen mit der geringsten Abweichung

geringste Weglänge, die hier mit 0 angenommen wird. Gesucht wird die Variante mit den geringsten ‚Mehrkosten‘.

Die Positionen der Wegeknotten sind die zu variierenden Parameter (A, B, C, D). Bei diesem Beispiel kommt hinzu, dass die Verknüpfung der Knoten untereinander (Straßen) verändert werden kann und der entstandene Graph anschließend daraufhin überprüft werden muss, ob er zusammenhängt und wie gut die jeweiligen Knoten zu erreichen sind.

Die Relationen in Abb. 6-135 wurden für diese Berechnung verändert, indem das Verhältnis D-C auf 9 gesetzt wurde. Es werden 16 Variationen pro Generation verwendet. Nach 20 Durchläufen konnte keine Konfiguration gefunden werden, die alle Anforderungen erfüllt. Als Ergebnis wird die Lösung mit der geringsten Abweichung verwendet (grün umrandet).

7 Exemplarische Erprobung des Prototypen

In diesem Kapitel werden versuchsweise die Methoden angewendet, welche für die Entwurfsumgebung entwickelt wurden. Im ersten Schritt sollen die Regeln der Entstehungsprozesse beispielhafter Siedlungsmuster aufgespürt und analoge Strukturen generiert werden. Anschließend werden die Möglichkeiten der erarbeiteten Verfahren an einem Planungsgebiet in München, dem Franzosenviertel, untersucht. Es handelt sich dabei um ein innerstädtisches Areal, welches zum Teil brach liegt und sich aufgrund seiner Größe und des heterogenen Umfelds für diese Versuchsentwürfe anbietet.

7.1 Aufbau des Benutzerinterfaces

Abb. 7-1 Interface: Registerkarte für die Informationsebene

Die Gestaltung der Benutzeroberfläche orientiert sich zum einen an den Anwendungen in einem kontextfreien Versuchsraum für die Erläuterungen der Strukturanalogien und zum anderen an der Umsetzung des methodischen Instrumentariums anhand des Planungsgebiets ‚Franzosenviertel‘ in München, wozu einige Funktionen zur Erfassung und Aufnahme der Umgebung eingefügt wurden.

Das Bedienfeld gliedert sich in die vier Entwurfsebenen der Informations-, Erschließungs-, Bebauungs-, und Optimierungsebene, wie sie bereits in den vorherigen Kapiteln besprochen wurden. Die Oberfläche erlaubt die Einstellung der Funktionsparameter, also der Kombinationsregeln der Elemente, die für die strukturellen Eigenschaften verantwortlich sind. Außerdem können verschiedene Restriktionen hinzugefügt oder weggelassen werden, wodurch der Selbstorganisationsgrad der Struktur geregelt wird.

Die Registerkarte für die Informationsebene

Das erste Feld „Rasterdefinition“ dient der Grundeinstellung der Zellen. Die Anzahl der Zellen, welche in der ersten Zeile angegeben wird, teilt die definierte Fläche des Grundstücks und ergibt dadurch die Rasterweite in Meter. Über die Auswahlbox kann angegeben werden, ob die das Areal umgebenden Straßen miteinbezogen werden sollen, was allerdings nur bei der Verwendung für das Franzosenviertel gilt und über die Auswahlboxen unten neben dem „createRaster“ Schalter eingestellt werden kann. Im Rahmen der Zellendefinitionen können einzelne Zellen als

Straßen markiert und die Tiefe für die aktiven Zellen festgelegt werden, womit der Bereich neben einer Straßenzelle definiert wird, in dem sich die Wanderpunkte anlagern können. Dies kann als Bereich um die Zelle oder nur in den vier orthogonalen Richtungen festgelegt werden. Die durchgestrichenen Zellenwerte beeinflussen die Anlagerungswahrscheinlichkeit und die erlaubte Bebauungshöhe, sind allerdings noch nicht implementiert.

Ist das Zellenraster erstellt, können einzelne Straßenachsen über die Angabe von Start- und Endpunkt eingefügt werden, um auf den Kontext reagieren zu können. Für das Franzosenviertel können die Koordinaten der Kreuzungspunkte über die Schaltfläche „Koordinatenfenster“ aufgerufen werden. Die Funktionen der Schalter außerhalb der einzelnen Rahmen erklären sich durch ihre Beschriftung von selbst.

Die Registerkarte für die Erschließungsebene

Unter „Allgemein“ kann angegeben werden, bei welcher prozentualen Flächenbesetzung die Systeme Cluster oder Ausleger angehalten werden. Als ‚besetzt‘ wird jeder Status außer ‚leer‘ gerechnet. Der Steuerrahmen „Cluster“ beinhaltet die wesentlichen Parameter für diesen Feldtyp. Die Clustergröße gibt die Zellen an, die um den Anlagerungspunkt als besetzt markiert werden. Diese Angabe ersetzt die Einstellung der Anlagerungstiefe der Informationsebene und gilt auch für das Planraster. Der zweite Wert definiert den Abstand, der für eine weitere Anlagerung eingehalten werden muss. Dieser Wert sollte kleiner als die Clustergröße sein, da ansonsten keine aktiven Zellen für die Wanderpunkte zur Verfügung stehen.

Abb. 7-2 Interface: Registerkarte für die Erschließungsebene

Das Feld „Ausleger“ beinhaltet die meisten Einstellungsmöglichkeiten. Zu Beginn muss ein Generierungsprinzip ausgewählt werden, welches entweder um die Straßen ein Bebauungsfeld in bestimmter Tiefe anlegt (Auswahlbox Straße -> Bebauungsfeld) oder Parzellen anlagert, die dann an das Wegesystem angeschlossen werden. Die Parzellen können auch hintereinander gereiht werden. Die Parzellengröße definiert den Zellenradius um den Anlagerungspunkt.

Ist die Auswahlbox „Vernetzen“ aktiviert, werden die freien Straßenenden innerhalb des eingestellten Radius miteinander vernetzt.

Die „Zellen in andere Richtung“-Einstellung sorgt dafür, dass die angeschlossenen Straßenteile in die entgegengesetzte Richtung fortgeführt werden. Der Abstand für die Unterbrechung gibt an, wann ein die Straße begleitendes Bebauungsfeld für den Anschluss weiterer Straßen unterbrochen wird. Diese Lücken werden am Ende des Prozesses wieder geschlossen, wenn keine Straße eingefügt wurde.

Mit den Werten des „Planrasters“ kann ein gleichmäßiges Straßenraster über das Baugebiet gelegt werden. Bei Betätigung des Vorschalters werden grüne Linien eingezeichnet, die den Straßenverlauf darstellen.

Der Schalter „createErschl“ löst je nach Einstellung den Generierungsprozess für das Cluster- oder Auslegersystem aus.

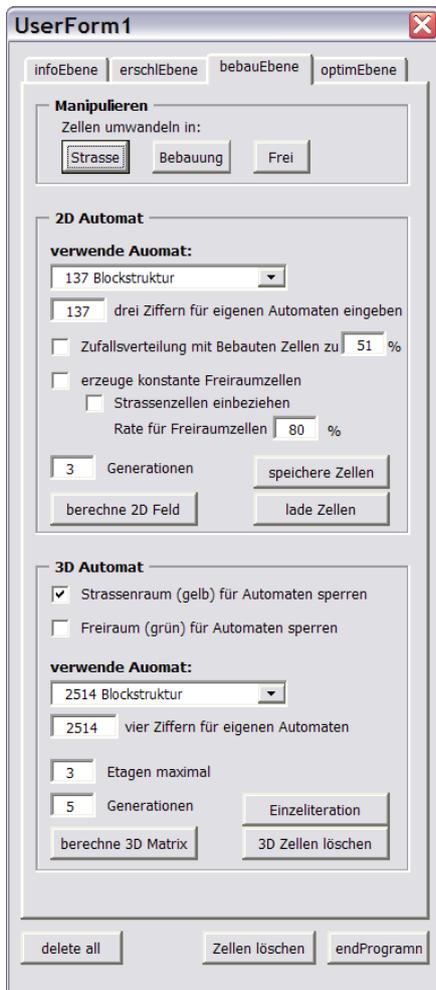


Abb. 7-3 Interface: Registerkarte für die Bebauungsebene

Die Registerkarte für die Bebauungsebene

Über die Schalter im Rahmen „Manipulieren“ können einzelne Zellenzustände nachträglich geändert werden. Von diesen Funktionen sollte nur in Ausnahmefällen Gebrauch gemacht werden, da sie dem Prinzip der Selbstorganisation zuwider laufen.

Im Feld „2D Automat“ werden die Einstellungen für den zweidimensionalen zellulären Automaten verwaltet. Das Rollout beinhaltet voreingestellte Automatenregeln, im Feld darunter können diese über die Eingabe von drei Ziffern selbst definiert werden. Für eine nähere Erläuterung dieser Regeln siehe Kapitel 6.3 Bebauung.

Mittels der Auswahlboxen können weitere Restriktionen festgelegt werden:

- Für das ‚freie Layout‘ ist es manchmal erforderlich, die bebauten Zellen zufällig zu streuen.
- Falls konstante Freiraumzellen (rot) erzeugt werden sollen, kann zusätzlich deren Rate festgelegt und bestimmt werden, ob die Straßen mit einzubeziehen sind.
- Die Straßen können für den Berechnungsalgorithmus als freie oder als bebaute Zellen definiert werden. Außerdem kann angegeben werden, ob die Zellen mit dem Status ‚leer‘ miteinbezogen werden.
- Die Angabe der Generationen legt die Zahl der Rechendurchläufe des Automaten fest.
- Aktuelle Zustände können gespeichert und wieder geladen werden.

Das Prinzip der Regeldefinition funktioniert beim 3D Automaten analog zum zweidimensionalen Automaten. Die oberen beiden Restriktionen bestimmen, über welche Zel-

len der Automat agieren kann. Über den deaktivierten Flächen bleibt der Status immer ‚tot‘. Die Zählregeln sind im Kapitel 6.3 Bebauung eingehend beschrieben. Die Etagen definieren die Anzahl der dreidimensionalen Zellen und bilden die Geschosse der Baustruktur ab. Nachdem die 3D Struktur über die Schaltfläche „berechne 3D Matrix“ erzeugt wurde, kann sie über den Schalter „Einzeliteration“ eine Generation weiter berechnet werden.

Die Registerkarte für die Optimierungsebene

Die Funktionen der Optimierungsebene bleiben auf die Kontrolle der erzeugten Strukturen beschränkt. So kann hier das Verhältnis der verschiedenen Flächen zueinander und der dreidimensionalen Struktur zur Fläche abgelesen werden, woraus sich die Kennwerte der GRZ und GFZ für eine Struktur ableiten lassen.

Die Schaltflächen im Rahmen „Darstellung“ dienen der Ansichtsteuerung. Hier kann auch der referenzierte Umgebungsplan ein- und ausgeblendet werden (add_XRef und del_XRef).

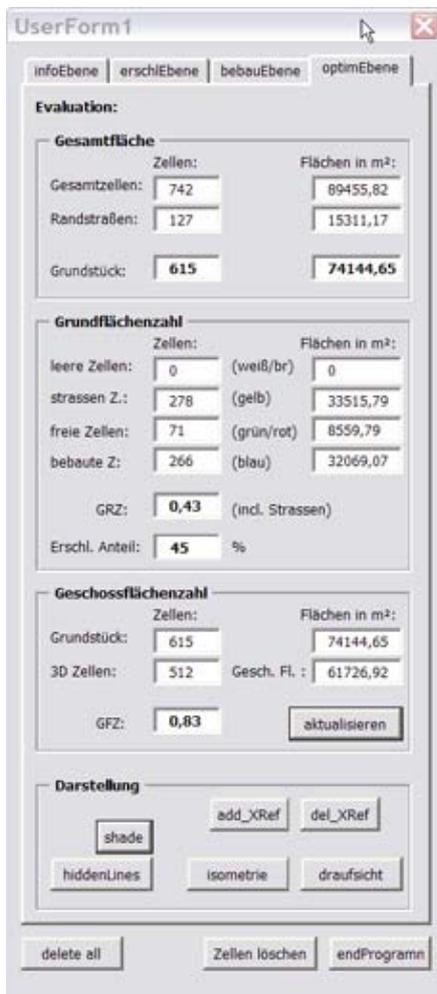


Abb. 7-4 Interface: Registerkarte für die Optimierungsebene

7.2 Ausdifferenzierung der Raumstrukturen

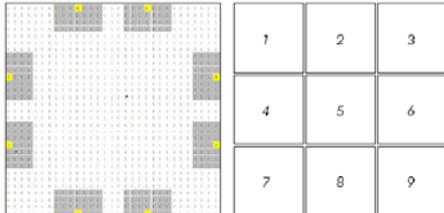


Abb. 7-5 Ausgangskonfiguration

In Abb. 7-5 (links) ist die Ausgangskonfiguration für jede der neun Strukturen zu sehen. Die gelben Zellen sind die vordefinierten Straßenanschlusspunkte, die eine Vernetzung erlauben. Die grauen Felder bilden entsprechend den Bedingungen der Anlagerungsprozesse die möglichen Anlagerungszellen für die Wanderpunkte.

In Abb. 7-5 (rechts) sind die Felder für eine genaue Bezeichnung der Strukturen in den folgenden Beschreibungen von 1 bis 9 nummeriert.

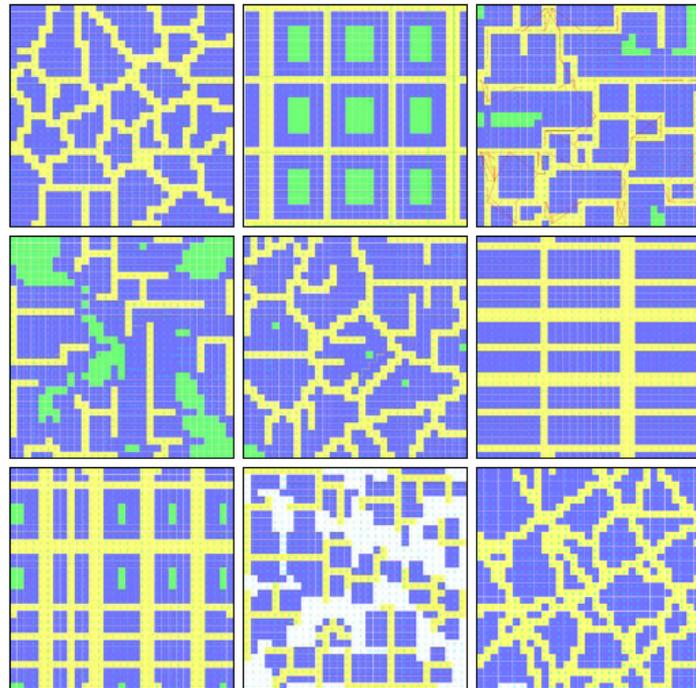
Nach der Besprechung der unterschiedlichen Feldtypen und deren Generierung sowie der Übersetzung in dreidimensionale Strukturen, werden jetzt die Möglichkeiten betrachtet, welche sich aus dem Zusammenwirken der einzelnen Module ergeben; ebenso soll analysiert werden, wie sich dabei die Parameter der jeweiligen Ebenen gegenseitig beeinflussen. Die verschiedenen strukturellen Ergebnisse, die daraus entstehen, lassen bereits räumliche Qualitäten unterscheiden und können nach ihren Charakteristiken gegliedert werden.

Im Folgenden werden neun unterschiedliche Strukturen betrachtet, um die Unterschiede der charakteristischen Eigenschaften und deren Variation anhand von drei Entwicklungsmöglichkeiten darzustellen. Mit den gewählten Varianten wird versucht, aus dem unendlichen Raum der Möglichkeiten ein breites Spektrum aufzuzeigen. Dabei werden die Relationen der Parametereinstellungen beschrieben, die sich über das Interface realisieren lassen. In seltenen Fällen war noch ein Eingreifen in den Programmcode notwendig.

Abb. 7-6 erzeugte Ausgangstrukturen

Die neun verschiedenen Ausgangsstrukturen, die mittels der Informations- und der Erschließungsebene erzeugt wurden. Die Strukturen werden folgendermaßen bezeichnet:

1. Cluster
2. Raster
3. Ausleger – Straßen vernetzt
4. Ausleger – Straßen unvernetzt
5. Cluster mit Ausleger
6. Reihen
7. unregelmäßiges Raster
8. Ausleger – Parzellen
9. Raster mit Cluster



Beschreibung des Versuchsaufbaus

Bei den Einstellungen für die Informationsebene wurde bei allen Beispielen eine Rasterweite von 8,8 m gewählt. Für die Erschließungsebene, welche die Grundcharakteristik der jeweiligen Struktur bestimmt, wurden folgende Konfigurationen verwendet:

1. **Cluster:** Für die Clustergröße 4 Zellen und den Anlagerungsabstand vom Kern 2 Zellen.
2. **Raster:** Jeweils 4 Straßen horizontal und vertikal mit einer Rasterdrehung von 0° bei einer Verschiebung von 90 horizontal und 60 vertikal.
3. **Ausleger (Straße vernetzt):** Das System wird mit der Einstellung Straße -> Bebauungsfeld generiert. Die Vernetzung ist auf den Abstand von 4 Zellen eingestellt, und bei einer Anlagerung werden 2 Zellen in die

andere Richtung besetzt. Die Bebauungsstruktur wird im Abstand von 4 Zellen unterbrochen.

4. **Ausleger** (Straße unvernetzt): Gleiche Einstellungen wie bei 3. Ausleger – Straße vernetzt, wobei lediglich die Vernetzung deaktiviert ist und keine Zellen in die andere Richtung erstellt werden.
5. **Cluster mit Ausleger**: Hier werden die beiden Typen miteinander so kombiniert, dass nach der Erstellung einer weitmaschigen Clusterstruktur (Größe 5 und Abstand 4 Zellen) diese durch den Auslegertyp ergänzt wird, der mit den Einstellungen wie unter 4. angewandt wird.
6. **Zeilen**: Analog zu 2. Raster mit entsprechend veränderter Maschenweite.
7. **Unregelmäßiges Raster**: Nach der Erstellung eines Grundrasters wurden einige Straßenachsen ergänzt. Diese Struktur dient zur Darstellung der freien zellulären Automaten im nächsten Schritt, welche für die dreidimensionale Bebauung verwendet werden können.
8. **Ausleger – Parzellen**: Das System wird mit der Einstellung Parzelle > Straße generiert. Die Parzellenreihung ist deaktiviert und die Parzellengröße beträgt 1.
9. **Raster mit Cluster**: Ein weitmaschiges, gedrehtes Rastersystem ist mit einem anschließend generierten Clustersystem kombiniert.

In Abb. 7-7 bis Abb. 7-9 wurden die Ausgangsstrukturen weiterbearbeitet, wie sie mit den zweidimensionalen Automaten der Bebauungsebene realisiert werden können.

Innerhalb der gegebenen Erschließungssysteme entwickeln sich Randbebauungen, die über das Interface mit der Voreinstellung „137 Blockstruktur“ herstellbar sind (Abb. 7-7).

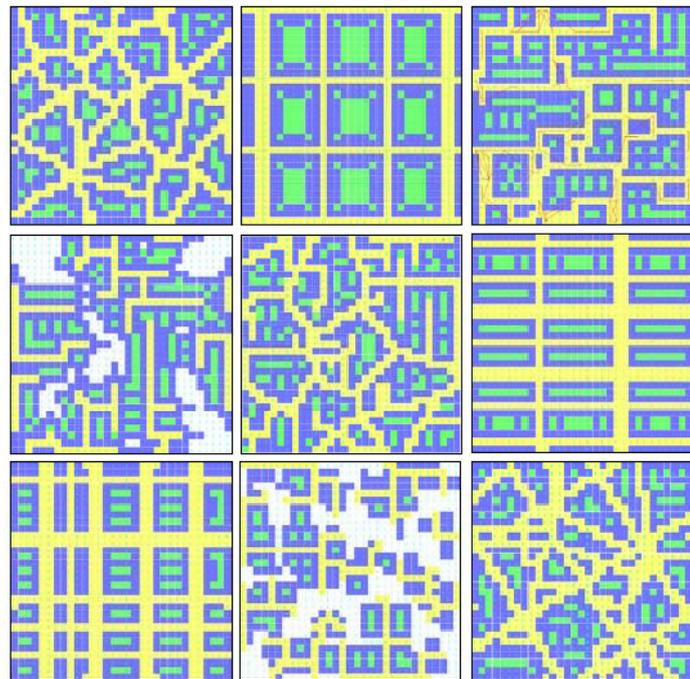


Abb. 7-7 hergestellte Blockstrukturen mit gegebenem Erschließungssystem

Von Abb. 7-7 und Abb. 7-8 unterscheidet sich Abb. 7-9 insofern, dass dort konstante Freiraumzellen erzeugt wurden (rote Zellen). Der Prozentsatz der Erzeugung bei der Einstellung über das Interface betrug dabei zwischen 20 und 30%.



Abb. 7-8 Der Automat „114 freies Layout“.

Abb. 7-9 Blockstrukturen mit Freiraumzellen



Die Bebauungsstruktur nimmt ihren Ausgang bei den blauen, als zu bebauend gekennzeichneten Zellen in den Vorgaben des zweidimensionalen Automaten, der sich direkt an der Anzahl der freien Nachbarzellen orientiert. Der dreidimensionale Automat übersetzt diese Charakteristik in räumliche Strukturen, wozu in den dargestellten Beispielen der entsprechend vordefinierte Automat gewählt wurde. Darüber hinaus können die Restriktionen des Systems verändert werden, indem der Automat bestimmte Felder einbeziehen darf oder nicht. Konkret sind das die Straßen (gelb), die Freiflächen (grün) und die nicht zu bebauenden Flächen (rot). Bei den Experimenten mit den „freien“ Automaten ist es oft sinnvoll, die Restriktionen auszuschöpfen. Eine weitere wichtige Einstellung ist die maximale Höhe der Bebauung, welche eng mit der zur Verfügung stehenden Speicherkapazität verbunden und durch diese begrenzt ist. Über das Interface können zwei verschiedene Zählregeln angewendet werden. Für die vordefinierten 3D Automaten ist die erste Regel zu verwenden, welche die neun Nachbarn in der gleichen Ebene der untersuchten

Zelle und die direkt darüber liegende betrachtet. Für die „freien“ Automaten ist es meist zweckmäßig, die zweite Regel zu verwenden, welche die Zellen in der darunter liegenden Ebene, die neun Nachbarzellen in der Ebene der untersuchten Zelle und die direkt darüber liegende betrachtet. Bei den Beispielen von Paul Coates [21] wird diese Zählregel verwendet.

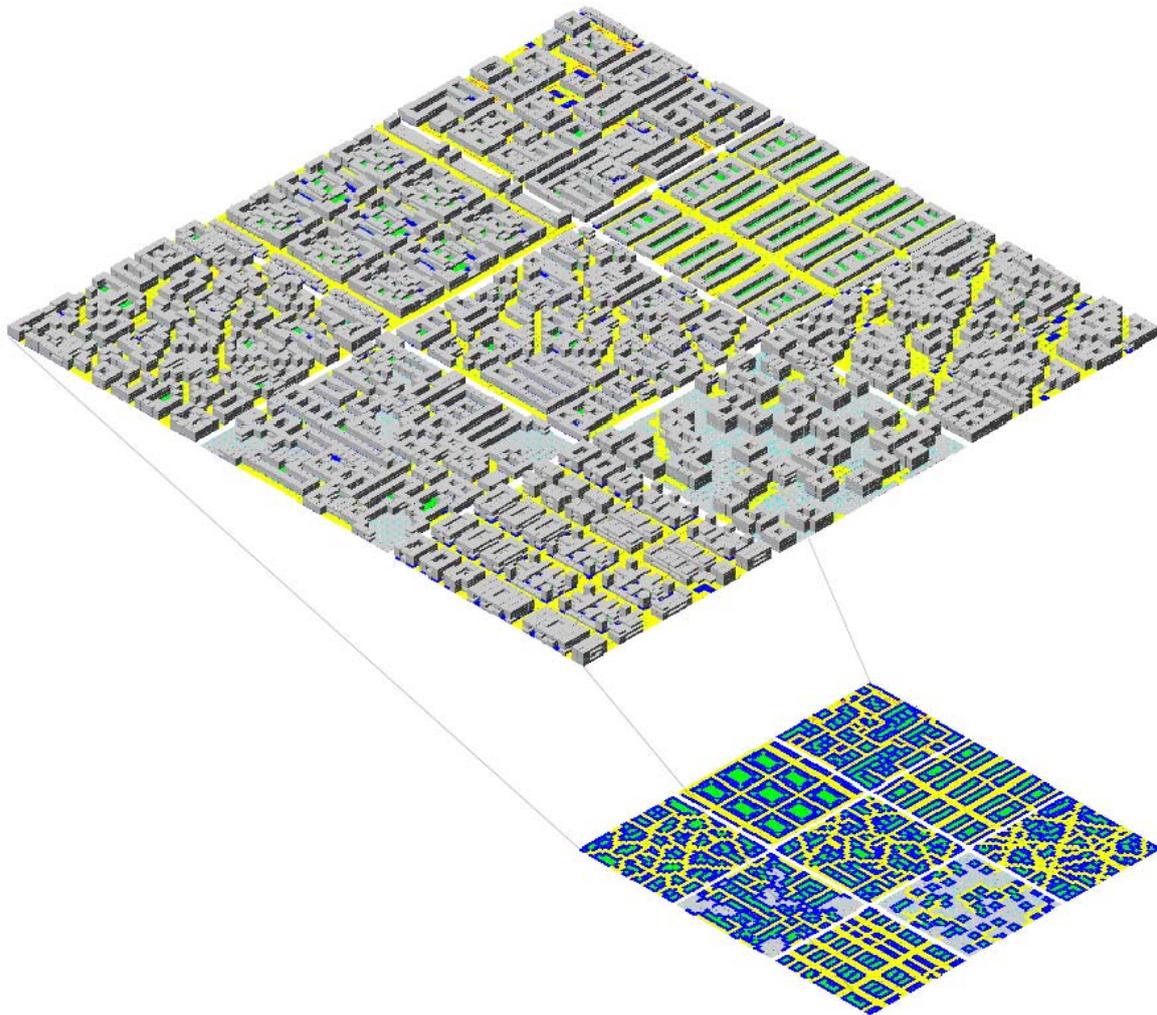


Abb. 7-10 Automat „2514 Blockstruktur“

Nach der Flächenaufteilung in der Ebene erfolgt die Generierung der dreidimensionalen Struktur. In der nebenstehenden Abbildung wurde der Automat „2514 Blockstruktur“ verwendet. Die Zusammenhänge des zwei- und dreidimensionalen Automaten wurden im Kapitel 6.3 Bebauung eingehend beschrieben.

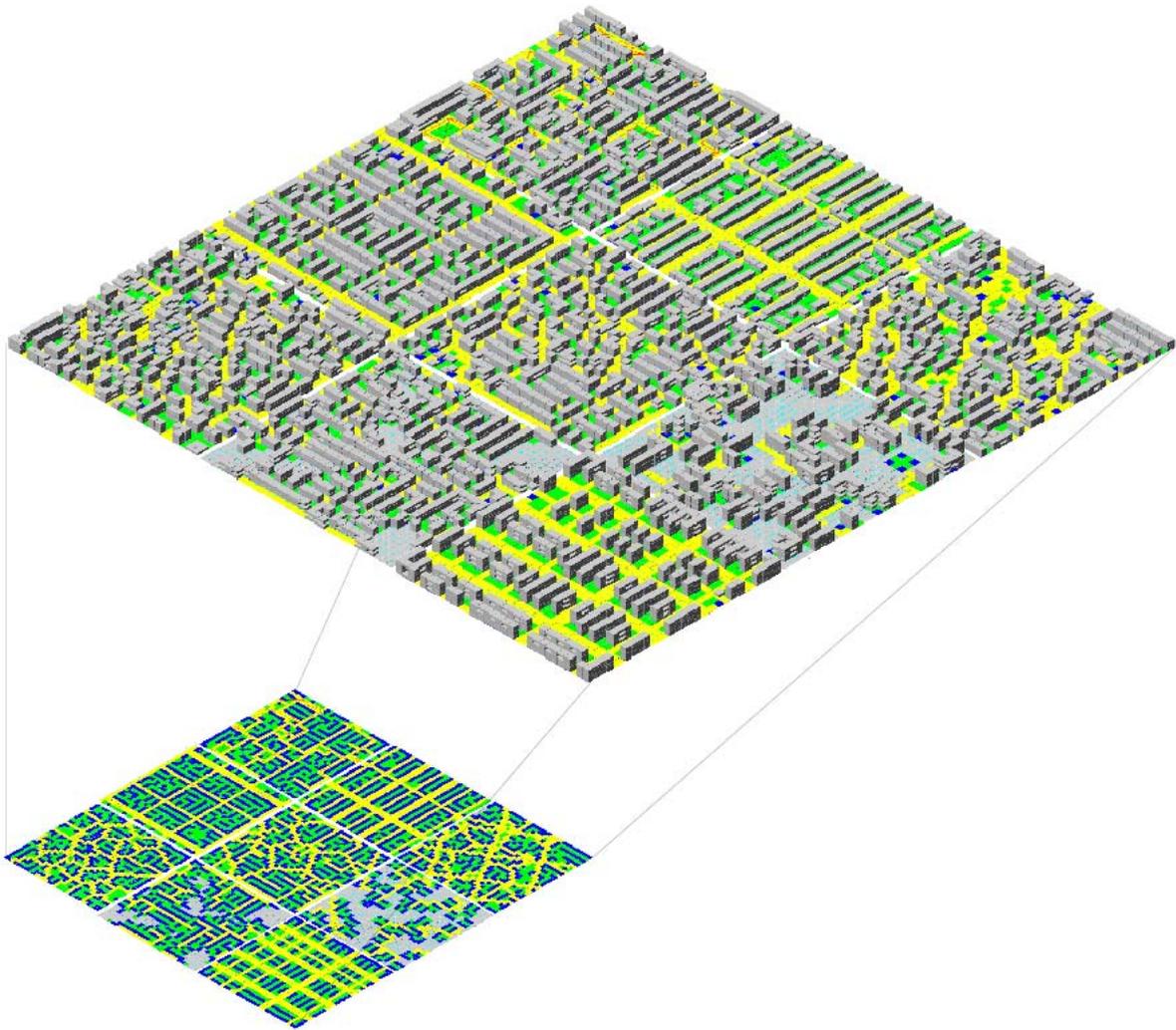


Abb. 7-11 Automat „1311 freies Layout“

Das Strukturfeld, welches in der Ebene mit der Einstellung „114 freies Layout“ erzeugt wurde, kann mit dem Automaten „1311 freies Layout“ und der Zählregel „für Ebene plus 1“ in eine dreidimensionale Struktur übersetzt werden.



Abb. 7-12 Platzhalterzellen als Restriktion

Bei diesen Beispielen wurden die gleichen Einstellungen verwendet wie bei dem Vorangegangenen (Abb. 7-11, freies Layout). Es sind lediglich nicht zu bebauende Zellen als Restriktion eingeführt worden, welche die Struktur auflockern (rote Zellen).

7.3 Erprobung am „Franzosenviertel“ in München

7.3.1 Beschreibung des Gebietes



Abb. 7-13 Das Versuchsfeld: Franzosenviertel in München, ohne Maßstab.

Das Versuchsfeld

Das Planungsgebiet liegt in Haidhausen, im so genannten „Franzosenviertel“, zwischen dem Ostbahnhof und dem am Isarhochufer gelegenen Althaidhausen. Das Quartier wurde in der Zeit nach der Gründung des 2. deutschen Kaiserreichs 1871 („Gründerzeit“) als bürgerliches Wohnviertel im zeittypischen Stil errichtet. Die Straßennamen erinnern an die Schlachten des deutsch-französischen Krieges 1870/71. Vom Ostbahnhof strahlenförmig ausgehende Straßen erschließen die in repräsentativen Achsen und Platzfolgen angelegte Blockrandbebauung.

Nach dem 2. Weltkrieg von der Stadtentwicklung zunächst eher vernachlässigt, wurde Haidhausen in den 70er Jahren zum Szeneviertel mit einer ausgeprägt alternativen Kultur sowie hohem Ausländeranteil (beides ist inzwischen stark zurückgegangen; geblieben ist die Drogenszene am Ostbahnhof).

In den achtziger Jahren wurde auch Haidhausen vom Boom der Altbau-sanierungswelle erfasst: Den mit der enormen Aufwertung des Viertels verbundenen Problemen (hohes Verkehrsaufkommen, Abwanderung sozial schwacher Anwohner) versucht die Stadt mit gezielten Steuerungsinstrumenten (z.B. Auflagen bei Sanierungen und Wohnungszusammenlegungen) entgegenzutreten. Heute ist das

Franzosenviertel ein beliebtes Wohn-, Dienstleistungs- und Kneipenviertel; unmittelbar jenseits der Bahnlinie liegt als zusätzliche Attraktion der „Kunstpark Ost“ auf einer ehemaligen Industriebrache.

Das Entwurfsgelände liegt am nördlichen Rand des Franzosenviertels im Übergangsbereich zu einer sehr heterogenen Umgebung: südlich der Spicherenstraße die gründerzeitliche Blockbebauung, nördlich der Kirchenstraße Wohnungsbau aus den 50er und 60er Jahren, östlich der Orleansstraße Gewerbebau zwischen Straße und Bahngleisen. Auf dem Entwurfsgelände liegt ein Parkplatz mit großem Baumbestand, nach Norden und Osten schließen Gewerbe und ein Asylbewerberheim an.

Konzeptionelle Abstraktion

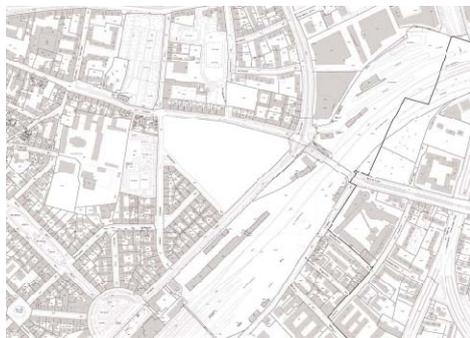


Abb. 7-14 Der Ausschnitt des leer geräumten Planungsgebiets mit Umgriff (genordet).

(Plan aus der Stadtgrundkarte München)

Für die Anwendung der erarbeiteten Entwurfsmethoden wird vom beschriebenen Kontext auf die wesentlichen, strukturellen Elemente abstrahiert, die in den vorangegangenen Kapiteln besprochen wurden. Das sind die Straßen (gelb), die Freiflächen (grün), die Baufelder (blau) und die nicht zu bebauenden Felder (rot). Die leeren Zellen werden weiß dargestellt und die dreidimensionalen Strukturen von den grauen Quadern repräsentiert.

Das Entwurfsgebiet wird für die folgenden Strukturentwürfe als leer geräumt betrachtet (Abbildung links). Für eine einfachere Einpassung des Zellenrasters wurde der Grundrissplan um 45° gedreht. In den isometrischen Darstellungen, die zur Visualisierung der dreidimensionalen Strukturen verwendet werden, wird von Süden auf das Grundstück geblickt.



Abb. 7-15 Luftbild des Bebauungsgebietes „Franzosenviertel“.

(Die Aufnahme ist der CD Luftbilder München entnommen)

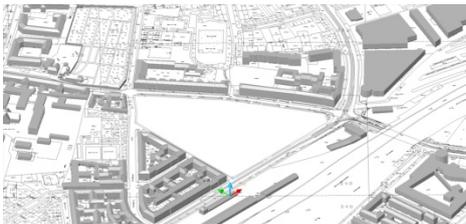


Abb. 7-16 Isometrische Darstellung des unbebauten Grundstücks mit den Bestandsgebäuden der Umgebung. Blick von Süden.

Untersuchung des Kontextes

Um die Bedingungen des Kontextes in das Modell einzuführen, werden folgende Möglichkeiten eingeführt: (die Angaben in den Klammern stellen die jeweilige Funktion des Interfaces dar und finden sich unter der Registrierkarte der Informationsebene)

1. Das Zellenraster wird auf die Fläche des Grundstücks begrenzt (für Franzosenviertel).
2. Die Zellengröße kann angepasst werden, wodurch die Maßstäblichkeit der Straßen zur Bebauung verändert werden kann (Anzahl der Zellen = Rasterweite).
3. Die umrandenden Straßen können eingefügt werden (Umgebungsstraßen einbeziehen).
4. Die einzelnen Zellen können vordefiniert werden, was über das Einfügen einer Achse (Straßenachsen) oder über die manuelle Auswahl einzelner Zellen (Straßenzellen für Wegeanschluss) möglich ist.
5. Über die Bebauungsebene ist es möglich, jede Zelle mit einer bestimmten Funktion zu belegen (bebauEbene -> Manipulieren -> Zellen umwandeln in).

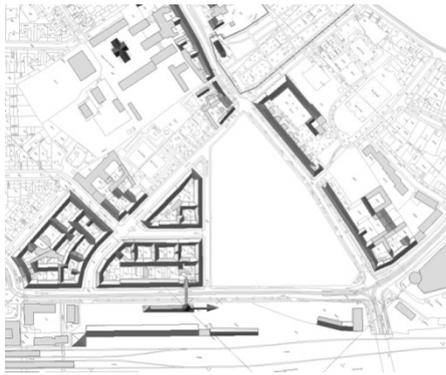


Abb. 7-17 Grundrißdarstellung des un-
bebauten Grundstücks

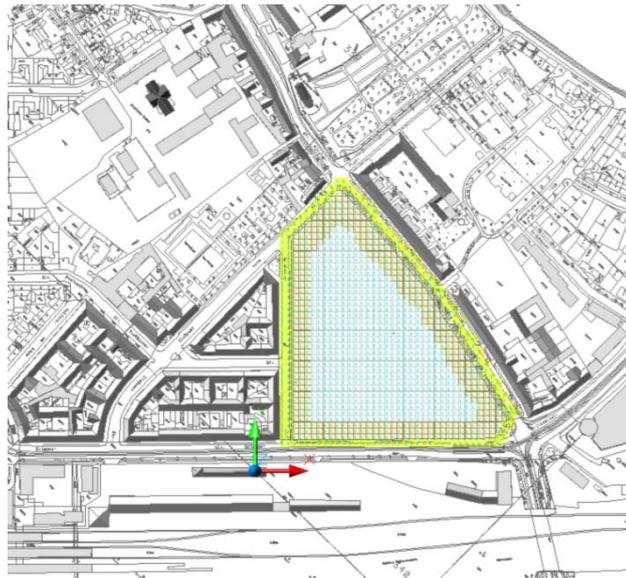


Abb. 7-18 Grundriss der Plangrundlage für das Computermodell.

Der Plan ist um 45° nach rechts gedreht, wodurch die Nordausrichtung entsprechend verändert ist. Abbildung unten rechts: Das eingepasste Zellenraster, in welches die umrandenden Straßen bereits aufgenommen sind (gelbe Zellen).

Vorgehensweise

Die Beispiele auf den folgenden Seiten (Abb. 7-22 bis Abb. 7-25) sind alle nach dem gleichen Schema aufgebaut: Ausgehend von einer Erschließungsstruktur, die jeweils einem Thema wie Block, Zeile, Cluster und Ausleger folgt, werden drei verschiedene Möglichkeiten für eine entsprechende Bebauungsstruktur dargestellt (Abbildungen der nebeneinander angeordneten Grundrisse), die schließlich in die dritte Dimension übersetzt werden, wobei wiederum unterschiedliche Methoden verwendet werden (isometrische Darstellungen unten). Die ausgewählten Beispiele stellen lediglich einen winzigen Teil der potentiellen Möglichkeiten dar, die von den gewählten Einstellungen abhängen.

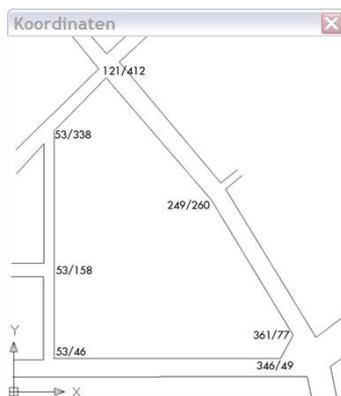


Abb. 7-19 Koordinatenfenster

Das Koordinatenfenster (Abb. 7-19), über welches die Koordinaten der Kreuzungspunkte der umgebenden Straßen abgefragt werden können.

Abb. 7-20 Erzeugung einer Achse

Die eingefügte Achse (Abb. 7-20) nimmt zwei der auf das Grundstück treffenden Straßen auf und verbindet sie miteinander.

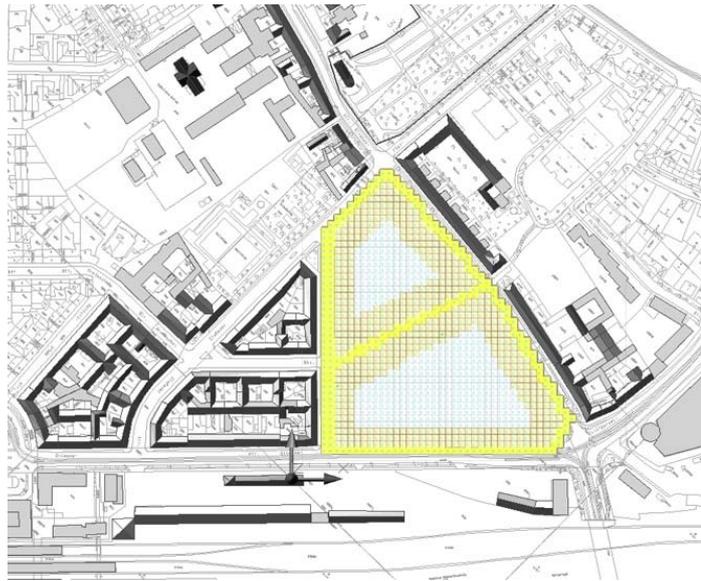
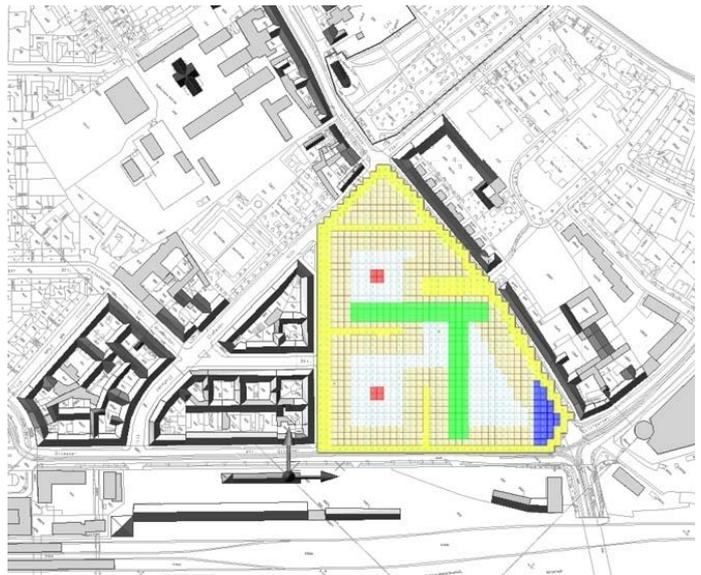


Abb. 7-21 Beispiel für die Möglichkeiten der manuellen Zellendefinition.

Dieses Vorgehen (Abb. 7-21) bleibt allerdings besonderen Ausnahmesituationen vorbehalten, da sich die Strukturen aufgrund ihrer inhärenten Regeln selbst organisieren sollen.



7.3.2 Blockstrukturen

Im Folgenden werden drei verschiedene Methoden vorgestellt, wie sich aus einem Ausgangsraster (einzelne Abbildung ganz oben) unterschiedliche Blockstrukturen ableiten lassen (Abb. 7-22). Das Raster wurde so gewählt, dass es die an das Grundstück stoßenden Straßen aufnimmt. Am oberen Rand wurde eine Teilstraße manuell entfernt, um den angrenzenden Platz fassen zu können. Die Abhängigkeiten der Strukturen von der Maschenweite des Rasters wurde bereits dargestellt, und es wird hierzu auf Kapitel 6.3 Bebauung verwiesen. Lediglich auf die Maßstäblichkeit in Abhängigkeit von der Zellengröße wird im späteren Verlauf näher eingegangen.

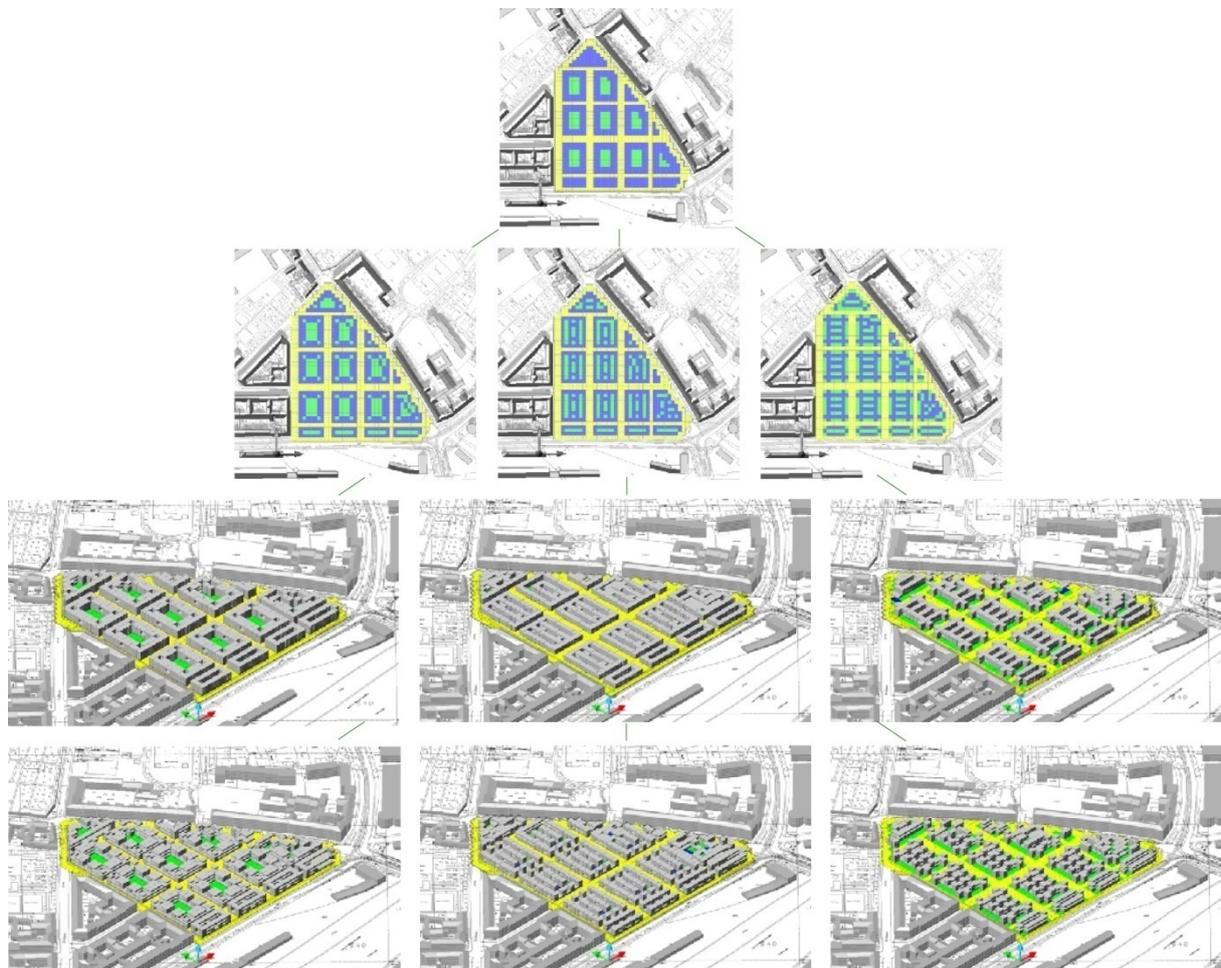


Abb. 7-22 Versuche mit Blockstrukturen

Die bebaubaren Felder sind max. zwei Zellen von den Straßen entfernt

(rechte Spalte) Der 3DAutomat (obere Isometrie 2514 Blockstruktur, untere Isometrie 1515 freier Automat) darf nur über den blauen Zellen agieren. Die Restriktionen des Systems sind insgesamt sehr hoch.

(mittlere Spalte) Die Felder zwischen den Straßen werden mittels des 2D-Automaten vollständig ausgenutzt. (Alle 2D Automaten mit 137 Blockstruktur). Der 3D-Automat hat nur die Straßenkorridore freizuhalten. (obere Isometrie 2514 Blockstruktur, untere Isometrie 1515 freier Automat)

(linke Spalte) Der 2D-Automat berechnet die Straßenkorridore als bebaute Flächen, wodurch ein Abstand der blauen Zellen zur Straße hin entsteht. Der 3D-Automat bleibt auf den Raum über den blauen Zellen beschränkt. (obere Isometrie 2514 Blockstruktur, untere Isometrie 1515 freier Automat)

7.3.3 Zeilenstrukturen

So wie bereits die Blöcke, basieren die Zeilen auf dem Feldtyp des Plans (Abb. 7-23). In dieser Verwendung wird dabei das Erschließungssystem über die Definition der Abstände zwischen den Straßenachsen bestimmt. Der Charakter der Zeilenstruktur hängt dabei wesentlich von der Zahl der Zellen zwischen den parallelen Straßen ab. Die vorhandenen Methoden funktionieren demzufolge nicht bei allen Straßenkonfigurationen. Da das Hauptinteresse den Bedingungen der Selbstorganisation gilt, wird sich diese Arbeit mit den stark restriktiven Systemen weniger beschäftigen.

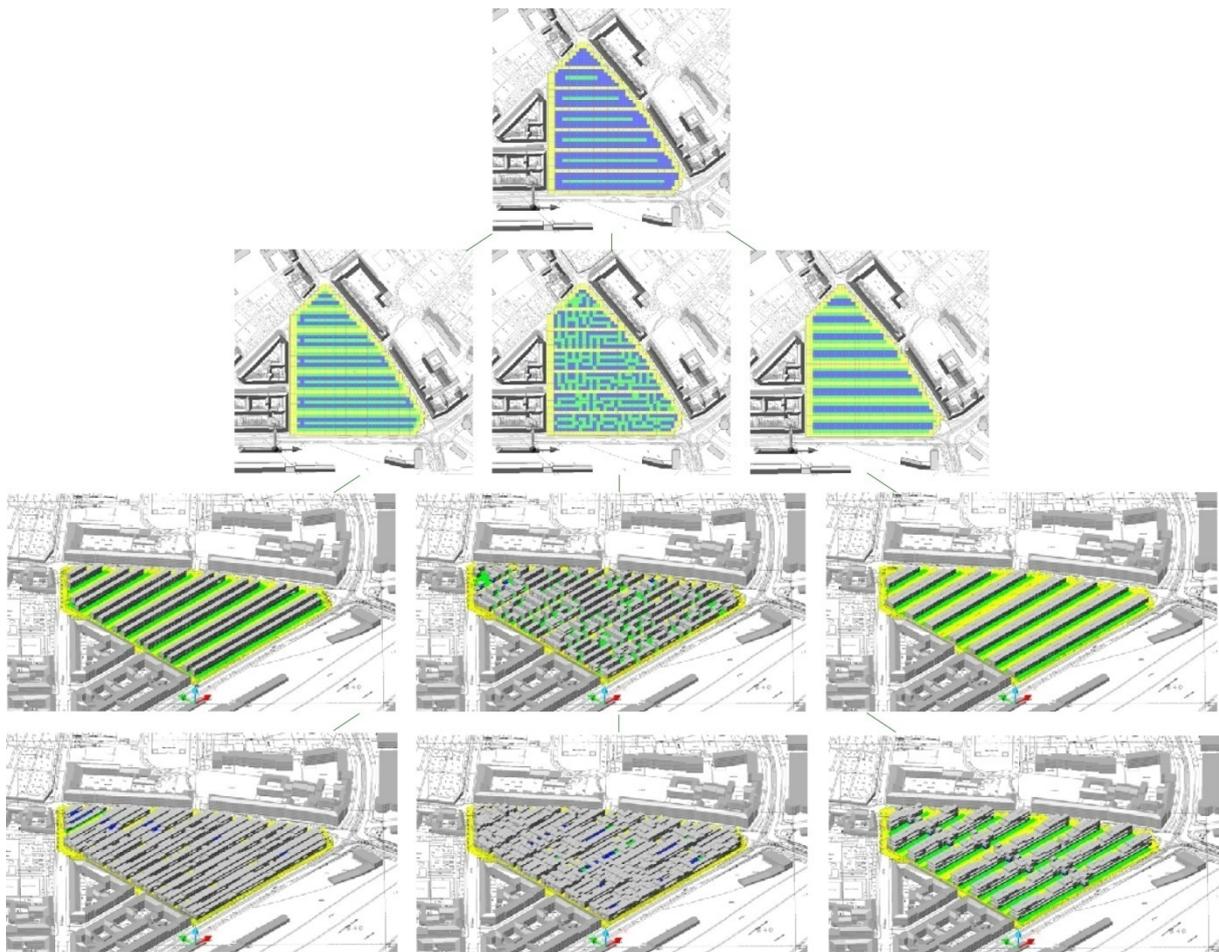


Abb. 7-23 Versuche mit Zeilenstrukturen

(rechte Spalte) Das Baugebiet wird mit sechs parallelen Straßen in gleich hohe Zeilen unterteilt. Der 2D Automat berechnet die blauen Zellen unter der Prämisse, dass die Straßen als besetzt gelten (137 Blockstruktur). Für die linke Isometrie wurde der 3D Automat ‚2514 Blockstruktur‘ verwendet, wobei die grünen Zellen nicht bebaut werden durften. Die untere Isometrie wurde mit dem freien 3D Automaten 1515 berechnet, wobei nur die Straßen frei bleiben mussten.

(mittlere Spalte) Die Felder zwischen den Straßen wurden mit dem 2D Automaten 114 freies Layout strukturiert. Es entsteht ein relativ ungeordnetes Muster aus kurzen und langen Zeilen. Für den 3D Automaten wurde bei der oberen Isometrie der Automat 1311 und bei der unteren der Automat 1515 verwendet. In beiden Fällen waren nur die Straßen frei zu halten.

(linke Spalte) Durch die Verkleinerung des Straßenabstandes erzeugt der 2D Automat eine kompakte Zeilenstruktur, die Analog zur oberen Reihe in eine dreidimensionale Struktur übersetzt wird. (3D oben 2514, grün freihalten; 3D unten 1515, grün freihalten)

7.3.4 Clusterstrukturen

Bei den vorangegangenen Beispielen waren die Straßenachsen vorgegeben. Für die folgenden beiden Typen des Clusters und des Auslegers werden die Restriktionen so weit wie möglich gelockert (Abb. 7-24). Die Erschließungssysteme organisieren sich in Abhängigkeit von den Parametern selbst. Als Ausgangssituation sind lediglich die umgebenden Straßen und das aktive Feld für die Anlagerung der Wanderpunkte gegeben. Die wesentlichen Parameter für das Clustersystem sind die Clustergröße, der Abstand vom Clusterkern, wodurch die Dichte geregelt werden kann, und der Prozentsatz für die Flächenbesetzung, der bestimmt, wann der Anlagerungsprozess beendet wird.

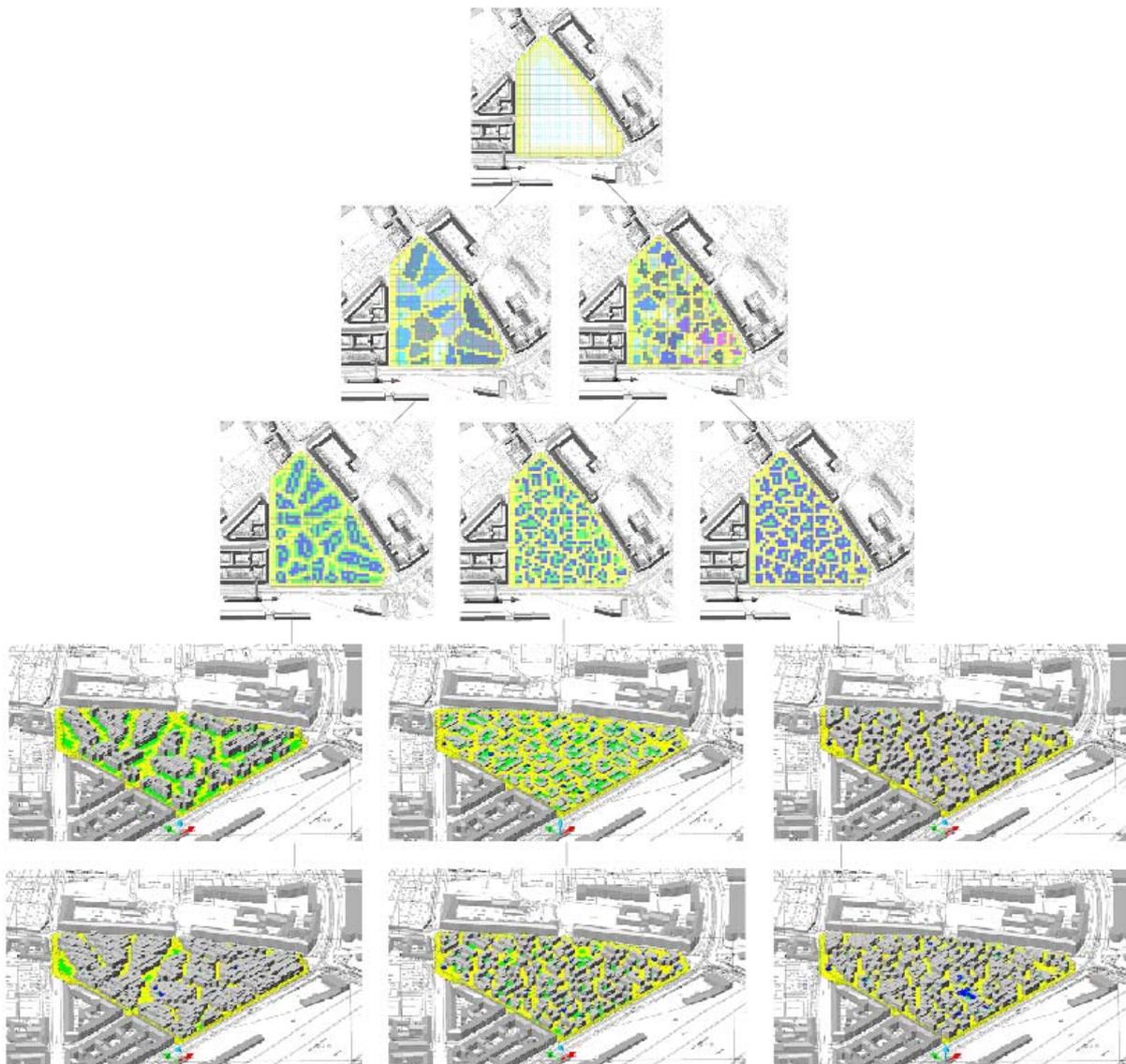


Abb. 7-24 Versuche mit Clusterstrukturen

(rechte und mittlere Spalte) Die kleinteilige Struktur entsteht durch die Einstellung der Clustergröße auf 3 und den Abstand vom Kern auf 2. Der Prozentsatz für die Flächenbesetzung ist auf 99 gesetzt. Der 2D Automat bei der rechten Spalte ist ‚137 Blockstruktur‘. Für die 3D Automaten wurden bei der rechten Spalte oben ‚2514 Blockstruktur‘ ohne und unten 1515 mit den grünen Flächen verwendet. In der mittleren Spalte entstand die 2D Struktur mittels des Automaten ‚114 freies Layout‘ und für die 3D Struktur oben 1515, unten ‚1311 freies Layout‘.

(linke Spalte) Die weitmaschigere Teilung beruht auf den Werten 4 für die Clustergröße, 3 für den Abstand zum Kern und 95% für die Flächenbesetzung. Der 2D Automat ist ‚137 Blockstruktur‘ mit als besetzt gerechneten Straßen. Der 3D Automat oben ist ‚2514 Blockstruktur‘, grüne Zellen freigehalten und unten 1515, grüne Zellen überbaut.

7.3.5 Auslegerstrukturen

Für diesen Strukturtyp (Abb. 7-25) sind drei verschiedene Prinzipien für die Generierung des Erschließungssystems konstitutiv: erstens die Vernetzung der freien Enden innerhalb eines definierten Radius' (rechts), zweitens ein Wegesystem ohne Vernetzung, was überwiegend zur Bildung von Sackstraßen führt (Mitte) und drittens die Anlagerung von Parzellen bestimmter Größe, die dann an das bestehende Straßennetz angeschlossen werden (links). Die strukturbestimmenden Parameter für das Anlagerungssystem sind die Anzahl der aktiven Zellen neben den Straßen, der Radius für die Vernetzung, die Weiterführung einer Anschlussstraße in die andere Richtung und der Abstand für die Unterbrechung der straßenbegleitenden Bebauung, um weitere Wege einfügen zu können.

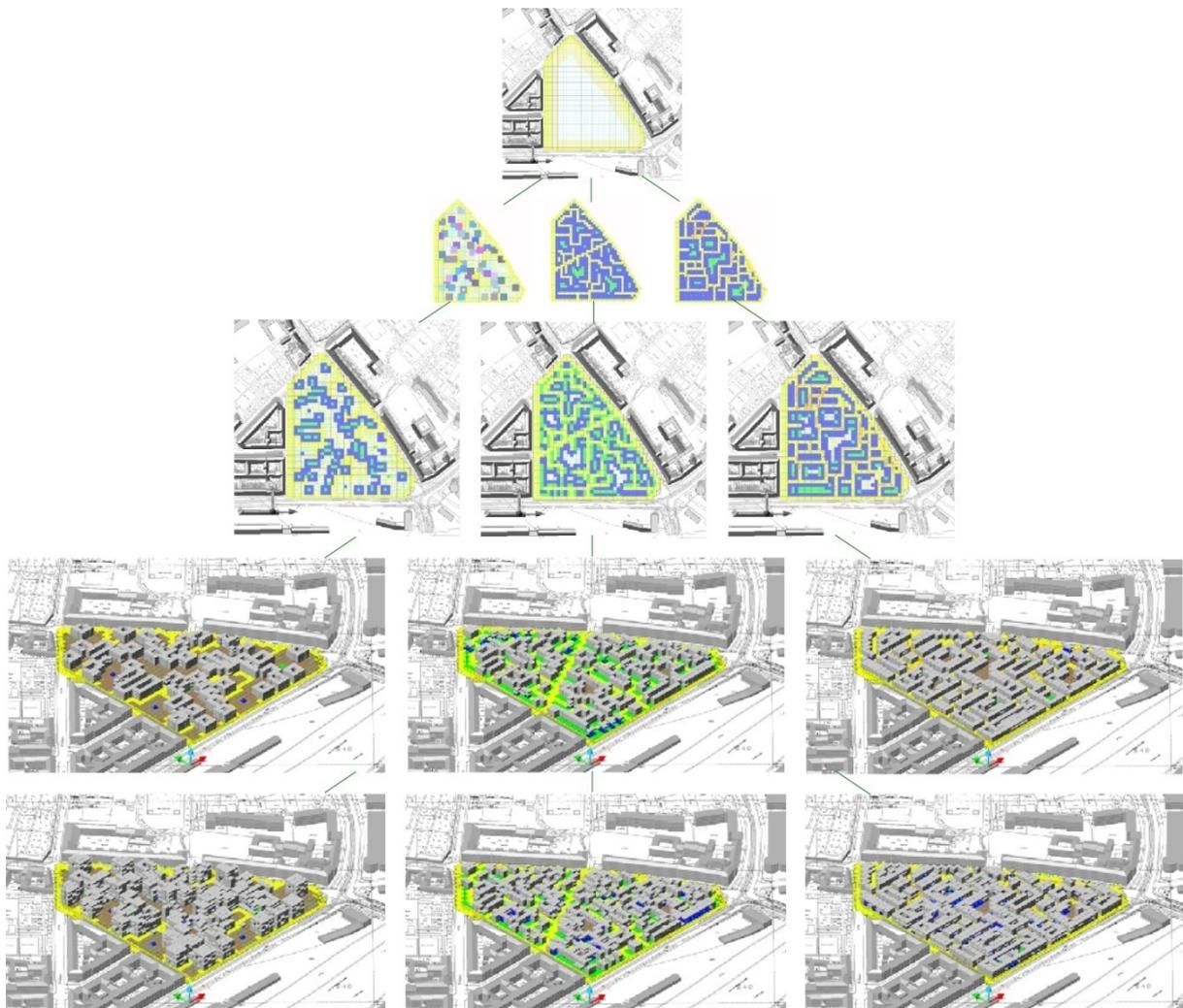


Abb. 7-25 Versuche mit Auslegerstrukturen

(rechte Spalte) Vernetzte Erschließungsstruktur mit folgenden Einstellungen:

aktive Zellen: 2, vernetzter Abstand: 4, Straßenzellen in andere Richtung: 2, Abstand für Unterbrechung: 4. Die 2D Bebauungsstruktur wurde mit dem Automaten ‚137 Blockstruktur‘ erzeugt. 3D Automat oben ‚2514 Blockstruktur‘ und unten 1515.

(mittlere Spalte) Struktur ohne Vernetzung, ansonsten die gleichen Einstellungen wie für die rechte Spalte. Für den 2D Automaten galt ‚137 Blockstruktur‘, Straßen als besetzt berechnet. 3D Automat oben ‚2514 Blockstruktur‘ und unten ‚1311 freies Layout‘.

(linke Spalte) Angelagerte Parzellen mit der Größe 1 ohne Reihung, aktive Zellen: 2, keine Vernetzung und keine Straßenzellen in die andere Richtung. 2D Automat ‚137 Blockstruktur‘. 3D Automat oben ‚2514 Blockstruktur‘ und unten 1515, grüne Zellen überbaut. Die braunen Zellen in den Isometrien wurden bei der Erschließung und Flächenbesetzung noch nicht besetzt (weiß) und werden als ‚leere‘ Zellen behandelt, die in die Automatenberechnung einbezogen werden können oder nicht.

7.4 Maßstäblichkeit und Entwicklungspotenziale

Die Abmessungen der einzelnen Zellen geben die Maßstäblichkeit für das gesamte Raster vor. Bisher wurde für die Beispiele in diesem Kapitel eine Rasterweite von 8,8 Meter verwendet. Durch dieses Maß werden die Straßenbreite und die einfache Bebauungstiefe vorgegeben, was wiederum Auswirkungen hat auf die möglichen Abstandsflächen und damit die Geschoßigkeit der dreidimensionalen Struktur. In der Abb. 7-26 wurde dieses Rastermaß verändert, so dass eine gröbere Struktur mit 15 Meter in der oberen und unteren Reihe und eine feinere mit 7,2 Meter in der mittleren Reihe entstanden ist (einzustellen über die Rasterdefinition der Informationsebene). Bei der weitmaschigeren Variante ist die Bebauung sechs Geschosse hoch, was in etwa der maximalen Höhe der Umgebung entspricht. Die kleinteiligere Lösung verfügt lediglich über drei Geschosse und wirkt sehr dicht.

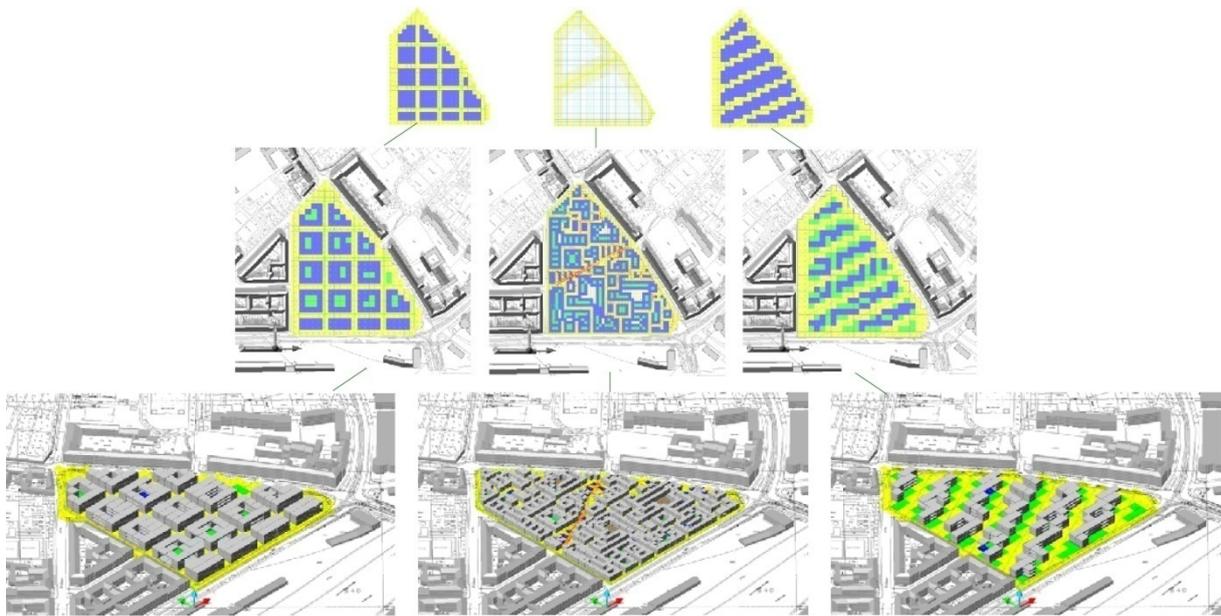


Abb. 7-26 weitere Versuche mit Auslegerstrukturen

(rechte Spalte) Raster mit 4 horizontalen und 3 vertikalen Achsen (Verschiebung h: 40, v: -5, Drehung: 0°), 2D Automat ‚137 Blockstruktur‘ und ‚2514 Blockstruktur‘ für den 3D Automaten.

(mittlere Spalte) Vernetztes (4 Zellen Radius) Anlagerungssystem, 2 Zellen Fortsetzung der Straßen in die andere Richtung und 4 Zellen Abstand für die Unterbrechungen. 2D Automat ‚137 Blockstruktur‘ und ‚2514 Blockstruktur‘ für den 3D Automaten.

(linke Spalte) Zeilen mit 4 horizontalen Achsen (Verschiebung h: 41, v: 0, Drehung: 26°), 2D Automat ‚137 Blockstruktur‘, Straßen als besetzt gerechnet und ‚2514 Blockstruktur‘ für den 3D Automaten, grüne Zellen nicht zu überbauen.

Weitere Entwicklungspotenziale

Da es aus Zeitgründen nicht möglich war, alle Ideen in der vorliegenden Arbeit umzusetzen, sollen an dieser Stelle kurz einige sinnvolle Weiterentwicklungen angeführt werden: Eine Differenzierung der Bebauungshöhen als weitere Restriktion des dreidimensionalen zellulären Automaten, in Abhängigkeit von der Entfernung zu den Straßen, würde das Spektrum der Möglichkeiten sinnvoll erweitern. Dies könnte in Verbindung mit den Grundstückswerten geschehen. Die Kontrolle über die Optimierungsebene erlaubt eine weitere Ausarbeitung der erzeugten Strukturen hinsichtlich bestimmter Zielkriterien. Einfache Beispiele sind GFZ und GRZ. Die Agenten bauen die Struktur den Anforderungen entsprechend um, was durch den Einsatz des unter 5.3 eingeführten und unter 6.4 näher besprochenen Termitensystems umgesetzt werden kann. Die Bedingungen der einzelnen Parzelle wurden in den Ausführungen zu diesem Kapitel abstrahiert. Diese Arbeit hat sich darauf konzentriert, die Abhängigkeiten des Erschließungssystems zur Flächenbesetzung hin zur räumlichen Struktur darzustellen. Für die Bebauungsregeln innerhalb einer Parzelle wurden in Kapitel 6.3 bereits Methoden eingeführt, die beispielsweise für die Einhaltung der Abstandsflächen nötig sind. Die Implementierung solcher Parzellensysteme würde eine weitere Ausdifferenzierung der Strukturen ermöglichen. Als eine Top-Down Vorgabe könnten Strukturmuster eingeführt werden, die es zum Beispiel ermöglichen, eine Ringstraße einzufügen, indem die entsprechenden Zellen – ähnlich wie bei der Festlegung bestimmter Achsen – vordefiniert werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Die Arbeit basiert auf der Annahme, dass jede Stadtstruktur aus sechs grundlegenden Strukturmustern gebildet werden kann. Um nun als Fernziel noch komplexere und differenziertere Stadtplanung zu ermöglichen, als die in der gegenwärtigen Planungspraxis ausgeübte, wurde hier eine Simulationsmethode zur Generierung und Kombination dieser Grundmuster zu unterschiedlichen Strukturen entwickelt.

Der generative Prozess beginnt mit der zweidimensionalen Organisation der Straßen und der Parzellierung der Restflächen. Ein agentenbasiertes Anlagerungsmodell ist die Grundlage dieser ersten beiden Schritte. Als nächstes wurde mithilfe zellulärer Automaten der Bauplatz definiert und eine dreidimensionale Struktur entwickelt. Zum Schluss wurde ein erster Versuch gestartet, die vorgeschlagene Methode zur Generierung möglicher Stadtstrukturen exemplarisch auf ein Quartier in München anzuwenden.

In dieser Arbeit ist davon ausgegangen worden, dass die Individualität der Städte nicht auf der Neuentwicklung neuer Typen basiert, sondern aus der individuellen Anordnung universeller Muster, die als Feldtypen beschrieben werden können (HUMPERT [48]). Sie sind in einer willkürlichen Ordnung miteinander kombinierbar.

Struktur des Simulationsmodells

Um die komplexe Aufgabe der Generierung von Stadtstrukturen mit einem Simulationsmodell bewältigen zu können, wurde ein Vierebenenmodell als Untermodellebene eingeführt, um mit allgemeinen Informationen, Parzellierung, Gebäuden und Optimierung der Struktur arbeiten zu können.

Die Informationsebene kann als dynamische Datenbank angelegt werden, um lokale Informationen abzuspeichern und aufzurufen. Das Hauptaugenmerk der Arbeit lag auf der Entwicklung der nächsten beiden Schritte. Basierend auf Anlagerungssystemen ist das Konzept der Erschließungsebene die Untersuchung der Möglichkeit, verschiedene „Feldtypen“ an Straßennetzen generieren zu können.

Für die Bebauungsebene wurden zwei- und dreidimensionale zellulare Automaten verwendet, um die Bebauungsstrukturen zu bilden. In der Optimierungsebene werden Methoden zur Messung und Analyse der generierten Strukturen und eine Konzeptskizze zur Optimierung vorgestellt. Auf allen Ebenen besteht die abstrakte Simulationsumgebung aus einem rechteckigen Zellenraster.

Informationsebene

Die Informationsebene ist zuallererst eine Möglichkeit mit Informationen umzugehen, welche nicht weiter in zugrunde liegende Elemente reduziert werden können. Zum Beispiel können darin ökologische Informationen über die Vegetation, Topographie, Zustand des Mutterbodens und klimatische Randbedingungen genauso wie statistische Informationen über die Bevölkerung, Demografie, Krimi-

nalität und Sozialstruktur als aggregierbare Datenwerte in den Rasterzellen gespeichert werden. Zum weiteren ist diese Ebene als Schnittstelle zu großmaßstäblichen geographischen und ökonomischen Modellen gedacht, wie von BATTY [10] gezeigt. Prinzipiell ist diese Ebene in ihrer Funktion ähnlich wie die Kopplung mit einem Geographischen Informations System (GIS). Die Modelle, welche auf den weiteren Ebenen arbeiten, haben Zugriff auf die Datenbank, um Ihre Steuerparameter abzurufen bzw. die gespeicherten Werte zu verändern.

Erschließungsebene

Die Organisation des Straßennetzes ist eines der Hauptstrukturierungsprinzipien einer Stadt, eng zusammenhängend mit der Teilung des Gebietes in Parzellen. Durch Steuerung der Simulation eines Anlagerungsprozesses wie dem Diffusion-Limited Aggregation Prozess (DLA) (FLAKE [35], S. 71-75), können Strukturen mit verschiedensten Charakteristiken generiert und als die bereits erwähnten „Feldtypen“ identifiziert werden. Alle Arten von städtischen Strukturen sollen durch Kombination dieser Typen erstellt werden können (HUMPERT [48]).

Die Struktur eines Erschließungssystems ist direkt mit dem Flächen- und Energieverbrauch bei der Herstellung oder der Benutzung des Systems verbunden. Deshalb konzentriert sich diese Arbeit auf Ansätze, in denen differenzierte Wegstrukturen hinsichtlich der Kriterien Gesamtweglänge zu maximalen Umwegen optimiert werden.

Bebauungsebene

In der Struktur dieser Ebene werden die Untersuchungen auf die Frage konzentriert, wie die Gebiete in einem gegebenen Straßennetzwerk generiert werden können, um bestimmte Anforderungen zu erfüllen. Zu diesem Zweck wurde im ersten Schritt eine zweidimensionale Struktur untersucht, in welcher die Zellen überwiegend in bebaut und unbebaut unterschieden werden. Die zweidimensionalen Strukturen sind die Basis für die generative Methode der dreidimensionalen Gebäudestrukturen im nächsten Schritt. Am Ende wurden einige zielführende Experimente zum Wachstum einer freien dreidimensionalen Struktur präsentiert.

Optimierungsebene

Diese Ebene wurde entworfen, um mit Konzepten für UmbauprozEDUREN von gegebenen Strukturen unter Einhaltung einzelner Kriterien wie Nutzung, Belichtung, Belüftung, rationale Parzellenstrukturen, Minimierung des Flächenverbrauchs oder Verteilung der Nutzungen usw. die vorhandenen Strukturen zu optimieren.

Anwendung

In den letzten Abschnitten wurden die entwickelten Methoden zusammengebracht, um die Kontinuität des generativen Planungsprozesses zu zeigen. Am Beispiel eines städtebaulichen Quartiers, des „Franzosenviertels“ in München, wurde das Verfahren exemplarisch erprobt. Es wurde ein möglichst breites und signifikantes Spektrum von Varianten aus der Vielzahl von Möglichkeiten bereitgestellt.

8.2 Bewertung und Ausblick

Was wurde mit dieser Arbeit erreicht und wo wurde an die Grenzen der Möglichkeiten gestoßen?

Diese Frage wird durch die folgenden Gedanken von verschiedenen Seiten beleuchtet:

Ein Hauptziel bei den Untersuchungen der computergenerierten Stadtstrukturen in rein technischer Hinsicht war das Auffinden der wesentlichen Einflussgrößen städtischer Entwicklungsprozesse und deren Übersetzen in Steuerungsparameter für das Entwurfsprogramm. Es galt, ein allgemeingültiges Prinzip zu finden, welches in der Lage ist, die urbanen Prozesse für die hier betrachteten Strukturen mathematisch zu beschreiben und durch eine Veränderung der Parameter zu unterschiedlichen Eigenschaften der erzeugten Struktur zu gelangen. Es wurde hierfür ein Hilfsmodell mit vier Entwurfsebenen eingeführt, um für jede dieser Ebenen ein gültiges Prinzip – einen Algorithmus – zu finden. Während die Informations- und Optimierungsebene vorwiegend als Konzept entwickelt wurden, ließen sich die Ergebnisse der Arbeit für die Erschließungs- und Bebauungsebene eingehender besprechen.

Um noch einmal auf die Fragestellung der „Tools“ – also der Planungswerkzeuge zurückzukommen: Man kann die Computermodelle, mit denen sich diese Arbeit beschäftigt, natürlich dazu verwenden, bestimmte Strukturen zu erzeugen, welche die vorgegebenen Restriktionen erfüllen, um beispielsweise eine Variante mit Zeilenbebauung der mit

geschlossener, blockartiger Randbebauung gegenüberzustellen. Man kann die Restriktionen verändern und wieder vergleichen. Eine zweifelsohne hilfreiche Verwendung für Planungsprozesse. Ein solcher Einsatz der erarbeiteten Methoden interessiert allerdings hier nur nebensächlich. Es geht vielmehr darum, herauszufinden, warum es zu bestimmten Strukturbildungen kommt. Was sind die Kräfte, welche dazu führen, dass einmal diese und einmal jene Strukturform „gewählt“ wird? Um diese Frage zu beantworten, wurden die untersuchten Systeme auf möglichst einfache Grundelemente reduziert, um nach den Relationen zu suchen, die nötig sind, um daraus komplexe Strukturen zu erzeugen.

Als Ausgangssystem werden Zufallsprozesse verwendet, wie Anlagerungsprozesse, Termitensysteme oder allgemeiner, Agentensysteme, die alle auf einer zufälligen Bewegung der Teile beruhen. Die Relationen drücken sich darin aus, wie sich im Verlauf des Prozesses die Elemente miteinander kombinieren. Werden Systeme gefunden, die zu Strukturen führen, welche Erscheinungen in unserer Umwelt gleichen, kann man weiter fragen, ob diese Prozesse in der richtigen Art und Weise zu dem Ergebnis geführt haben – siehe Konstruktionstopologie im Abschnitt 2.2 über Simulationen. Eine weiterführende Frage wäre, welche Bedingungen nun zu den Relationssetzungen führen, was auf die Untersuchung sozialer Strukturen und deren Dynamiken verweist. Dies wäre allerdings Gegenstand zukünftiger Forschungen. Kann die Idee des „Bildes“ einer Stadt mit den Methoden computergenerierter Stadtstrukturen in Übereinstimmung gebracht werden?

Bei der Anwendung computergenerierter Entwurfsverfahren für architektonische Aufgabenstellungen lässt sich fest-

„Interessant sind in diesem Zusammenhang die Beobachtungen von Kevin Lynch, die er bei seiner Untersuchung der visuellen Erfassung der Stadt durch ihre Bewohner machte. Er ließ von Laien Planskizzen ihrer Großstadt anfertigen und stellte dabei Folgendes fest: ‚Obwohl die Skizzen verzerrt waren, gab es eine starke topologische Übereinstimmung mit der Wirklichkeit. Es war so, als ob der Plan auf ein unendlich dehnbares Gummituch gezeichnet wäre. Richtungen waren verdreht, Entfernungen gedehnt oder komprimiert, große Formen oft im Maßstab so verzeichnet, dass sie kaum erkennbar waren. Aber die Reihenfolge war meist richtig, ...‘ Es wäre nicht verwunderlich, wenn auch in den Prozessen der Entwicklung der Strukturen ungeplanter Siedlungen den topologischen Merkmalen der Strukturen eine gewisse Beachtung zukäme. Sie charakterisieren ja die Grundprinzipien der Organisation einer Struktur.“

Aus [LYNCH [58] S. 106]

stellen, dass sich der Designprozess dahingehend verändert, dass anfangs die Bedingungen festgelegt werden und der Algorithmus bestimmt wird, wie sich das System verhält, wodurch der Designer Teil des Vorgangs wird. Anschließend wird der Prozess gestartet und ist erst beendet, wenn die gestellten Bedingungen erfüllt sind. Das ästhetische Urteil steht am Ende dieses Vorgehens und kann zu einer Veränderung der Anfangsbedingungen führen.

Die Form entsteht aus der Erfüllung der gestellten Anforderungen und entzieht sich einer formalen Willkür, womit an die ursprünglichen Ideale der klassischen Moderne der 20er Jahre des 20. Jahrhunderts angeknüpft wird. Die Rolle des Planers kann in der Gestaltung und Auswahl der verwendeten Algorithmen und in der Beurteilung der Qualität der Ergebnisse gesehen werden, so dass gegebenenfalls der Designprozess in einem iterativen Vorgehen verfeinert werden kann. Es interessieren vielleicht nicht die Phänomene, sondern deren Zustandekommen. Darum konzentriert sich diese Arbeit auf eine Darstellung der ‚Regeln‘, die hinter den Strukturen liegen und für deren Entstehung wesentlich sind. Diese Regeln können in Anlehnung an die Evolutionstheorie als „genetische Informationen“ bezeichnet werden, also als die eigentlichen „Baupläne“, die der Ausformung eines Objektes zugrunde liegen. In Analogie zur Natur sind dies die Informationen, welche den verschiedenen Arten oder Kategorien zugrunde liegen. Die Entwicklung eines Individuums beruht demnach auf seinem genetischen Bauplan, der das Wachstum regelt. Dieser Prozess ist nach außen offen und kann auf Einflüsse in der Umwelt reagieren.

In der Architektur und im Städtebau werden diese beschriebenen Kategorien oder Arten als Typen bezeichnet.

Wurden erst einmal die Regeln gefunden, welche die wesentlichen Typen im jeweiligen Maßstab beschreiben können, so lassen sich daraus durch „Störungen“ dieser Informationen individuelle Ausformungen ableiten, die sich ihrer Umwelt anpassen können. Durch Mischen oder Kreuzen der Ausgangstypen können dann auch neue Arten abgeleitet werden.

Es geht hier um das Verständnis der Abhängigkeit der Phänotypen von den Genotypen und um die Frage, warum sich die genetischen Informationen einer Erscheinung verändern. Kann man hier von einer Anpassung der räumlichen Phänomene an die Umwelt sprechen? Davon, dass sich diese durch Mutation und Selektion an verschiedene soziale Gefüge und kulturelle Kontexte anpassen?

Zum Schluss der Betrachtungen lässt sich feststellen, dass der beschriebene Weg zwar kohärent und logisch durchgängig bei der Handhabung der funktionalen Elemente ist - wenn auch nur einige dargestellt werden konnten. Dennoch kann das vorgestellte System einige wichtige Bestandteile noch nicht erfassen, die für die städtische Strukturbildung von Bedeutung sind. Oben wurde bereits auf Möglichkeiten verwiesen, die das „Bild der Stadt“ betreffen. Das Hauptaugenmerk liegt allerdings weniger auf der semantischen Ebene, welche über bestimmte Bedeutungsinhalte die kulturellen Kodierungen einer Gesellschaft enthält. Vielmehr sind hier die Konsequenzen interessant, welche durch die Eigenart von Gebäuden gegenüber anderen Artefakten herrühren, nämlich, dass sie durch ihre materielle Erscheinung den leeren Raum in ihrer Umgebung beeinflussen. Die Hauptaufgabe bei einer Weiterführung der Arbeit neben der oben beschriebenen Ergänzung und Vertiefung der Entwurfsmethoden hinsichtlich ihrer technischen

„..., buildings are not just objects, but transformations of space through objects. It is the fact of space that creates the special relations between function and social meaning in buildings. The ordering of space in buildings is really about the ordering of relations between people. Because this is so, society enters into the very nature and form of buildings. They are social objects through their very form as objects. Architecture is not a ‘social art’ simply because buildings are important visual symbols of society, but also because, through the ways in which buildings, individually and collectively, create and order space, we are able to recognise society; that it exists and has a certain form.”

Aus Social Logic of Space, S. 1 HILLIER, HANSON [44].

Ausführung und Einbeziehung weiterer mathematischer Modelle kann darin gesehen werden, die sozialen Bedingungen stadträumlicher Strukturen zu erkunden und in das System zu integrieren. Die Arbeit ist so angelegt, dass sie über mehrere „Durchläufe“ hinweg immer weiter ausgebaut und vervollständigt werden kann. Der jetzige Stand stellt ein Skelett dar, das deutlich macht, worum es im Ganzen geht und wie dies erreicht werden kann.

An dieser Stelle soll Bezug auf die absehbaren Möglichkeiten der Ergebnisse der Arbeit genommen werden, mit dem Verweis, dass es dabei Großteils um die Erforschung der Potentiale computergenerierter Entwurfsmethoden geht. Da diese Forschung mittlerweile soweit gediehen ist, dass daraus praktische Anwendungen abgeleitet werden können, wurden diese bereits erläutert. Das entwickelte Programm will keine fertigen, architektonisch konzipierten Gebäudestrukturen erzeugen, wogegen es im Abschnitt 6.3 – Bebauungsstrukturen, abgegrenzt wurde. Dies wäre ein weiterer Detaillierungsschritt, welcher der Einführung weiterer Ebenen entspräche.

Es wird von einem städteplanerischen Kontext ausgegangen, der sich von der planerischen Festsetzung eines konventionellen Bebauungsplanes als Steuerungsinstrument lösen möchte, um nach einem erweiterten Regelwerk für die Entwicklungsprozesse zu suchen, die für bestimmte räumliche, also bereits dreidimensionale Strukturformen wesentlich sind. Diese können durch die computerbasierte Entwurfsumgebung simuliert, beurteilt und verändert werden, was zu einer anderen Diskussionsgrundlage für städtische Planungsprozesse führen kann.

8.3 Schlussbetrachtung

Dieser Arbeit liegt eine tendenziell technokratische Haltung zugrunde, zu deren Reflexion einige mahnende Gedanken von Günther Anders [4] aus „Die Antiquiertheit des Menschen“ angeführt werden, um sie in einem kritischen Kontext der Auswirkungen einer allgemeinen Technisierung der Welt zu betrachten.

Bei der modernen Technik - in diesem Fall der Entwicklung eines Computerprogramms – kann man sich nicht mehr auf die Sichtweise von Technik als besseres Werkzeug zurückziehen. Die „Brotmessermetapher“, also das Verständnis von technischen Produkten als Verlängerung oder Verbesserung menschlicher Organe, beispielsweise der Verstärkung der Sehfähigkeit durch Brille, Mikroskop oder Teleskop, ist keine ausreichende Definition moderner technischer Artefakte mehr. Diese hängen im Gebrauch nicht mehr primär vom Menschen selbst ab.

Die neuen Werkzeuge werden nicht länger von ihm geführt, sondern übersteigen die Perfektion der Organe bei Weitem und sind tendenziell unabhängig vom Menschen geworden. Heute ist Technik ein sich selbst reproduzierendes System, in das der Mensch eingebettet und von dem er abhängig geworden ist. Er wird darüber hinaus immer mehr zum Schwachpunkt dieser Systeme, was sich im Begriff des menschlichen Versagens äußert.

Günther Anders hat für diese Entwicklung die Metapher vom „Prometheischen Gefälle“ eingeführt. Prometheus, ein Titan aus der griechischen Mythologie, hat die Menschen geschaffen. Jetzt tritt der Mensch selbst als Schöpfer auf

und erschafft sich technische Produkte, die immer mehr als er selbst können. Wir sind zu invertierten Utopisten geworden: Im Gegensatz zu den klassischen Utopisten, die sich eine Welt vorstellten, die sie nicht herstellen konnten, wird heute mehr hergestellt, als man sich derzeit vorstellen und als man heute verantworten kann.

Es ist klar, dass sich diese Arbeit an einer computergenerierten Entwurfsumgebung in eben diesem Spannungsfeld bewegt; dass einerseits eine größere Freiheit hervorgebracht und eine Verbesserung der Umwelt erreicht werden soll, andererseits aber auch der Einfluss des Menschen in diesem Prozess auf eine Teilkomponente reduziert wird - mit der Tendenz, ihn ganz überflüssig machen zu können.

Dies steht zudem im Widerspruch zu einem Verständnis von Architektur, das als deren vornehmste Aufgabe postuliert, Schutzräume für Menschen zu schaffen, auch wenn das nicht bedeuten muss, dass diese Aufgabe ausschließlich von Menschen erledigt werden kann. Diese Diskussion betrifft die gesamtgesellschaftliche Entwicklung, das allgemeine Verhältnis zur Technik, und kann nur sinnvoll in einem größeren Kontext diskutiert werden.

Eingedenk dieser übergeordneten Problematik soll hier innerhalb des technischen Systems auf einige spezielle Punkte eingegangen werden. Die Entwicklung des Computer Aided Design, das zu den gängigen CAD-Programmen geführt hat, kann man als eine Veränderung des analogen Zeichenstiftes hin zu einer digitalen Zeichenumgebung betrachten. Die digitale Variante geht über das herkömmliche Zeichnen kaum hinaus.

Es wurden immer mehr so genannte „Tools“ entwickelt, die alle spezielle Funktionen haben, die, wenn stark verein-

facht wird, ehemals Stift und Lineal vereinten. Außerdem können die Planinformationen jetzt digitalisiert werden, was zwar praktisch ist, aber kaum zu weitreichenden Veränderungen geführt hat – sieht man einmal von der Baubarkeit freier Formen ab.

Die Potentiale für eine grundlegende Veränderung der planerischen Möglichkeiten sehe ich vielmehr im „algorithmischen Denken“. Man kann hierunter eine Strategie verstehen, die es ermöglicht, komplexe Probleme in kleine, einfach zu handhabende Schritte zu zerlegen und am Ende wieder zusammenzufügen. Es wird also nach den Elementen und deren Eigenschaften gesucht, die ein System ausmachen, und man entwirft für ihr Zusammenwirken entsprechende Algorithmen, um eine komplexe Struktur zu erzeugen. Diese Methode wird als Bottom-Up-Strategie bezeichnet.

Aus diesem Kontext heraus möchte ich diese Arbeit zu einer computergenerierten Entwurfsumgebung nicht als ein weiteres „Entwurfstool“ verstanden wissen, sondern als Konzeption für eine prinzipiell andersartige Planungsstrategie auf der Grundlage eines algorithmischen Denkens.

Appendix A

A1-Abkürzungen und Akronyme

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
AL	Artificial Life
BGF	Bruttogeschoßfläche
CAAD	Computer Aided Architectural Design
CAD	Computer Aided Design
CR	Counting Rule
DBM	Dielectric Breakdown Model
DLA	Diffusion Limited Aggregation
ET	Eyeball Test
FACS	Free Agents in Cellular Space
GA	Genetischer Algorithmus
GFZ	Geschoßflächenzahl
GIS	Geographical Information System
GRZ	Grrundflächenzahl
KI	Künstliche Intelligenz
L-System	Lindenmayr-System

VR Voting Rule

ZA Zellularer Automat

A2-Abbildungen

Abb. 1-1 Ausschnitt des Nolli Planes von Rom, 1748	13
Abb. 2-1 Querschnitt eines Pariser Hauses aus dem Jahr 1853. Aus BENEVOLO [12], S. 849	24
Abb. 2-2 Ein zwischen Eisenbahnbrücken gelegenes Arbeiterviertel	28
Abb. 2-3 Die Häuser (h) einer Arbeitersiedlung in Nottingham	28
Abb. 2-4 Zwei Detailskizzen der neuen Stadtviertel von Manchester	29
Abb. 2-5 Straßenkorridor von Le Corbusier	29
Abb. 2-6 Schwarzplan Paris, New York und Buenos Aires	30
Abb. 2-7 englische Siedlung nach 1875	31
Abb. 2-8 Schwarzplan einer englischen Siedlung nach 1875	31
Abb. 2-9 Stadtdiagramm Heiligenthal, 1921	33
Abb. 2-10 Bebauungsschema Dulsberg, Hamburg, 1919	33
Abb. 2-11 Bebauungsschema Berlin-Charlottenburg, Siemensstadt, 1929	34
Abb. 2-12 Wohngruppen in Hengelo/Niederlande, 1956	34
Abb. 2-13 Lockere Zeilenbebauung in Hamburg- Hohnerkamp, 1953	34
Abb. 2-14 Bebauungsschema Westhausen, Frankfurt, 1929	35
Abb. 2-15 Bebauungsschema Römerstadt, Frankfurt, 1926	35
Abb. 2-16 Bebauungsschema Miljutin, 1930	36
Abb. 2-17 Gesamtplan von Chandigarh, 1951	36
Abb. 2-18: Großbaukörper in Berlin, Märkisches Viertel, 1963	37
Abb. 2-19 Wohngruppen in Frankfurt-Nordweststadt, 1961	38
Abb. 2-20 Hofbildung in Hamburg-Steilshoop, 1968	38
Abb. 2-21 Terrassenartige Gruppierung im Olympischen Dorf, München, 1968	39
Abb. 2-22 Regionalstadtmodell nach Hillebrecht, 1962	40
Abb. 2-23 Gesamtplan von Brasilia, 1958	40
Abb. 2-24 Gliederungskonzept der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“	41
Abb. 2-25 Konzentrisches und dezentralisiertes Stadtsystem nach Bardet, 1945	41
Abb. 2-26 Typologie der Strukturmodelle	43
Abb. 3-1 Quader mit Parametern	59
Abb. 3-2 Nike – personalise your shoe, August 2004	61
Abb. 3-3 Variomatic House, Kas Oosterhuis	61
Abb. 3-4 Embryological House, Greg Lynn, www.glform.com	62
Abb. 3-5 Fassadenprojekt München, König-Bauriedel, Peter Haimerl	63
Abb. 3-6 Tabelle: primäre Beziehungen, aus Entwurfsgenerator König / Bauriedel	64
Abb. 3-7 Diagramm primäre Beziehungen, aus Entwurfsgenerator König / Bauriedel	64

Abb. 3-8 Evolutionäre Entwicklung, aus Entwurfsgenerator König / Bauriedel	65
Abb. 3-9 Implementierungskonzept, aus Entwurfsgenerator König / Bauriedel.....	66
Abb. 3-11 Variation um Gaußsche Normalverteilung	67
Abb. 3-10 Vielteilchenproblem, finden des energetischen Minimums	67
Abb. 3-12 aus WATANABE [78] S. 44.....	68
Abb. 3-13 Visualisierung Induction Cities.....	68
Abb. 3-14 Strukturvergleich Wind-God City.....	69
Abb. 3-15 Entwicklung der Parzellen, aus Projekt „KaisersRot“	70
Abb. 3-16 Programmumgebung, aus Projekt „KaisersRot“	70
Abb. 3-17 Interface des Programms, Tomor Elezjutaj.....	72
Abb. 3-18 Darstellung des Lösungsalgorithmus, Tomor Elezjutaj	72
Abb. 3-19 Visualisierung der Variantengenerierung.....	73
Abb. 3-20 Ansicht des generierten 3D-Modells, Konsensmaschine ETH Zürich.....	75
Abb. 3-21 Schemadarstellung der Nutzerverteilung, Konsensmaschine ETH Zürich	75
Abb. 3-22 Streetnetwork Development, City Engine.....	77
Abb. 3-23 generiertes Stadtmodell Zürich, City Engine	77
Abb. 4-1 Aus Arch+: Der Sprawl [6]	79
Abb. 4-2 Skizze zur Veranschaulichung des Modells mit vier Ebenen	81
Abb. 4-3 Die vier Entwurfsebenen des vorgeschlagenen Simulationsmodells	82
Abb. 4-4 Die Grundelemente Linie (Bewegung), Fläche (Besetzen) und Körper (Aufrichten) in verschiedenen Maßstabfenstern sind Grundlage der morphologischen Analyse der Stadt.	86
Abb. 4-5 aus Arch+ [6] : Der Sprawl	87
Abb. 4-6 Detailausschnitt mit unterschiedlichen Gebäudetypen in einem Raster.....	87
Abb. 4-7 Flächenansprüche nach Göderitz, Rainer, Hoffmann,1957, aus ALBERS [1], S. 199	88
Abb. 4-8 Strukturmodell für Milton Keynes, 1970, aus ALBERS [1], S. 218.....	89
Abb. 5-1 Nachbarschaftsbeziehungen eines Agentensystems.....	92
Abb. 5-2 Beispiele von Nachbarreaktionen eines Agentensystems	93
Abb. 5-3 Parameter des Agentensystems	94
Abb. 5-4 Schwarmmodell.....	94
Abb. 5-5 Schwarmversuch	95
Abb. 5-6 Autonomous Agents and Self-Organization.	95
Abb. 5-7 Beispiel Wachstum, diffusion limited aggregation.	96
Abb. 5-8 Beispiel einer Brownsche Bewegung eines Agentensystems	96
Abb. 5-9 diffusion limited aggregation mit Abstandsmessung und Hilfsraster	97

Abb. 5-10 Termiten platzieren mittels der Braunschen Bewegung „Holzstückchen“	98
Abb. 5-11 Termiten platzieren „Holzstückchen“, Stapelung erlaubt	98
Abb. 5-12 Termiten platzieren „Holzstückchen“, Stapelung nicht erlaubt	99
Abb. 5-13 Termiten platzieren „Holzstückchen“, Startbedingung	99
Abb. 5-14 Termiten platzieren „Holzstückchen“, nur noch wenige Haufen übrig	99
Abb. 5-15 aus DE LANDA [56]	100
Abb. 5-16 aus DE LANDA [56]	100
Abb. 5-17 Extrusion Field aus einer vector Field Simulation	100
Abb. 5-18 Feldnadeln	101
Abb. 5-19 Die Abbildung stellt das extrusion Field der ‚diffusion limited aggregation‘ dar.	101
Abb. 5-20 Beispiel Schwarmverhalten	101
Abb. 5-21 Beispiel Ringverhalten	101
Abb. 5-22 Beispiel Strom eines Vektorfeldes	102
Abb. 5-23 Von Neumann- (links) und Moore- Nachbarschaft (rechts)	103
Abb. 5-24 Evolution eines zellulären Automaten nach der Wahlregel „zwei aus fünf“	103
Abb. 5-25 Einige bemerkenswerte Konfigurationen aus John Horton Conways zweidimensionalem „Spiel des Lebens“,	104
Abb. 5-26 Fortbewegung eines Gliders in „Life 4555“ - in einem dreidimensionalen zellulären Automaten.	104
Abb. 5-27 Veranschaulichung der Funktionsweise eines L-Systems	105
Abb. 5-28. : Big-H, Axiom: (F)- - F, Rule: F = (+(F)(- F)	105
Abb. 5-29 Dragon-Curve	106
Abb. 5-30 Sierpinski-Square	106
Abb. 5-31 graphische Darstellung der Funktionsweise eines genetischen Algorithmus	107
Abb. 5-32 Evolved Virtual Creatures, Karl Sims	107
Abb. 5-33 aus ‚Computational Geometry‘	109
Abb. 5-34 Steiner Tree.	109
Abb. 6-1 Trampelpfade der Huftiere in der mesopotamischen Tiefebene, aus SCHAUR [72] S. 153	112
Abb. 6-2 Streudorf zwischen Natronsee und Serengeti, Tansania. Aus SCHAUR [72] S. 100	112
Abb. 6-3 Vector-Field Simulationen.	113
Abb. 6-4 aus CLUG – Community Land Use Game von FELDT [33]	114
Abb. 6-5 aus „Interacting Unities“ von ELENI, TURNER, THUM [29]	113
Abb. 6-6 Vergleich unterschiedlicher Wegesysteme nach Systemlänge zu Umwege.	116
Abb. 6-7 Alpha Syntax Studie der Isle of Dogs, Paul Coates	118

Abb. 6-8 Urbane Wachstumssimulation von Cardiff.....	119
Abb. 6-9 Die Berührungsregeln eines Diffusion Limited Aggregation (DLA) Prozess	119
Abb. 6-10 Diffusion-Limited Aggregation, Wahrscheinlichkeitswert = 1.....	120
Abb. 6-11 Anlagerungswahrscheinlichkeit 1	120
Abb. 6-12 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,5	121
Abb. 6-13 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,25	121
Abb. 6-14 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,1	122
Abb. 6-15 Analyse aller Punkte	122
Abb. 6-16 drei besetzte Anfangszellen, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3	123
Abb. 6-17 zwei besetzte Anfangszellen, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3.....	124
Abb. 6-18 lineare Ausgangskonfiguration, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3.....	124
Abb. 6-19 Initialisierungspunkt im Zentrum.....	124
Abb. 6-20 Mischsystem.....	125
Abb. 6-21 zufällige Startposition, Mischform, Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,5	125
Abb. 6-22 Erweiterte Nachbarschaftsbereiche.....	126
Abb. 6-23 Nachbarschaftssystem für Anlagerungsmöglichkeiten beim Dielectric Breakdown Modell.	126
Abb. 6-24 Die Regeln, mit welchen man ein Straßennetzwerk baut.....	127
Abb. 6-25 mögliche Straßennetze ohne Einschränkung der Verbindungen.....	127
Abb. 6-26 und Abb. 6-27 Struktur mit DBM Regeln, Anlagerungswahrscheinlichkeit 1	128
Abb. 6-28 und Abb. 6-29 Wahrscheinlichkeitswerte 0,05 (oben) und 0,01 (unten),	129
Abb. 6-30 und Abb. 6-31 Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,5 (links) und 0,1 (rechts);	128
Abb. 6-32 Detail der Wegestrukturen.	129
Abb. 6-33. System mit fünfarmigen Knoten.	130
Abb. 6-34. System mit vierarmigen Knoten.....	130
Abb. 6-35. Der Nachbarschaftsbereich ist auf drei Ringe $r=3$ erweitert.	130
Abb. 6-36. Die von Neumannsche Nachbarschaft ist auf die orthogonalen Zellen beschränkt.	130
Abb. 6-37 Von links nach rechts: Vergleich der Ausbreitung des Frühlingsgeiskrautes und der mittelalterlichen Stadt in Europa und die Entwicklung des Eisenbahnnetzes in Deutschland.....	133
Abb. 6-38 oben Moskau 10,0 Mio. Einwohner und unten Stuttgart mit 2,3 Mio.	135
Abb. 6-39 Versuchssystem.....	137
Abb. 6-40 Agentensystem auf zellularen Rasterfeld, Agenten besetzen die Zellen.....	138
Abb. 6-41 Der Nukleus	140
Abb. 6-42 Der Wegelagerer	141

Abb. 6-43 Der Ausleger	141
Abb. 6-44 Der Cluster	141
Abb. 6-45 Der Vernetzer	142
Abb. 6-46 Der Plan.....	142
Abb. 6-47 Villa Rustica, Ludwigsburg- Hoheneck. Beispiel für einen Nukleus.	143
Abb. 6-48 Berlin-Neuköln, Karl-Marx- und Richardstraße. Beispiel für einen Wegelagerer.	143
Abb. 6-49 London um 1680, Ausleger in Southwark.	144
Abb. 6-50 Entwicklung des Zellen-Haufendorfes. Beispiel für einen Clustertyp.....	144
Abb. 6-51 Die Wiehre – Eine Freiburger Vorstadt. Entwicklung des Wegenetzes. Beispiel für den „Vernetzer“.....	144
Abb. 6-52: Die Friedrich-Ebert-Stiftung von Ernst May in Frankfurt a. M.....	144
Abb. 6-53 Agenten des Typs I, Wegelagererstruktur.....	145
Abb. 6-54 und Abb. 6-55. Agenten Typ 3, Ausleger und vereinzelt Wegelagerer	146
Abb. 6-56. Erschließung der Auslegerzellen.....	147
Abb. 6-57. Anschluss über pathfinding-Algorithmus	147
Abb. 6-58. Das System ist bis auf die Größe der Parzellen unverändert.	148
Abb. 6-59. Randbedingung maximal 2 Erschließungstrassen.....	148
Abb. 6-60 und Abb. 6-61. Besetzen eines größeren Gebietes.....	149
Abb. 6-62 und Abb. 6-63. Weiterentwicklung des Modellsystems.....	150
Abb. 6-64. Bebauungstiefe drei Zellen.....	152
Abb. 6-65. Bebauungstiefe drei Zellen und zwei Zellen in Gegenrichtung	152
Abb. 6-66 und Abb. 6-67. Anlagerungswahrscheinlichkeit 100%, Sonderfall für Zellen mit drei Nachbarn	153
Abb. 6-68. Tiefe Anlagerungsfeldes und zusätzliche Straßenzellen auf zwei reduziert	153
Abb. 6-69. Zufällig platzierte Straßen. Feldtiefe 3 Zellen, nur eine Anlagerungszelle.....	154
Abb. 6-70. Zellen mit aW – Wert von 1, Feldtiefe 3 Zellen	155
Abb. 6-71. vier Zellen Feldtiefe	155
Abb. 6-72 und Abb. 6-73. Verbindung der Anlagerungszellen mit nächstem Punkt im Wegesystem	155
Abb. 6-74 und Abb. 6-75. Darstellung der Anschlusspunkte.....	156
Abb. 6-76 Anfangskonfiguration für die Initialisierung des Anlagerungsprozesses.....	157
Abb. 6-77 minimaler Anlagerungsabstand 2 Zellen.....	157
Abb. 6-78 und Abb. 6-79 Parzellierungsstruktur ohne Erschließungssystem.....	158
Abb. 6-80 aus Bill Hillier [46]: The knowledge that shapes the city, S. 9.	160
Abb. 6-81 aus HILLIER, HANSON [44]: The social logic of space, S. 22.....	160

Abb. 6-82 aus dem Artikel von P.Coates [21].....	161
Abb. 6-83 Zelluläre Struktur.	161
Abb. 6-84 Veranschaulichung des 3D-Raumes um eine Zelle.....	162
Abb. 6-85 zeigt den zellulären Raum und die Nachbarschaftsebenen.	162
Abb. 6-86 Die Abbildungen zeigen vier verschiedene Möglichkeiten ein Gebiet mit Gebäuden zu füllen.....	163
Abb. 6-87 Grundriss, nach 10 Iterationen des zweidimensionalen zellulären Automaten.....	166
Abb. 6-88 Bereich der roten Felder kann keine Zelle besetzt werden.	167
Abb. 6-89 Der Blockrand wird aufgelöst und mit Grünzügen verbunden.	167
Abb. 6-90 Eine Konfiguration ohne Durchwegung	168
Abb. 6-91 Drei Resultate des 2D Automaten bei einem Rasterabstand von 3 Zellen zwischen den Straßen.....	168
Abb. 6-92 Für die obere Reihe gilt 137 und für die untere 114.	169
Abb. 6-93 Ein dreidimensionaler zellulärer Automat, der Ergebnisse liefert, die sich sehr eng an die Struktur des zweidimensionalen Automaten halten: 2514 nach 5 Generationen.	169
Abb. 6-94 hohe Bebauung.....	170
Abb. 6-95 niedrige Bebauung	170
Abb. 6-96 Versuchsergebnisse mit Erschließungskreuz	170
Abb. 6-97 Versuchsergebnisse mit Parallelerschließung	170
Abb. 6-98 die Ergebnisse des Automaten 1311 mit unterschiedlichen Straßenabständen nach der 10. Generation.	171
Abb. 6-99 3D binärer Automat 1111, links nach der 4. Generation und rechts nach der 10.	172
Abb. 6-100 3D binärer Automat mit der Regel 2524 nach der 10. Generation.....	172
Abb. 6-101 ähnliche Zelluläre Automaten	172
Abb. 6-102 Drei Entwicklungsstadien eines 2524 Automaten nach der 0., 6. und 10. Generation. ...	173
Abb. 6-103 Zwei Modelle mit anderen Straßensystemen, aber demselben Automaten 2524.....	174
Abb. 6-104 Links der Automat mit 1515 und rechts mit 2524 jeweils nach der 0. und der 10 Generation.	173
Abb. 6-105 Die Abhängigkeit der Automaten von den Freiräumen.	174
Abb. 6-106 Zellen können nur über Straßenflächen wachsen. Der Automat 2524 ist der gleiche wie oben, nur die Bedingung, wo Zellen entstehen können wurde geändert.	174
Abb. 6-107 und Abb. 6-108. Die beiden Abbildungen oben zeigen das Ergebnis bei einer kreuzförmigen Ausgangskonfiguration, wenn das Wachstum nicht auf die Cyan-farbigen Bereiche begrenzt bleibt.	175

Abb. 6-109 Der 3D Automat 2524 wird durch die kreuzförmigen Reihen (cyan Zellen) initialisiert.	175
Abb. 6-110 und Abb. 6-111 Bilder aus der Versuchsreihe, bei der lineare Bauflächen unterschiedlicher Breite mit jeweils einer Reihe am Rand oder in der Mitte initialisiert wurden.	175
Abb. 6-112. Es wurde eine Verbindung eingefügt, wodurch eine Kammstruktur entsteht.	176
Abb. 6-113 (links) bis Abb. 6-114 (links unten) zwei x-förmige Strukturen mit verschiedenen Breiten.	176
Abb. 6-115 Zwei Automaten: Schritt 1	177
Abb. 6-116 Zwei Automaten: Schritt 2	177
Abb. 6-117 Zwei Automaten: Schritt 3	177
Abb. 6-118 Zwei Automaten: Schritt 4	177
Abb. 6-119 Ausgangskonfiguration	177
Abb. 6-120 Zwei 2525 Automaten	178
Abb. 6-121. Ein 2525 und ein 1515 Automat	178
Abb. 6-122 Initialzellen am Berührungspunkt, vertikales Wachstum der Abstandszellen	178
Abb. 6-123 Initialzellen am Berührungspunkt, vertikale und horizontales Wachstum der Abstandszellen	179
Abb. 6-124 Initialzellen am Berührungspunkt, vertikale und horizontales Wachstum der Abstandszellen	179
Abb. 6-125 Interpretationen einer dreidimensionalen zellulären Struktur.	181
Abb. 6-126 Interpretationen einer Grundrissebene einer zellulären Struktur	182
Abb. 6-127 ist einem Artikel von P.Coates [24] entnommen.	181
Abb. 6-128 Beeinflussung der Zelleometrie	183
Abb. 6-129 Verdichtung blauer Zellen	185
Abb. 6-130 Umbau mit Nachbarschaftsregeln	185
Abb. 6-131 Teilausschnitt der generierten Struktur	185
Abb. 6-132 isometrische Darstellung der generierten Struktur	186
Abb. 6-133 genetischer Algorithmus	186
Abb. 6-134 Relationen zwischen vier Nutzungen	187
Abb. 6-135 Lösungen mit der geringsten Abweichung	188
Abb. 7-1 Interface: Registerkarte für die Informationsebene	191
Abb. 7-2 Interface: Registerkarte für die Erschließungsebene	193
Abb. 7-3 Interface: Registerkarte für die Bebauungsebene	194
Abb. 7-4 Interface: Registerkarte für die Optimierungsebene	195
Abb. 7-5 Ausgangskonfiguration	196

Abb. 7-6 erzeugte Ausgangstrukturen.....	197
Abb. 7-7 hergestellte Blockstrukturen mit gegebenem Erschließungssystem.....	199
Abb. 7-8 Der Automat „114 freies Layout“	199
Abb. 7-9 Blockstrukturen mit Freiraumzellen.....	200
Abb. 7-10 Automat „2514 Blockstruktur“	202
Abb. 7-11 Automat „1311 freies Layout“	203
Abb. 7-12 Platzhalterzellen als Restriktion	204
Abb. 7-13 Das Versuchsfeld: Franzosenviertel in München, ohne Maßstab	205
Abb. 7-14 Der Ausschnitt des leer geräumten Planungsgebiets mit Umgriff (genordet).....	206
Abb. 7-15 Luftbild des Bebauungsgebietes „Franzosenviertel“	207
Abb. 7-16 Isometrische Darstellung des unbebauten Grundstücks mit den Bestandsgebäuden der Umgebung. Blick von Süden.....	207
Abb. 7-17 Grundrißdarstellung des unbebauten Grundstücks.....	208
Abb. 7-18 Grundriss der Plangrundlage für das Computermodell	208
Abb. 7-19 Koordinatenfenster	208
Abb. 7-20 Erzeugung einer Achse	209
Abb. 7-21 Beispiel für die Möglichkeiten der manuellen Zellendefinition	209
Abb. 7-22 Versuche mit Blockstrukturen.....	211
Abb. 7-23 Versuche mit Zeilenstrukturen	213
Abb. 7-24 Versuche mit Clusterstrukturen.....	215
Abb. 7-25 Versuche mit Auslegerstrukturen.....	217
Abb. 7-26 weitere Versuche mit Auslegerstrukturen	219

Appendix B

B1-Mathematische Nomenklatur

A	Agent
B	Umgebungsschwellwert einer Zelle
C	Zählvariable
D	Dichte, bzw. Maß für das Verhältnis bebauter Zellen zu allen Zellen
d	Distanz von Zelle zu Zelle, bzw. Knoten zu Knoten
E	Kante zwischen zwei Knoten
M	Markierungswert einer Zelle
m	Index (möglicher Zustände von A)
F	Transformationsgesetz der Rasterzelle des zellulären Automaten
H	Index (der Rasterzelle des zellulären Automaten)
i	Index (Rasterzelle des zellulären Automaten)
k	Index möglicher Zustände von S
N	Knoten
p	Anlagerungswahrscheinlichkeit
P^A	Position des Agenten A
R	Globale, generative Zählregel des zellulären Automaten
r	Radius r eines Kreises

$random$	Zufallswert
S	Status der Zelle
t	Zeitschritt
$U(H)$	Menge der Nachbarzellen der Zelle H
X	Anzahl von Kanten zwischen zwei betrachteten Knoten

B2-Exemplarischer Programmcode

Die Datenstruktur für die Zellen und die Agenten wurden mit dem Datentyp ‚Type‘ definiert, der es ermöglicht, den davon abgeleiteten Zellen und Agenten jeweils eigene Eigenschaftswerte zuzuweisen. Die Eigenschaften variieren in jedem Programm, der Aufbau folgt aber immer demselben Prinzip.

Types

```
Type agentInfo '--- sammelt alle Informationen eines Agenten
spy As AcadObject
pos(0 To 2) As Double '---Container für neu berechnete Position des Agenten
deltaX As Double '--- Bewegungsvektor in X-Richtung
deltaY As Double '--- Bewegungsvektor in Y-Richtung
stopped As Boolean '--- Für diffusion limited aggregation
maxSpeed As Double '--- maximale Geschwindigkeit des Agenten
End Type

Const leer = 0
Const aussen = 99
Const besetzt = 101
Const strasse = 110
Const Wahrscheinlichkeit = 1

Type zellenInfo '--- Container für die Extruderinformationen
quad As AcadObject
pos(0 To 2) As Double
state As Integer '--- für zustandsKodierung mittels farbKode
End Type
```

Funktionen

Function Abstand(idx As Integer, punktG1 As Variant, punktG2 As Variant, punktAbst() As Double)

Dim mG As Double, mO As Double ,--- mG = Steigung der Geraden durch punktG1 und G1; mO ist die Steigung der orthogonalen Geraden

Dim xStelle As Double, yStelle As Double, sPkt(2) As Double ,--- Schnittpunkt der beiden Geraden

Dim dx As Double, dy As Double

dx = punktG2(0) - punktG1(0)

dy = punktG2(1) - punktG1(1)

If dx = 0 Then ,--- vertikale Gerade

xStelle = punktG2(0)

yStelle = punktAbst(1)

ElseIf dy = 0 Then ,--- horizontale Gerade

xStelle = punktAbst(0)

yStelle = punktG2(1)

Else

mG = dy / dx

mO = -1 / mG

xStelle = ((mG * punktG1(0)) - punktG1(1) - (mO * punktAbst(0)) + punktAbst(1)) / (mG - mO)

yStelle = mG * (xStelle - punktG1(0)) + punktG1(1)

End If

sPkt(0) = xStelle: sPkt(1) = yStelle: sPkt(2) = 0

abstand = distance(sPkt, punktAbst)

,setLine sPkt, punktAbst

,agent(idx).pointStr = sPkt

End Function

Function distance(pta As Variant, ptb As Variant) As Double

distance = Sqr((pta(0) - ptb(0)) ^ 2 + (pta(1) - ptb(1)) ^ 2 + (pta(2) - ptb(2)) ^ 2)

End Function

Function randomD(lower As Double, upper As Double)

randomD = (upper - lower + 1) * Rnd + lower

End Function

Function pi()

pi = (Atn(1) * 4)

End Function

Anlagerungen

Sub create()

```
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer
Dim agent() As agentInfo, zelle() As zellenInfo
Dim anzahlAg As Integer, durchl As Integer
Dim aZell As Long, reih As Integer, spalt As Integer, rW As Double, gesZellen As Long
```

```
unimin = 0: unimax = 200
```

```
anzahlAg = 1
durchl = 50
maxRad = 100
```

```
aZell = 101 '--- anzahl der Zellen pro reihe
reih = aZell
spalt = aZell
rW = unimax / aZell '--- rasterweite
gesZellen = aZell * aZell - 1
dRand = rW * 12
```

```
,radius = 25
```

```
ReDim agent(anzahlAg)
ReDim zelle(reih, spalt)
```

```
ThisDrawing.SendCommand „_ai_selall“ & vbCr & „_erase“ & vbCr
```

```
setBall agent, anzahlAg, unimin, unimax
setBox zelle, rW, reih, spalt
```

```
Dim midPoint(2) As Double, initPoint(2) As Double
midPoint(0) = unimax / 2: midPoint(1) = unimax / 2: midPoint(2) = 0
initPoint(0) = CInt(unimax / 2 / rW - 1): initPoint(1) = CInt(unimax / 2 / rW - 1): initPoint(2) = 0
```

```
zelle(CInt(unimax / 2 / rW - 1), CInt(unimax / 2 / rW - 1)).state = besetzt
```

```
rand zelle, midPoint, reih, spalt
```

```
analyze zelle, reih, spalt
aktualisieren zelle, reih, spalt
```

```

For i = 0 To anzahlAg
    aufKreis agent, i, rW
Next i
Stop

Do While radius + dRand + 2 <= maxRad ,--- Wiederhole bis maxRad
    brownWalk agent, zelle, anzahlAg, rW, reih, spalt
    execute agent, anzahlAg
Loop
aktualisieren zelle, reih, spalt
ThisDrawing.Regen acAllViewports

End Sub

Sub rand(zelle() As zellenInfo, lastPoint() As Double, reih As Integer, spalt As Integer)
    Dim midPoint(2) As Integer

    midPoint(0) = unimax / 2: midPoint(1) = unimax / 2: midPoint(2) = 0

    For i = 0 To reih '***** Erzeugt das 2D ZellenRaster *****
        For j = 0 To spalt
            radius = distance(midPoint, lastPoint)
            abst = distance(midPoint, zelle(i, j).pos)
            If abst < radius + dRand And zelle(i, j).state = aussen Then
                zelle(i, j).state = leer
            End If
        Next j
    Next i
End Sub

Sub brownWalk(agent() As agentInfo, zelle() As zellenInfo, _
anzahl As Integer, rM As Double, reih As Integer, spalt As Integer)

    Dim speed As Double, i As Integer
    Dim Wx(8) As Integer, Wy(7) As Integer
    Dim rKoord As Variant

    Wx(0) = 1: Wy(0) = 1 ,Wege definieren
    Wx(1) = 0: Wy(1) = 1
    Wx(2) = -1: Wy(2) = 1
    Wx(3) = 1: Wy(3) = 0
    Wx(4) = -1: Wy(4) = 0

```

```

Wx(5) = 1: Wy(5) = -1
Wx(6) = 0: Wy(6) = -1
Wx(7) = -1: Wy(7) = -1
For i = 0 To anzahl
  If agent(i).stopped = False Then
    Dim dx As Single, dy As Single
    Dim oldPoint(2) As Double

    dx = Wx(Int(Rnd(1) * 8)) * rM
    dy = Wy(Int(Rnd(0) * 8)) * rM

    agent(i).deltaX = dx
    agent(i).deltaY = dy

    oldPoint(0) = agent(i).pos(0)
    oldPoint(1) = agent(i).pos(1)
    oldPoint(2) = 0
    agent(i).pos(0) = agent(i).pos(0) + agent(i).deltaX
    agent(i).pos(1) = agent(i).pos(1) + agent(i).deltaY

    rKoord = findPos(agent, i, rM)
    If zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state = aussen Then '--- wenn Punkt ausserhalb wdh

      aufKreis agent, i, rM
      agent(i).deltaX = -dx , * 4
      agent(i).deltaY = -dy , * 4

      '----- wird angelagert, wenn -----
      ElseIf Not zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state = frei And _
        zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state < 99 And _
        Rnd(1) >= (1 - Wahrscheinlichkeit) ^ zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state Then '---Punkt wird _
                                                    angelagert

        anlagerLine zelle, rKoord(0), rKoord(1)

        zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state = besetzt
        analyze zelle, reih, spalt

        rand zelle, zelle(rKoord(0), rKoord(1)).pos, reih, spalt
        aktualisieren zelle, reih, spalt

        aufKreis agent, i, rM

```

```

    End If
  End If
Next i
End Sub
ub analyze(zelle() As zellenInfo, reih As Integer, spalt As Integer)
Dim i As Integer, j As Integer, v As Integer
Dim explore As Integer

For i = 1 To reih - 1
  For j = 1 To spalt - 1
    If Not zelle(i, j).state = aussen Then

      explore = zaehlen(zelle, i, j) '--- indizes der Nachbarn ermitteln

      If explore > 0 And Not zelle(i, j).state = besetzt Then
        zelle(i, j).state = explore
      ElseIf explore = 0 And Not zelle(i, j).state = besetzt Then
        zelle(i, j).state = leer
      End If
    End If
  Next j
Next i
End Sub

Sub anlagerLine(zelle() As zellenInfo, reihPos As Variant, spaltPos As Variant)
  Dim i As Integer, j As Integer, count As Integer

  count = 0
  For i = reihPos - 2 To reihPos + 2
    For j = spaltPos - 2 To spaltPos + 2

      If zelle(i, j).state = besetzt And _
        zelle(i, j).knoten < 4 And zelle(reihPos, spaltPos).knoten < 4 Then '---- Linie zeichnen ---

        setLineTo zelle(i, j).pos, zelle(reihPos, spaltPos).pos
        zelle(i, j).knoten = zelle(i, j).knoten + 1
        zelle(reihPos, spaltPos).knoten = zelle(reihPos, spaltPos).knoten + 1
      End If
    Next j
  Next i
End Sub

```

End Sub

Function zaehlen(zelle() As zellenInfo, reihPos As Integer, spaltPos As Integer) As Integer

Dim i As Integer, j As Integer, count As Integer

count = 0

For i = reihPos - 2 To reihPos + 2

For j = spaltPos - 2 To spaltPos + 2

If j = spaltPos Then

If zelle(i, j).state = besetzt Then

count = count + 1

End If

ElseIf i = reihPos Then

If zelle(i, j).state = besetzt Then

count = count + 1

End If

End If

Next j

Next i

If zelle(reihPos, spaltPos).state = besetzt Then

count = count - 1

End If

zaehlen = count

End Function

Sub aktualisieren(zelle() As zellenInfo, reih As Integer, spalt As Integer)

Dim i As Integer, j As Integer

For i = 0 To reih

For j = 0 To spalt

If zelle(i, j).state = aussen Then zelle(i, j).quad.color = 252

If zelle(i, j).state = leer Then zelle(i, j).quad.color = 255

If zelle(i, j).state = besetzt Then zelle(i, j).quad.color = 150

If Not zelle(i, j).state = leer And zelle(i, j).state < 10 Then

zelle(i, j).quad.color = 30

End If

Next j

Next i

End Sub

Sub aufKreis(agent() As agentInfo, ind As Integer, rM As Double)

Dim rKoord As Variant

agent(ind).pos(0) = Cos(Rnd(1) * 2 * pi) * (radius + dRand - rM) + maxRad

agent(ind).pos(1) = Sin(Rnd(0) * 2 * pi) * (radius + dRand - rM) + maxRad

rKoord = findPos(agent, ind, rM)

agent(ind).pos(0) = (rKoord(0) * rM) - rM / 2

agent(ind).pos(1) = (rKoord(1) * rM) - rM / 2

agent(ind).spy.Move agent(ind).spy.Centroid, agent(ind).pos

agent(ind).spy.Update

End Sub

Function findPos(agent() As agentInfo, ind As Integer, rM As Double) As Variant

Dim rPos(1) As Variant

rPos(0) = Round(agent(ind).pos(0) / rM)

rPos(1) = Round(agent(ind).pos(1) / rM)

findPos = rPos

End Function

Sub setBall(agent() As agentInfo, anzahl As Integer, unimin As Integer, unimax As Integer) '-- Kugeln; _
sog. Agenten

Dim rad As Double, i As Integer

rad = 1

For i = 0 To anzahl '--- Agenten werden erstellt

agent(i).pos(0) = random(CDbl(unimin), CDbl(unimax))

agent(i).pos(1) = random(CDbl(unimin), CDbl(unimax))

agent(i).pos(2) = 0

agent(i).deltaX = 0.001 '-- Bewegungsvektor x-Richtung

agent(i).deltaY = 0.001 '-- Bewegungsvektor y-Richtung

agent(i).stopped = False

agent(i).maxSpeed = 2

Set agent(i).spy = ThisDrawing.ModelSpace.AddSphere(agent(i).pos, rad)

agent(i).spy.color = acGreen

```

Next i
End Sub

Sub setBox(zelle() As zellenInfo, rM As Double, reih As Integer, spalt As Integer)
    Dim boxObj As Acad3DSolid
    Dim length As Double, width As Double, height As Double
    Dim i As Integer, j As Integer
    length = rM - 0.1: width = rM - 0.1: height = 0.1

For i = 0 To reih '***** Erzeugt das 2D ZellenRaster *****
    For j = 0 To spalt

        zelle(i, j).pos(0) = i * rM + rM / 2
        zelle(i, j).pos(1) = j * rM + rM / 2
        zelle(i, j).pos(2) = 0
        Set zelle(i, j).quad = ThisDrawing.ModelSpace.AddBox(zelle(i, j).pos, length, width, height)
        zelle(i, j).quad.Lineweight = acLnWt000
        zelle(i, j).state = aussen
    Next j
Next i

End Sub

Sub setLineTo(startPoint() As Double, endPoint() As Double) '--- Zeichnet eine Linie
    Dim lineObj As AcadLine

    Set lineObj = ThisDrawing.ModelSpace.AddLine(startPoint, endPoint)
    Lineweight = acLnWt035
    lineObj.color = acGreen
End Sub

Sub execute(agent() As agentInfo, anzahl As Integer) '---delta-Werte werden an Position übergeben und Agent bewegt
    Dim cen As Variant, i As Integer

For i = 0 To anzahl
    cen = agent(i).spy.Centroid
    agent(i).pos(0) = cen(0) + agent(i).deltaX
    agent(i).pos(1) = cen(1) + agent(i).deltaY

    agent(i).spy.Move agent(i).spy.Centroid, agent(i).pos

Next i
End Sub

```

Bebauung

```

Sub create()

Dim k As Integer, i As Integer, j As Integer, u As Integer
Dim dauer As Integer, reih As Integer, spalt As Integer, etag As Integer
Dim rW As Double, gesZellen As Integer, onOff As Integer, generationen As Integer
Dim container() As Integer, cont2D() As Integer
Dim zelle3d() As zellenInfo
Dim zelle() As zellenInfo

If ThisDrawing.Layers.count = 1 Then '--- add a new layer to drawing
    Set deadlayer = ThisDrawing.Layers.Add(„dead“)
Else
    Set deadlayer = ThisDrawing.Layers.Item(„dead“)
End If
deadlayer.LayerOn = False

borderMax = 80 '--- Feldgröße
dauer = 400 '--- Anzahl der Durchläufe
generationen = 12

aZell = 20 '--- Anzahl der Zellen pro reihe
reih = aZell
spalt = aZell
etag = 12
rW = borderMax / aZell '--- Rasterweite
gesZellen = aZell * aZell - 1
ReDim zelle(reih, spalt)
ReDim zelle3d(reih, spalt, etag)

ReDim cont2(reih, spalt) As Integer
ReDim container(reih, spalt, etag) As Integer

ThisDrawing.SendCommand „_ai_selall“ & vbCr & „_erase“ & vbCr

'***** 2D *****
setBox2D zelle, rW, reih, spalt '***** Erzeugt das 2D ZellenRaster *****

For i = 0 To reih '***** Erzeugt das 2D ZellenRaster *****
    For j = 0 To spalt
        zelle(i, j).state = leer
    
```

```

onOff = Rnd

If j = 5 Or j = 10 Or j = 15 Or i = 5 Or i = 10 Or i = 15 _
Or i = 0 Or i = reih Or j = 0 Or j = spalt Then '--- strassen
    cont2(i, j) = strasse
ElseIf (Rnd <= 0.3) Then
    cont2(i, j) = wohnen
Else
    cont2(i, j) = leer
End If
Next j
Next i
aktualisieren2D zelle, cont2, reih, spalt
ThisDrawing.Regen acAllViewports

For k = 0 To 10
    analyze2D zelle, cont2, reih, spalt
    aktualisieren2D zelle, cont2, reih, spalt
    ThisDrawing.Regen acAllViewports
Next k

For i = 0 To reih '***** kosmetik - rest auf grün *****
    For j = 0 To spalt
        If zelle(i, j).state = leer Then
            cont2(i, j) = freifl
        End If
    Next j
Next i
aktualisieren2D zelle, cont2, reih, spalt
ThisDrawing.Regen acAllViewports

'***** 3D *****
setBox3d zelle3d, rW, reih, spalt, etag '***** Erzeugt das 3D ZellenRaster *****

For i = 0 To reih '***** einstell 3d raster *****
    For j = 0 To spalt
        For k = 0 To etag
            If zelle(i, j).state = wohnen And k = 1 Then
                container(i, j, k) = lebt
            ElseIf zelle(i, j).state = entfBau And k = 1 Then
                container(i, j, k) = frei
                zelle(i, j).quad.color = 10
            End If
        Next k
    Next j
Next i

```

```

Else
    container(i, j, k) = tot
End If
zelle3d(i, j, k).quad.color = 253

Next k
Next j
Next i

aktualisieren3D zelle3d, container, reih, spalt, etag
ThisDrawing.Regen acAllViewports
For k = 0 To generationen
    analyze3D zelle3d, container, reih, spalt, etag, zelle
    aktualisieren3D zelle3d, container, reih, spalt, etag
    ThisDrawing.Regen acAllViewports
Next k
Erase zelle
Erase zelle3d
End Sub

Sub analyze3D(zelle3d() As zellenInfo, container() As Integer, reih As Integer, spalt As Integer, _
    etag As Integer, zelle() As zellenInfo)
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer, v As Integer
Dim explore As Integer, countW As Integer

For i = 1 To reih - 1
    For j = 1 To spalt - 1
        For k = 1 To etag - 1
            Dim notBau As Integer
            notBau = 0
            explore = zaehlen3D(zelle3d, i, j, k, notBau, zelle) '--- Indizes der Nachbarn ermitteln

            If (zelle3d(i, j, k).state = tot) And Not zelle(i, j).state = strasse And notBau = 0 Then '--- wird _
                geboren, wenn:
                    If (explore >= 1 And explore <= 1) Then container(i, j, k) = lebt
            End If

            If zelle3d(i, j, k).state = lebt Then '--- stirbt, wenn:
                If (explore >= 1 And explore <= 3) Then
                    container(i, j, k) = lebt
                Else
                    container(i, j, k) = tot
            End If
        Next k
    Next j
Next i

```

```

        End If
    End If
Next k
Next j
Next i

End Sub

Function zaehlen3D(zelle3d() As zellenInfo, reihPos As Integer, spaltPos As Integer, etagPos As Integer, _
notBau As Integer, zelle() As zellenInfo) As Integer
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer, count As Integer

count = 0
For i = reihPos - 1 To reihPos + 1
    For j = spaltPos - 1 To spaltPos + 1
        For k = etagPos To etagPos
            If i = reihPos Then
                count = count + zelle3d(i, j, k).state
            Else
                If j = spaltPos Then
                    count = count + zelle3d(i, j, k).state
                End If
            End If
        End If
    End If

    If zelle(i, j).state = entfBau Then
        notBau = 1
    End If
Next k
Next j
Next i

count = count - zelle3d(reihPos, spaltPos, etagPos).state ,--- minus die eigene Position
zaehlen3D = count + zelle3d(reihPos, spaltPos, etagPos - 1).state ,--- plus die zelle unter der akt zelle
End Function

Sub aktualisieren3D(zelle3d() As zellenInfo, container() As Integer, reih As Integer, spalt As Integer, _
etag As Integer)
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer, v As Integer

For i = 0 To reih
    For j = 0 To spalt
        For k = 0 To etag

```

```

zelle3d(i, j, k).state = container(i, j, k)
If zelle3d(i, j, k).state = lebt Then
    zelle3d(i, j, k).quad.Layer = „0“
Else
    zelle3d(i, j, k).quad.Layer = „dead“
End If
Next k
Next j
Next i
End Sub

Sub analyze2D(zelle() As zellenInfo, cont2() As Integer, reih As Integer, spalt As Integer)
Dim i As Integer, j As Integer, v As Integer
Dim explore As Integer

For i = 1 To reih - 1
    For j = 1 To spalt - 1
        If Not zelle(i, j).state = strasse And Not zelle(i, j).state = entfBau Then
            Dim notBau As Integer
            notBau = 0
            explore = zaehlen2D(zelle, i, j, notBau) '--- indizes der Nachbarn ermitteln

            If explore >= 4 Or notBau = 1 Then
                cont2(i, j) = freifl
            ElseIf explore >= 1 And explore <= 1 And notBau = 0 Then
                cont2(i, j) = wohnen
            ElseIf explore = 0 And cont2(i, j) = freifl Then
                cont2(i, j) = entfBau
            End If
        End If
    Next j
Next i
End Sub

Function zaehlen2D(zelle() As zellenInfo, reihPos As Integer, spaltPos As Integer, _
notBau As Integer) As Integer
    Dim i As Integer, j As Integer, count As Integer
    count = 0
    For i = reihPos - 1 To reihPos + 1
        For j = spaltPos - 1 To spaltPos + 1
            If zelle(i, j).state = wohnen Then
                count = count + 1
            End If
        Next j
    Next i
End Function

```

```

    End If
    If zelle(i, j).state = entfBau Then
        notBau = 1
    End If
Next j
Next i

If zelle(reihPos, spaltPos).state = entfBau Then notBau = 0
If Not zelle(reihPos, spaltPos).state = leer Then
    zaehlen2D = count - 1
Else: zaehlen2D = count
End If
End Function

Sub aktualisieren2D(zelle() As zellenInfo, cont2() As Integer, reih As Integer, spalt As Integer)
Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer, v As Integer

For i = 0 To reih
    For j = 0 To spalt
        zelle(i, j).state = cont2(i, j)
        zelle(i, j).quad.color = zelle(i, j).state
    Next j
Next i
End Sub

Sub setBox2D(zelle() As zellenInfo, rM As Double, reih As Integer, spalt As Integer)
Dim boxObj As Acad3DSolid
Dim length As Double, width As Double, height As Double
Dim i As Integer, j As Integer
length = rM - 0.1: width = rM - 0.1: height = 0.1

For i = 0 To reih '***** Erzeugt das 2D ZellenRaster *****
    For j = 0 To spalt
        zelle(i, j).pos(0) = i * rM + rM / 2
        zelle(i, j).pos(1) = j * rM + rM / 2
        zelle(i, j).pos(2) = 0
        Set zelle(i, j).quad = ThisDrawing.ModelSpace.AddBox(zelle(i, j).pos, length, width, height)
        zelle(i, j).quad.Lineweight = acLnWt000
    Next j
Next i
End Sub

```

```

Sub setBox3d(zelle3d() As zellenInfo, rM As Double, reih As Integer, spalt As Integer, etag As Integer)
    Dim boxObj As Acad3DSolid
    Dim length As Double, width As Double, height As Double, ds As Double
    Dim k As Integer, i As Integer, j As Integer
    ds = 0.2
    length = rM - ds: width = rM - ds: height = (rM - ds) / 2

For i = 0 To reih '***** Erzeugt das 3D ZellenRaster *****
    For j = 0 To spalt
        For k = 0 To etag
            zelle3d(i, j, k).pos(0) = i * rM + rM / 2
            zelle3d(i, j, k).pos(1) = j * rM + rM / 2
            zelle3d(i, j, k).pos(2) = (k * rM + rM / 4) - k * (rM / 2) - rM / 2
            Set zelle3d(i, j, k).quad = ThisDrawing.ModelSpace.AddBox(zelle3d(i, j, k).pos, length, width, _
                                                                    height)

            zelle3d(i, j, k).quad.Lineweight = acLnWt000
        Next k
    Next j
Next i
End Sub

Sub execute(idx As Integer, unimax As Double) ,---delta-Werte werden an Position übergeben und _
Agent bewegt

Dim cen As Variant, unimin As Integer
unimin = 0
cen = agent(idx).spy.Centroid
agent(idx).pos(0) = cen(0) + agent(idx).deltaX
agent(idx).pos(1) = cen(1) + agent(idx).deltaY

If agent(idx).pos(0) > unimax Then agent(idx).pos(0) = unimin
If agent(idx).pos(0) < unimin Then agent(idx).pos(0) = unimax
If agent(idx).pos(1) > unimax Then agent(idx).pos(1) = unimin
If agent(idx).pos(1) < unimin Then agent(idx).pos(1) = unimax

agent(idx).spy.Move agent(idx).spy.Centroid, agent(idx).pos
agent(idx).spy.Update

End Sub

```

Die zusammenhängenden Programme sind auf der beiliegenden CD enthalten.

Appendix C

C1-Curriculum Vitae

Ausbildung und beruflicher Werdegang

- seit 2007*
 - wissenschaftlicher Mitarbeiter Bauhaus-Universität Weimar, Lehrstuhl Informatik in der Architektur und Raumplanung

- 2005 - 2007*
 - Promotionsstudium an Bauhaus-Universität Weimar, bei Prof. Dr. Donath am InfAR

- 2002 - 2005*
 - Studium der Architektur und Stadtplanung an der der Technischen Universität Kaiserslautern
 - Lehrbeauftragter an der Fachhochschule München
 - Eintrag als Freier Architekt in die Architektenkammer Thüringen

- 2002*
 - Mitbegründung der Forschungsplattform www.entwurforschung.de

- seit 2002*
 - Selbstständigkeit und Gründung von  mit Reinhard König

- 1997 - 2002*
 - Studium der Architektur an der der Fachhochschule München

- 1997 - 1999*
 - Studium der Medizin- und Mikrotechnik an der Fachhochschule München

- 1998 - 1999*
 - Vertragspartner bei Greenpeace - Ansprechpartner für nachhaltiges Bauen

Projekte

- 2007
- Umnutzung einer Lagerhalle in eine Indoor-Spielhalle für Kinder,
Bauherr: Manfred Petz, Landshut
(Bausumme 500.000,00 €, LP 1-4)
 - Neubau eines Betriebsleiterhauses,
Bauherr: Miroslav Fürst, Spörerau
(Bausumme 200.000,00 €, LP 1-4)
 - Neubau eines Betriebsleiterhauses,
Bauherr: Natalie Glenc, Spörerau
(Bausumme 200.000,00 €, LP 1-4)
 - Neubau eine Gewerbehalle mit Büro und Betriebsleiterwohnung,
Ergoldsbach, Bauherr: Hermann Krassler
(Bausumme 450.000,00 €, LP 1-4)
 - Erweiterung eines Einfamilienhauses,
Bauherr: Familie Dr. Stögbauer, Landshut
(Bausumme 80.000,00 €, LP 1-9)
 - Neubau eines Einfamilienhauses mit Austragswohnung in Vollholz,
Bauherr: Christian Zöttl, Landshut
(Bausumme 250.000,00 €, LP 1-9)
- 2006
- Projektentwicklung, Entwurf und Planung einer energieoptimierten Wohnanlage mit Stadthaus für junge Familien,
Bauherr: Manfred Petz, Landshut
(Bausumme 1,8 Mio., LP 1-4)
 - Projektentwicklung einer energieoptimierten Wohnanlage,
Bauherr: Manfred Petz, Landshut
(Bausumme 2,1 Mio., LP 1-7)
 - Projektentwicklung, Entwurf und Planung des Wiederaufbaues zweier historischer Stadthäuser, Landshut
(Bausumme 1,5 Mio., LP 1-5)
 - Städtebauliche Planung eines Gebäudeensembles,
Bauherr: Josef Thalhammer, Landshut
 - Neukonzeption eines Bebauungsplanes, Wörth/Isar
 - Entwurf und Umsetzung eines Passivhauses
Familie Späeth B., Furth

- (Bausumme 250.000,00€, LP 1-9)
- Entwurf und Umsetzung eines Anbaus an ein Einfamilienhaus
Familie Späth S., Altdorf
- 2005
- Entwurf und Realisierung Einfamilienhaus
Fam. Hopperdietzel, Landshut Ergolding
(Bausumme 150.000,00€, LP 1-9)
 - Revitalisierung einer Hofanlage Heilmeyer, Essenbach (LP 1-4)
 - Entwurf und Umsetzung eines Wohnhauses mit Gewerbebetrieb
Fam. Maier in Adlkofen bei Landshut
(Bausumme 250.000,00€, LP 1-6)
- 2004
- Entwurf und Realisierung Einfamilienhaus
Fam. Stögbauer, Landshut Achdorf (LP 1-9)
 - Entwurf und Realisierung Einfamilienhaus
Fam. Bach, Landshut Achdorf
(Bausumme 150.000,00€, LP 1-9)
 - Entwurf und Genehmigung eines Austragshauses
Familie Grämmer, Essenbach
(Bausumme 100.000,00€, LP 1-9)
- 2003
- Entwurf und Genehmigungsplanung für ein Wohnhaus
mit Gewerbebetrieb Maier in Adlkofen bei Landshut
 - Entwurf und Genehmigungsplanung für einen artgerechten Tierstall
in Zeitzkofen bei Landshut
 - Entwurf für den Foyerbereiche des Bezirkskrankenhauses München
 - Entwurf und Realisierung der Ausstellung „neue Medien“
der Stadt München in der Rathausgalerie
- 2002
- Entwurf und Realisierung Einfamilienhaus
Fam. Könsgen, Landshut Altfraunhofen
(Bausumme 180.000,00€, LP 1-9)
 - Visualisierung eines Wohnparkes in Altperlach,
für Architekturbüro Keller
 - Neukonzeption und verformungsgerechtes Aufmass
einer denkmalgeschützten Schmiede im Ortskern von Velden
 - Konzeption für Umbau, Erweiterung und energetische Optimierung
eines Mehrfamilienhauses in Bayerisch Gmain,
in Zusammenarbeit und für Architekturbüro Drum, München

- Mitbegründung der Internetzeitschrift www.traversin.de
- Mitbegründung der Forschungsplattform www.entwurfsforschung.de

- 2001*
- Verformungsgerechtes Aufmaß eines historischen Mehrfamilienhauses Familie Fischer, München
 - Entwurf einer Drivingranch für Golfsport, Landshut
 - Aufmaß einer Wohnanlage in München, für Planungsgruppe München
 - Entwurf eines Einfamilienhauses für Fam. Schaller, Starnberg
 - Entwurf eines Einfamilienhauses Fam. Riffeser in Grünwald, für Kontor 2 Architekten

Wettbewerbe

- 2008*
- 5. Internationaler Bauhaus Award 2008; »Wohnungsnöte« Die Wohnung für das Existenzminimum von heute
 - London 2008 – adaptable, mobile architecture gallery on the Thames, architectural association of London
- 2004*
- Wettbewerb Schloss Freiberg in Zusammenarbeit mit Fuchs und Rudolph Architekten
- 2003*
- Wettbewerb BWM Pavillon für die Automobilmesse in Genf für Berktold/Widmann, 3. Platz
 - Kunst im öffentlichen Raum, Stadt München, Pavillonentwurf für die Künstlergruppe 48° nord
 - Städtebauliche Wettbewerbe: Gemeindezentrum Vaterstetten und Wohnsiedlung Köln für Berktold/Widman
- 2002*
- Schulbau in Whyll, in Zusammenarbeit mit Freier Architekt Johann Stegbauer

Lehre

- 2008
- Betreuung von Master- und Bachelorthesisarbeiten, Bauhaus-Universität Weimar
 - Betreuung des Semesterentwurfes im Master „der Ohrenzeuge“, Bauhaus-Universität Weimar
 - Grundlagen des Entwerfens im Bachelor „AddOn“, Bauhaus-Universität Weimar
 - Vorlesung in der Reihe digitale_konsequenz: „der Bleistift reicht nicht mehr“ und „Prozess und Schönheit“ Bauhaus-Universität Weimar
- 2007
- Vorlesungen in der Reihe digitale_konsequenz: „archiTektur-interAktion“ und „Entwerfen mit dem Rechner“ Bauhaus-Universität Weimar
 - Vorlesungen in der Reihe Planungsgrundlagen CAAD: „BIM - building information model“ und „Die digitale Utopie“ Bauhaus-Universität Weimar
 - Betreuung und Organisation des städtebaulichen Entwurfsworkshops „on_site: der campus auf dem Seziertisch“ Bauhaus-Universität Weimar & Roma Tre University
 - Betreuung des räumlich verteilten Netzentwurfes „atelierhaus.her“, Bauhaus-Universität Weimar & Roma Tre University
 - Betreuung des Semesterentwurfes „digital-space: Ein Haus für Stipendiaten“, Bauhaus-Universität Weimar
- 2006
- Betreuung des internationalen Entwurfseminars „digital-space“, Bauhaus-Universität Weimar
 - Betreuung des studentischen Ideen-Workshops „ROM-256“ zur Revitalisierung des Angelo-Mai-Komplexes an der Roma Tre University
- 2003
- Lehrauftrag “Tensegrity”, Fachhochschule München
 - Betreuung des Entwurfsseminars „4D“, Lehrbereich CAX, Fachhochschule München
 - Gastvorlesung über parametrisches Entwerfen,

Fachhochschule München

- Entwurfslehrauftrag „*homeSweetHome*“,
Fachhochschule München
- Entwurfslehrauftrag „*hoheHäuser*“,
Fachhochschule München

2002

- Lehrauftrag und Seminar „*Entwerfen entwerfen*“,
Fachhochschule München
- Lehrauftrag und Seminar „*Biodynamics*“,
Fachhochschule München
- Lehrauftrag und Seminar „*Bauen mit Maschinen*“,
Fachhochschule München

Vorträge

2007

- BAURIEDEL, Christian: „Die Simulation der Stadt: Möglichkeiten und Grenzen“, Vortrag am Workshop computergestützte Simulation, Weimar
- BAURIEDEL, Christian: „nachhaltige Stadtentwicklung & Denken in Prozessen“ Vortrag im NSE-Symposium zur Nachhaltigen Stadtentwicklung (NSE 07)

2006

- BAURIEDEL, Christian: "*Simulations-Patterns zur Erforschung räumlicher Prozesse*";
Chairmen und Vortrag: 18 Forum Bauinformatik, Weimar, September 27-29, 2006
- BAURIEDEL, Christian: "*Untersuchung von räumlich-städtischen Entwicklungen mit Hilfe von modularen Programmbausteinen*"; Vortrag: Doktorantenkolloquium AKAI, Arbeitskreis Architekturinformatik, Weimar, 2006
- BAURIEDEL, Christian: "*Computer-supported simulations for urban planning*";

Vortrag: 17th International Conference on the Applications of
Computer Science and Mathematics in Architecture and
Civil Engineering, Weim

2005

- BAURIEDEL, Christian: „*Computerbasierte Simulationsmethoden für den Städtebau*“;
Vortrag und Organisation Doktorandenkolloquium „Theorien und Modelle“, InfAR, Bauhaus-Universität-Weimar
- BAURIEDEL, Christian: "*Häuser züchten am Computer*";
Vortrag in der Galerie Rose, Landshut
- BAURIEDEL, Christian / KÖNIG, Reinhard:
"*Computergenerierte Stadtstrukturen*";
Vortrag am Department CAAD, Prof. Dr. Hovestadt, ETH Zürich
Vortrag am Department CAAD, Prof. Dr. Junge, TU München
Vortrag am Lehrbereich Städtebau und Entwerfen,
Prof. Dr. Valena, FH München
Vortrag am Department Informatik in der Architektur,
Prof. Dr. Donath, Uni Weimar; 15.03.2005
Vortrag am Berlage Institut, Peter Trummer (Second year research
program: Associative Design and Manufacturing), Stuttgart; 13.04.2005
Vortrag am Seminar für Sozialwissenschaftliche Geographie,
Prof. Dr. Koch, München; 12.05.2005
- BAURIEDEL, Christian: „*Modellsimulationen für die Stadtentwicklung*“;
Vortrag: Graduierungskommission der Bauhaus-Universität-Weimar

2004

- BAURIEDEL, Christian: "*Der Kuhstall der Zukunft*";
Radiointerview zu Architekturutopien im Rahmen der
2. Architekturwoche München, Bayerischer Rundfunk, B2

Veröffentlichungen

- 2008
- DONATH, D.; LOBOS, D.; BAURIEDEL, C. "*One for all, all for one: Connecting Ideas for Collaborative Urban and Architectural Design*". ICE 2008 14th International Conference on Concurrent Enterprising). Lisbon, Portugal, (accepted paper, to be published on 23-25 jun 2008).AUR
 - BAURIEDEL, Christian: „Die Stadt als kontinuierlicher Prozess“. Experiment Bauhaus, 2/2008
 - BAURIEDEL, Christian: „*on_site: der Campus auf dem Seziertisch*“. Der Bogen, 1/2008
- 2007
- BAURIEDEL, Christian: „*Ein Haus für Stipendiaten-Entwurflehre einmal anders*“. Der Bogen, 3/2007
- 2006
- BAURIEDEL, C. / DONATH, D. / KÖNIG, R.: *Simulations-Patterns zur Erforschung räumlicher Prozesse*. In: 18 Forum Bauinformatik, ISBN-10: 3-86068-291-1, ISBN-13: 978-3-86068-291-3 Weimar, September 27-29, 2006
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Forschung an der Bauhaus-Universität Weimar: Wie entstehen Stadtstrukturen und wie können sie nachhaltiger geplant werden?*. Autodesk iNews, Januar 2006
 - KÖNIG, R. / BAURIEDEL, C.: *Analysing the Relations between spatial Structures and social Processes*. Reviewed Paper. In proceedings of the Workshop on Visualization, Analytics & Spatial Decision Support at the GIScience conference, Münster, September 20, 2006
 - KÖNIG, R./ BAURIEDEL, C.: *Modular System of Simulation Patterns for a Spatial-Processes Laboratory*. Reviewed Paper. In Proceedings of the ICA Workshop on Geospatial Analysis and Modeling, Vienna, 8 July 2006
 - BAURIEDEL, Christian / DONATH, Dirk / KÖNIG, Reinhard: *Computer-supported simulations for urban planning*. Paper in Proceedings of the 17th International Conference on the Applications of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering, Weimar, July 12-14 2006, IKM 2006

- 2005
- KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Computergenerierte Stadtstrukturen*. Posterpräsentation bei der CORP - Competence Center of Urban and Regional Planning 2005, Wien
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Wegesystem, Flusssystem und Krieg der Kulturen*. Simulationsmodelle auf der NetLogo Home Page: Community Models; Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. Northwestern University, Evanston, IL. Added Jul 2005
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Simulationsprogramm für komplexere Stadtplanung*. Autodesk iNews, Januar 2005
 - BAURIEDEL, Christian: *Alles im Fluss*. Landshuter Zeitung, 17.2.2005
 - BAURIEDEL, Christian: *Häuser züchten am Computer*. Landshuter Zeitung, 11.2.2005
- 2004
- KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Computer-generated City Structures*. Reviewed Paper in Proceedings of the Generative Art Conference 2004 (Winner of the generative art international competition 2004).
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Computergenerierte Stadtstrukturen*. Projektdokumentation 146 Seiten.
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Das erste Haus. Das Kings-Road-House von Rudolph Schindler*. In: Traversin - Internetzeitschrift für Architektur & andere Künste & Wissenschaften. www.traversin.de
- 2003
- KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Innovationen*. Kapitel in: TEK – Themenheft Nr.5, Seil und Membrankonstruktionen, Hrsg. H. Kloft / F. Mähl, 2003, Universität Kaiserslautern
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *Entwurfsgenerator*. In: archpluspreis 3 - Zweifelsohne, Konzepte und Kritik der jungen Generation, Hrsg. Sabine Kraft, Schirin Taraz-Breinholt, 2003, archplus Verlag GmbH, B47

- 2002
- KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *medienWerkStadt*.
In: Diplombroschüre, FH München, 2004
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian:
Entwurfsgenerator, Onlinepublikation bei www.entwurfsforschung.de
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: *medienWerkStadt*.
In: Baunetz, Diplom der Woche
- 2001
- BAURIEDEL, Christian: *heim arbeit*.
In: Baukonstruktionsbroschüre von Prof. Meck
 - BAURIEDEL, Christian: *hkm7*.
In: Ergebnissepublikation 2001 der Fachhochschule München

Auszeichnungen

- 2005-2007
- Zweijähriges Promotionsstipendium
der Landesgraduiertenförderung Thüringen
- 2004
- Erster Preis "Generative Art International Competition 2004"
- 2003
- Arch+ preis: „*Entwurfsgenerator*“ - Zweifelsohne,
Konzepte und Kritik der jungen Generation
- 2001
- Hochschulpreis m_hh_d, Fachhochschule München

Ausstellungen

- 2007
- KÖNIG, R. / BAURIEDEL, C.: „*Die Stadt im Reagenzglas*“;
Ausstellung in der Galerie zkg-fhm, Josephspitalstr. 15, München,
vom 12.10 bis 06.11.2006
- 2002
- KÖNIG, R. / BAURIEDEL, C.: "Entwurfsgenerator";
Ausstellung bei der Medienagentur Kochan & Partner, München
 - KÖNIG, Reinhard / BAURIEDEL, Christian: "*medienWerkStadt*";
Diplomausstellung im Foyer der FH München
 - KÖNIG, Reinhard / Keller, Ina / BAURIEDEL, Christian: "haus.her"-Projekt
Ausstellung in den temporären Galerieräumen der HypoVereinsbank am Marienhof, München

C3-Copyright

In der vorliegenden Arbeit werden geschützte Markennamen genannt. An dieser Stelle werden die Firmen und ihre Produkte zusammenfassend aufgeführt. Bei der Verwendung von Markennamen in der Arbeit wird nicht wiederholt auf das Copyright hingewiesen.

NIKE ist ein Markenzeichen der Firma:

NIKE INCORPORATED

One Bowerman Drive

Beaverton, OR 97005

AutoCAD ist ein Markenzeichen der Firma:

Autodesk INCORPORATED

San Rafael,

Kalifornien, USA

C4-Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle unmissverständlich gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise entgeltlich/unentgeltlich geholfen:

1. ...
2. ...
- 3.

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder anderen Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

Ort, Datum

Unterschrift

Literaturverzeichnis

-
- [1] ALBERS, Gerd: Stadt Planung. Eine Praxisorientierte Einführung. Primus Verlag, Darmstadt, 2. Auflage 1992. Ersterscheinung 1988.
- [2] ALEXANDER, Christopher: Notes on the Synthesis of Form, Harvard Paperback, Cambridge 1964/71
- [3] ALEXANDER, Christopher: nature of order. Bd. I-IV. Center for Environmental Structure, Berkeley, 2005
- [4] ANDERS, Günther: Die Antiquiertheit des Menschen / Günther Anders. München : Beck. Bd. 1: Über die Seele im Zeitalter der zweiten industriellen Revolution. - 7., unveränd. Aufl., Nachdr. – 1992
- [5] ANDERSSON C, LINDGREN K, RASMUSSEN S, WHITE R: Urban growth simulation from “first principles”, Physical Review E 66 1-9, 2002
- [6] Arch+ : Der Sprawl (109/110 Dezember 1991)
- [7] BAER, Adrian Methodische Probleme des Computergestützten Architekturentwurfs, ETH Zürich Architekturabteilung A16, Verlag der Fachvereine, 1972
- [8] BATTY, Michael, LONGLEY, Paul: Fractal Cities, A Geometry of Form and Function. Academic Press, London 1994
- [9] BATTY, Michael: Generating urban forms from diffusive growth, Environment and Planning A 23, 1991
- [10] BATTY, Michael: Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-based models, and Fractals, MIT Press, London, 2005
- [11] BATTY, Michael; XIE, Y; SUN Z: Modelling urban dynamics through GIS-based cellular automata, Computers, Environment and Urban Systems 23 205-233, 1997
- [12] BENEVOLO, Leonardo: Die Geschichte der Stadt. Campus Verlag GmbH, Frankfurt / New York; 8. Auflage 2000. Italienische Erscheinung 1975 bei Editori Laterza, Rom
- [13] BENGUIGUI, L: A new aggregation model: application to town growth, Physica A 219 13-26, 1995

- [14] BENTLEY, Peter j.; CORNE, David, W - Editors: Creative Evolutionary Systems. Academic Press. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco, USA 2002
- [15] De BERG, Mark; van KREVELD, Marc; OVERMARS, Mark; SCHWARZKOPF, Otfried Cheong: Computational Geometry. Algorithms and Applications, Second Edition. Springer-Verlag 2000.
- [16] Van den BOOM, Holger (1989) „Designvisionen“ Vortragsmanuskript, Braunschweig April 1989
- [17] BOVILL C: Fractal Geometry in Architecture and Design, Birkhäuser, Boston, MA, 1995
- [18] CHRISTIAANSE, Kees (2004) Kaisersrot, <http://www.kaisersrot.com/>, (zuletzt besucht am 21.07.08)
- [19] CLARKE, K; HOPPEN S; GAYDOS, L: A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco bay area, Environment and Planning B: Planning and Design 24 247-261, 1997
- [20] CLIPSON, Colin: Simulation for Planning and Design, in Environmental Simulation, eds. Robert W. Marans and Daniel Stokols, Plenum Press, New York, 1993
- [21] P.COATES, N. Healy, C.LAMB, W.L. VOON : The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules. This paper was presented at Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference (Paper auf CD)
- [22] COUCLELIS, H: From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation, Environment and Planning B: Planning and Design 24 165-174, 1997
- [23] DAWKINS, Richard: Der blinde Uhrmacher. Ein neues Plädoyer für den Darwinismus., Kindler Verlag, München 1987
- [24] DEMERS, Michael N.: Fundamentals of Geographic Information Systems, 2nd edition, John Wiley & sons, New York, 2000
- [25] DERIX, Christian; SIMON, Corinna; COATES, Paul: Morphogenetic CA 69° 40' 33 north. This paper was presented at GA 2003, Milan. Centre for Evolutionary Computing in Architecture (CECA). AVA, UeL London (Paper auf CD)

- [26] DIRLEWANGER, Heinz; Geisler, Eduard; Magnago-Lampugnani, Vittorio: Architektonische Entwurfshilfe auf der Ebene der Gestalt. Architekturpsychologische Forschung. Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1977
- [27] DUARTE, JP; ROCHA, J D M; SOARES, G D: Unveiling the structure of Marrakech Medina: a shape grammar and an interpreter for generating urban form, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 21 317-349, 2007
- [28] DUMMER, Karsten; HUTH, Michael: AutoCAD VBA. Einführung, Anwendung, Referenz. Addison Wesley Verlag, München 2004
- [29] ELENİ, TURNER, THUM: Interacting unities: an agent-based system. This paper was presented at GA 2002. Bartlett School of Graduate Studies, UCL, London, UK. (Paper auf CD)
- [30] ELIAS, Norbert: „Was ich unter Zivilisation verstehe“, Antwort auf Hans Peter Duerr (Aus: „Die Zeit“, Nr. 25/88, Seite 37/38)
- [31] EPSTEIN, J M: *Generative Social Science: Studies in Agent-based Computational Modeling*, University Press, Princeton, NJ, 2006
- [32] EPSTEIN, J M: *Growing Social Science: Social Science from the Bottom Up*, MIT Press, Cambridge, MA, 1996
- [33] FELDT, Alan G.: *CLUG: Community Land Use Game. Player's Manual*. The FreePress. New York, 1972.
- [34] FISCHER, Günther: *Architektur und Sprache. Grundlagen des architektonischen Ausdrucksystems*. Mit einem Vorw. von Jürgen Joedicke. archpaper – Edition Krämer. Karl Krämer Verlag Stuttgart, Zürich 1991.
- [35] FLAKE, Gary William: *The computational beauty of nature: computer explorations of fractals, chaos, complex systems, and adaption*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England 1998
- [36] FLEMMING, Ulrich; WOODBURY, Robert: Software Environment to Support Early Phases in Building Design (SEED): Overview in *Journal of Architectural Engineering*, 1, no. 4, 1995, S. 147-152.

- [37] FRAZER, John: An Evolutionary Architecture. The Architectural Association, London 1995
- [38] FRANCK, G: Soziale Raumzeit, in Raumzeitpolitik Eds D Henckel, M Eberling, Leske and Budrich, Opladen, pp 61-80, 2002
- [39] FRIEDMANN, Hermann: Die Welt der Formen, Vorwort zur ersten Auflage, Beck, 1925
- [40] FANKHAUSER, P: Fractal behaviour of urban patterns on different scales, in Fundamental principles of urban growth, Eds K. Humpert, K Brenner, S Becker, Müller and Busmann, Wuppertal, pp 158-175, 2002
- [41] GOHOUT, Wolfgang: Operations Research: einige ausgewählte Gebiete der linearen und nichtlinearen Optimierung, München, Oldenburg, 2004
- [42] GOLDBERG, David E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison Wesley Longman, Inc. 1989
- [43] HILBERSEIMER, Ludwig: Entfaltung einer Planungsidee. Ullstein Bauwelt Fundamente 1963
- [44] HILLIER, Bill; HANSON, Julienne: The social logic of space. Barlett School of Architecture and Planning. University College London. Cambridge University Press 1984
- [45] HILLIER, Bill: A Theory of the City as Object – Or, how spatial laws mediate the social construction of urban space. University College London, UK. 3rd International Space Syntax Symposium Atlanta 2001
- [46] HILLIER, Bill: The knowledge that shapes the city: The human city beneath the social city. University College London, UK. 4th International Space Syntax Symposium London 2003
- [47] HILLIER B, LEAMAN A, STANSALL P, BEDFORD M: Space Syntax; Environment and Planning B: Planning and Design 3(2) 147–185, 1976
- [48] HUMPERT, Klaus: Einführung in den Städtebau. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 1997
(HUMPERT, Klaus: Das Phänomen der Stadt. Berichte aus Forschung und Lehre. Redaktion Klaus Brenner. Städtebauliches Institut <Stuttgart>: Arbeitsbericht des Städtebaulichen Instituts der Universität Stuttgart ; 47 . 1994)

- [49] HUMPERT, Klaus: Humpert, Klaus / Schenk, Martin: Entdeckung der mittelalterlichen Stadtplanung. Das Ende vom Mythos der 'gewachsenen Stadt', Theiss Verlag, Stuttgart 2001
- [50] HWANG, Frank k.; RICHARDS, Dana S.; WINTER, Pawel: The Steiner Tree Problem. *Annals of Discrete Mathematics*. Elsevier Science Publishers B. V. 1992.
- [51] JONAS, Wolfgang: Design – System – Theorie. Überlegungen zu einem systemtheoretischen Modell von Design-Theorie. Hg. Siegfried Maser. *Designtheorie Band 3*. Verlag Die Blaue Eule, Essen 1994
- [52] JOSSEN, Peter und EYER, Daniel: Wachstumssimulationen. Internetessay: <http://www.fraktalwelt.de/lsys/lsysinhalt.htm>
- [53] KRAWCZYK, Robert J.: Architectural Interpretation of Cellular Automata. This paper was presented at Generative Art 2002. College of Architecture, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, USA. (Paper auf CD)
- [54] KANNENGIESSER, Matthias: ActionScript, das Praxisbuch, Professional Series; Franzis' Verlag GmbH, Poing, 2002.
- [55] KOFLER, Michael: Visual Basic 6. Programmieretechniken, Datenbanken, Internet. Addison Wesley Longman Verlag GmbH. Bonn 1999
- [56] DE LANDA, Manuel: A Thousand Years of Nonlinear History. Zone Books 1997
- [57] LENART, Mihaly: Expertensysteme in der Architektur und im Bauwesen, Birkhäuser Verlag Basel-Boston-Berlin, 1991
- [58] LYNCH, Kevin: Das Bild der Stadt, unveränd. Nachdruck d. 2. Aufl. 1989, Bauwelt Fundamente 16, Birkhäuser 2001
- [59] MAEDA, John: Design By Numbers. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. 1999
- [60] MARCH L, STEADMAN P: The Geometry of Environment: An Introduction to Spatial Organization in Design, R.I.B.A. Press, London, 1971
- [61] MASER, Siegfried: Zur Planung gestalterischer Projekte. Hg. Siegfried Maser. *Designtheorie Band 2*. Verlag Die Blaue Eule, Essen 1993

-
- [62] MITCHELL, Willian J.: The Logic of Architecture. Design, Computation, and Cognition. MIT Press Cambridge, Massachusetts, London 1990
- [63] PARISH Y I H, MÜLLER P: Procedural Modeling of Cities, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2001
- [64] PORTUGALI J.: Self-Organization and the City, Springer, Berlin, 2000
- [65] PREPARATA, Franco P; SHAMOS, Michael Ian: Computational Geometry. An Introduction. Second Printing, Sprinter-Verlag 1985
- [66] PRINTZ, Dieter: Städtebau. Band 1, Städtebauliches Entwerfen. 6. Auflage. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 1995
- [67] PRINTZ, Dieter: Städtebau. Band 2, Städtebauliches Gestalten. 4. Auflage. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 1992
- [68] RECHENBERG, Ingo Evolutionsstrategie. Optimierung technischer Systeme nach den Prinzipien der biologischen Evolution, Stuttgart-Bad Cannstatt 1973
- [69] RESNICK, Mitchel: Turtles, Termites, and Traffic Jams, Explorations in Assiveley Parallel Microworlds. MIT Press, 1994
- [70] RUSSEL S, NORVIG P: Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2nd ed. (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 2002
- [71] SALINGAROS, Nikos A.: Principles of urban Structure, Techne Press, 2005
- [72] SCHAUR, Eda: Ungeplante Siedlungen, non-planned Settlements. Instituts für Leichte Flächentragwerke (IL 39) der Universität Stuttgart. Herausgegeben von Frei Otto. 1990 als Dissertation von Eda Schaur erschienen.
- [73] SCHWEITZER, F: Brownian Agents and Active Particles: Collective Dynamics in the Natural and Social Sciences, Springer, Berlin, 2003
- [74] SEMBOLINI, F: The growth of an urban cluster into a dynamic self-modifying spatial pattern, Environment and Planning B: Planning and Design 27 549-564, 2000

- [75] SPEKTRUM der Wissenschaft, Sonderheft: Computer-Kurzweil II. Zelluläre Automaten von A. K. Dewdney. 1988
- [76] STINY G, GIPS J: Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture, Proceedings of IFIP Congress 1460-1465, 1971
- [77] TEICHMANN K, WILKE J (Eds): Prozess und Form „Natürlicher Konstruktionen“, Ernst & Sohn, Berlin, 1996
- [78] WATANABE, Makoto Sei: Induction Design. A Method for Evolutionary Design. Birkhäuser 2002. Internet: <http://www.makoto-architect.com/idc2000/index2.htm>
- [79] WEGENER M: Urban Land-Use Transportation Models in GIS, Spatial Analysis and Modeling, Eds. D. Maguire, M. Batty, M F Goodchild (ESRI Press, Redlands, CA, S. 203-220, 2005

Glossar

Agentensystem	<p>Ein Agentensystem besteht aus einer Menge von Softwareagenten, die durch ihre Zusammenarbeit eine gemeinsame Funktion erfüllen. Jeder diese Softwareagenten übernimmt eine Teilfunktion. Die Softwareagenten können über Netzwerke miteinander kommunizieren, jeder dieser Agenten stellt Funktionalität für andere Agenten zur Verfügung und nutzt seinerseits andere Agenten zur Erfüllung seiner Teilaufgaben.</p> <p>[Web_www.informatik.fh-luebeck.de/inf/Diplom/Kaben99/node113.html 3/2007]</p>
API	<p>Application Programming Interface. Schnittstelle, über welche die Interaktion zweier Programme realisiert werden kann (z.B. C++ API).</p>
artificial intelligence	<p>Die Fähigkeit eines Computers oder einer Maschine Reaktionen zu zeigen, welche Intelligenz verlangen. Diese Reaktionen basieren auf logischer Abstraktion und Schlussfolgerung, Kreativität, Sprache zu verstehen und die Fähigkeit Entscheidungen zu treffen die auf gemachte Erfahrungen oder ungenügende oder widerstreitende Informationen basieren.</p>
artificial life	<p>Die Simulation von biologischen Phänomenen mithilfe von Computermodellen und Robotern</p>

Atommodell	Als Atommodell wird hier der Untersuchungsrahmen, bezeichnet, wie sich Elemente mit unterschiedlichen Eigenschaften, welche zu verschiedenen Umgebungsanforderungen führen, miteinander kombinieren lassen. Die Eigenart von Atomen, sich über bestimmte Kombinationen von Bindungen zu Molekülen zusammenschließen, welche dann dem Stoff, den sie bilden, ein spezifisches Verhalten verleihen, dient als Leitidee für eine abstrakte Zusammenstellung von Elementen mit unterschiedlichen Funktionen und Anforderungen.
Brownsche Bewegung (auch Wiener-Prozess)	Die Brownsche Bewegung ist ein zeitstetiger stochastischer Prozess, der normalverteilte, unabhängige Zuwächse hat. Benannt wurde der Prozess, die auch als Wiener-Prozess bekannt ist, nach dem amerikanischen Mathematiker Norbert Wiener. Seit der Einführung der Stochastischen Analysis (stochastische Integration, stochastische Differentialgleichungen) durch Itô Kiyoshi in den 1940er Jahren spielt der Wiener-Prozess die zentrale Rolle im Kalkül der zeitstetigen Stochastischen Prozesse und wird in zahllosen Gebieten der Natur- und Wirtschaftswissenschaften als Grundlage zur Simulation zufälliger Entwicklungen herangezogen. [Web_de.wikipedia.org/wiki/Wiener-Prozess 8/2008]
Cluster	[englisch, „Traube, Anhäufung“] Punkthaufen, eine Menge diskreter Werte in einer Umgebung [Web_de.wikipedia.org/wiki/Wiener-Prozess 8/2008]
counting rule	Siehe 6.3.1

diffusion limited aggregation	Das diffusion limited aggregation (DLA) kommt durch zufällige Anlagerung von Teilchen zustande. Grundlage dafür ist die Brownsche Molekularbewegung, nach deren Gesetzmäßigkeiten sich Teilchen in Gasen oder Flüssigkeiten bewegen.
diskret	unstetig, in endlichen Intervallen. Diskret sind z. B. Spekt-rallinien und die Menge der ganzen Zahlen. Gegensatz: <i>kontinuierlich</i> . [Web_Wissen.de]
Dielectric breakdown model	Dielectric breakdown model (DBM) is a macroscopic ma-thematical model combining the diffusion-limited aggrega-tion model with electric field. It was developed by Nie-meyer, Pietronero, and Weismann in 1984. It describes the patterns of dielectric breakdown of solids, liquids, and even gases, explaining the formation of the branching, self-similar Lichtenberg figures. [Web_en.wikipedia.org/wiki/Dielectric_breakdown_model 8/2008]
Generative Methode	Unter diesem Oberbegriff kann verstanden werden, dass der Entwurf systematisch mit Computerprogrammen er-zeugt wurde, welche eingeschaltet werden um mit einem gewissen Grad an Autonomie zum Entwurfsergebnis bei-zutragen oder es zu generieren.
Genetische Algorithmen	Genetische Algorithmen (GA) sind Algorithmen, die eine Lösung zu einem nicht analytisch lösbaren Problem finden, indem sie "Lösungsvorschläge" solange verändern und miteinander kombinieren, bis einer dieser Vorschläge den gestellten Anforderungen entspricht. [Web_de.wikipedia.org/wiki/Genetischer_Algorithmus 3/2007]

Genotyp	die Gesamtheit aller Erbanlagen (Gene) eines Organismus. Sie legen die Schwankungsbreite fest, innerhalb der sich die Gesamtheit aller Merkmale (→ Phänotyp) unter dem Einfluss der Umwelt entwickeln können. [Web_Wissen.de]
Geoinformationssystem (GIS)	Ein Geoinformationssystem (Kurzform GIS) oder Geographisches Informationssystem ist ein „rechnergestütztes Informationssystem, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und grafisch präsentiert werden.“ [Lit.: R. Bill, 1994]
Graphen	die grafische Darstellung einer Funktion $y = f(x)$ im kartesischen Koordinatensystem. Im engeren Sinne ein aus Knoten und Kanten (Verbindungslinien zwischen je zwei Knotenpunkten) bestehendes Gebilde, das zur grafischen Darstellung von Relationen dient. [Web_Wissen.de]
Graphentheorie	Die Graphentheorie ist ein Teilgebiet der Mathematik, das die Eigenschaften von Graphen und ihre Beziehungen zueinander untersucht. Dadurch, dass einerseits viele algorithmische Probleme auf Graphen zurückgeführt werden können und andererseits die Lösung graphentheoretischer Probleme oft auf Algorithmen basiert, ist die Graphentheorie auch in der Informatik, insbesondere der Komplexitätstheorie, von großer Bedeutung. Die Untersuchung von Graphen ist auch Inhalt der Netzwerktheorie. [Web_de.wikipedia.org/wiki/Graphentheorie 8/2008]

Initialisierung	die Erzeugung eines genau festgelegten Anfangszustandes bei Computern, Programmen o. Ä., um das erwünschte Betriebsverhalten zu erwirken [Web_Wissen.de]
Komposition	Kom po si ti on [f. 10] 1 Zusammensetzung, Anordnung 2 Aufbau (eines Bildes, eines literarischen Werkes) 3 Musikstück [<i>lat. compositio</i> , Gen. <i>-onis</i> , "Zusammenstellung, Zusammensetzung", zu <i>componere</i> , [komponieren]] [Web_Wissen.de]
L-System (Lindenmayer-System)	Ein L-System (Lindenmayer-System) ist eine Zeichenkette (Generation 0) gepaart mit einer Ersetzungsregel, die besagt, welche Teile einer Zeichenkette durch eine neue Zeichenkette ersetzt werden sollen, um die nächste Generation (wieder eine Zeichenkette) zu erhalten. Die Idee für die L-Systeme kam von Aristid Lindenmayer, daher der Name. [Web_de.wikipedia.org/wiki/L-System 3/2007]
Nachhaltigkeit	Durch den Umweltgipfel in Rio de Janeiro im Jahr 1992 geprägter Begriff (engl. Sustainable Development). Bezeichnet, dass eine getroffene Maßnahme einen effektiven und fortwährenden Einfluss auf eine Entwicklung ausübt.

Nostalgie	Nostalgie leitet sich ab von den griechischen Wörtern nostos (Rückkehr, Heimkehr, Vergangenheit) und algos (Schmerz). Heute versteht man unter Nostalgie eine wehmütige Hinwendung zu vergangenen Zeiten, die in der Erinnerung oftmals stark idealisiert und verklärt reflektiert werden. Dabei kann es sich sowohl um frühere Epochen als auch um ganz individuelle Lebensabschnitte handeln. Nostalgie äußert sich in einem Hinterhertrauern der guten alten Zeit, in der angeblich alles viel schöner und besser war als in der Gegenwart. Beispiele hierfür sind das goldene Zeitalter, die Antike, das Mittelalter, die Kaiserzeit, die Fünfzigerjahre.
Partikelsystem	Unter Partikelsystemen versteht man eine Menge autonomer Einheiten, die alle über gleiche Eigenschaften und somit über ein gemeinsames Verhalten verfügen. Die Einheiten des Systems können mit Objekten in ihrer Umgebung interagieren. Man kann die Partikel mit Wassermolekülen vergleichen, die alle über dieselben Eigenschaften verfügen und beispielsweise mit einem Stein in einem Wasserstrom insofern in Wechselwirkung treten, als sie von diesem abgelenkt werden oder der Stein vom Strom bewegt wird.
Pathfinding	Pathfinding ist in der Informatik die algorithmengestützte Suche nach dem oder den optimalen Wegen (englisch path, Pfad) von einem gegebenen Startpunkt zu einem oder mehreren Zielpunkten. Die Einsatzgebiete reichen von Netzwerk-Flussanalyse über Routenplanung bis zu Computerspielen. [Web_de.wikipedia.org/wiki/Pathfinding 8/2008]

Phänomenologie	die; -, kMz. 1. Teilgebiet einer wiss. Disziplin, das sich mit der Beschreibung und Klassifikation der Gegenstände des Wissenschaftsgebietes befasst 2. philosophische Lehre von den Erscheinungen der Dinge [Web_Wissen.de]
Raumstruktur	Unter Struktur (von lat.: structura = ordentliche Zusammenfügung, Bau, Zusammenhang; bzw. lat.: struere = schichten, zusammenfügen) versteht man den (inneren) Aufbau einer Sache oder eines Systems, also die Art und Weise wie Teile eines Ganzen untereinander und zu diesem Ganzen verbunden sind. In dieser Arbeit bedeutet Raumstruktur insbesondere den räumlichen Aufbau von dreidimensionalen Stadtgeometrien.
Phänomen	Das Phänomen (Plural Phänomene, oder selten das Phänomenon, Plural Phänomena, die Erscheinung) ist ein mit den Sinnen wahrnehmbares einzelnes Ereignis, im weiteren Sinne die sinnliche Wahrnehmung eines Ereignisses. In dieser Arbeit sind das Veränderungen in den Raumstrukturen.
Phänomenologie	Die Phänomenologie (griechisch phainomenon „Sichtbares, Erscheinung“; logos „Rede, Lehre“). Phänomenologen sehen den Ursprung der Erkenntnisgewinnung in den unmittelbar gegebenen Erscheinungen. Entsprechend untersuchen sie ausschließlich Zusammenhänge zwischen diesen Erscheinungen. Diese formalen Beschreibungen geben grundsätzlich den Anspruch aller phänomenologischen Ansätze wieder, seien es philosophische oder naturwissenschaftliche, literarische oder psychiatrische.

Simulation	<p>Die Simulation oder Simulierung ist eine Vorgehensweise zur Analyse von Systemen, die für die theoretische oder formelmäßige Behandlung zu kompliziert sind. Dies ist überwiegend bei dynamischem Systemverhalten gegeben. Bei der Simulation werden Experimente an einem Modell durchgeführt, um Erkenntnisse über das reale System zu gewinnen. Im Zusammenhang mit Simulation spricht man von dem zu simulierenden System und von einem Simulator als Implementierung oder Realisierung eines Simulationsmodells. Letzteres stellt eine Abstraktion des zu simulierenden Systems dar (Struktur, Funktion, Verhalten). Der Ablauf des Simulators mit konkreten Werten (Parametrisation) wird als Simulationsexperiment bezeichnet. Dessen Ergebnisse können dann interpretiert und auf das zu simulierende System übertragen werden.</p> <p>[Web_de.wikipedia.org/wiki/Simulation 8/2008]</p>
spatial	<p>spatial wird im Rahmen von Geographischen Informationssystemen Geoinformationssystem für die Beschreibung räumlicher (geographischer) Beziehungen verwendet.</p> <p>[Web_Wissen.de]</p>

Tetris	<p>(russisch: Тетрис) ist ein Computerspiel, bei dem man nacheinander einzeln von oben herunterfallende, stets aus vier Quadraten zusammengesetzte Formen in einem rechteckigen Spielfeld so (in 90-Grad-Radien) drehen und platzieren muss, dass sie am unteren Rand horizontale, möglichst lückenlose Reihen bilden. Sobald eine Reihe von Quadraten komplett ist, wird sie entfernt, und alle darüber liegenden Reihen rücken nach unten und geben damit einen Teil des Spielfeldes wieder frei. Für das gleichzeitige Tilgen mehrerer Reihen erhält der Spieler eine höhere Punktzahl pro Reihe als für eine einzelne Reihe. Der Name des Spiels rührt von dem griechischen Wort für vier, tetra, und bezeichnet das gleichzeitige Tilgen von vier Reihen sowie die Zahl der Quadrate pro Form.</p> <p>[Web_de.wikipedia.org/wiki/Tetris 8/2008]</p>
Top-Down und Bottom-Up	<p>Als Top-Down (engl., etwa „von oben nach unten“) und Bottom-Up (engl., etwa „von unten nach oben“) werden zwei entgegengesetzte Vorgehensweisen bezeichnet, die in verschiedenen Sinnzusammenhängen verwendet werden. Top-Down bezeichnet eine Methodik bei der vom Abstrakten beginnend eine schrittweise Konkretisierung vorgenommen wird. Grundsätzlich werden damit zwei komplementäre Herangehensweisen an Problemstellungen bezeichnet, die entweder von allgemeinen Ansätzen auf spezielle Lösungen kommt (top down) oder umgekehrt.</p> <p>[Web_de.wikipedia.org/wiki/Bottom-Up 8/2008]</p>
Voting rule	Siehe 6.3.1

Zellulärer Automat (auch: Zellularer Automat)	dienen der Modellierung spatial diskreter dynamischer Systeme, wobei die Entwicklung einzelner Zellen zum Zeitpunkt $t+1$ primär von den Zellzuständen in einer vorgegebenen Nachbarschaft und vom eigenen Zustand zum Zeitpunkt t abhängt. [Web_de.wikipedia.org/wiki/Zellulärer_Automat 3/2007]
----------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------