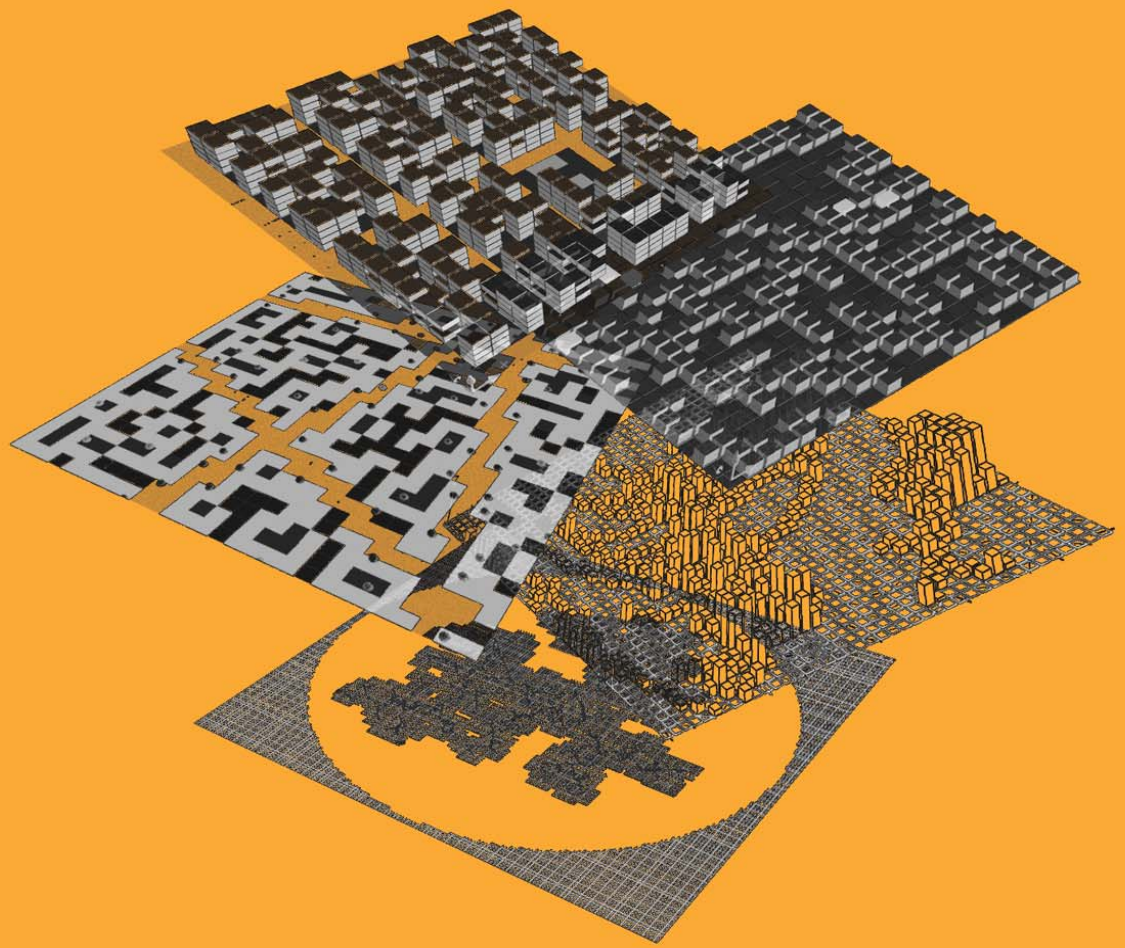
Computergenerierte Stadtstrukturen v 1.0

Reinhard König Christian Bauriedel



Grundlegende Methoden für die Simulation städtischer Entwicklungsprozesse

Computergenerierte Stadtstrukturen

Grundlegende Methoden für die Simulation städtischer Entwicklungsprozesse

Reinhard König und Christian Bauriedel

Entstanden im Rahmen einer Diplomarbeit an der Technischen Universität Kaiserslautern bei
Prof. Dipl. Ing. Meyerspeer, Prof. Dipl. Ing. Neppl (TU Karlsruhe)

2004

Computergenerierte Stadtstrukturen
Technischen Universität Kaiserslautern

Satz, Layout, Grafiken, Texte und alle Abbildungen sind, sofern keine Quelle angegeben ist, von uns erstellt worden.
Die Programmcodes zur Generierung der abgebildeten Strukturen, wurden von uns geschrieben.

© Reinhard König und Christian Bauriedel, November 2004

Vorbemerkung

Mit unserer Arbeit bewegen wir uns auf einem Feld, das über weite Strecken nur noch wenige Ähnlichkeiten mit der für Architekten vertrauten Landschaft hat. Wir glauben, dass es, um der konstruktiven Auseinandersetzung mit der hier gestellten Aufgabe willen, nötig war, jenseits der wohlbekannten und ausgetretenen Wege nach neuen Möglichkeiten nicht nur der Problemlösung, sondern auch der Problemstellung und Methodengenerierung zu suchen. Dabei werden wir uns mit mathematischen Methoden und deren Umsetzung in ein Computermodell beschäftigen und zu diesem Zweck immer wieder auf Modelle und Ansätze aus Bereichen der Informatik, Biologie, Geologie, Physik, Wissenschaftstheorie und Gesellschaftswissenschaften treffen. Wir können auf diesen Gebieten nur als Laien agieren und müssen uns auf jene Teile beschränken, die uns als wesentlich erscheinen.
Wir hoffen, am Ende der Arbeit die vielfach an uns herangetragene Frage, welchen Sinn diese Auseinandersetzung für die Architektur hat, die ihrem Wesen nach in der praktischen Anwendung lebt, hinreichend beantwortet zu haben.

Wir möchten, Herrn Prof. Meyerspeer (TU Kaiserslautern) und Herrn Prof Neppl (TU Karlsruhe) für eine Betreuung danken, die es uns ermöglicht hat, innerhalb großer Spielräume weit von den ursprünglichen architektonischen Fragestellungen abzuschweifen um neue Wege für deren Beantwortung zu erkunden. Ferner gilt unser Dank Herrn Prof. Dr. Valena (FH München) für seine wertvollen Hinweise auf städtebauliche Konzepte und Herrn Prof. Bucher und Herrn Prof. Dr. Winko (FH München) für die Gespräche über eine theoretische Einbettung der Arbeit, sowie Herrn Jun. Prof. Dr. Matthias Castorph und Herrn Jun. Prof. L.J.A. Merx für ihre Anregungen. Für die abschließende Durchsicht und Korrekturhinweise bedanken wir uns bei Herrn Dipl. Soz. Andreas Hartje und Frau Eva Brunner.

Reinhard König und Christian Bauriedel

„Ist der Forscher einem Schiffer zu vergleichen, der sich gern im engen Fahrtwasser 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 Hermann, Die Welt der Formen, Vorwort zur ersten Auflage 1925

Inhalt

Zielsetzung 8

1. Geschichtliche Differenzierung stadtgenerierender Faktoren 10
   1.1. Industrielle Revolution 12
   1.2. Postliberale Stadt 13
   1.3. Moderne Stadt 16
   1.4. Die heutige Situation 22

2. Analyse bestehender Programme 26
   2.1. parametrisierte Entwurfsmodelle 27
   2.2. Entwurfsgenerator 30
   2.3. Induction City 32
   2.4. KaisersRot 33

3. Konzeption der Entwurfsumgebung 34
   3.1. Beschreibung mit Hilfe von Entwurfsebenen 36
   3.2. Ziele der Teilsysteme 37
   3.3. Strukturelemente 40

4. Beschreibung der Computermodelle 42
   4.1. Agentensysteme 44
   4.2. Diffusion limited aggregation 47
   4.3. Termiten 48
   4.4. Felder 49
   4.5. Zelluläre Automaten 51
   4.6. L—Systeme 52
   4.7. Genetische Algorithmen 53
   4.8. Graphen 53

5. Entwicklung der Entwurfsumgebung 54
   5.1. Informationsebene 56
   5.2. Erschließung 58
   5.3. Bebauung 78
   5.4. Optimierung 92

6. Feldversuche 96
   6.1. Interface 98
   6.2. Strukturdifferenzierung 102
   6.3. Franzosenviertel 108

7. Diskussion 122
   7.1. Simulationen 124
   7.2. Einordnung in ein Planungssystem 126
   7.3. Anwendungs- und Entwicklungsmöglichkeiten 128
   7.4. Beurteilung der Entwurfsumgebung 130

Anhang 132
   Programmcode 133
   Literaturverzeichnis 142
   Internet 144
   - Exkurs ‚computergenerierte Strukturformen' als pdf-Datei
   - Exkurs ‚Entwurfsgenerator' als pdf-Datei
   Kontakt 146

Zielsetzung

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

Wie kommt es in Städten zu bestimmten Strukturbildungen und welche Kräfte spielen dabei eine Rolle?
Auf welche Elemente lassen sich die Phänomene reduzieren, um die zugehörigen Kombinationsregeln zu finden?
Wie müssen allgemeingültige Prinzipien formuliert sein, um die urbanen Prozesse beschreiben zu können, damit unterschiedliche strukturelle Eigenschaften erzeugt werden können?

Jeder von uns war bereits in einigen 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.
Worauf beruhen die Wesensmerkmale unterschiedlicher Siedlungsstrukturen und wie sind sie entstanden. Im ersten Kapitel werden wir die Stadtentwicklung innerhalb verschiedener historischer Perioden betrachten und die Grundthemen der Stadtstruktur, diese „gewissen Gesetzmäßigkeiten" zu erfassen und zu erklären versuchen.

Nach der Analyse und Besprechung einiger beispielhafter Arbeiten, die sich diesem Thema auf ähnliche Weise angenähert haben, wird im dritten Kapitel ein umfassendes Konzept dafür entwickelt, 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, wodurch die Zusammenhänge zwischen den Elementen und den Regeln ihres Zusammenwirkens untersucht werden können. Die einzelnen Ebenen setzen sich jeweils mit Systemen auseinander für die Bearbeitung 1. der zugrunde liegenden Informationsstrukturen, 2. der linearen Erschließungswege, verbunden mit der Flächenbesetzung, 3. der darauf aufbauenden Bebauungsstrukturen, und 4. der Optimierung der Ergebnisse nach bestimmten Zielkriterien. Von dem Zusammenwirken der vier Ebenen erhoffen wir uns die Erfassung eines möglichst breiten Spektrums der städtischen Entwicklungs- und Veränderungsprozesse. Die dazu notwendigen Computermodelle werden im vierten Kapitel beschrieben.

Die eigentliche Umsetzung der vier Entwurfsebenen, deren Zusammenspiel im Rahmen eines Programms als „Entwurfsumgebung" bezeichnet wird, findet sich im fünften 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, Maßstabsebene und Aufgabenstellung mit verschiedenen Eigenschaften belegt werden. Sind die Elemente bestimmt, werden deren Relationen definiert und die Grenzen des Systems festgelegt. Innerhalb dieses Systemmodells 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 Selbstorganisation zum Tragen, durch welche sich die Elemente nach dem bottom-up Prinzip ordnen können. Das bedeutet, dass es keine vorgegebenen Muster gibt, sondern 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.

Den direkten oder indirekten Nutzen unserer Arbeit sehen wir darin,
- erforschen zu können, wie die Parameter, welche die bestehenden Stadtstrukturen (siehe Kapitel 1) erzeugt haben, in mathematische Steuerungsparameter für ein Programm übersetzt werden können;
- ein entsprechend neues Verständnis für die Stadtentwicklung erlangen zu können;
- die Grundlage für ein Experimentieren mit den strukturellen Eigenschaften bereitstellen zu
  können;
- das einfache und effiziente Herstellen alternativer Lösungen zu ermöglichen.
- gültige, rechnerische Modelle zu schaffen, anhand deren wir Stadtentwicklungsprozesse simulieren, deuten und prognostizieren können.

Nach der Entwicklung der Entwurfsumgebung werden im sechsten Kapitel die Möglichkeiten des Programms erprobt und veranschaulicht. Die erzeugten Strukturen konzentrieren sich hauptsächlich darauf, in einem Spektrum zu operieren, das vom reinen Wohnbau, in dem aber immer noch beispielsweise der freie Schriftsteller seinen Arbeitsplatz hat, bis zum reinen Gewerbegebiet, im dem immer noch einige Hausmeister wohnen mögen, reicht. Die strukturellen Überlegungen setzen dabei beim Gesamtzusammenhang des Stadtgefüges an und führen bis hin zu der Einordnung einzelner Gebäude als Nutzungselemente in die jeweilige Stadtteilstruktur; auch Fragen der Stadtgestalt reichen vom Gesamtbild der Stadt bis zur Durchformung städtebaulicher Teilräume.

Die Ergebnisse unserer Arbeit unterziehen wir im letzten Kapitel einer kritischen Besprechung.

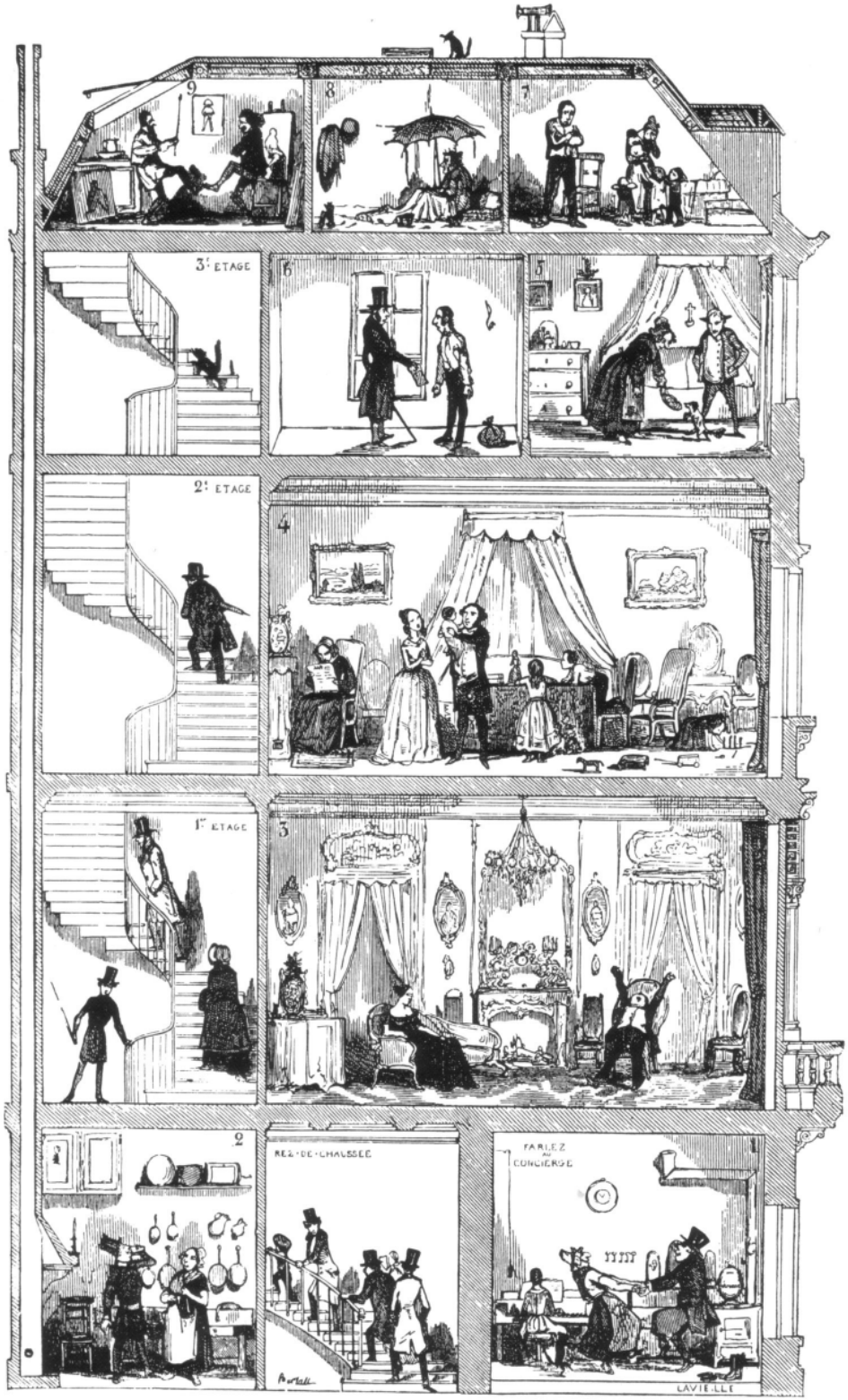
Es ist uns klar, dass diese selbst gesteckten Ziele im Rahmen einer ersten Abschlussarbeit schwer zu erreichen sind. Dennoch sehen wir keinen Sinn in einer weiteren Beschränkung der Aufgabe auf Teilbereiche, da wir befürchten müssten, so das Gesamtziel aus den Augen zu verlieren.

„Computer offer an indispensable aid. For instance, instead of studying a rain forest to 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.“

Manuel de Landa: A Thousand Years of Nonlinear History.

Je niedriger du das Ziel setzt,
um so weniger wirst du es erreichen,
denn die Kräfte nehmen ab,
wenn nichts winkt.

F. J. Stahl, aus dem Heliandkreis



Geschichtliche Differenzierung stadtgenerierender Faktoren

Abbildung 1.1 (vorige Seite) aus BENEVOLO [03], S. 849: Querschnitt eines Pariser Hauses aus dem Jahr 1853, der die Wohnverhältnisse der einzelnen Mieter auf den verschiedenen Stockwerken zeigt: die Familie des Hausmeisters im Parterre; ein sich langweilendes reiches Bürgerehepaar 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.

1. Geschichtliche Differenzierung stadtgenerierender Faktoren

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 haben wir auf ausgewählte Stellen aus ‚Die Geschichte der Stadt' von Leonardo Benevolo [03] zurückgegriffen, um am Ende jedes Abschnitts die relevanten Parameter in abstrahierter Form zusammenzufassen.

1.1 Industrielle Revolution:

Wesentliche Einflüsse auf die Stadtentwicklung:

1. Die sinkende Sterblichkeitsrate bewirkte ein Bevölkerungswachstum.
2. Von der Landwirtschaft, der Industrie und der im tertiären Bereich produzierten Güter und Dienstleistungen, technischer Fortschritt und allgemeiner wirtschaftlicher Aufschwung führen 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 –wege.
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. Die neuen Strömungen im politischen Denken:
   Die Ökonomen rieten dazu, die öffentlichen Eingriffe in allen Bereichen des sozialen Lebens – auch in dem der Städteplanung 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 unkontrollierten Stadtentwicklung zur Folge, deren materielle Auswirkungen (Verkehrschaos, Gesundheitsgefährdung, Hässlichkeit) das Leben der unteren Klassen immer unerträglicher werden ließen und von einem bestimmten Punkt an auch die Lebensbedingungen der übrigen Bevölkerung bedrohten.
   Daraus leiteten sich Forderungen nach neuen Formen öffentlichen Eingreifens ab.

Die damalige Situation (zweite 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 wir „die liberale Stadt" nennen werden – 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 Industriegesellschaft galt, erwies sich als ungeeignet, um die mit dem wirtschaftlichen Aufschwung verbundene Veränderungen im Bereich des Wohnungs- und Städtebaus in geordneten Bahnen lenken zu können. Die ärmeren Teile der Bevölkerung waren von den schlechten Lebensbedingungen in den Industriestädten am stärksten und unmittelbarsten betroffen (Abb. 1.2 und 1.3), aber auch die höheren Gesellschaftsschichten konnten sich ihnen nicht völlig entziehen.
-> Bürgerproteste gegen die herrschenden Zustände (verschmutzte Städte, Choleraepidemien) hatten die Einführung von Gesundheitsgesetzen zur Folge. Diese veränderten die Baustrukturen und damit die hygienischen Bedingungen.

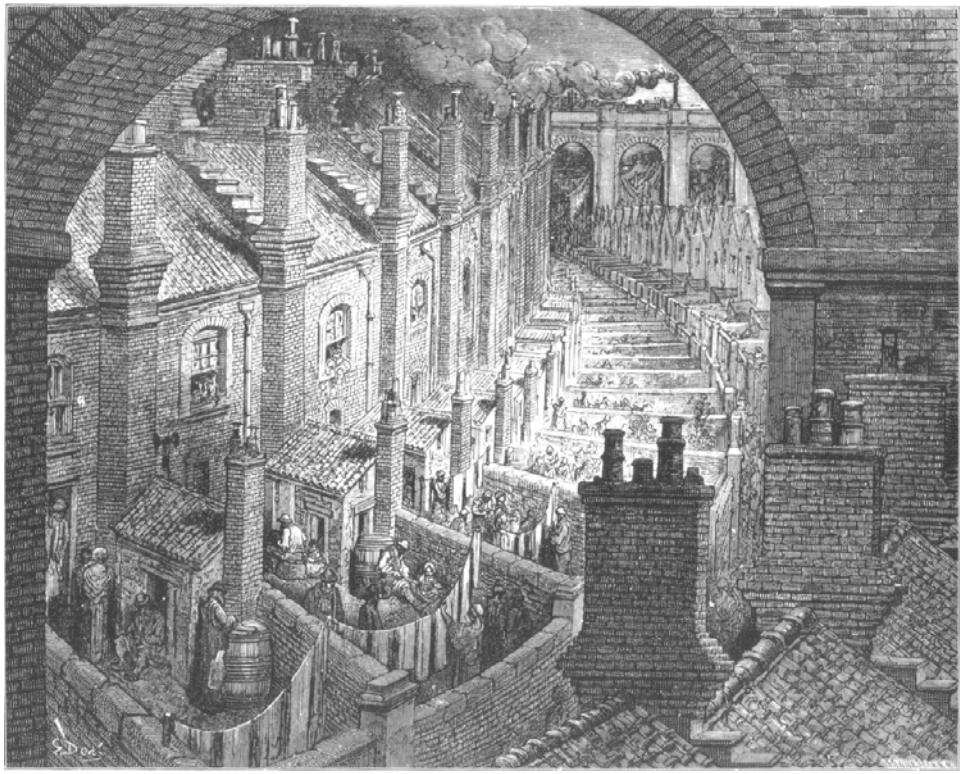
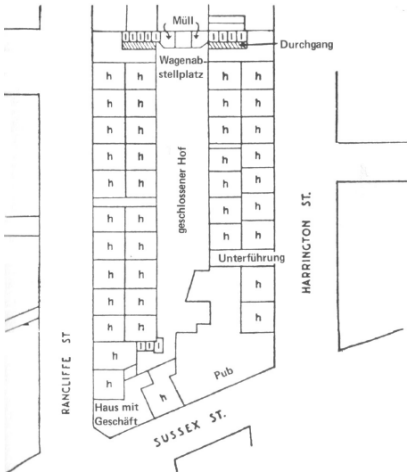
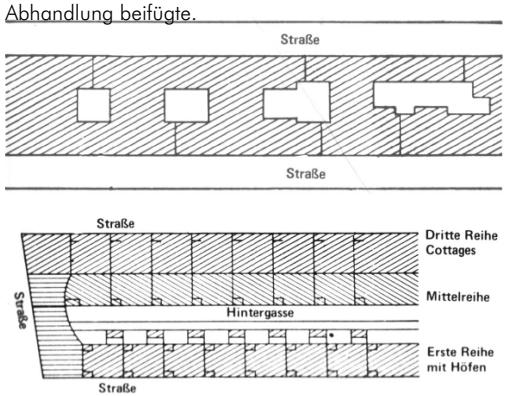


Abbildung 1.2 aus BENEVOLO [03], S. 792: Ein zwischen Eisenbahnbrücken gelegenes Arbeiterviertel in London (Stich von Gustave Doré aus dem Jahre 1872).

Abb. 1.3 (unten) aus BENEVOLO [03], links S. 799: Die Häuser (h) einer Arbeitersiedlung in Nothingham mit im Hof liegenden Toiletten (1) nach den Aufzeichnungen einer Untersuchungskommision aus dem Jahre 1845.

(rechts) S. 803: Zwei Detailzkizzen der neuen Stadtviertel von Manchester, die Friedrich Engels seiner Abhandlung beifügte.





1.2 Die „post-liberale“ Stadt

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. 1.1). 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. Dies markierte den Übergang von der „liberalen“ zur „post-postliberalen“ Stadt. (Abb. 1.4 - 1.6)

Wesentliche Einflüsse auf die Stadtentwicklung:

1. Die öffentliche Verwaltung und die privaten Grundstücksbesitzer fanden zu einer Einigung: Jeder anerkannte dabei die Verfügungsgewalt des anderen in dessen jeweiligen Bereich, und die Grenzen zwischen diesen beiden Bereichen wurden genau festgelegt. 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.). Alle übrigen Teile, also alle Grundstücke, die durch diese städtische Infrastruktur urbanisiert, d. h. bebaubar gemacht wurden, standen zur freien Verfügung ihrer Besitzer. Gleichzeitig aber hatte die Verwaltung gegenüber den privaten Grundbesitzern keinerlei Vorrechte, wenn sie öffentliche Gebäude (Schulen, Krankenhäuser usw.) errichten oder Parks und Ähnliches anlegen wollte; sie musste die hierfür benötigten Grundstücke genau wie jeder andere Interessent auf dem freien Markt erwerben. Hier hat auch die Unterscheidung in primäre und sekundäre Infrastruktur ihren Ursprung.

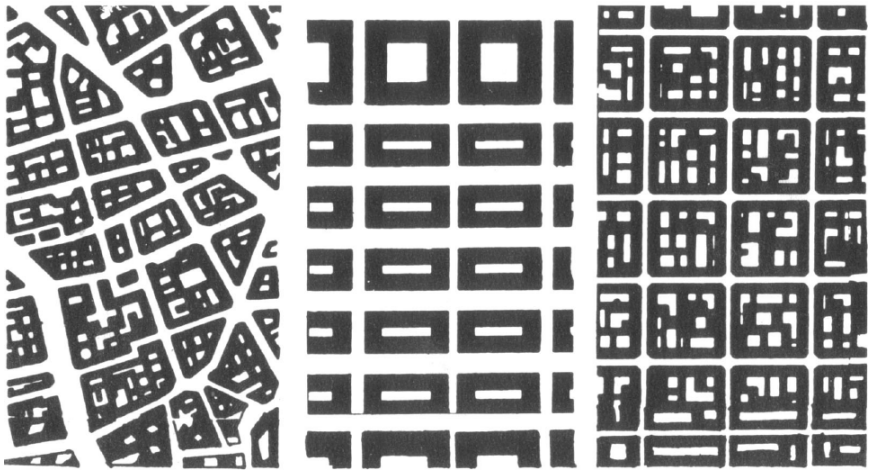
2. Über die Nutzung der einzelnen Grundstücke entschied allein der jeweilige – private oder öffentliche – Besitzer. Die Verwaltung nahm auf diese Nutzung nur indirekt Einfluss durch die von ihr erlassenen Verordnungen, mit denen die Ausmaße der privaten Bauten im Verhältnis zu den sie umgebenden öffentlichen Bereichen (Straßen, Bürgersteige etc.) und den benachbarten Gebäuden festgesetzt wurden. 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. Diese galten als unwiederbringliche Ausgaben, und so befanden sich die Stadtverwaltungen ständig im Defizit.
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, dem Zentrum des Handels, 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 – die in den oberen Stockwerken gelegenen Wohnungen, Büros usw. – mussten sich diesem primär an den Anforderungen des Verkehrs und des Handels ausgerichteten Schema unterwerfen und die damit verbundenen Unannehmlichkeiten – das Durcheinander des Verkehrs, den Lärm und das weitgehende Fehlen von Licht und frischer Luft – 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, wo die Wohngebiete vorherrschten.

   Um Grundstücke für Wohnzwecke zu bebauen, standen den Besitzern zwei – ökonomisch gesehen etwa gleich lohnende – Bauweisen zu Auswahl: eine Bebauung von geringer Dichte, d.h. das



Abbildung 1.4 - 1.5 aus BENEVOLO [03], 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.



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.

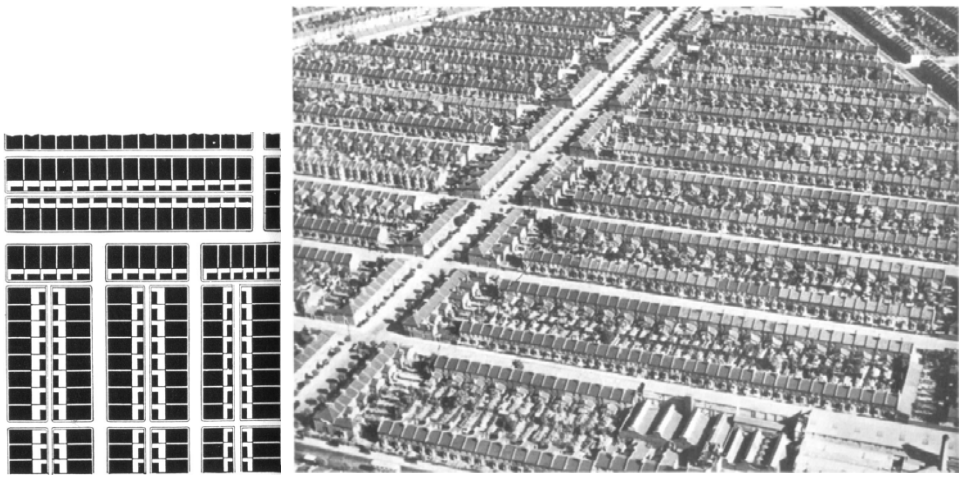


Abbildung 1.6 aus BENEVOLO [03], S. 818: Beispiel für die Siedlungen an der Peripherie englischer Städte, die gemäß den 1875 erlassenen Bestimmungen angelegt worden sind: Das Bestreben, trotz dieser Verordnungen möglichst profitable Häuser zu bauen, führte zu einer extremen Uniformität dieser Sieidlungen.

Abstraktion

Bauweise für innerstädtische Gebiete:

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

Parametersystem A:

- Erschließungssystem; davon abgeleitete Blocks, welche in Parzellen unterteilt werden.
- Bebauung an Baulinie zur Straße und 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 an Baulinie von Straße zurückgesetzt.

1.3 Die moderne Stadt

„Zur gleichen Zeit [etwa 1922] veränderten sich auch die Vorstellungen von dem, was Stadtplanung leisten solle. 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." **ALBERS [01], S. 36ff** (Abb. 1.7 - 1.18)

Wesentliche Einflüsse auf die Stadtentwicklung:

1. **Analyse der Aktivitäten, die das Leben in der modernen Stadt bestimmen.**
   Die Vorstellung von der Stadt als einer Einheit stand einer genaueren Analyse der verschiedenen Aktivitäten, die das städtische Leben strukturierten, nicht im Wege; Le Corbusier unterschied vier solcher Aktivitäten:
   - 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 neu:
   - Der Wohnbereich, in dem die Menschen den größten Teil des Tages verbringen, wird zum wichtigsten Element der Stadt. Dieser Bereich darf jedoch nicht von den übrigen Einrichtungen, die ihn unmittelbar ergän-

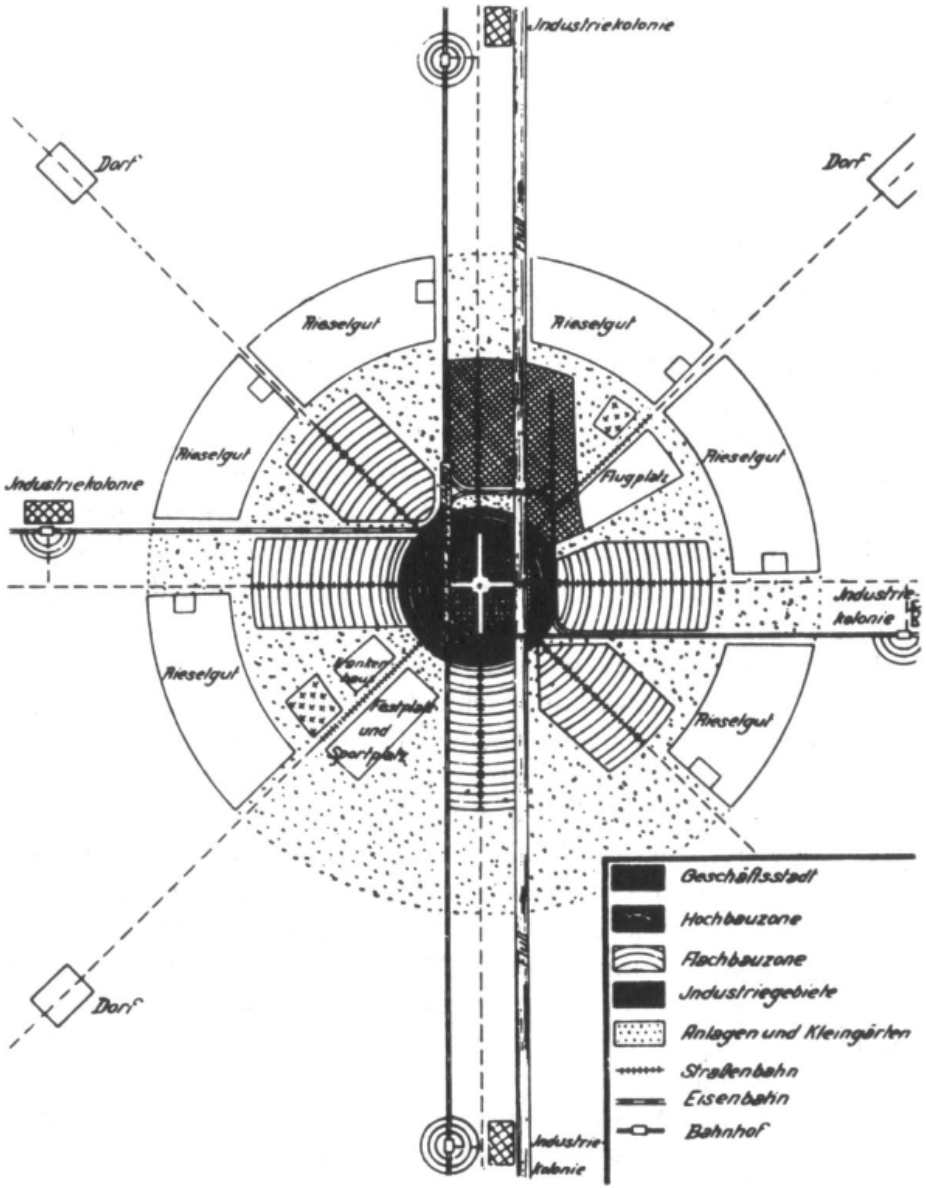


Abbildung 1.7 aus ALBERS [01], S. 38: Stadtdiagramm Heiligenthal, 1921

zen – den „Verlängerungen der Wohnung“, wie Le Corbusier sie nannte -, getrennt werden.
- Alle Sektoren des produktiven Bereichs (Landwirtschaft, Industrie und Handel) gelten als gleichgewichtig und bestimmen die drei Grundtypen menschlicher Ansiedlungen:
    - Arbeiten
    - die über das ganze Land verteilten landwirtschaftlichen Betriebe
    - die langgestreckte lineare Industriestadt
    - die radiozentrisch angelegte Stadt für den Handel

Die Freizeitaktivitäten werden in ihrer Bedeutung aufgewertet und bedürfen eigens dafür geschaffener offener Bereiche, die über das gesamte Stadtgebiet verteilt sein sollen (Grünanlagen für Sport und Spiel unmittelbar vor den Wohnhäusern, Parks für einzelne Stadtteile und für die Stadt als Ganzes und ausgedehnte regionale und nationale Naturschutzgebiete). Diese Grünanlagen, die in der bürgerlichen Stadt lediglich isolierte Inseln innerhalb des dicht bebauten Organismus waren, sollen einen einzigen zusammenhängenden Bereich bilden, in den alle anderen Elemente der Stadt eingefügt werden – damit würde die Stadt zu einem einzigen großen Park werden, der so angelegt ist, dass er allen Funktionen und Anforderungen des städtischen Lebens gerecht wird.
- Das herkömmliche Verkehrswesen wird je nach der 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; dabei sollen jeweils für die Fußgänger, die Fahrräder, die langsamen und die schnellen Fahrzeuge eigene Wege bzw. Straßen angelegt werden. Dieses System soll den gesamten Raum der neuen „Park Stadt“ in frei gezogenen Linien durchziehen.

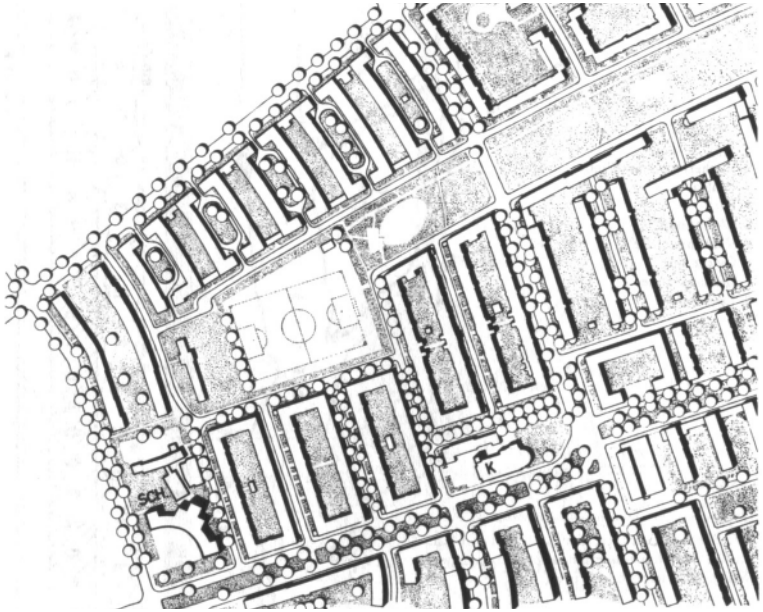


Abbildung 1.8 aus ALBERS [01], S. 40: Bebauungsschema Dulsberg, Hamburg, 1919

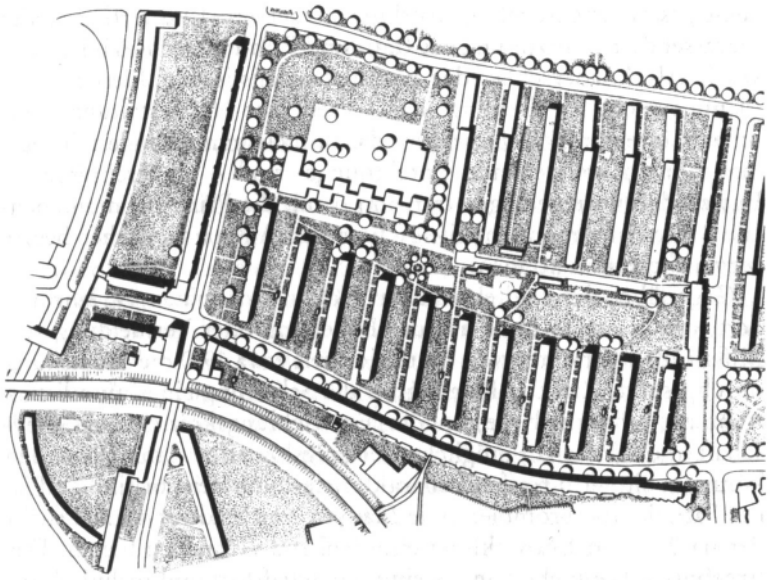


Abbildung 1.9 aus ALBERS [01], S. 43: Bebauungsschema Berlin-Charlottenburg, Siemensstadt, 1929

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. Dafür muss jede Konstruktion in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt werden, um dann wieder auf eine neue Art, nach rationalen Gesichtspunkten zusammengefasst zu werden.

Vor allem aber diente diese Vorgehensweise zur Bestimmung und Gestaltung der grundlegenden, den vier beschriebenen Aktivitäten der Stadt – Wohnen, Arbeiten, Kultivierung von Körper und Geist und Fortbewegung – zuzuordnenden funktionellen Elemente.

Insofern das Wohnen als Hauptfunktion der Stadt galt, wurde in deren kleinster bewohnbarer Einheit – der Wohnung – das Grundelement des gesamten städtischen Gebildes gesehen. Weil die Wohnung – und nicht das einzelne Gebäude – zum Ausgangspunkt der Neugestaltung der Stadt gewählt wurde, konnten auch die für die bürgerliche Stadt charakteristischen Haustypen – das große, direkt an der Straße liegende Wohnhaus und die weiter zurückliegenden kleinen Villen – kritisiert und als Vorbilder abgelehnt werden. Diese Art von Gebäuden waren ein Resultat der Wechselbeziehung zwischen öffentlichem Bereich und privatem Grundbesitz und konnten ihre große Bedeutung und weite Verbreitung nur auf der Grundlage dieser Wechselbeziehung erlangen, die – wie wir bereits gezeigt haben – die Grundlage der „post-liberalen" Stadt darstellte. Die Wohnung dagegen ist das Element, das die Bewohner direkt interessiert; insofern bedeutet die Entscheidung, die Wohnung zum Ausgangspunkt der Überlegungen der modernen Architektur zu machen, sich bei der Neugestaltung der Stadt an den Bedürfnissen und Interessen der Bewohner zu orientieren und nicht an denen der Grund- und Hausbesitzer und der Bürokratie.

Von diesen – selbstgewählten – Voraussetzungen ausgehend löste die

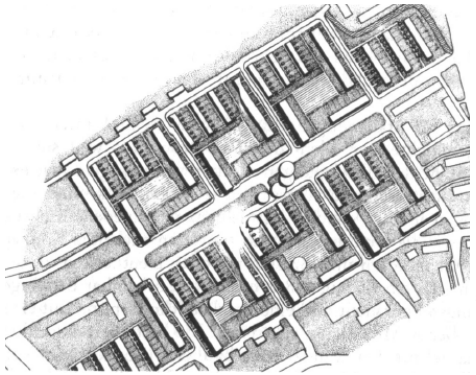


Abbildung 1.10 aus ALBERS [01], S. 230: Wongruppen in Hengelo/Niederlande, 1956.

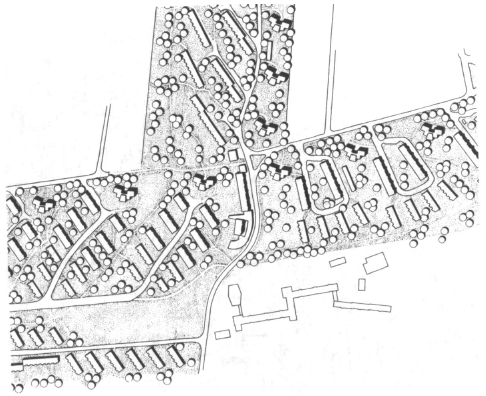


Abbildung 1.11 aus ALBERS [01], S. 231: Lockere Zeilenbebauung in Hamburg-Hohnerkamp, 1953.



Abbildung 1.12 aus ALBERS [01], S. 42: Bebauungsschema Westhausen, Frankfurt, 1929.

moderne Architektur zunächst die beiden folgenden Aufgaben:

- Sie analysierte sehr genau die innere Struktur der Wohnung, das Zusammenspiel ihrer einzelnen Elemente – der Räume – und bestimmte die verschiedenen Möglichkeiten ihrer Anordnung.
- Sie legte Regeln fest, nach denen die Wohnungen anzuordnen waren, um den Bedürfnissen der Bewohner zu entsprechen. Im Blickpunkt stand also die Beziehung der einzelnen Wohnungen untereinander und die zwischen Wohnungen und öffentlichen Einrichtungen. Aus der Gesamtheit der Wohnungen und aus den übrigen Gebäuden und Anlagen – Schulen, Krankenhäuser, Geschäfte, Fußwege – setzen sich dann die einzelnen Wohnquartiere zusammen und diese bilden die Grundstruktur der modernen Stadt.

3. Die Suche nach Modellen

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 Raumaufteilung 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 muß die Gestaltung des gesamten Stadtteils miteinbeziehen. Aufgrund dieser Überlegungen konzentrierte man sich auf die sogenannten „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

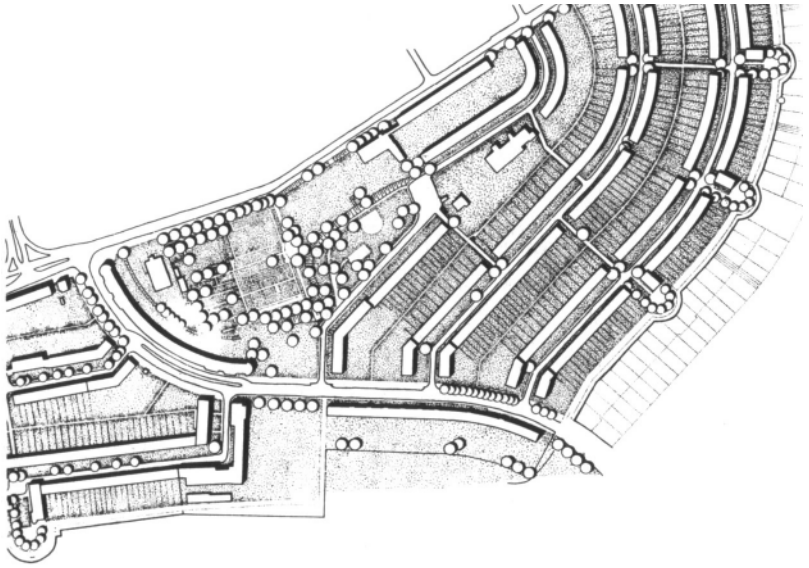


Abbildung 1.13 aus ALBERS [01], S. 41: Bebauungsschema Römerstadt, Frankfurt, 1926.

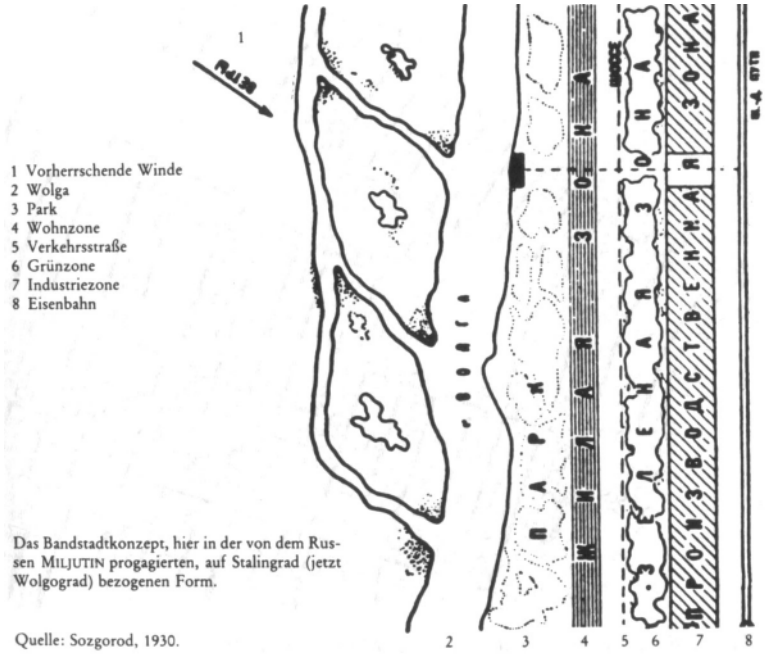


Abbildung 1.14 aus ALBERS [01], S. 39: Bebauungsschema Miljutin, 1930.

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 Grundelemente 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.

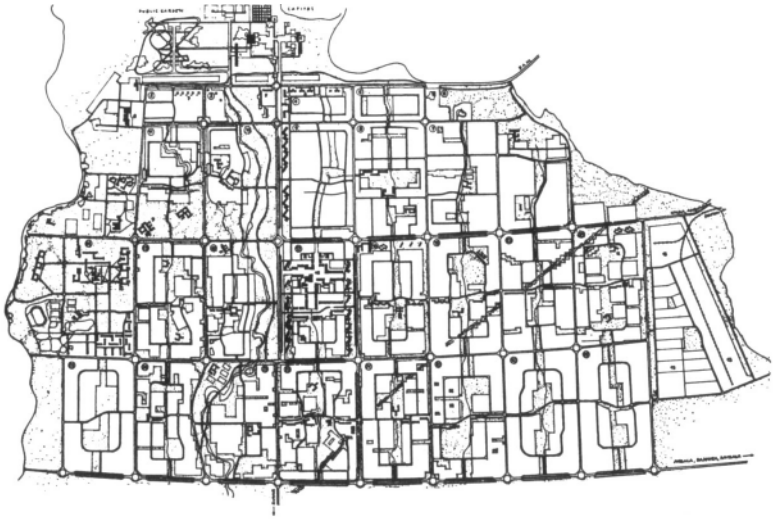


Abbildung 1.15 aus ALBERS [01], S. 214: Gesamtplan von Chandigarh, 1951.

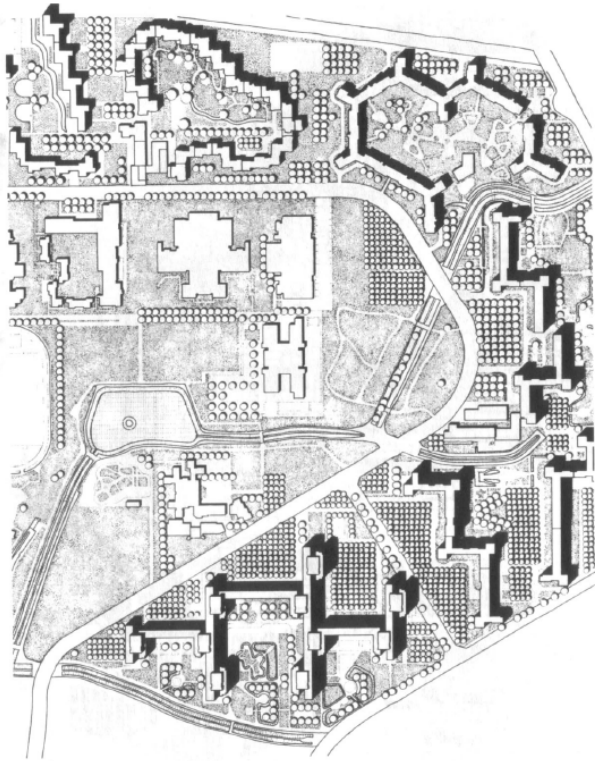


Abbildung 1.16 aus ALBERS [01], S. 233: Großbaukörper in Berlin, Märkisches Viertel, 1963.

Abstraktion

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

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. Umspült von großzügigen Parkflächen.
- Differenzierung der Erschließung in Wohn- und Fahrstraßen.



Abbildung 1.17 aus ALBERS [01], S. 232: Wohngruppen in Frankfurt-Nordweststadt, 1961.

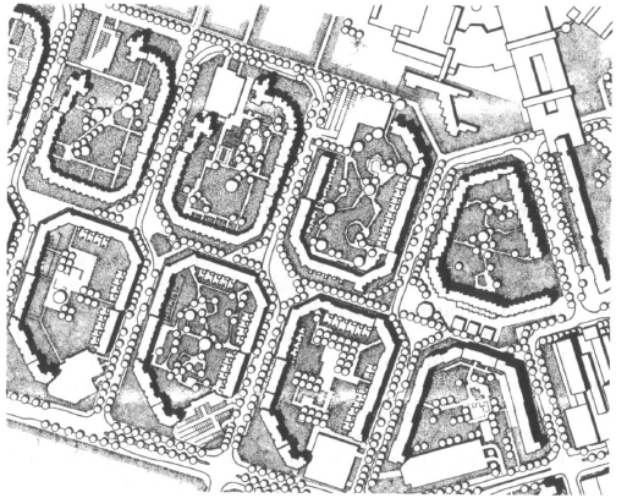


Abbildung 1.18 aus ALBERS [01], S. 235: Hofbildung in Hamburg-Steilshoop, 1968.

1.4 Die heutige Situation – Stadtplanung nach 1945

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 uns im Kontext der Suche nach aussagekräftigen Parametern wichtig erschienen. (Abb. 1.19 -1.24)

„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."

BENEVOLO [03], S. 1057

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 ‚Versuchslaboratorien' 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

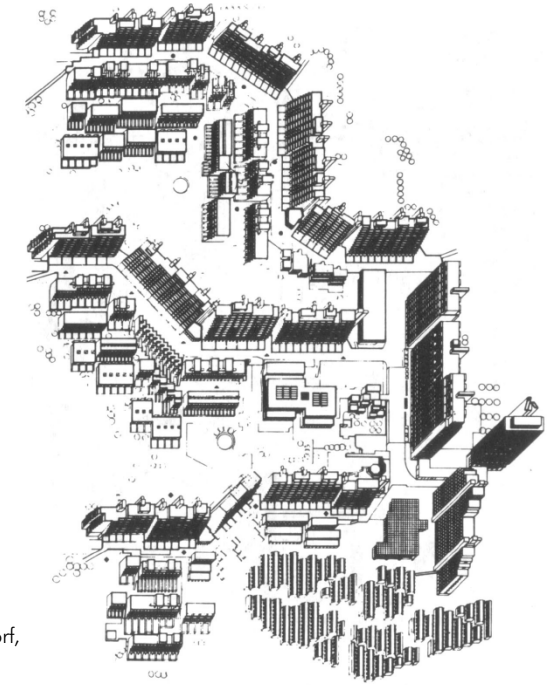


Abbildung 1.19 aus ALBERS [01], S. 234: Terrassenartige Gruppierung im Olympischen Dorf, München, 1968.

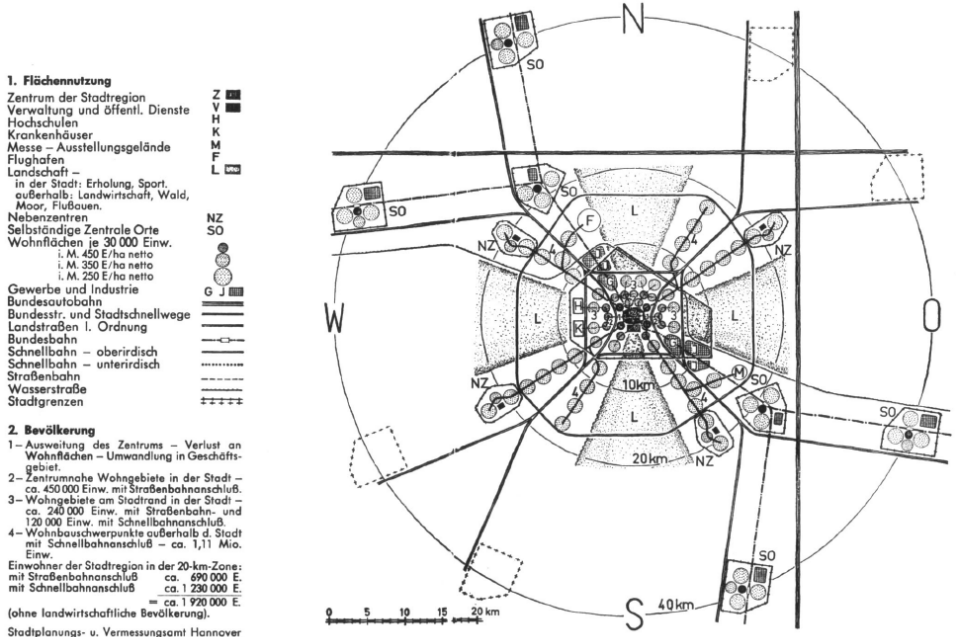


Abbildung 1.20 aus ALBERS [01], S. 216: Regionalstadtmodell nach Hillebrecht, 1962.

von städtebaulichen Großstrukturen und von neuen Verkehrseinrichtungen; sowie die Zeit der 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.

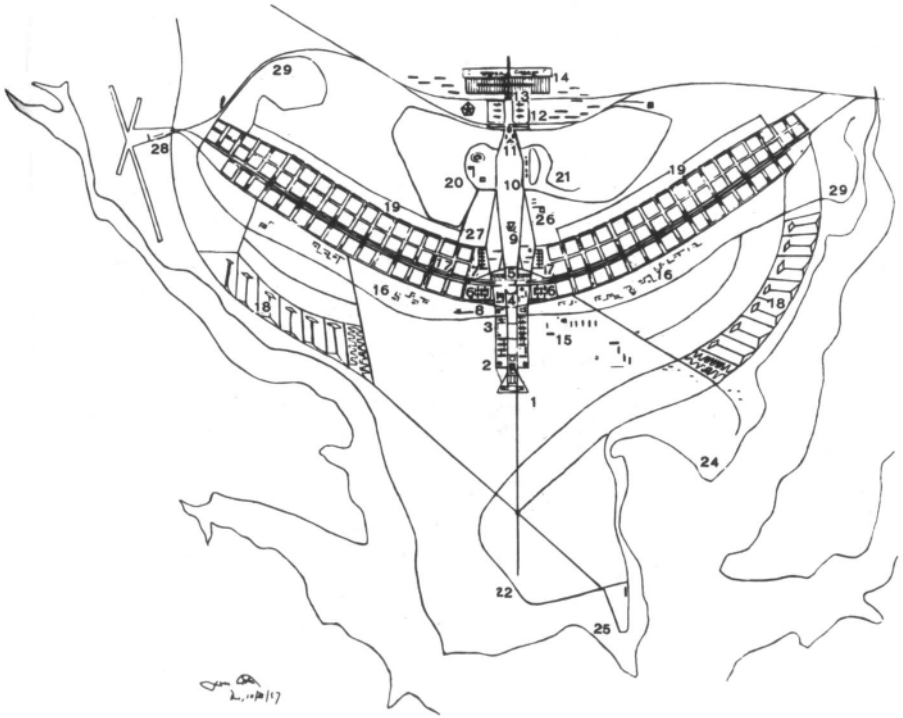


Abbildung 1.21 aus ALBERS [01], S. 215: Gesamtplan von Brasilia, 1958

Heute lässt sich keine allumfassende Planungstheorie mehr konstruieren, welche die vielfältigen Probleme und Widersprüche aufnehmen könnte und so ist einerseits eine Art evolutionärer Entwicklung unterschiedlicher Modelle zu beobachten, wobei sich einige ein 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 werden oder mittels moderner Technik als lösbar erklärt werden.

Im Folgenden sind einige Textausschnitte aus dem Buch ‚Stadtplanung' von Gerd Albers [01], 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 Zeit begann die Vorstellung eines hierarchisch gestuften Zentrensystems – 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.

… 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, durchgrünten 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 Kehr-

seite, 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 Bezeichnung; 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 ebensoviel 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 [01] S. 51ff

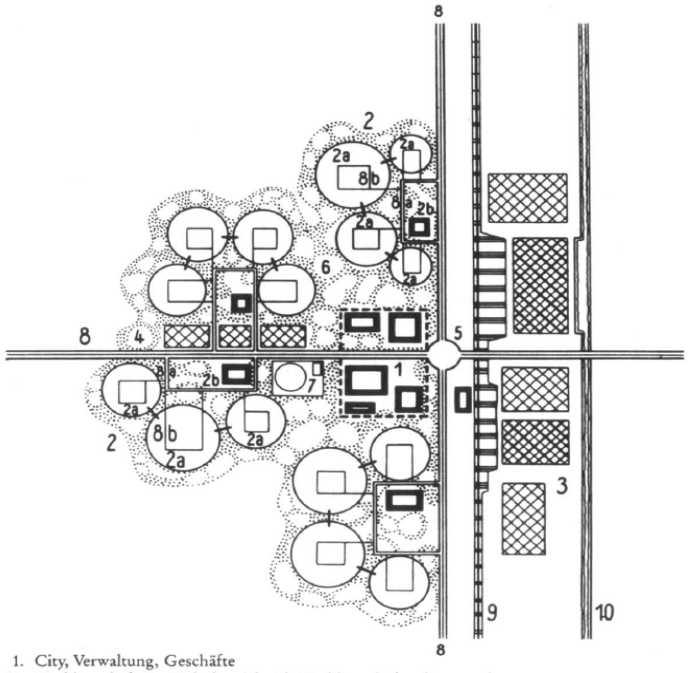


Abbildung 1.22 aus ALBERS [01], S. 213: Gliederungskonzept der „gegliederten und aufgelockerten Stadt" nach Göderitz, Rainer, Hoffmann, 1957.

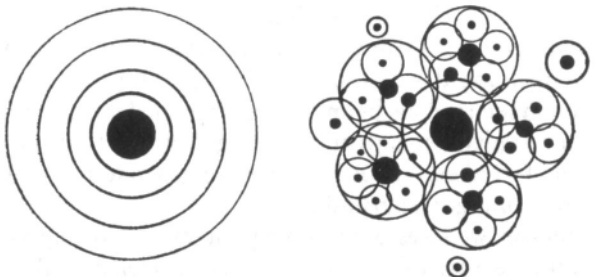


Abbildung 1.23 aus ALBERS [01], S. 210: Konzentrisches und dezentralisiertes Stadtsystem nach Bardet, 1945.

Abstraktion

Aus den vielschichtigen Entwicklungen seit dem 2. Weltkrieg greifen wir hier lediglich einige Punkte heraus:
Die Großprojekte der 60er Jahre konnten durch öffentliches Engagement entwickelt werden, da die Verwaltungen über große Flächen verfügen konnten, 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.

Parametersystem:

- Großstrukturen aus einzelnen Elementen zusammengesetzt. Wohnung wie in der Moderne als Maßstabseinheit.
- 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.

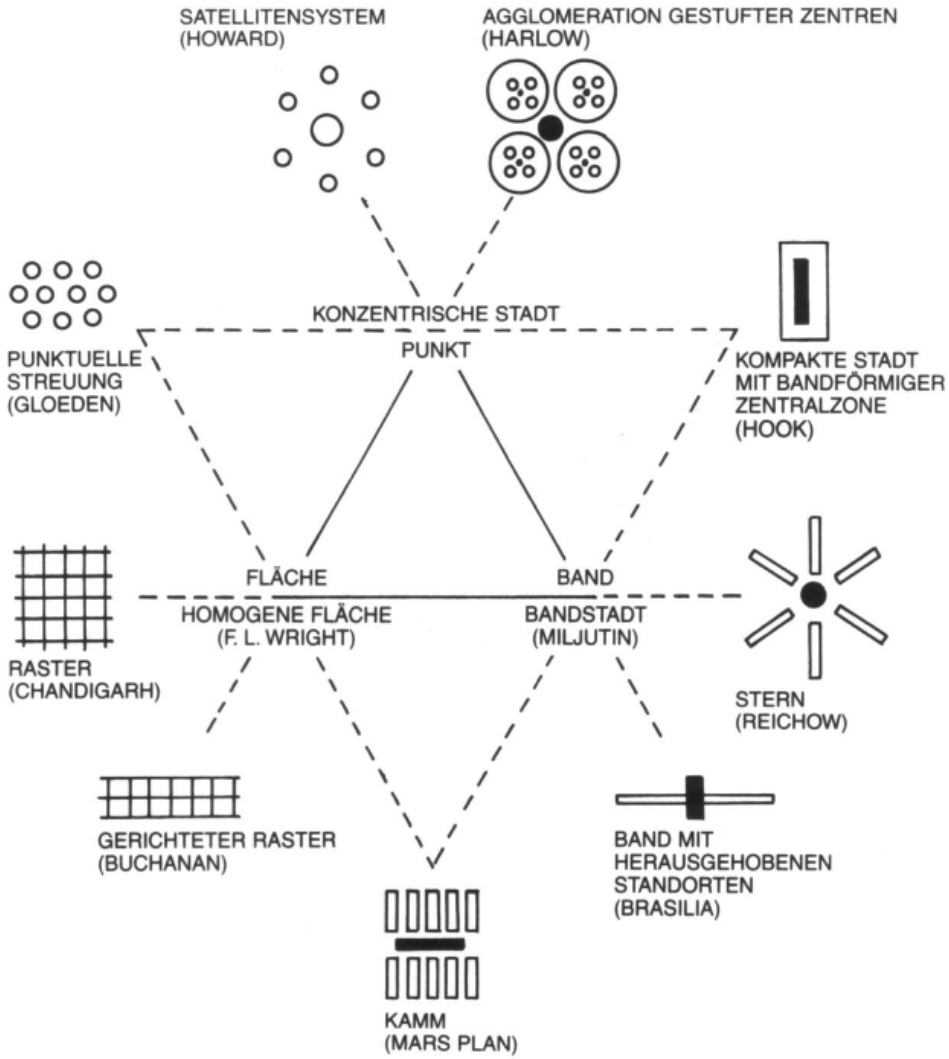
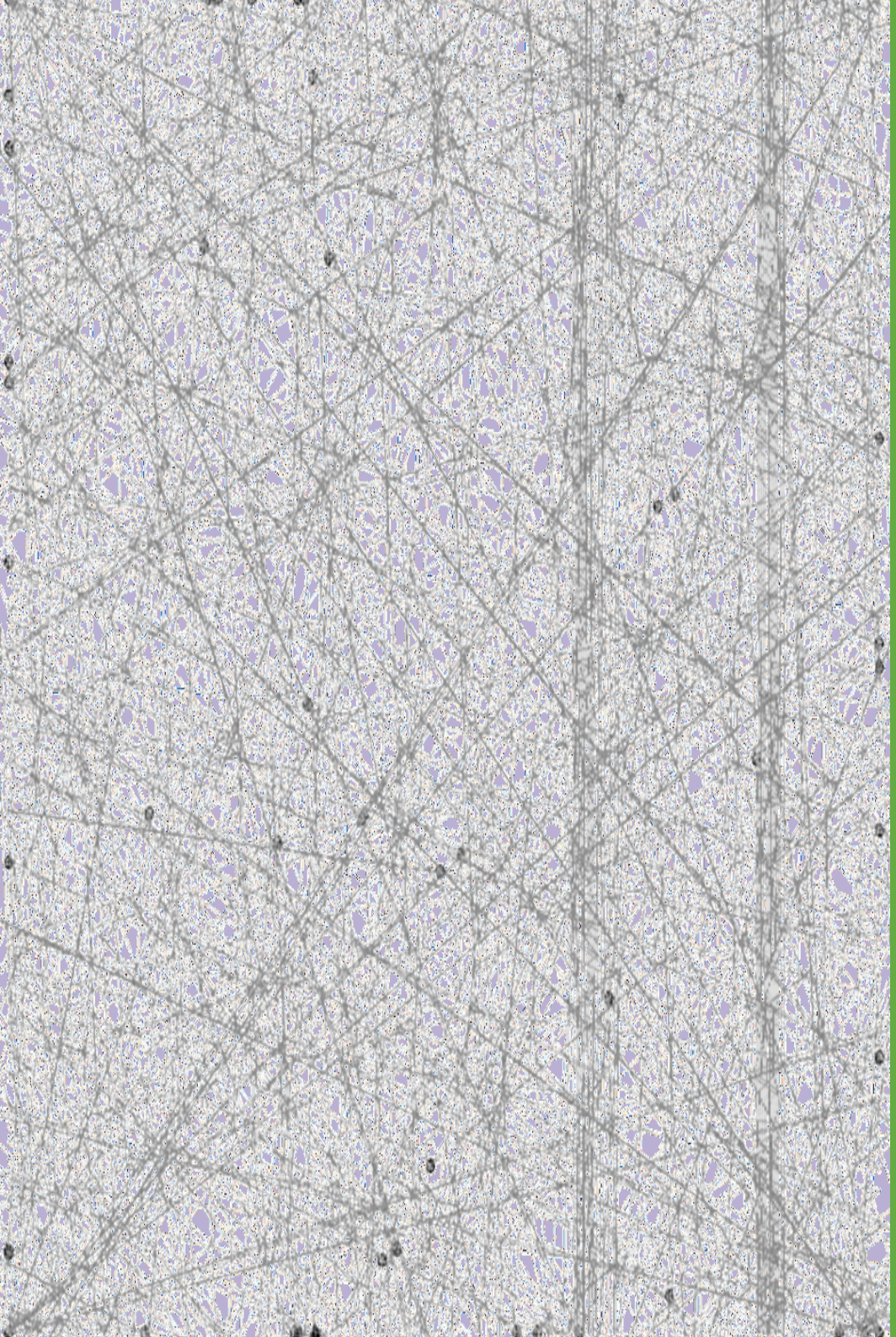


Abbildung 1.24 aus ALBERS [01], S. 217: Typologie der Strukturmodelle.



Analyse bestehender Programme

2. Analyse bestehender Programme

Im Folgenden stellen wir ausgewählte Projekte zum computergenerierten bzw. parametrischen Entwerfen vor, um auf deren Vorteile einzugehen und jene Aspekte zu beleuchten, die bei deren Entwicklung nicht berücksichtigt wurden, um daraus die Konzeption unseres Programms abzuleiten.

Weitere relevante Arbeiten, die wir hier nicht im Einzelnen besprechen, sind auf der beiliegenden Daten-CD im Ordner ‚03_Material' enthalten.

2.1. Erläuterung parametrisierter Entwurfsmodelle

Beginnen wir mit dem einfachen Bespiel eines parametrischen Objektes. Darunter kann man z.B. einen Würfel verstehen, dessen Eigenschaften wie Länge, Höhe und Breite einzelne Parameter darstellen, die die Gestalt des Würfels 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 wir mit unserer Umwelt interagieren, also für die Wechselwirkungen der Menschen untereinander und für die mit der sie umgebenden Welt.

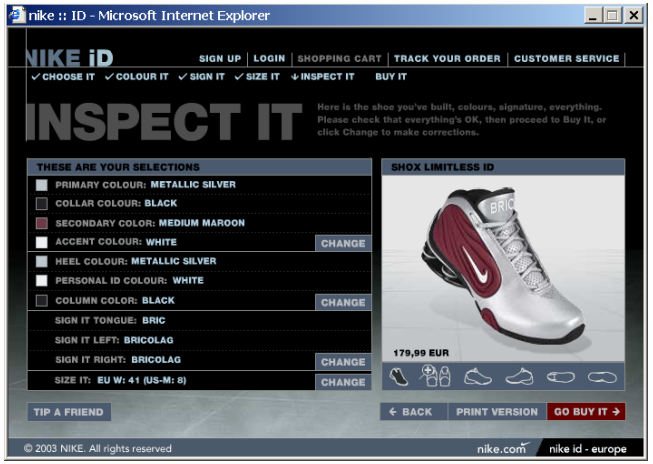


Abb. 2.1 Nike - personalise your shoe, August 2004 http://www.nike.com.

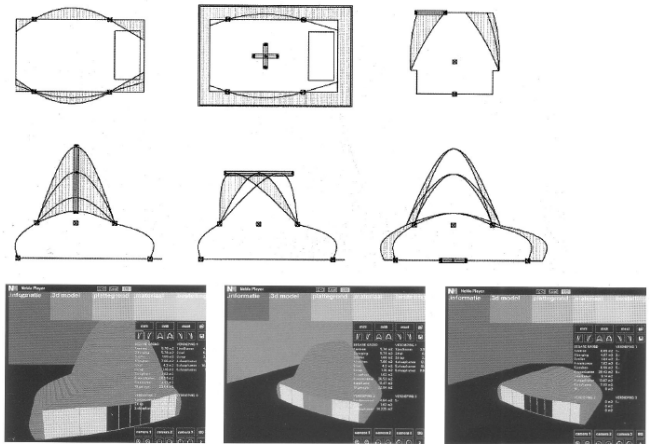


Abb. 2.2 Variomatic House Kas Oosterhuis, aus http://www.oosterhuis.nl/



Abb. 2.3 Embryological House, Greg Lynn

Beispielprojekte:

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 ‚personalise your shoe' Konzept der Firma Nike illustriert werden (http://www.nike.com/europe/flash.jsp?language=2): 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 – Kas Osterhuis
Ein entsprechendes architektonisches Projekt finden wir in dem ‚variomatic house' von Kas Oosterhuis (http://www.oosterhuis.nl/variomatic/) wieder. Dabei können die Gebäudemaße über Steuerpunkte eingestellt werden.

Embryplogical House – Greg Lynn, http://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 Ausgangswürfel verglichen werden kann), an die Anforderungen der Nutzer und die Umgebung des Gebäudes umschreibt.

„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, http://www.glform.com/**

Grenzen des parametrischen Entwerfens

Bei Arbeiten dieser Art 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.

Computergeneriertes Entwerfen

Wir sehen an dieser Stelle die Grenze der Möglichkeiten dessen, was wir unter parametrischem Entwerfen verstehen. Weiterreichende Konzeptionen wollen wir unter dem Begriff des computergenerierten Entwerfens zusammenfassen. 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.



Abb. 2.4 Evolved Virtual Creatures, Karl Sims

2.2 Entwurfgenerator – König, Bauriedel [als Exkurs auf der Daten CD]

Der „Entwurfsgenerator", der von uns 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. Wir haben in dieser Arbeit viele Modelle konzeptionell integriert, wodurch sie sich als charakteristisches Projekt für eine umfängliche 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 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 Problemformalisierung angelegt ist, stellt das determinierte Beziehungsgefüge dar und ist notwendig, um die subjektiv gewählten Gewichtungen vornehmen zu können, welche 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 bezitzen Die Möglichkeit, auf diese Weise alle Elemente mit allen anderen zu verknüpfen, lässt die Komplexität des Systems exponential 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. 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

	primäre Beziehungen	Kongressgebäude	Vortragsgebäude	Museum	Verwaltung	Lounge	Mensa	Internet Cafe	Küche	Schulung	Forschung	Appartments	Firmen	technischer Betrieb	Service	mobile Einheiten	Ganghoferstrasse	Tiefgarage	Feierwerk	IG Feuerwache	Zulieferung RG	Aussicht West
endogen	Kongressgebäude		80	20	40	70	60	40			30						80	90	20			10
	Vortragsgebäude	80									85						70	75	30			15
	Museum	20			20	80											70	65			35	20
	Verwaltung	40		20													65					25
	Lounge	70		80			80	70														30
	Mensa	60				80		70	95													30
	Internet Cafe	40				70	70										65		45	35		15
	Küche						95								20						95	
	Schulung										50		30				60					15
	Forschung	30	85							50		25	65									30
	Appartments										25				75							70
	Firmen									30	65				30		60				25	30
	technischer Betrieb																				75	30
	Service								20			75	30								50	
exogen	mobile Einheiten																					
	Ganghoferstrasse	80	70	70	65			65		60			60									
	Tiefgarage	90	75	65																		
	Feierwerk	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. 2.5 Tabelle: primäre Beziehungen, aus Entwurfsgenerator: http://www.entwurfsforschung.de/

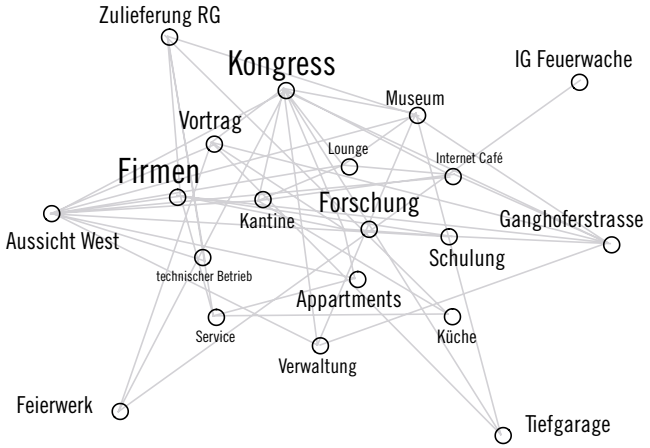


Abb. 2.6 Diagramm primäre Beziehungen, aus Entwurfsgenerator: http://www.entwurfsforschung.de/

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 Gesamtkonzeption 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. 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 wir beim Entwurfsgenerator angewandt haben, 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.

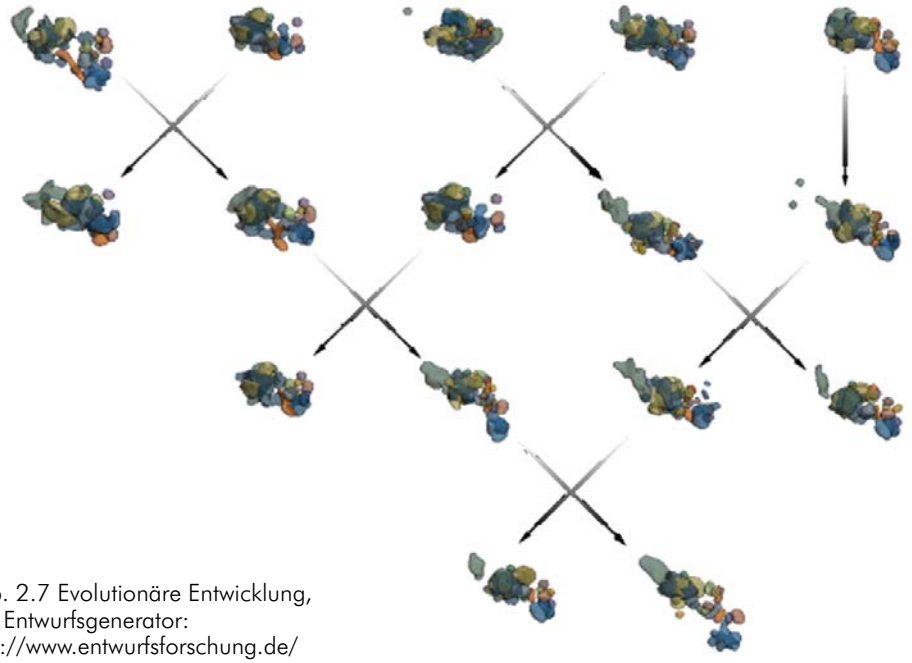


Abb. 2.7 Evolutionäre Entwicklung, aus Entwurfsgenerator: http://www.entwurfsforschung.de/

2.3 Induction City - Makoto Sei Watanabe [10]

Das Projekt „Induction City" 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 Umwegessystem. 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.

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, dass alle Anforderungen gleichzeitig erfüllt, da sich viele Parameter gegenseitig widersprechen.

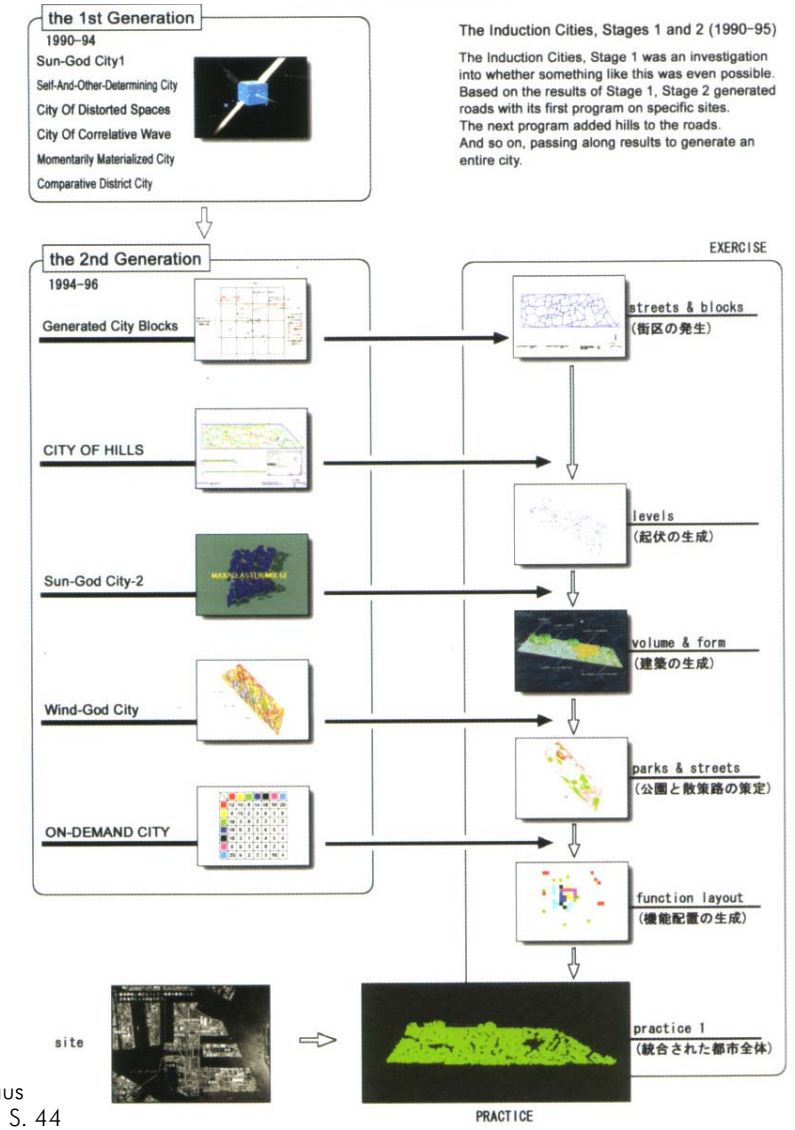


Abbildung 2.8 aus WATANABE [10] S. 44

2.4 KaisersRot

TU Kaiserslautern + Kees Christiaanse + Markus Neppl+ ETH Zürich
http://www.kaisersrot.com/

Den Rahmen für das 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 usw.
   - Grundstücksgröße
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 sehen wir darin, 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.

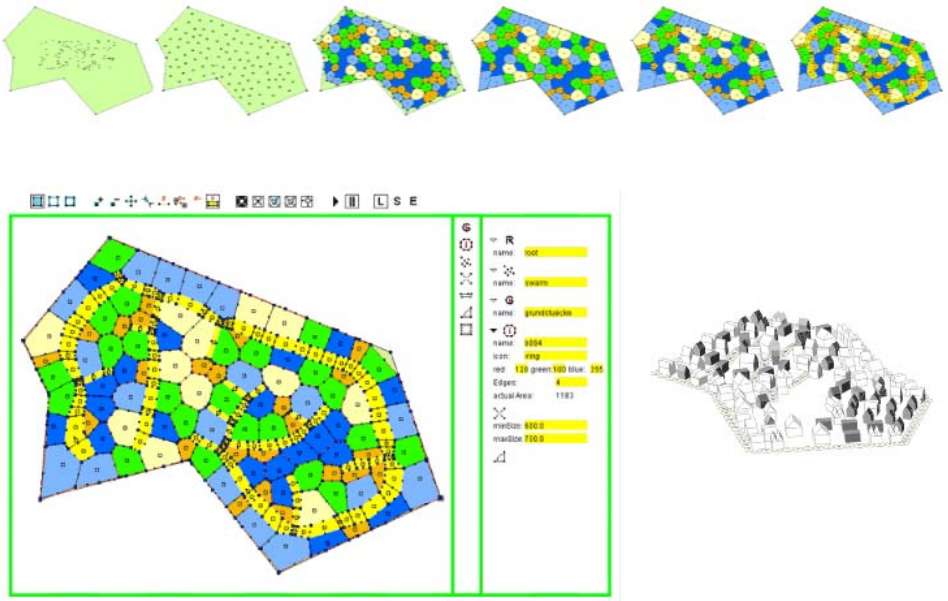


Abbildung 2.9 aus der KaisersRot - Programmumgebung
http://www.kaisersrot.com/



Konzeption der Entwurfsumgebung

Abbildung 3.1 (vorige Seite) aus Arch+: Der Sprawl [11]

3. Konzeption der Entwurfsumgebung

Für die Bearbeitung der komplexen Aufgabe, Stadtstrukturen mit Hilfe von Computermodellen zu generieren, führen wir vier Ebenen ein: Optimierungs-, Modell-, Erschließungs-, und Informationsebene. Diese Gliederung ermöglicht uns zum einen, unsere Untersuchungen in voneinander getrennte Etappen zu gliedern, zum anderen lassen sich dadurch die einzelnen Module, auf die wir im 5. Kapitel näher eingehen werden, 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 wir Anlagerungsmodelle untersuchen und bei der Modellebene, wo es hauptsächlich um die Erzeugung dreidimensionaler Bebauungsstrukturen geht, werden wir uns der zellulären Automaten bedienen. 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 schließen wir an die Methode der Maßstabsfenster an, wie sie bei HUMPERT [06], 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“ [06] zu finden, woraus dann die Einführung in den Städtebau entstand. Die dort vorgestellten Grundelemente werden in unserem Modell in die Erschließungs- und Bebauungsebene integriert.

3.1 Beschreibung mit Hilfe von Entwurfsebenen

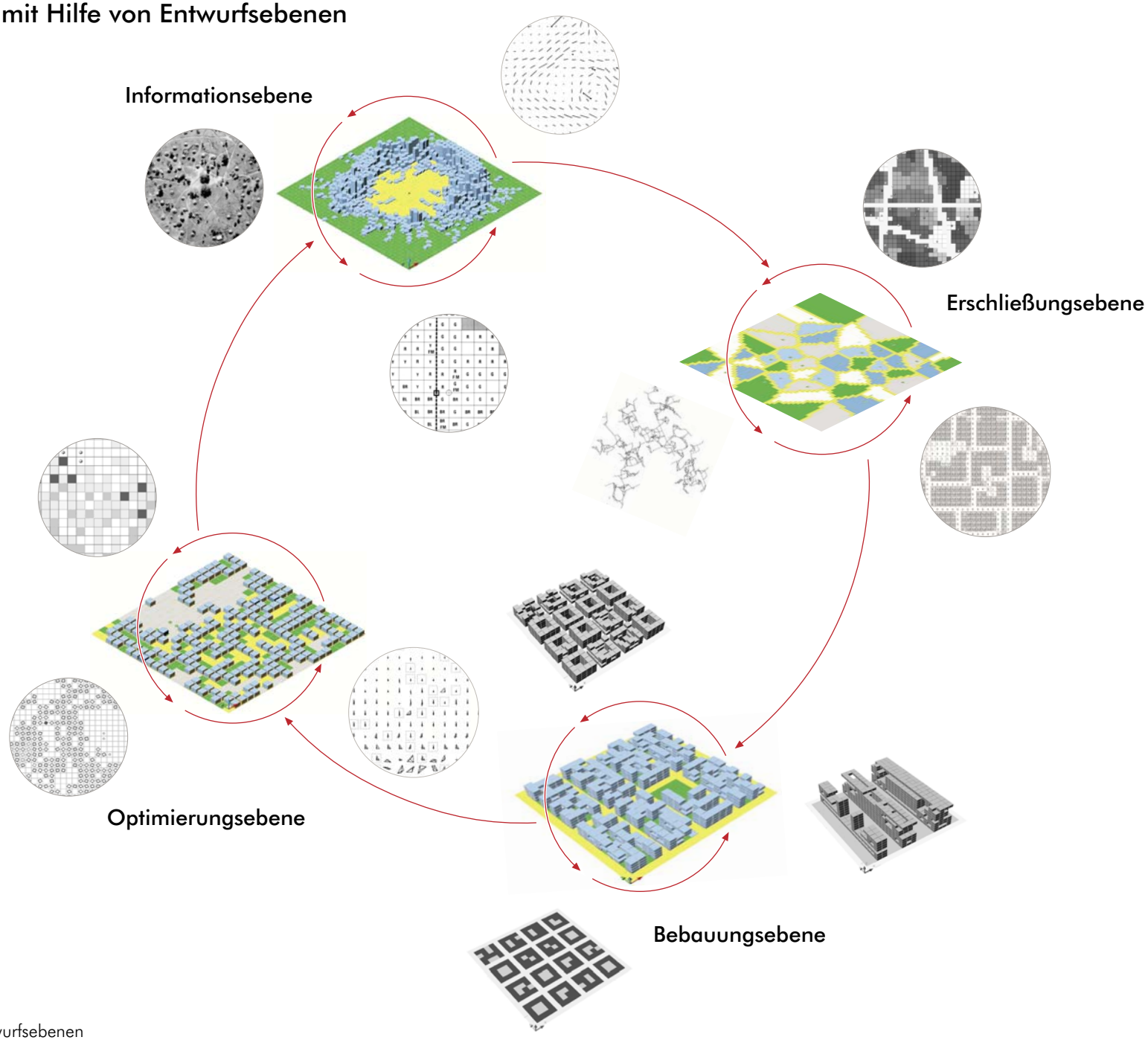


Abbildung 3.2 Die vier Entwurfsebenen

Zugeordnete Computermodelle

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

Informationsebene
- Agentensysteme
- Vektor Feld
- 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

3.2 Ziele der Entwurfsebenen

Informationsebene

Die Informationsebene dient als Möglichkeit, jene Informationen zu verarbeiten, die sich einer Reduktion auf elementare Bestandteile entziehen und die wir als gegeben annehmen 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 beschäftigen wir uns mit diesen Elementen. 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:

a) Baumstruktur mit Sackgasse
b) Halbverband (Teilweise Raster und Verästelung)
c) 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 gegebenem 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 entwickeln wir einige Experimente, 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 beleucht.

Optimierungsebene

Diese Ebene behandelt Methoden, die es erlauben, gegebene Strukturen hinsichtlich bestimmter Kriterien umzubauen. Dies können Vorgaben wie Flächennutzungen, Sonneneinstrahlung, Durchlüftung, rationale Parzellierung, Verringerung der Erschließungswege und andere sein. Grundsätzlich müssen die wesentlichen Kennwerte einer Struktur erfasst und ausgewertet werden, was wir als Kontrollieren und Evaluieren bezeichnen werden.

Maßstabsfenster

Wie in der Einleitung zu diesem Kapitel bereits erwähnt, vergleichen wir hier das Modell von HUMPERT [06], welches auf der nächsten Seite abgebildet ist, mit dem von uns im Sinne der Computermodelle gebildeten Ebenensystems.

„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"). Wir begegnen 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 Selbstorganisationsprozesse (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."

Zitiert aus HUMPERT [06], S. 35.

Wir haben die Elemente des „Bewegens" und des „Besetzens" in die Erschließungsebene integriert, werden aber innerhalb dieser Ebene, in der wir mit Anlagerungsprozessen arbeiten, die Unterteilung in diese beiden Kategorien für die Behandlung der unterschiedlichen Maßstabsfenster übernehmen und getrennt darauf eingehen.
Das Element des „Aufrichtens" schließlich findet sich in der Bebauungsebene wieder und ist zum Maßstabsfenster des ‚Siedlungsmusters' analog.

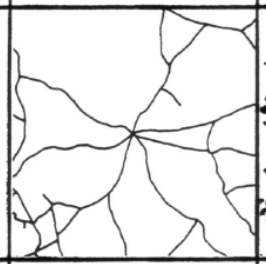
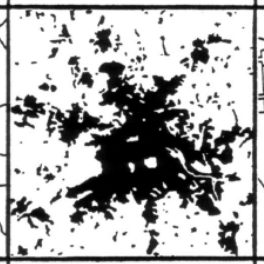
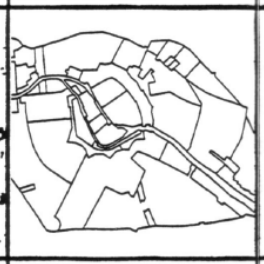
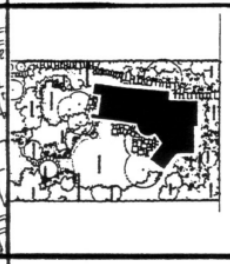
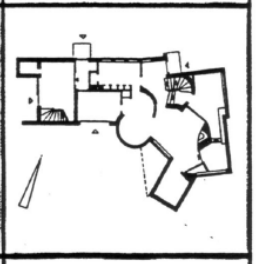
MASSSTABS-FENSTER	MASSSTABS-FENSTER A GLOBAL-MASSSTAB z.B. M. 1 : 100 000 000	MASSSTABS-FENSTER B REGIONAL-MASSSTAB z.B. M. 1 : 500 000	MASSSTABS-FENSTER C STADTFELD-COLLAGE z.B. M. 1 : 50 000	MASSSTABS-FENSTER D STADTFELD-TYPOLOGIE z.B. M. 1 : 10 000	MASSSTABS-FENSTER E SIEDLUNGS-MUSTER z.B. M. 1 : 2 500	MASSSTABS-FENSTER F PARZELLE z.B. M. 1 : 500	MASSSTABS-FENSTER G GRUNDRISS z.B. M. 1 : 100
PLANBEISPIELE							
BEWEGEN LINIE	Eisenbahnen Fernstraßen Wasserwege Flugrouten	Hauptverkehrsstraßen Öffentlicher Personennahverkehr	Reihenerschließung der Stadtfelder Parallelerschließung 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

Abbildung aus HUMPERT [06] S. 35: Die Grundelemente Linie (Bewegung), Fläche (Besetzen) und Körper (Aufrichten) in verschiedenen Maßstabsfenstern sind Grundlage der morphologischen Analyse der Stadt.

3.3 Strukturelemente

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 [01], 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.

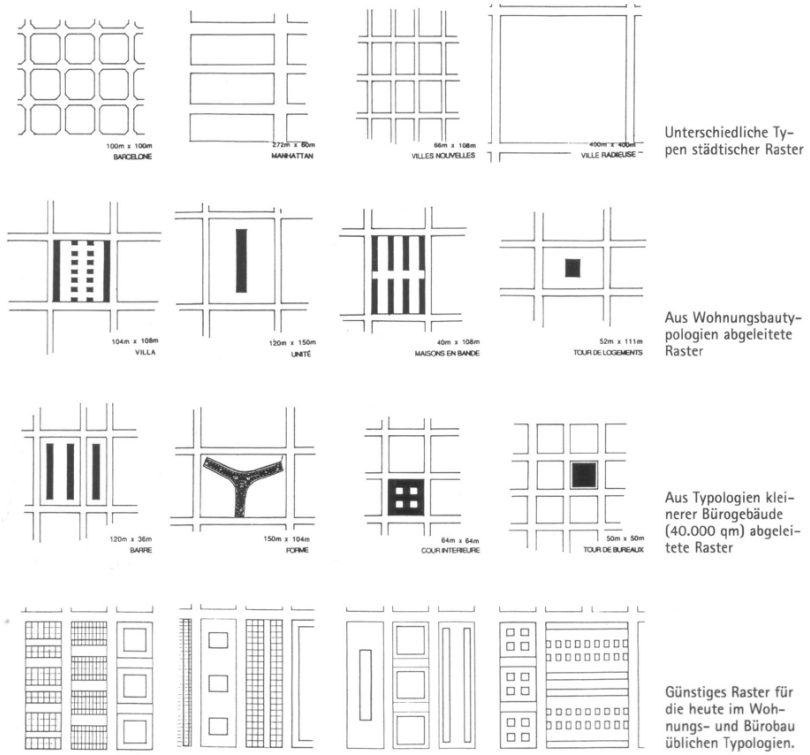
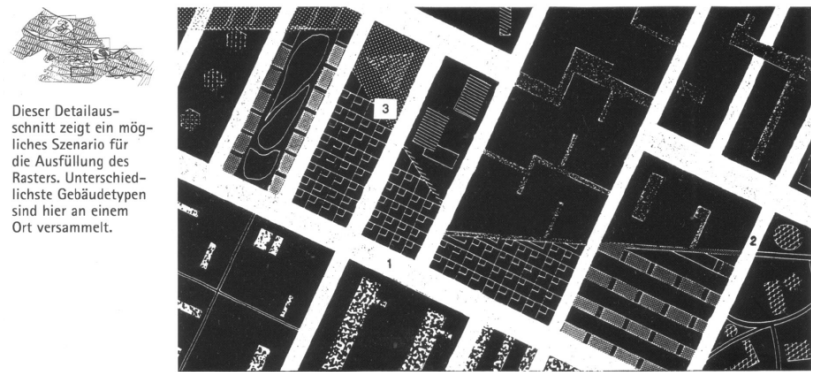


Abbildung 3.4 aus Arch+ [11] : Der Sprawl



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' zusammenzusetzen. Die Regeln dieses Spiels bzw. die möglichen Kombinationen müssen mittels eines Systems gestaltet werden, dass 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.

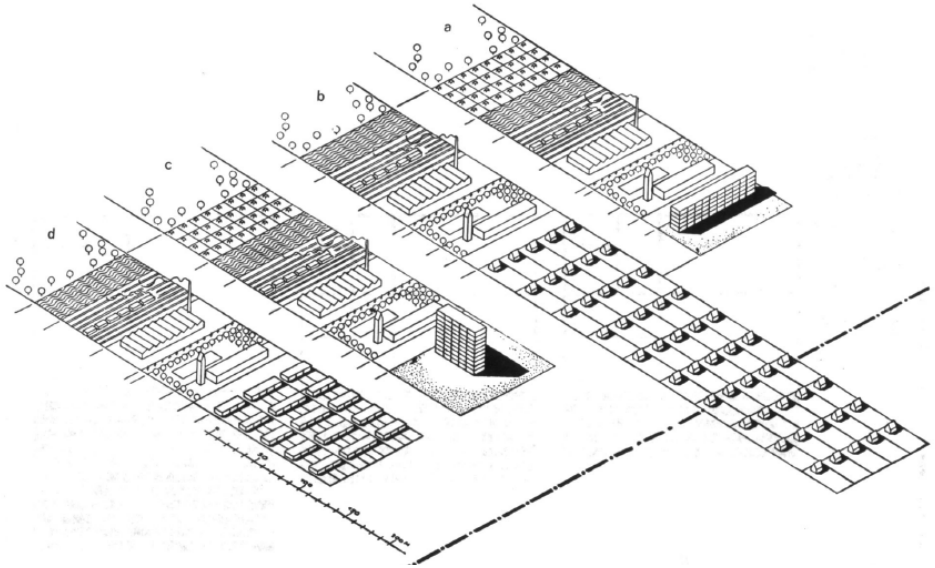


Abbildung 3.5 aus ALBERS [01], S. 199: Flächenansprüche nach Göderitz, Rainer, Hoffmann, 1957.
Die Flächenanteile je Einwohner und damit die Ausdehnung der Stadt variiert mit der Form der Wohnbebauung, wobei für Geschoßwohnungen zusätzlich Kleingärten vorgesehen sind. Die übrigen Nutzungsarten werden als konstant angenommen.

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.

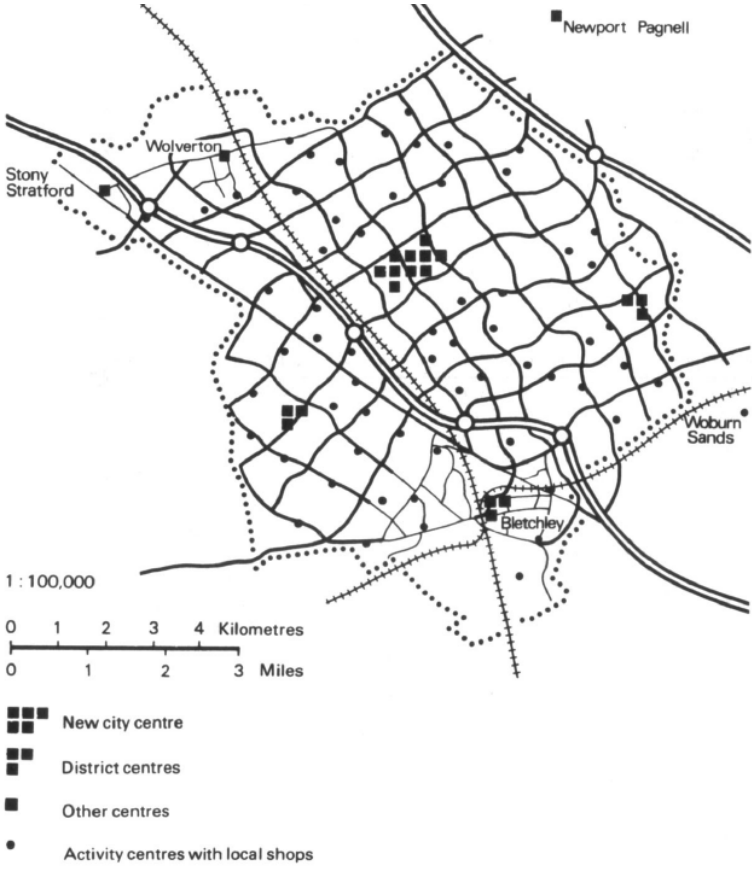


Abbildung 3.6 aus ALBERS [01], S. 218: Strukturmodell für Milton Keynes, 1970.

Beschreibung der Computermodelle

4. Beschreibung der 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 Stadtstruktur generierende Systeme verwandt wurden. Angefangen 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. Es werden ferner Modelle zum Einsatz kommen, die aus dem Kontext der „computational Geometry" stammen, die, wie beispielsweise Voronoi-Diagramme (nächste Nachbarn) oder Steiner Trees (Minimalwege), für unsere 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 5. Kapitel erläutert. Die Programmcodes in Visual Basic for Applications für AutoCAD in der Version 2005 sind teilweise auf der beiliegenden CD enthalten.

4.1 Agentensysteme

Zu Beginn wollen wir zu klären versuchen, worin der Unterschied zwischen Partikelsystemen, Schwärmen und Agentensystemen liegt.

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 die selben 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. 4.2 - 4.23)

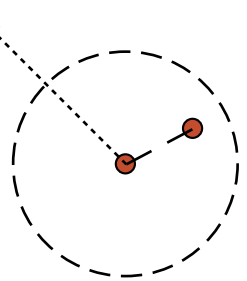
Kommunikation

Wann

1. Abstand

keine Kommunikation

Wenn sich innerhalb eines definierten Abstandes andere Agenten befinden, findet ein Informationsaustausch statt.

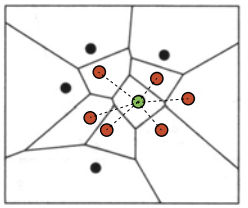


Kommunikation, wenn nah genug

Abbildung 4.1 Kommunikation

2. Nachbarschaften

Kommunikation kann stattfinden, wenn zwei Agenten benachbart sind, was sich über ein Voronoi-Diagramm feststellen lässt.
Wenn die Nachbarschaftsverhältnisse bestimmte Regeln erfüllen (zelluläre Automaten), können übergeordnete Ereignisse ausgelöst werden.



Kommunikation, wenn benachbart

Abbildung 4.2 Nachbarschaft

Was ist Kommunikation?

Kann man in diesem Zusammenhang von Kommunikation sprechen? Generell versteht man darunter, dass eine beliebige Information von einer Person oder einem Terminal zu einem anderen gelangt. In unserem Fall können wir dies etwas präzisieren und sagen, dass eine Reaktion zwischen den beiden Teilnehmern ausgelöst wird.

Beispiele der Reaktionen sind: (Abb. 4.3 - 4.5)
- die Agenten ziehen sich gegenseitig an oder stoßen sich ab,
- sie können ihre Farbe oder Größe ändern.
- sie 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.

Wie

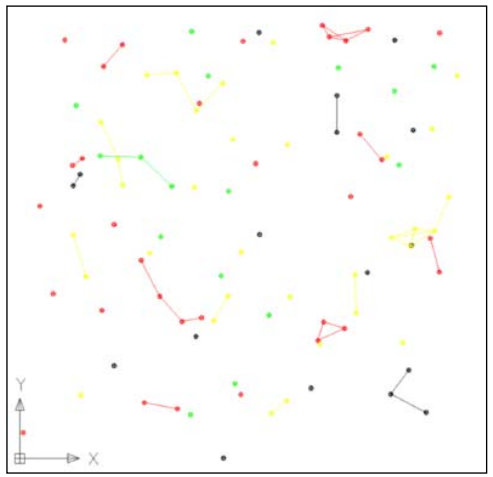
Arten der Kommunikation:

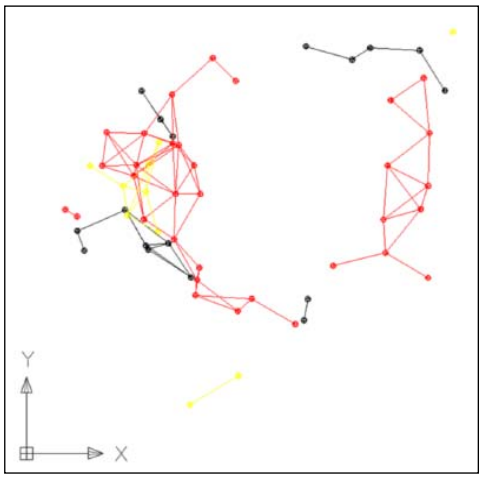
1. Beeinflussung des Bewegungsvektors oder der Geschwindigkeit
   => Anziehen oder Abstoßen; Regulierung des Abstandes

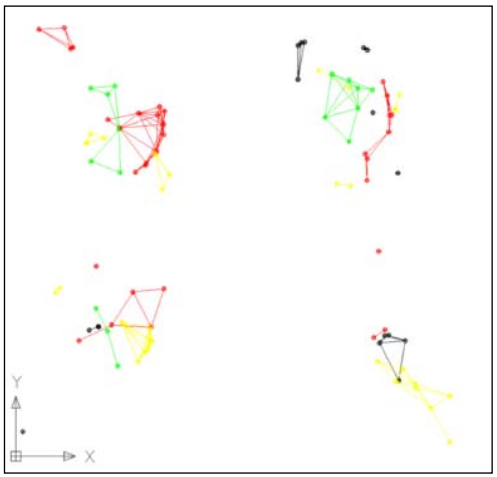
2. Austausch von Informationen beliebiger Art, die beispielsweise im Farbkode gespeichert sind (RGB - Kode; drei Werte von 0 - 255):
   - Art der Nutzung
   - Geschossigkeit
   - Freiflächenbedarf
   - Erschließung zu nächster Ebene (Geschoss)
   - Andockeigenschaften (Atommodell wird in einem gesonderten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

Wozu

- Definition der untersten Strukturebene (Informationsebene), aus der sich später die Bebauungs- und Erschließungsstrukturen ableiten.
- Interaktion mit dem Vektor-Field, welches im Abschnitt 3.3 beschrieben ist.







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

Durch die oben abgebildeten Einstellungen kann das Verhalten der Agenten gesteuert werden, so dass sie sich Beispielsweise von einem ungeordneten Zustand (Abb 4.3 - 4.5 rechts) zu differenzierteren Strukturen organisieren (mitte und links), was wiederum eine abstrakte Form der Nutzungsdifferenzierung darstellen kann.

Schwarmverhalten

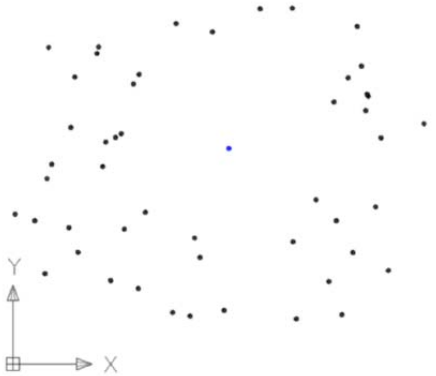


Abb. 4.6. Durch Hinzufügen eines Schwarmmodells können weitere Verhalten implementiert werden, wie z.B. Attraktoren oder Deflektoren oder wie links abgebildet die Anordnung innerhalb eines Rings in bestimmtem Abstand zu einem Mittelpunkt.

Autonome Objekte und Selbstorganisation

Einige Anregungen zu diesem Thema sind aus FLAKE [27] S. 261ff, „Autonomous Agents and Self-Organisation" entnommen. Siehe auch RESNICK [33]. 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. Es existiert auch kein übergeordneter Plan, der zu befolgen ist. Ein Agent handelt mit anderen Worten für sich selbst. Mit dieser Definition können wir untersuchen, 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 beschreiben wir einige dieser Systeme 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
```

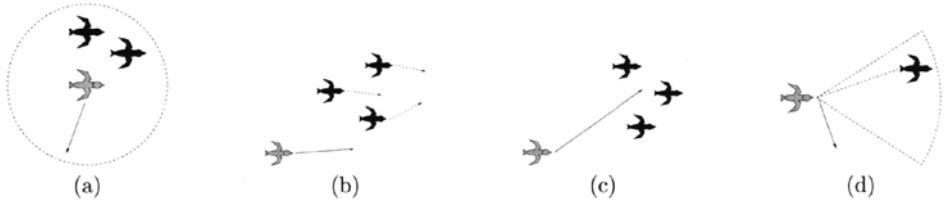


Abb. 4.7. Autonomous Agents and Self-Organisation. Aus FLAKE [27] S. 271
Vier Regeln, nach denen sich die Agenten verhalten: a) vermeiden, zu dicht aneinander zu geraten; b) die eigene Bewegungsrichtung der der anderen anpassen; c) auf das Zentrum des Schwarms zubewegen; d) auf eine möglichst freie Sicht hin orientieren.



Abb. 4.8. Wir haben hier drei der vier oben angeführten Verhalten verwandt. 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 ‚inerakt - ‚minDist' und ‚maxDist')

In der linken Abbildung ist eine Momentaufnahme der Gruppenbewegung zu sehen.

4.2 Diffusion limited aggregation

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 wir jetzt einen Wachstumsprozess auslösen können, indem wir z.B. in die Mitte einen einzelnen Partikel fixieren. Wenn nun ein Partikel auf diesen Festen 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.

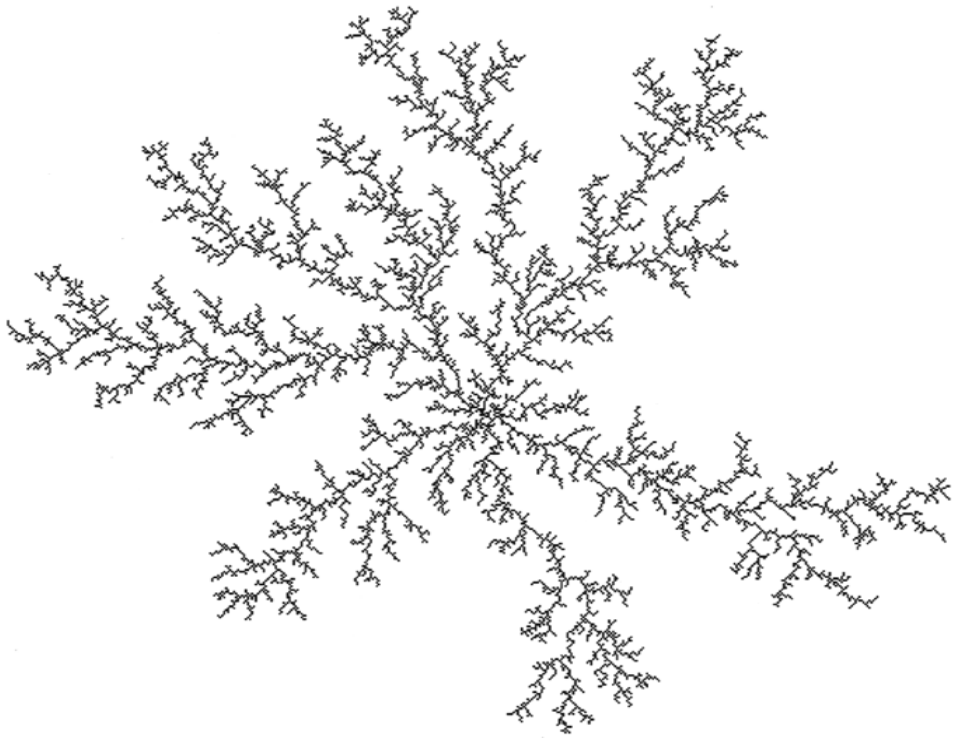


Abb. 4.9 Ein Beispiel für Wachstum mit diffusion limited aggregation. Aus FLAKE, S. 74

Brownsche Bewegung

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.

```
dX = (Rnd() * 0.6 - 0.3)
dY = (Rnd() * 0.6 - 0.3)

agent(m).deltaX = (agent(m).deltaX + (dX * k)) * damp
agent(m).deltaY = (agent(m).deltaY + (dY * k)) * damp
```

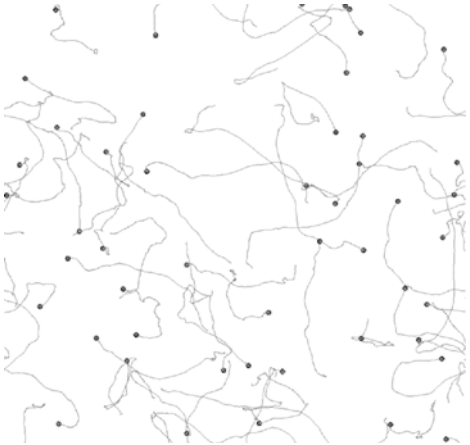


Abb. 4. 10. Die Linien werden von den Agenten während ihrer Zufallswanderung erzeugt und vermitteln so ein Bild des Ablaufs der Brownsche Bewegung über eine bestimmte Zeit hinweg.

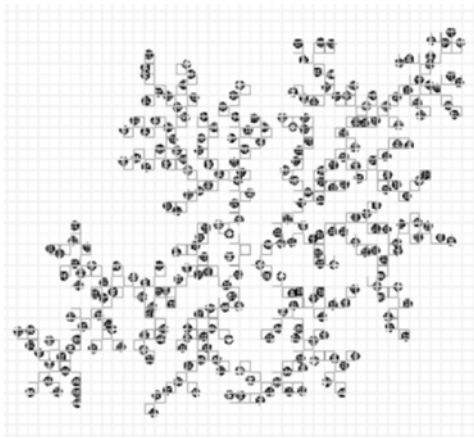


Abb. 4. 11
Wir können die Umgebung eines Agenten für den ‚diffusion limited aggregation' Prozess über die Methode der Abstandsmessung zu allen anderen Agenten untersuchen. Dieses Verfahren ist allerdings mit einem hohen Rechenaufwand verbunden, weshalb wir auf ein Hilfsraster zurückgreifen. Dadurch braucht 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.

4.3 Termiten

In diesem Experiment verleihen wir den Agenten die Eigenschaften, 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 wir im folgenden als Holzstückchen bezeichnen, um die Analogie zur Welt der Termiten aufrecht zu erhalten.

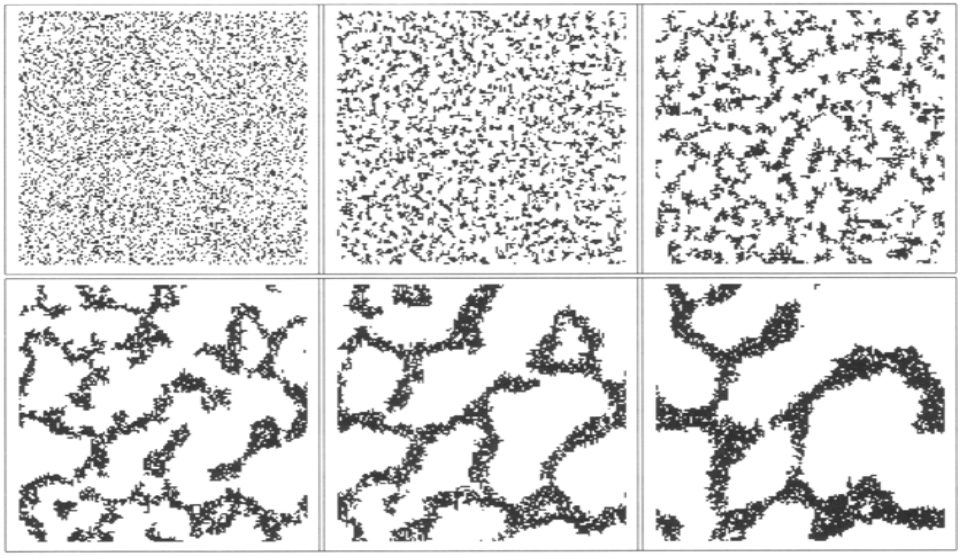
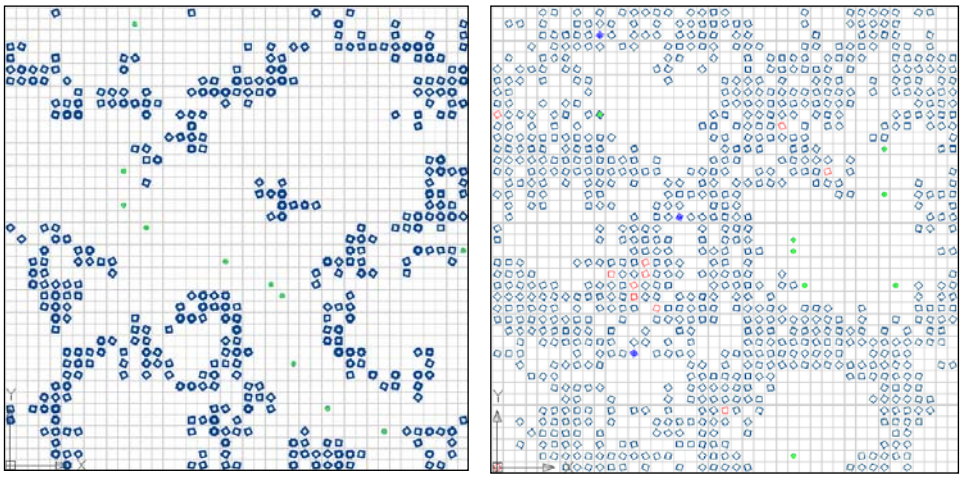
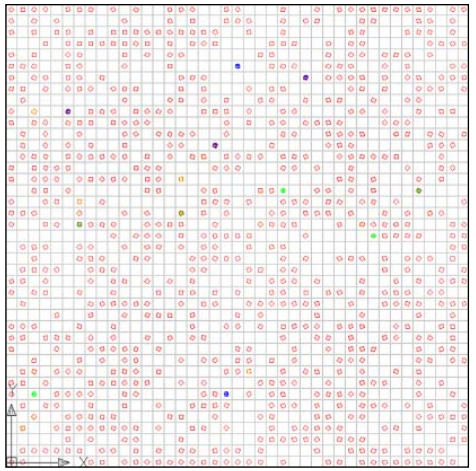


Abb. 4. 12. Termiten platzieren mittels der Braunschen Bewegung Holzstückchen. Aus FLAKE [27], S. 263





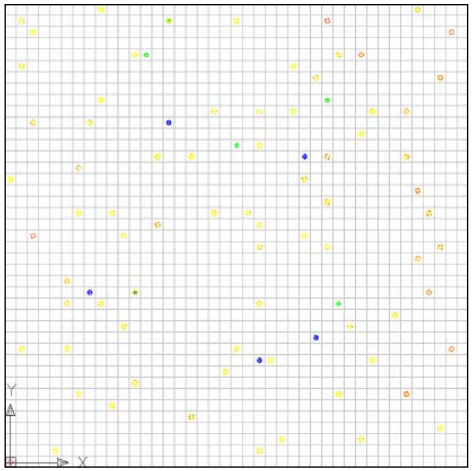


Abb. 4.15 und 4.16. Lassen wir den Prozess in seiner „Reinform" ablaufen, also ohne bestimmte Einschränkungen an dem Zufallsprozess vorzunehmen, dann räumen die Termiten-Agenten alle Holzstückchen auf einen einzigen Haufen. Die Abbildung oben links zeigt die Startbedingung; auf der rechten Seite sind noch wenige Haufen übrig (gelb markiert). Lässt man den Vorgang noch sehr lange weiter rechnen, werden diese auf einen letzten Haufen geordnet.

Abb. 4.13 und 4.14. Die beiden Abbildungen unten zeigen Experimente mit Termitensystemen. Bei dem linken Bild durften die Holzstückchen noch aufeinander gestapelt werden, während sie im rechten Beispiel nur nebeneinander platziert werden konnten.

Atommodell

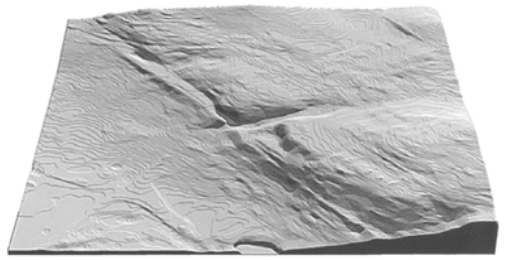
Als Atommodell bezeichnen wir den Untersuchungsrahmen, wie sich Elemente mit unterschiedlichen Eigenschaften, welche zu verschiedenen Umgebungsanforderungen führen, miteinander kombinieren lassen. Die Eigenart von Atomen, sich über bestimmte Kombinationen von Bindungen zu Molekülen zusammenzuschließen, welche dann dem Stoff, den sie bilden, ein spezifisches Verhalten verleihen, dient uns 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.

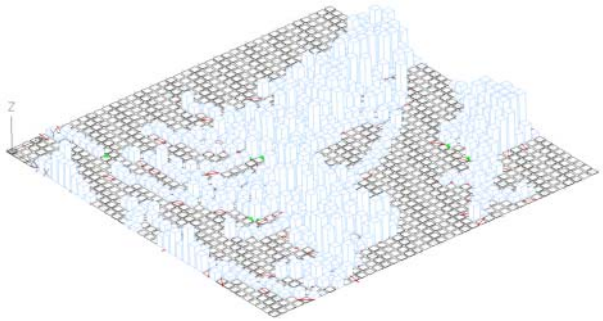
4.4 Felder

vector Field

Ein Vektorfeld besteht, wie der Name bereits verrät, aus vielen einzelnen Vektoren, die wir mit Magnetfeldnadeln vergleichen können. Die Ausrichtung der Vektoren gibt die Bewegungsrichtung für Elemente (in unserem 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 können wir 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 beschriebenen wurden, zu beinhalten.
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.







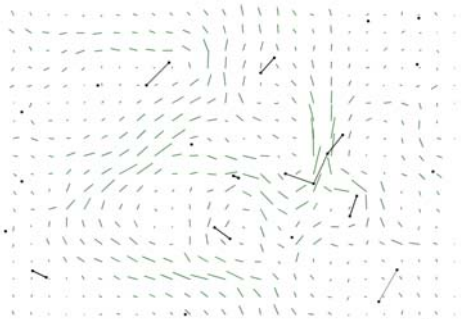


Abb. 4.17 und 4.18 (oben) aus Manuel de Landa: A Thousand Years of Nonlinear History. Die beiden Abbildungen zeigen unsere Intetion bei der Eiführung des vector Field Modells für die Repräsentation z.B. topographischer Gegebenheiten.

Abb. 4.19 und 4.20. Die obere der beiden unteren Abbildungen als einfaches Beispiel der Entwicklung eines extrusion Fields aus einer vektor Field Simulation.
Die unterste Abbildung zeigt Bereiche mit stärker ausgeprägten Feldnadeln und Regionen, die eine Abstoßung bewirken.

Extrusion Field

Das Extrusions-Feld ermöglicht es uns, 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.

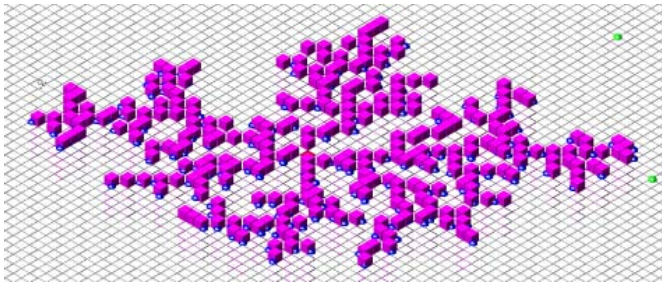
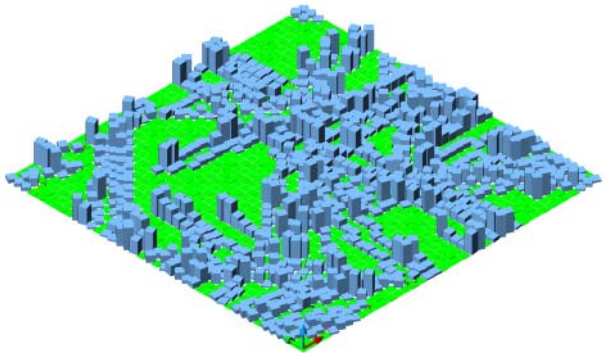


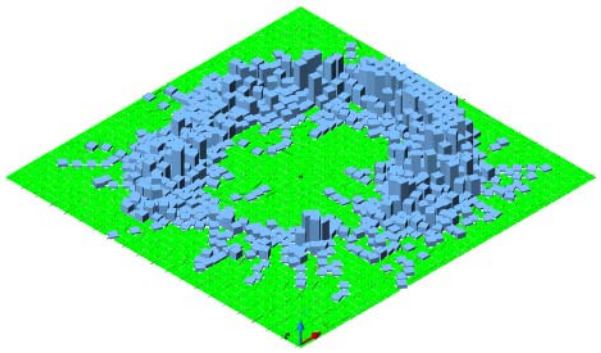
Abb. 4.21. Die Abbildung stellt das extrusion Field der ‚diffusion limited aggregation' dar.

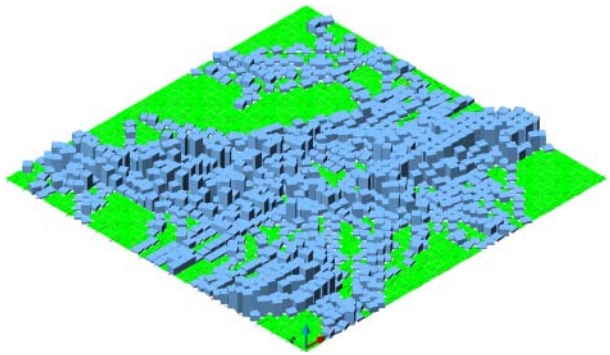
Information Field

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 [04]). 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.

Abb. 4.22 - 4.23. Die Abbildungen stellen von links nach rechts jeweils ein Feld dar für: Schwarmverhalten, Ringverhalten und den Strom eines Vektorfeldes.







4.5 Zelluläre Automaten

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. Rechnen neben diesen vier Zellen auch noch die vier diagonal benachbarten 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 o, wahr oder falsch, an oder als, 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 [34] SPEKTRUM S.60 ff

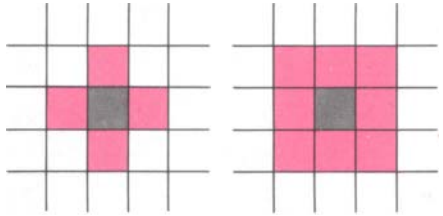
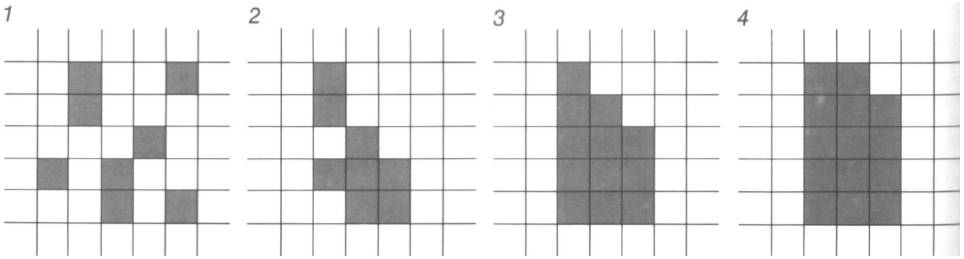


Abb. 4.24. Von Neumann- (links) und Moore- Nachbarschaft (rechts). Aus SPEKTRUM [34] S. 62.

Abb. 4.25. Evolution eines zellulären Automaten nach der Wahlregel „zwei aus fünf“. Aus SPEKTRUM ü[34] S. 62.



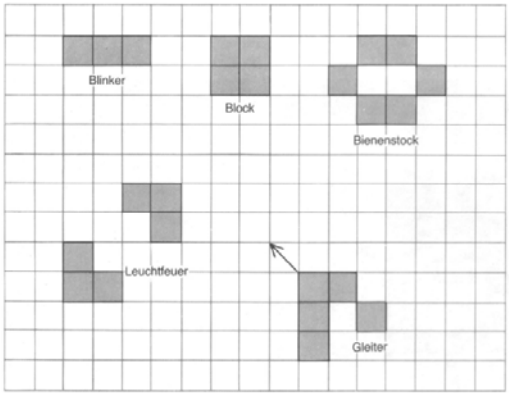


Abb. 4.26. Einige bemerkenswerte Konfigurationen aus John Horton Conways zweidimensionalem „Spiel des Lebens“. Aus SPEKTRUM [34] S. 76.

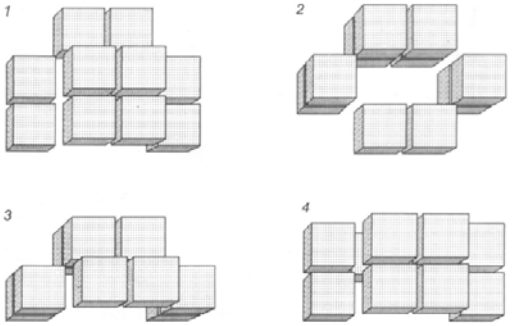


Abb. 4.27. Fortbewegung eines Gliders in „Life 4555“ - in einem dreidimensionalen zellulären Automaten.
Aus SPEKTRUM[34] S. 76.

4.6 L-Systeme

„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 Premyszlaw 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 [30]: Geschichte und Funktionsweise eines L-Systems

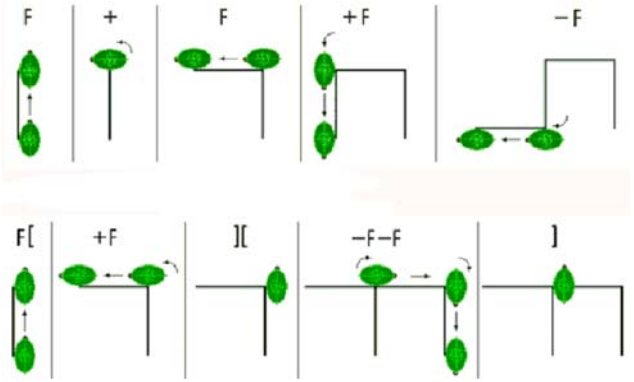
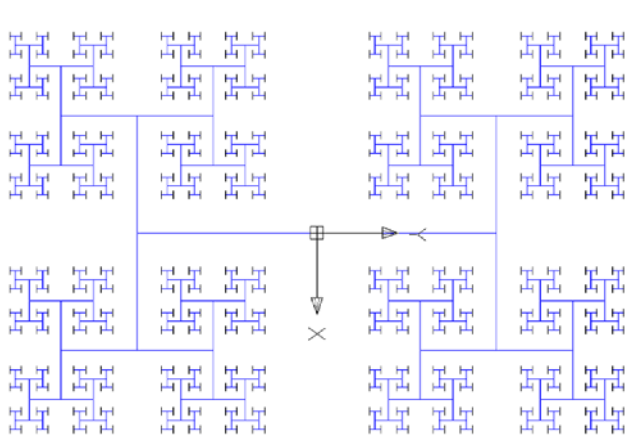
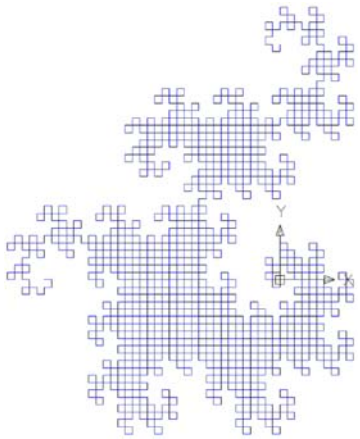


Abb. 4.28 (links) aus JOSSEN und EYER [30]:
Das Alphabet des L-Systems entspricht diesen Befehlen:
V = {F, G, ..., +, -, [,]}

Das Wort F+F+F – F würde also von der Schildkröte wie in der oberen Reihe der Abbildung interpretiert (d = 90°).

Das Wort F[+F][-F-F]F wie in der unteren Zeile.





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 –> FF; B –> F(—B) + B

Die Zeichen stellen dabei Befehle für eine so genannte ‚Schildkröte' dar, die als Zeichnungsinstrument dient und die wir wie folgt steuern 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 letztgemerkten 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.

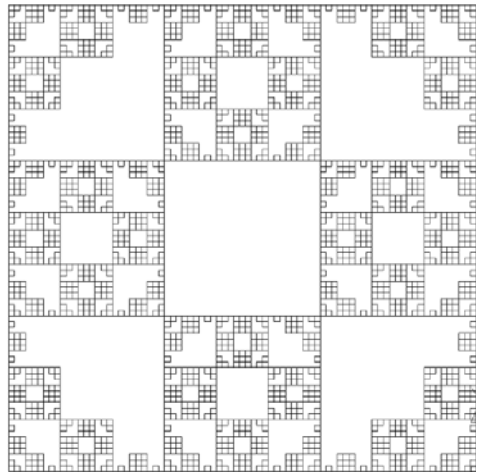


Abb 4.29 - 4.31. unten links: Big-H,
Axiom: (F)- - F, Rule: F = |(+F)(- F)

Mitte: Dragon-Curve,
Axiom: F, Rules: F = - F++G; G = F - - G+

Rechts: Sierpinski-Square, Axiom: F – F – F – F, Rule: F(F) – F + F(- - F) + F – F

Datei: [46_L-Systeme.dvb]

4.7 Genetischer Algorithmus

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, benötigen wir für das Computermodell einen Ersatz für die Selektionsinstanz der Umweltbedingungen. 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 Genkodes für jedes digitale Wesen. Dieser Kode wird in binärer Form gespeichert. Beispielsweise „1000010111110010011111010011001010011110000101000"
- die Dekodierungsfunktion, welche aus dem binären Kode die entsprechenden Eigenschaften ausliest, was über eine Umrechnung in dezimale Zahlen geschieht.
- 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 Kode 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.

4.8 Graphen

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.

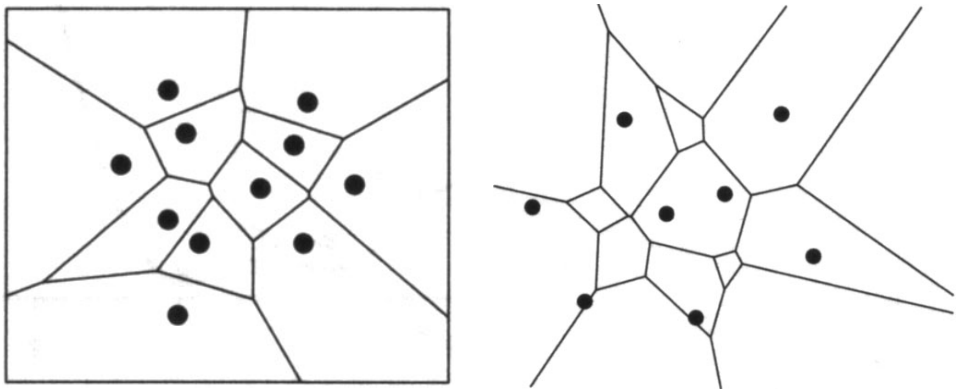


Abb. 4.32 aus ‚Computational Geometry' [23].

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. Für uns wird diese Verfahren für die Generierung eines Minimalwegesystems interessant (siehe SCHAUR [09]).

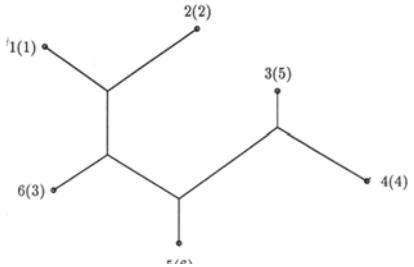
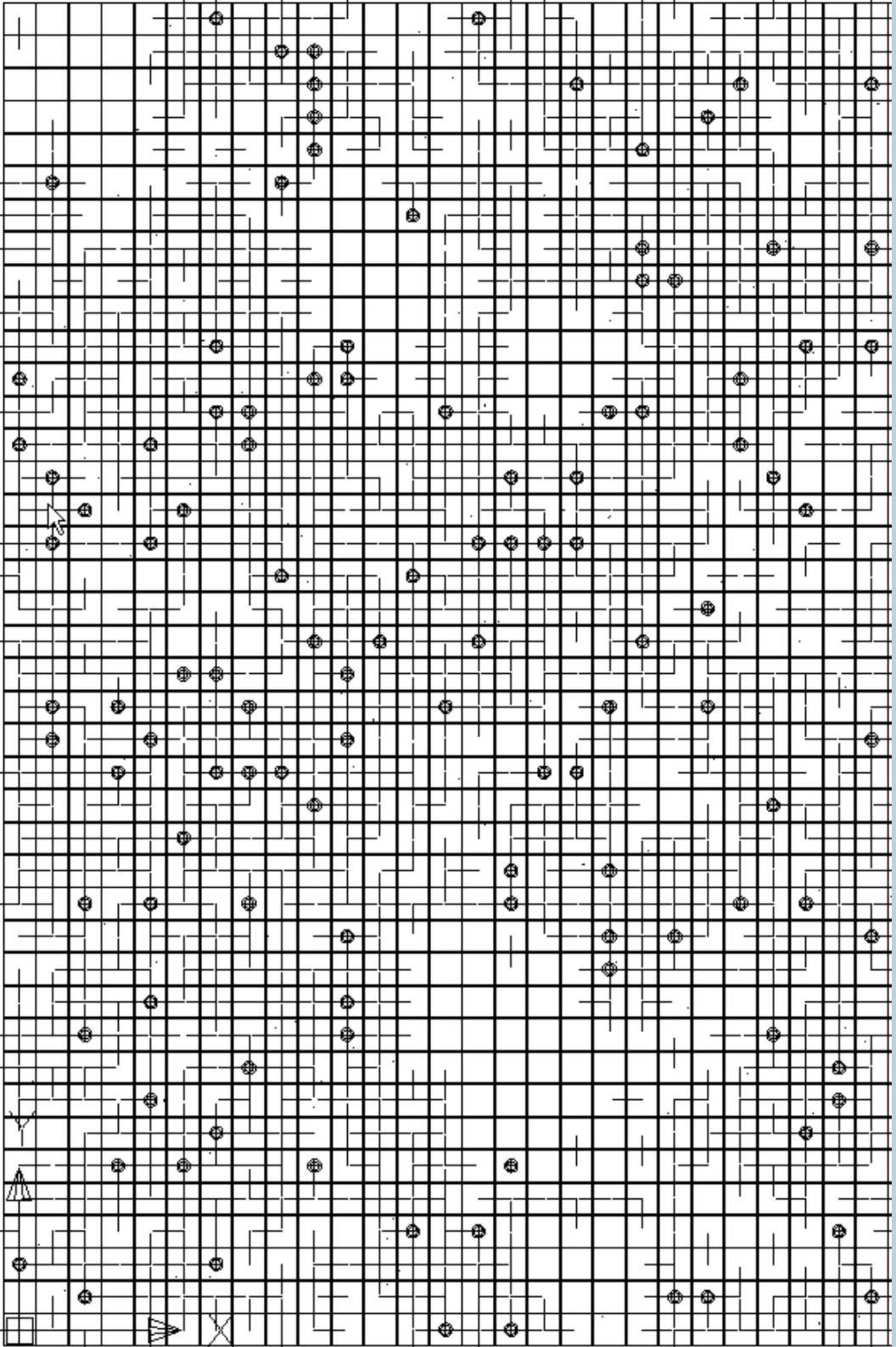


Abb. 4.33. „The origin of the Euclidean Steiner problem is often traced back to Fermat (1601 – 1665) who proposed the following problem: find in the plane a point, the sum of whose distances from three given points is minimal."
Aus HWANG, RICHARDS, WINTER [29]



Entwurfsumgebung

5. Entwurfsumgebung

Abgeleitet von der Konzeption des Entwurfsmodells aus Kapitel 3 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 und 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, und 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.

5.1 Informationsebene

Unsere Ideen für diesen Teil der Entwurfsumgebung werden wir konzeptionell abhandeln. Unter Punkt 4.2 haben wir 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 wir als gegeben annehmen 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 können wir den Teilflächen, welche das Zellenraster bilden und als Grundlage der meisten Generierungssysteme dienen, einen Kennwert zuweisen, der die Ebenheit der Fläche ausdrückt, um steile Hänge und ebene Grundstücke zu unterscheiden. 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 (Abb. 5.6 – 5.8). Diese Informationen können vor allem für die Steuerung der Optimierungsprozesse dienen, die unter Punkt 5.4 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 Vektor abgelenkt, der das Resultat vorangehender Bewegungsmuster ist, beeinflusst aber seinerseits auch den Vektor in Betrag und Ausrichtung durch die eigene Bewegung (Abb. 5.1 – 5.5). Ein weiteres Beispiel ist die Erfassung des Bewegungsverhaltens, wie es in der Arbeit „Interacting unities" von ELENI, TURNER, THUM [26] ausgeführt wird (Abb. 5.9 und 5.10).

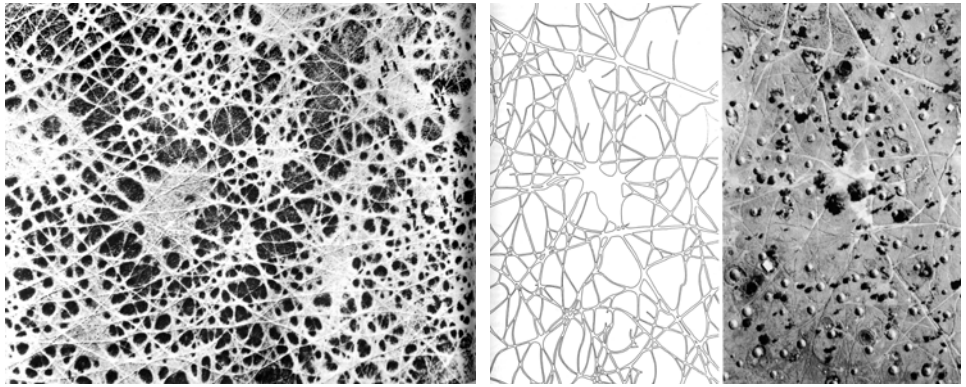
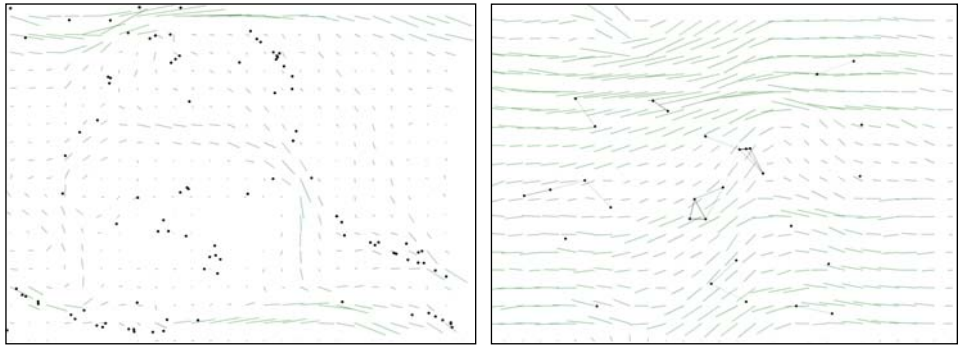
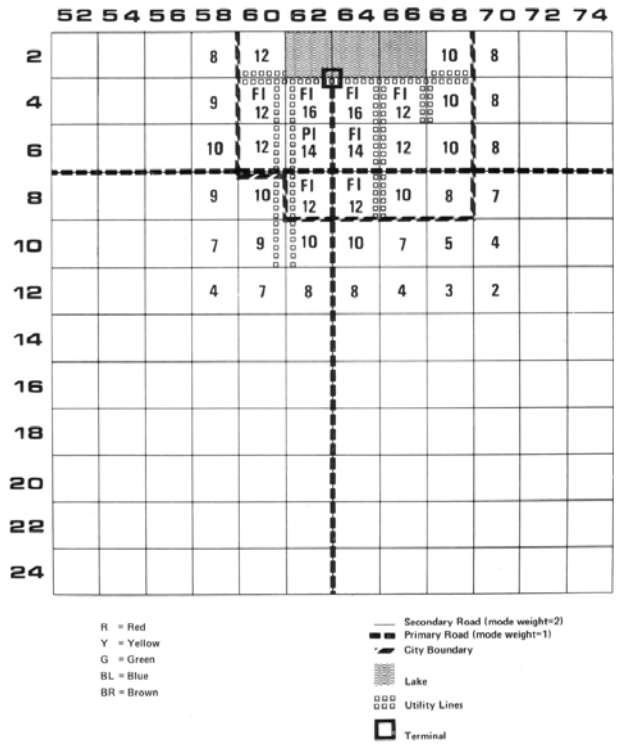
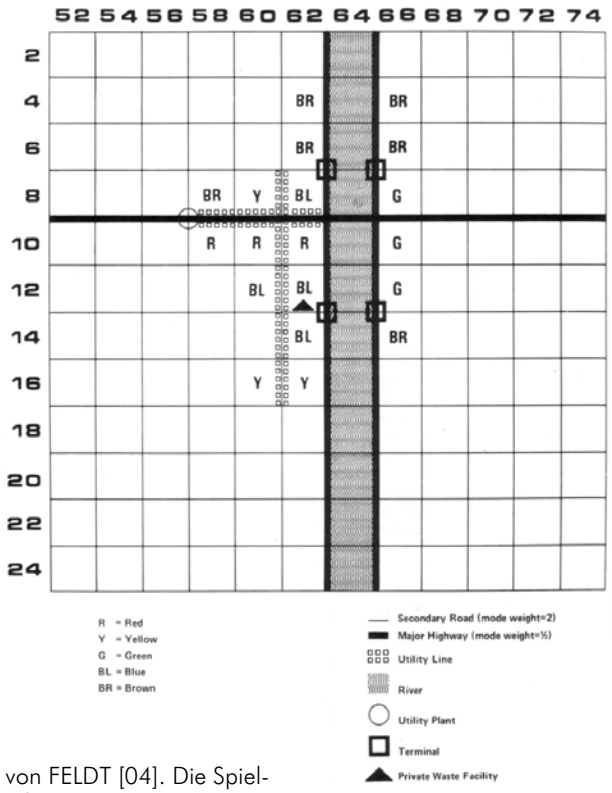


Abbildung 5.1 (oben) Trampelpfade
links: Trampelpfade der Huftiere in der mesopotamischen Tiefebene. Aus SCHAUR [09] S. 153
rechts: Streudorf zwischen Natronsee und Serengeti, Tansania. Aus SCHAUR [09] S. 100

Abbildung 5.2 - 5.5 (mitte und unten) Vector-Field Simulationen. Darstellung der Interaktion zwischen Agenten und Vektornadeln.







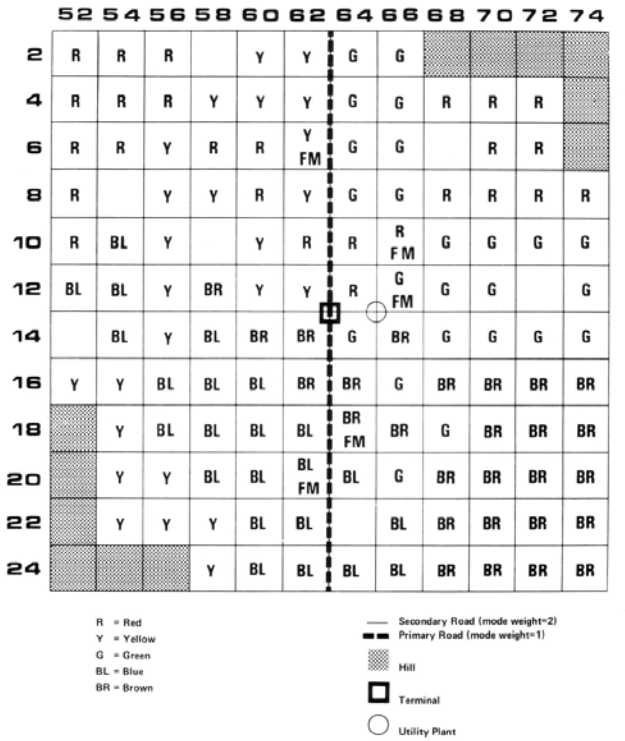
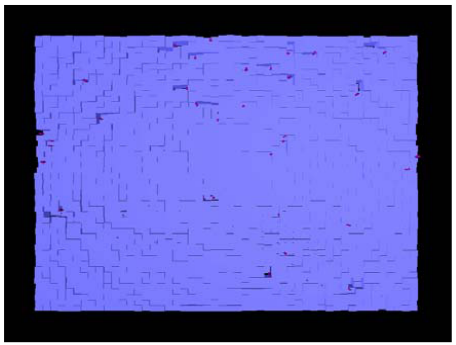


Abbildung 5.6 -5.8 (oben) aus CLUG – Community Land Use Game von FELDT [04]. Die Spielfelder verdeutlichen die Repräsentation verschiedener Daten in graphischer Form – von topographischen Aussagen bis zu Besitzverhältnissen und Grundstückspreisen. CLUG gilt als der Urahn von Computerspielen wie SimCity und anderen Simulationsprogrammen.



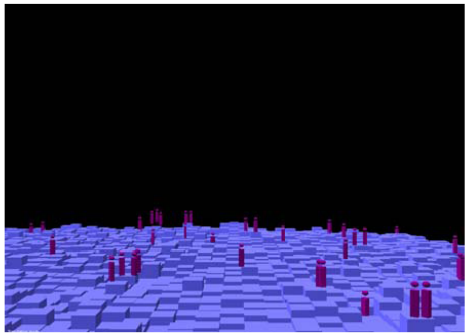
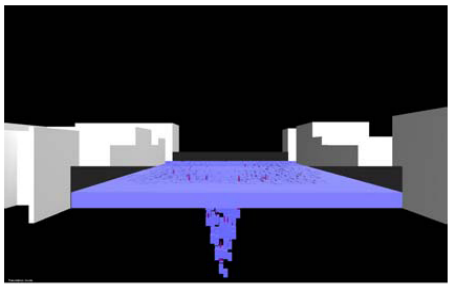
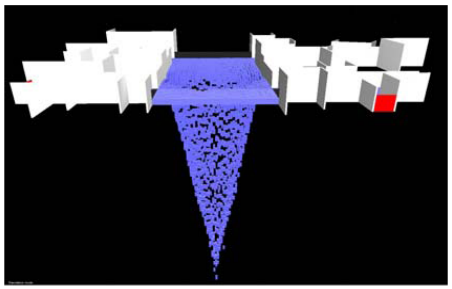


Abbildung 5.9 (links) und 5.10 (rechts) der unteren Reihe stammen aus „Interacting unities“ von ELENI, TURNER, THUM [26]





5.2 Wegesystem

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 wir hier allerdings nicht behandeln wollen. Wir werden uns im Wesentlichen auf die primären Wegesysteme konzentrieren, 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 Städten, die durch den Verkehr von Fußgängern und Pferdewagen geprägt waren.

In der modernen Stadtplanung haben sich 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 auch wir uns mit unseren 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[10]. 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 finden wir bei SCHAUR [09], „Ungeplante Siedlungen".

Jeder von uns ist sich des physischen und psychischen Unterschieds bewusst, sich als Fußgänger in verschiedenen Umwelten zu bewegen, beispielsweise neben einer breiten, geradlinigen und viel befahrenen Autostrasse zu laufen oder in einer verkehrsberuhigten Altstadt zu flanieren, und wie sich die Anforderungen an die Umwelt und die Verkehrsbedingungen ändern, wenn wir selbst in einem Auto sitzen.
Wir werden entsprechend nach Methoden suchen, Straßensysteme zu generieren, die den unterschiedlichen Anforderungen in ihrer Gestalt entsprechen und uns 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 uns aus Bereichen der Verhaltens- und Wahrnehmungsforschung bereitgestellt werden.

Im Gegensatz zu Watanabe soll unsere 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 [09] 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. 5.11). 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 wir in unserer Arbeit beschreiben, als Rückkoppelungsfunktion verwendet. Primär hat das System die gestellten Restriktionen zu erfüllen, um zu einem Entwurf zu führen.

„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 enjoyability in terms of walking."
[WATANABE] – Induction Design: Generated City Blocks (1995)

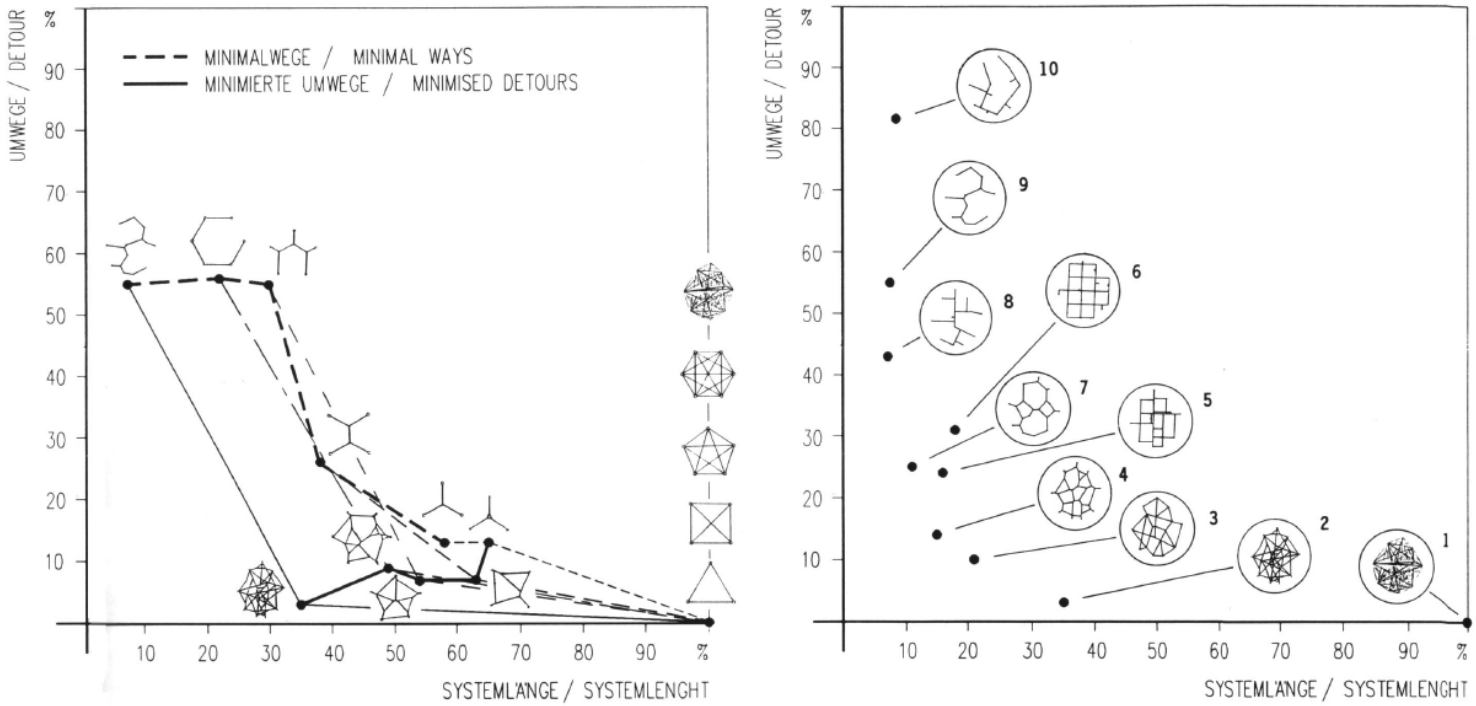


Abbildung 5.11 aus SCHAUR [09] S. 51.
Vergleich unterschiedlicher Wegesysteme nach Systemlänge zu Umwege.

Ab- und Anlagerungen

Wir beginnen unsere Untersuchungen bei den ‚Diffusion-Limited Aggregation' (DLA) Prozessen, welche sich auch treffend als Anlagerungsprozesse bezeichnen lassen. Für eine effiziente Simulation greifen wir auf das von JOSSEN und EYER [30] beschriebene Verfahren zurück (Abb. 5.13).

Mit diesem System lassen sich Wachstumsprozesse von Städten simulieren, wie in Fractal Cities von BATTY und LONGLEY [02] detailliert nachgelesen werden kann (Abb. 5.15 – 5.18). In dem Zitat von DERIX, SIMON und COATES [25] (bei Abb. 5.12)), ist die Anwendung auf Siedlungsstrukturen in kleinerem Maßstab beschrieben.

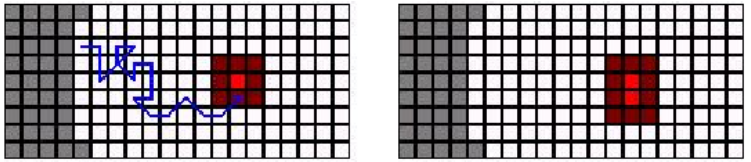
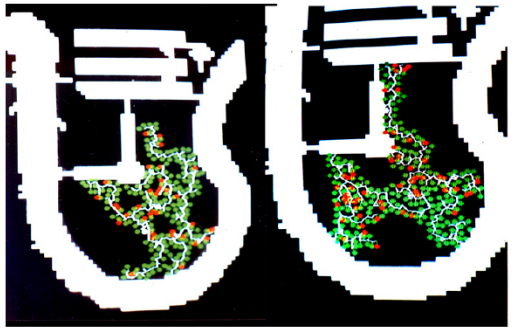


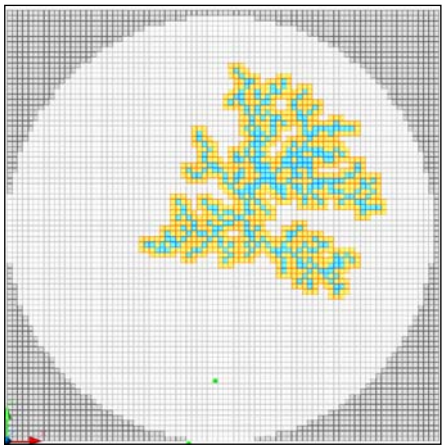
Abb. 5.13. Trifft der wandernde Punkt auf eine besetzte Zelle, so wird er an der Seite, an der er den Punkt getroffen hat, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit angelagert, d.h. er besetzt ebenfalls eine Zelle (hellrot).
Abbildung aus [30] JOSSEN und EYER.

Abb 5.12. *„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 & Leaman 1978)[X]. Following on from Steadman's (Geometry of Environment 1970)[X] 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."*



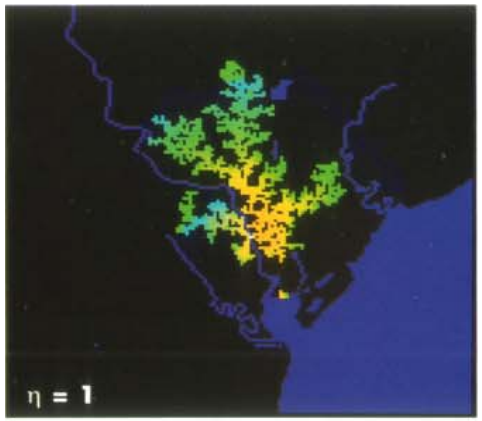
P. Coates – Alpha Syntax study of the Isle of Dogs

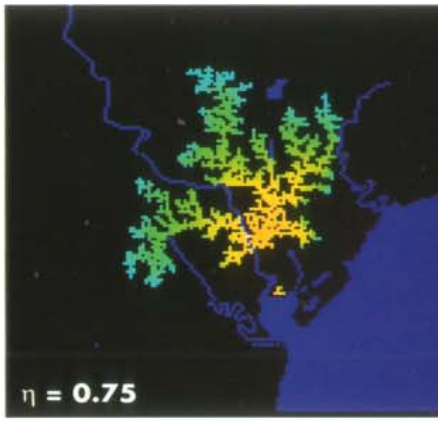
Abb. 5.14. Diffusion-Limited Aggregation.
Wir verwenden zwei Agenten und den Wahrscheinlichkeitswert 1, d.h. jeder Punkt wird angelagert.
Datei: [01_wegesys_ablager_01.dvb]

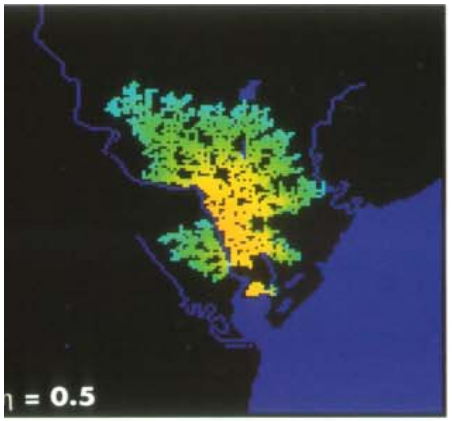


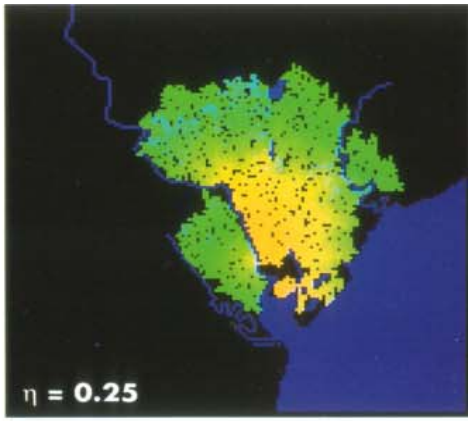
Die angegebenen Werte auf den Abbildungen unten drücken die Wahrscheinlichkeit aus, dass ein Punkt angelagert wird - 1 stellt dabei 100% dar. Je Geringer dieser Wert, desto öfter Können Punkte weiter in das innere der Struktur gelangen, wodurch diese dichter wird.

Abb. 5.15 - 5.18 (v. l. n. r.). Urbane Wachstumssimulation von Cardiff. Abbildungen aus Fractal Cities [02], S. 74.









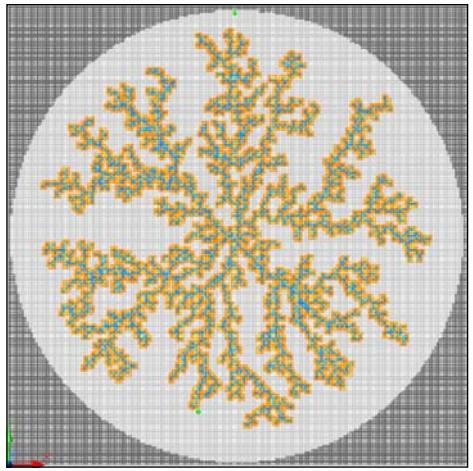


Abb. 5.19. Das Feld besteht aus 200 auf 200 Zellen. Die Wahrscheinlichkeit der Anlagerung beträgt 1. Es wurden 3127 Elemente (blau) angelagert.

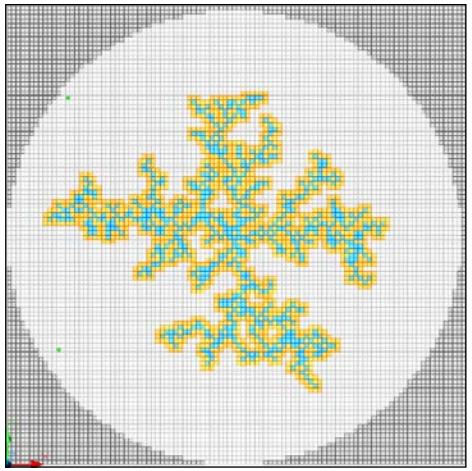


Abb. 5.20. Aufgrund der hohen Rechenzeiten verkleinern wir das Feld auf 100 mal 100 Zellen, was zur Darstellung der wesentlichen Gestalteigenschaften ausreicht. Hier mit dem Wahrscheinlichkeitswert 0,5 berechnet.

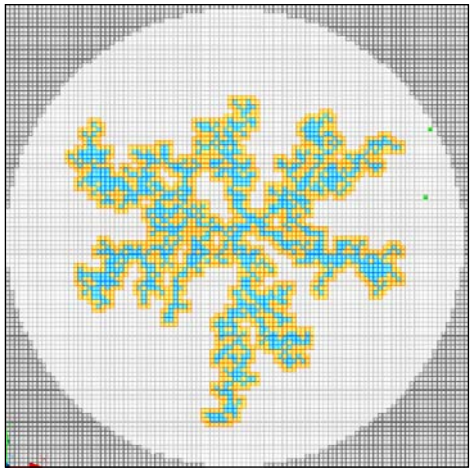


Abb. 5.21. Feld mit 100 mal 100 Zellen. Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,25. 928 angelagerte Elemente.

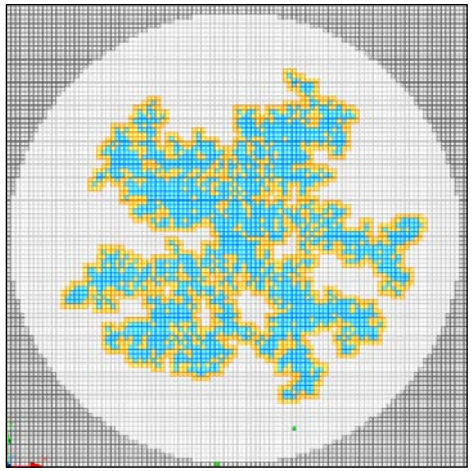


Abb. 5.22. Feld mit 100 mal 100 Zellen. Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,1. 1650 angelagerte Elemente.

Wir betrachten hier nur einige Eigenschaften der Wachstumssysteme, da diese lediglich die Voruntersuchungen für unser eigentliches 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 wir zur Berechnung verwenden, bietet uns einige nützliche Möglichkeiten, die Entwicklung der Struktur zu beeinflussen. So können wir Zellen definieren, die keine Anlagerung zulassen und beispielsweise ein zu steiles Baugelände oder einen Grüngürtel oder –keil repräsentieren. Außerdem haben wir die Möglichkeit, Bereiche mit höherer Anlagerungswahrscheinlichkeit und andere mit einer geringeren zu definieren, was die Attraktivität des Geländes aus wirtschaftlichen, ökologischen u.a. Gründen widerspiegelt. Der Wahrscheinlichkeitswert für eine Anlagerung, den wir über den Wanderpunkt definieren, ist schließlich ein Parameter, der die Dichte der Besiedelung beeinflusst.
Verwendet man die Wahrscheinlichkeit, wie oft ein Wanderpunkt an einem Ort ankommt (Abb. 5.23), ließe sich daraus eine Regel zur Höhendifferenzierung der Siedlungsstruktur ableiten, die eine Höhenzunahme an den Rändern zur Folge hätte. Derlei Regelungen können wir 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.

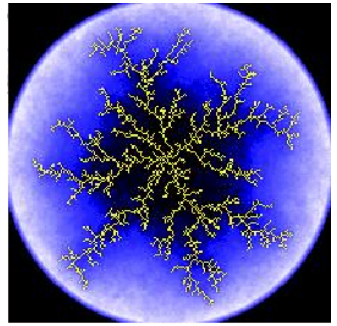
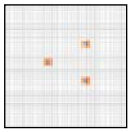


Abb. 5.23. aus JOSSEN und EYER [30]. Es wurden sämtliche Punkte - mit einem beträchtlichen Rechenaufwand - analysiert. Punkte mit der gleichen Wahrscheinlichkeit sind mit derselben Farbe gekennzeichnet.



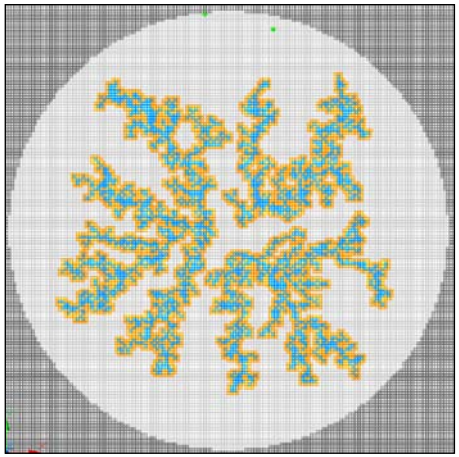
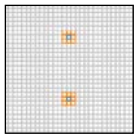
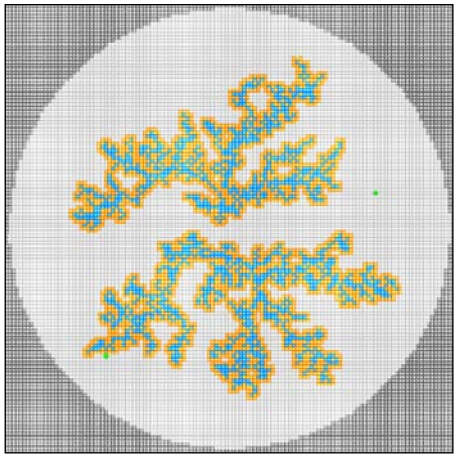
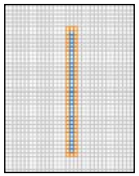


Abbildung 5. 24 (links) Ein Beispiel für die Entwicklung mit drei besetzten Anfangszellen. Die Agglomerationen wachsen entgegen unseren Erwartungen nicht zusammen, sondern entwickeln sich bei der verwendeten Feldgröße von 150x150 Zellen getrennt voneinander. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Wanderpunkte 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.
Datei: [01_wegesys_ablager_02.dvb]

Abbildung 5.25. (rechts) Entwicklung mit zwei besetzten Anfangszellen. Auch hier wachsen die Agglomerationen bei den gleichen Bedingungen aus den selben Gründen nicht zusammen.







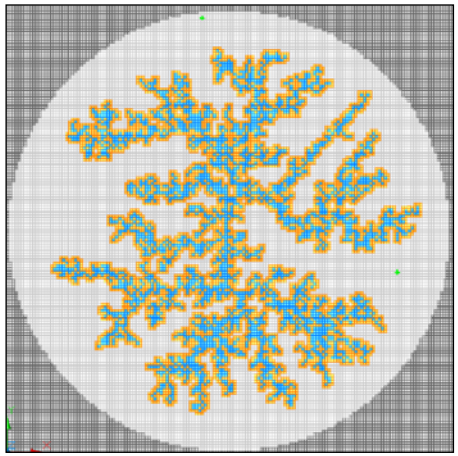
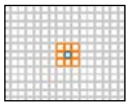
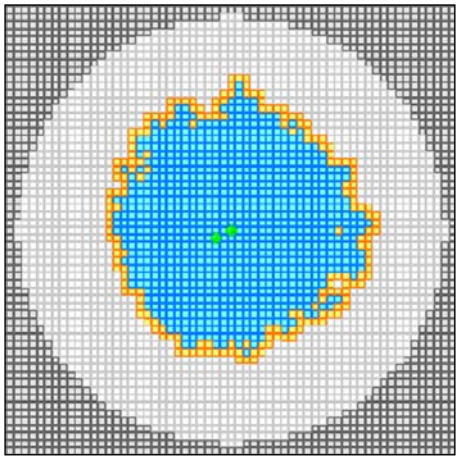
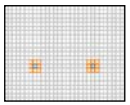


Abbildung 5.26. (links) Anlagerung an einer linearen Ausgangskonfiguration. Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,3. 2667 angelagerte Elemente.

Abbildung 5.27 (rechts) 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, kreisförmigen 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 Wanderpunkt zwar die Grenzlinie häufiger überschreiten, dann gilt allerdings wiederum das Verhalten des ursprünglichen DLA Systems, dass bei einer niedrigen Anlagerungswahrscheinlichkeit die Verästelung verringert wird.







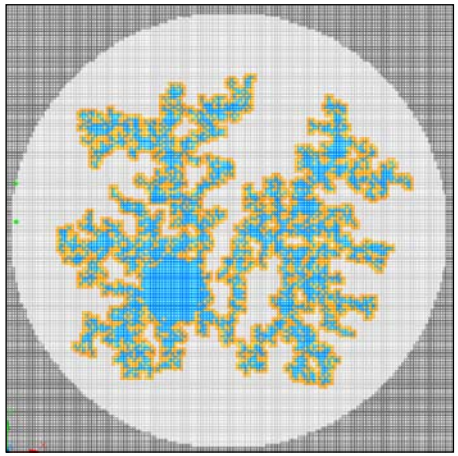
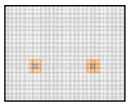
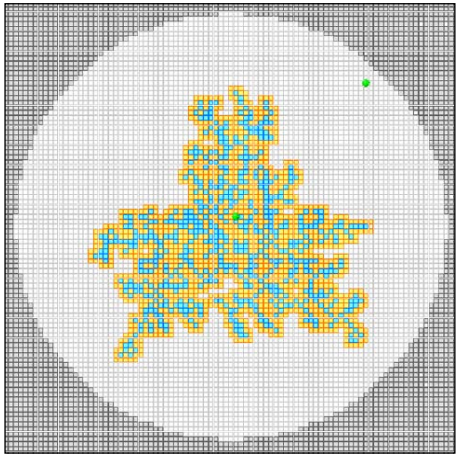


Abbildung 5.28 (links) Auf der Suche nach einem Modell, dass zwei Agglomerationen zusammen wachsen lässt, sind hier beide Systeme miteinander gemischt, so dass der Wanderpunkt entweder vom Kreisrand oder vom Mittelpunkt startet. Das Verhältnis können wir mit einem Wahrscheinlichkeitswert bestimmen, wobei die wenigsten Punkte vom Mittelpunkt aus starten – in diesem Beispiel mit der Relation 1 : 100 gewählt; die Anlagerungswahrscheinlichkeit beträgt 0,2. Wir konnten damit jedoch kein Zusammenwachsen erreichen.

Abbildung 5.29 (rechts) 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





Als nächstes untersuchen wir ein System, welches als Dielectric Breakdown Model bezeichnet wird (Abb. 5.31). 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 wir auf die Moorsche Nachbarschaft zurückgreifen (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

Die Erkenntnisse, welche wir aus den Experimenten zu den Ab- und Anlagerungsprozessen gewonnen haben, werden uns als Grundlage für die Entwicklung eines Generierungssystems für ein Erschließungssystem dienen. An unseren Arbeitsmaßstab werden wir uns allmählich von den übergeordneten Stadtstrukturen aus annähern.
Zuerst werden Verbindungselemente eingeführt und der Nachbarschaftsbereich einer Zelle und damit die Anlagerungsmöglichkeiten für die Wanderpunkte erweitert. Bei jeder Anlagerung wird eine Verbindungslinie zu den besetzten Zellen in der Nachbarschaftsreichweite gezogen, womit eine erste Idee eines Erschließungssystems erzeugt wird. Über die Einstellung der Anlagerungswahrscheinlichkeit lässt sich die Maschendichte des Wegenetzes beeinflussen.

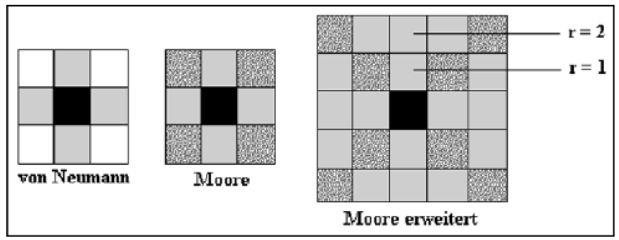


Abb. 5.30 (links) Erweiterte Nachbarschaftsbereiche. Abbildung aus JOSSEN und EYER [30] (rechts) Anlagerungspunkte mit erweiterter Nachbarschaft sind durch Linien verbunden. AW = 1

Abbildung 5.31 aus BATTY, LONGLEY [02], Fractal Cities, S. 280. Nachbarschaftssystem für Anlagerungsmöglichkeiten beim Dielectric Breakdown Modell.

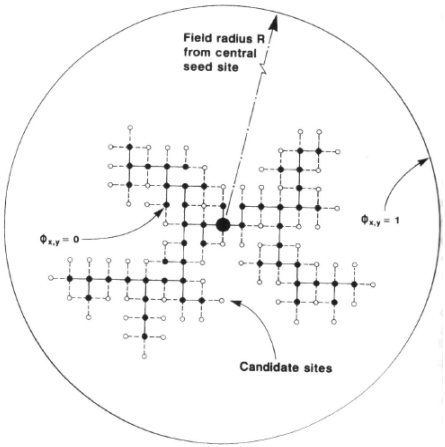
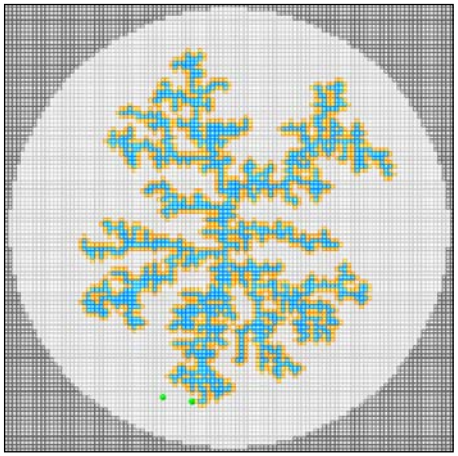
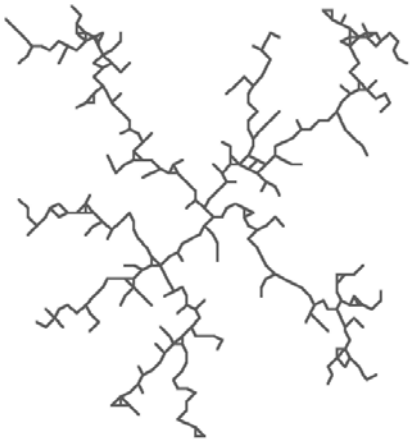
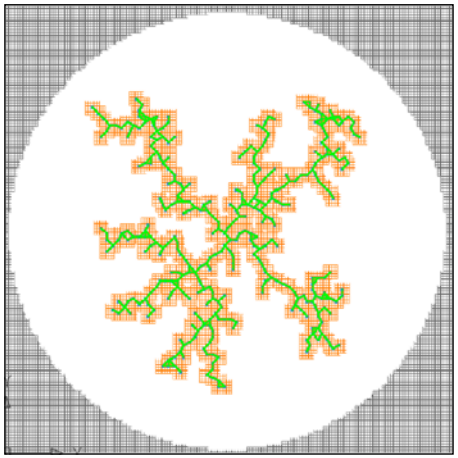
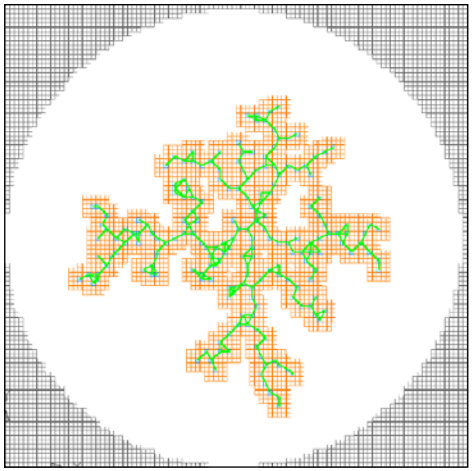


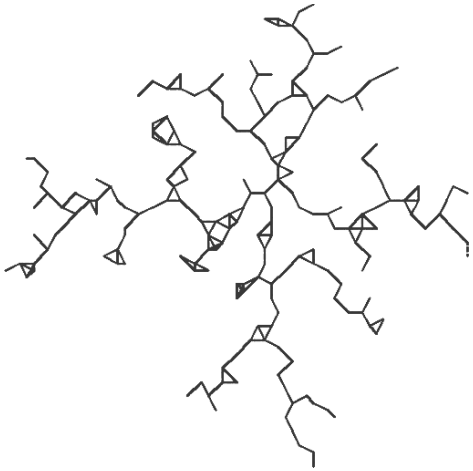
Abb. 5.32 - 5.34. Eine mit den DBM Regeln erzeugte Struktur. Die Merkmale unterscheiden sich nicht wesentlich von den DLA Strukturen. Anlagerungswahrscheinlichkeit 1. 1243 angelagerte Elemente.
(unten links) Die verbundenen Anlagerungspunkte ergeben eine Wegestruktur.



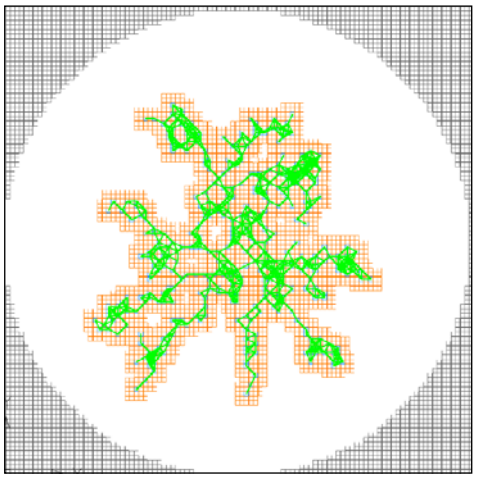


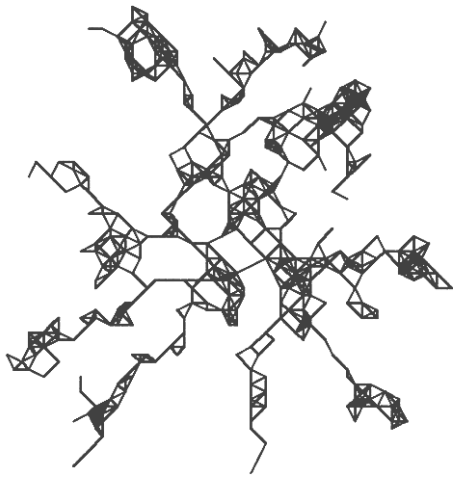


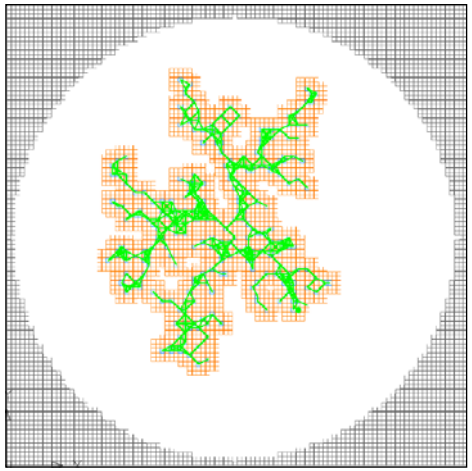


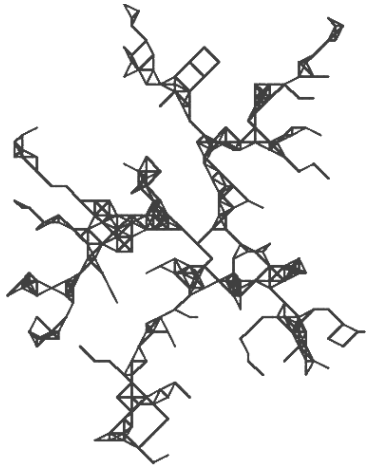


Abbildungen 5.35 - 5.39 (oben) stellen zwei Anlagerungssysteme dar - mit der Wahrscheinlichkeit 0,5 (links) und 0,1 (rechts); in einer Umgebung von 100 mal 100 Zellen. Im Gegensatz zu der verästelten Baumstruktur auf der vorherigen Seite entstehen jetzt vernetzte Strukturen. Die Häufung von Anlagerungspunkten, wie in der rechten Abbildung deutlich zu erkennen, wird dadurch verursacht, dass in die Formel für die Anlagerungswahrscheinlichkeit die Anzahl der Nachbarn eingeht:
`Rnd(1) >= (1 - Wahrscheinlichkeit) ^ zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state`
`zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state` 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.

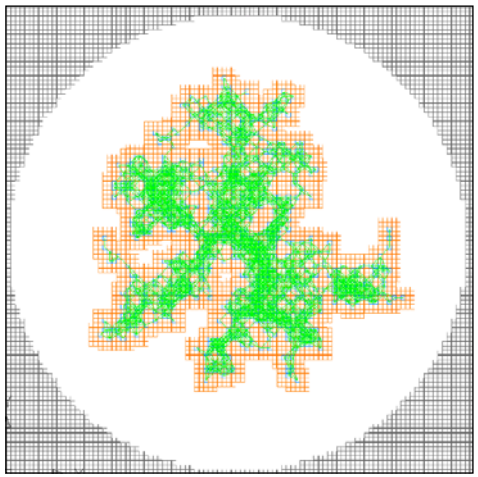


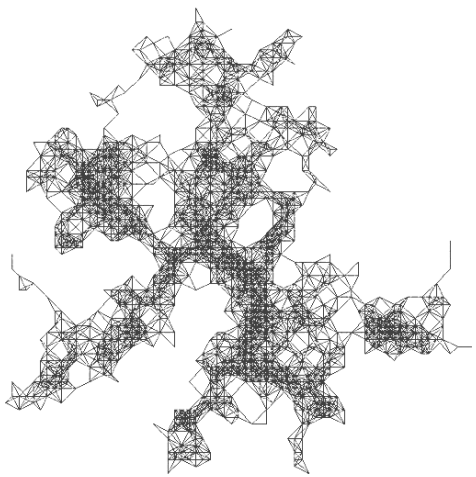






Abbildungen 5.40 - 5.44 (unten) zwei Varianten mit den Wahrscheinlichkeitswerten 0,05 (links) und 0,01 (rechts), was zu einer dichteren Vernetzung führt, bis die Struktur in einigen Teilen zu undifferenzierten Klumpen übergeht, im Gesamten allerdings noch immer deutliche Unterschiede in der Dichte des Wegenetzes aufweist und sogar einzelne, freie Inseln entstehen lässt.
Datei: [01_wegesys_ablager_03.dvb]





Bei näherer Betrachtung der erzeugten Strukturen richten wir unsere Aufmerksamkeit zuerst einmal auf die erzeugten Knoten – womit wir die Punkte benennen, an denen die Linien zusammentreffen. Man kann dies als eine topologische Beschreibung von Kreuzungen und Straßen verstehen, wobei wir die Straßen auch als Arme bezeichnen, 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 wir in den Städten vorfinden, kommen aber meist nur drei- oder vierarmige Knoten vor, weshalb wir die Anzahl der möglichen Arme eines Knotens im vorgestellten Programm ebenfalls auf 3, 4 bzw. 5 beschränkt haben (Abb. 5.45 und 5.46). Datei: [01_wegesys_ablager_04.dvb]

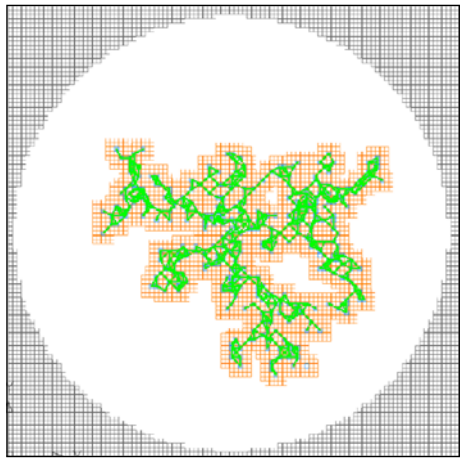


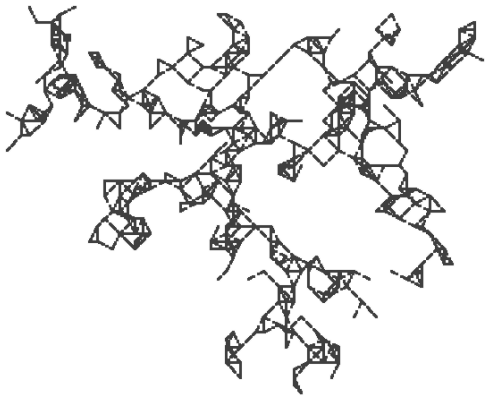


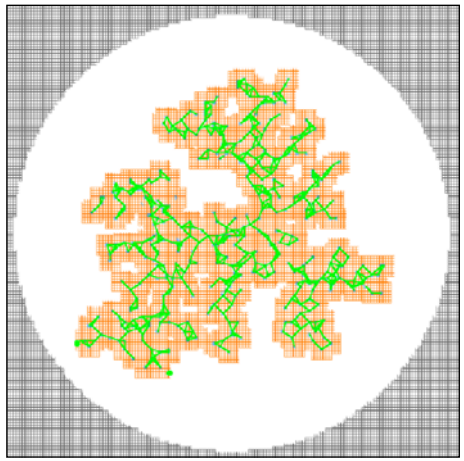
Abb. 5.45 und 5.46 (links) Details aus den Wegestrukturen. Oben mit unbegrenzter Anzahl an Armen, unten mit maximal 4, wobei sich einige Wege überschneiden, was dadurch zustande kommt, dass der Nachbarschaftsradius auf zwei Ringe r=2 gesetzt wurde.

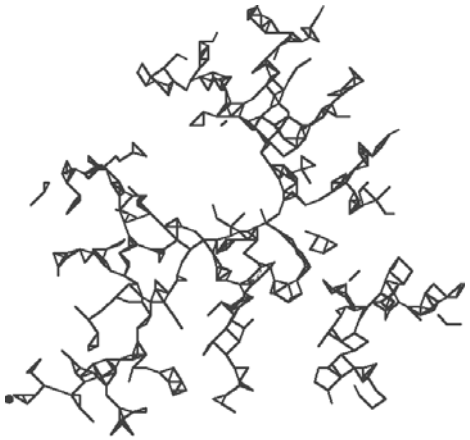
Abb. 5.47 - 5.48 (mittlere Reihe links) System mit fünfarmigen Knoten; Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,05; 100 x 100 Zellen.
(rechts) System mit vierarmigen Knoten; Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,04; 100 x 100 Zellen.

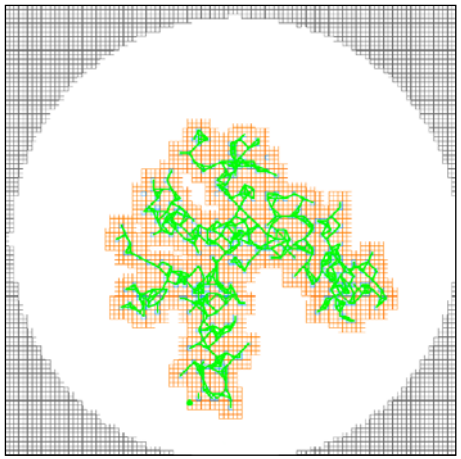
Abb. 5.49 - 5.50 (untere Reihe links) Der Nachbarschaftsbereich ist auf drei Ringe r=3 erweitert. Bei einer Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,04 und 150 x 150 Zellen.
(rechts) Die von Neumannsche Nachbarschaft ist auf die orthogonalen Zellen beschränkte – Mit dem Radius 2 und der Anlagerungswahrscheinlichkeit 0,4; 100 x 100 Zellen.

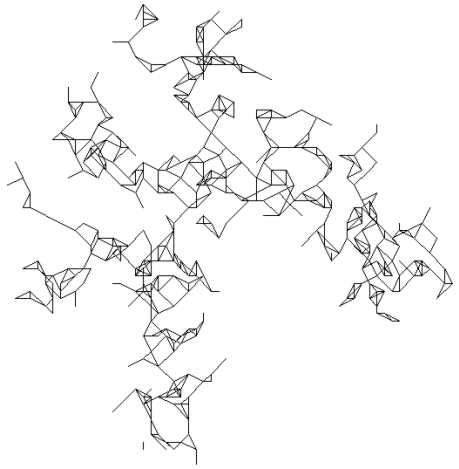


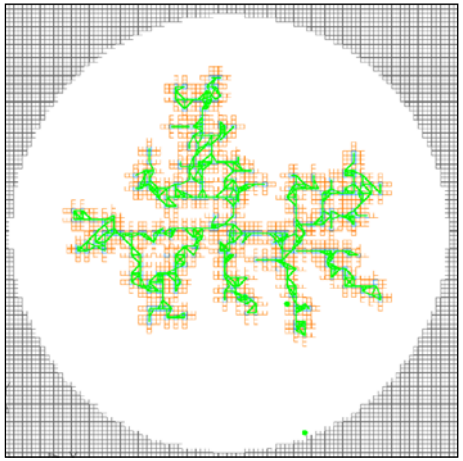


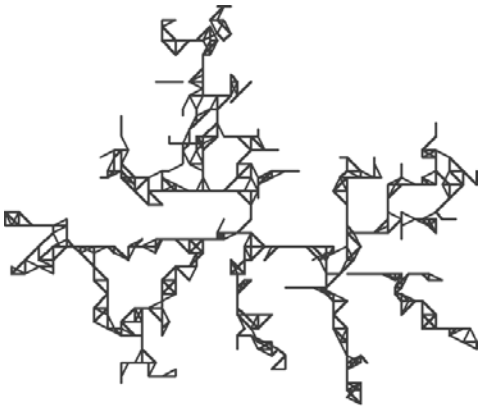












Strukturanalogien

Neben dem oben beschriebenen Vergleich mit dem Stadtwachstum am Beispiel von Cardiff aus Fractal Cities [02] und den Anlagerungsprozessen, gehen wir hier auf die Untersuchungen von Klaus HUMPERT [06] näher ein. In den nebenstehenden Abbildungen (Abb. 5.51) können wir besonders die Entwicklung des Eisenbahnnetzes für eine Überprüfung des Anlagerungssystems verwenden. Im oberen Bild ist die Ausbreitung von 7 „Anlagerungspunkten" zu sehen. Nachdem die Äste zusammengewachsen sind, vernetzt sich die Struktur zunehmend. Zum Nachweis der Anwendbarkeit unseres Systems lassen sich die Abbildungen 5.19 – 5.50 vergleichen, bei welchen mittels des Anlagerungsprozesses, analoge Strukturen generiert wurden.

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, werden wir immer wieder auf die Terminologie und die Maßstabsfenster aus Klaus Humperts Gliederung zurückgreifen. Wir befinden uns 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 fügen wir die Beschreibung aus HUMPERT [06] S. 36ff an:

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.

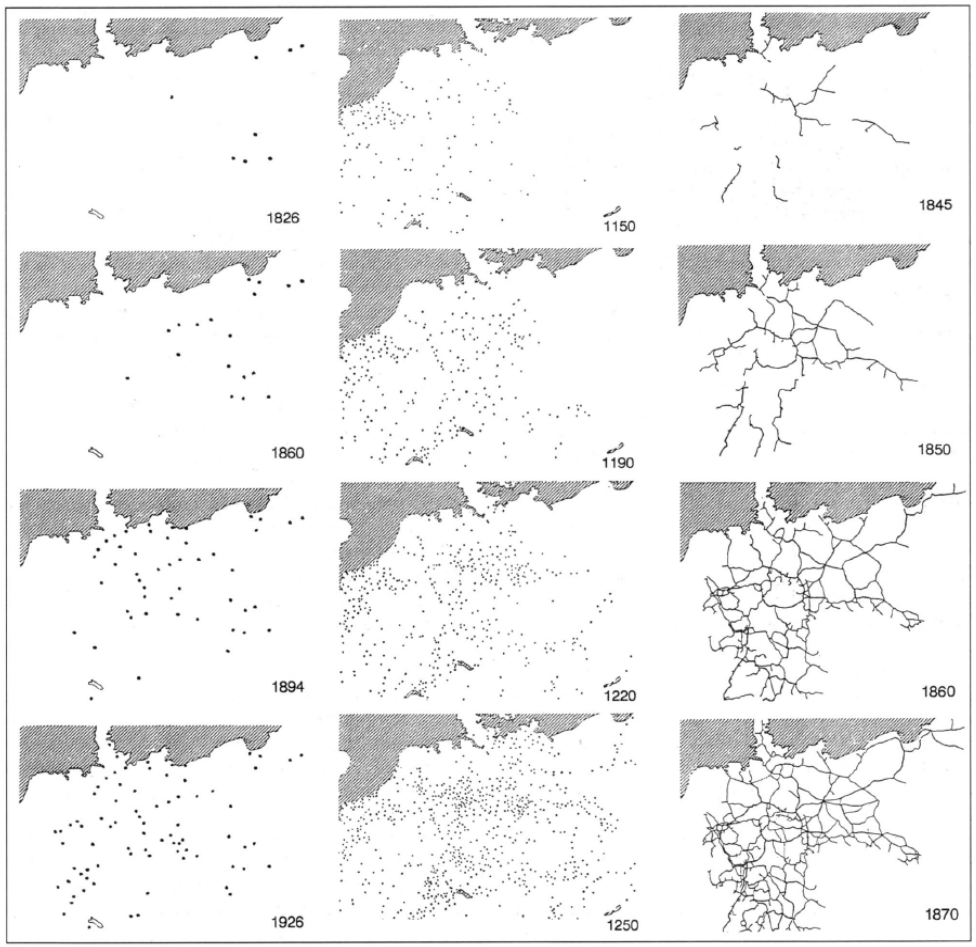


Abbildung 5.51 aus HUMPERT [06] S. 37. Von links nach rechts: Vergleich der Ausbreitung des Frühlingsgeiskrautes und der mittelalterlichen Stadt in Europa und die Entwicklung des Eisenbahnnetzes in Deutschland.
Abbildung 5.52 (nächste Seite) aus HUMPERT [06]: Das Phänomen der Stadt. S. 42. Links: Moskau 10,0 Mio. Einwohner und rechts Stuttgart mit 2,3 Mio..

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."

In den Schlussfolgerungen – Zitiert aus HUMPERT [06]: Das Phänomen der Stadt – ist ein für unseren Kontext interessantes Zitat von Norbert Elias [42] abgedruckt:

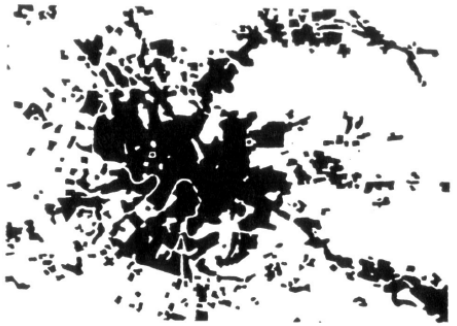
„(…) Solche langfristigen (…) Wandlungen des Empfindens und Verhaltens, die ja durch die Verschränkung und Durchkreuzung der Absichten vieler Menschen zustande kommen, (lassen) sich nicht als Ergebnis von Plänen und Zielen einzelner Menschen oder Menschengruppen verstehen und erklären (…) sondern als 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". **HUMPERT [06] S. 36ff**

Wir stimmen 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 – suchen wir allerdings anhand der Computermodelle nach Antworten und denken diese unter Bezugnahme auf die Forschungen von HILLIER und HANSON [21] in ‚The social logic of space', auch finden zu können. Wir werden in der nächsten Maßstabsebene näher darauf eingehen.

Maßstabsfenster B – Regionalmaßstab

„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" nennen wir Entwicklungsachsen. 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 [06] S. 36ff

Diese Beschreibung entspricht bis auf einige Feinheiten der Entwicklung, die wir zu einem späteren Zeitpunkt unter Rückgriff auf die Informationsebene zu integrieren hoffen, den Feststellungen, die wir zu den Anlagerungsprozessen gemacht haben.

Maßstabswechsel

Während wir bisher die Anlagerungsprozesse zur Generierung abstrakter und eher übergeordneter Stadtstrukturen verwendet haben, um die Eigenschaften und Steuerungsmöglichkeiten dieser Systeme zu erkunden, beschäftigen wir uns nun mit der Anwendung für einen kleineren Siedlungsausschnitt.
Da das Wegesystem in direkter Abhängigkeit von der Parzellierung steht – und umgekehrt – führen wir einige weitere Elemente in das System ein. Bisher wurden mittels eines Rastersystems aus Zellen zufällig umherwandernde Punkte, die wir in der Folge als Agenten bezeichnen werden, angelagert. Durch die Verbindung der besetzten Zellen mit Linien ergab sich eine Art Wegesystem.
Jetzt werden wir in diese Struktur hineinzoomen und die Bedingungen eines Teilgebietes untersuchen. Wir unterscheiden drei Fälle als Ausgangssituation:

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 benötigen wir eine Strategie, die uns 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), pathfindig Algorithmen und andere. Die Erforschung dieser Möglichkeiten ist allerdings zu komplex und aufwendig für den Rahmen dieser Arbeit, weshalb lediglich der zweite und dritte Fall bearbeitet wird.
Wir verwenden wieder das bereits bekannte Zellenraster als Grundlage. In dieses übertragen wir als erstes die Informationen über die Lage der Erschließung. Ausgehend von den linearen Elementen, die wir aus den bereits durchgeführten Experimenten übernehmen können, werden die darunter liegenden Zellen als Straßen markiert. Diese Zellen dienen als Ausgangselemente für die Anlagerung.

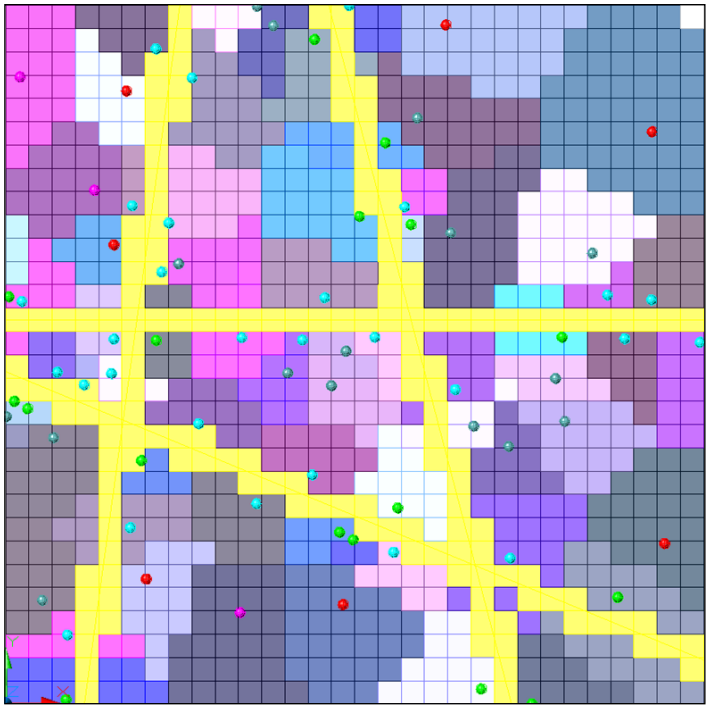


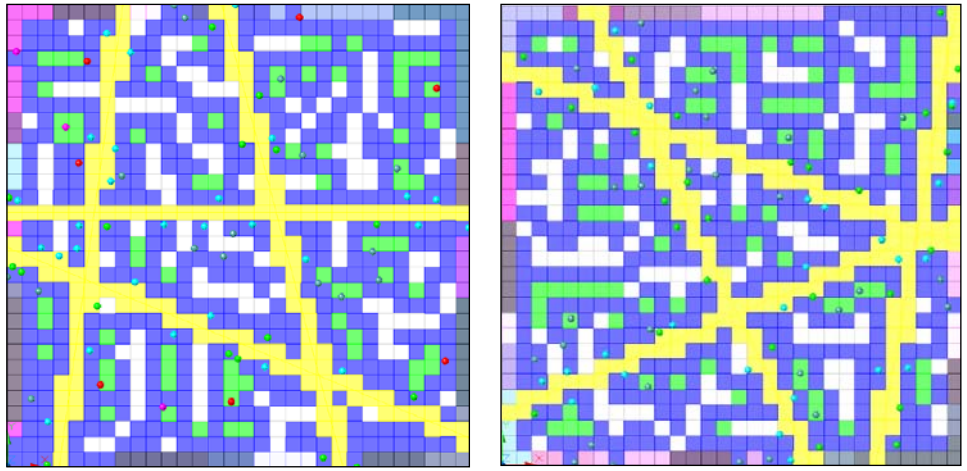
Abb. 5.53. Die gelben Zellen stellen die Wege dar. Die anderen Farben markieren jeweils die nächstgelegenen Zellen zu einem Agenten – eine Art Raster-Voronioflächen, was zu einer entsprechenden Parzellierung führt. Die grünen Punkte sind Agenten des Typs 1, hell Cyan des Typs 3 und dunkel Cyan des Typs 2. Die roten und rosaroten Punkte stellen Agenten dar, die noch nicht angelagert wurden.

Im nächsten Schritt führen wir die Agenten ein, die in ihrem Verhalten in etwa den Wanderpunkten entsprechen, aber um einige Eigenschaften ergänzt werden, um sie in verschiedene Typen zu ordnen:

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. 5.53). Die sekundäre Erschließung der einzelnen Parzellen findet über ein Wegesystem an den Grenzen der jeweiligen Bereiche statt.



Von hier aus können wir den Prozess der Bebauung über die angelagerten Zellen initialisieren, 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" [21] werden die Möglichkeiten der Anlagerungsprozesse weiter untersucht. Die Beziehung zu den sozialen Bedingungen räumlicher Strukturen ist ein außerordentlich interessanter Aspekt, dem wir noch einige Aufmerksamkeit widmen möchten.

Doch zuerst besinnen wir uns wieder auf die Darstellungen von HUMPERT [06]: Das Phänomen der Stadt S. 56ff, um die sechs dort beschriebenen Grundelemente des Maßstabsfensters der Stadtfeldtypologie, in dem wir uns nun befinden, als methodische Ausgangsbasis zu verwenden (Abb. 5.54 – 5.59). Dazu zitieren wir einen längeren 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.

1. Der Nukleus (N), ein Punkttyp



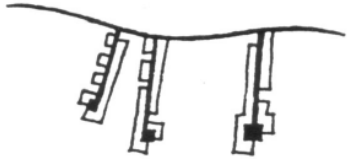
Er markiert den Übergang vom Haus zur Stadt. Der N ist eine autonome, kräftige bauliche Anlage, etwa eine kleine Gebäudegruppe, die sich im wesentlichen auf ein größeres Grundstück beschränkt. Ein Erschließungssystem im klassischen Sinne (Straßen, Wege) fehlt daher. Bei Gebäudegruppen übernimmt meist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

2. Der Wegelagerer (W), ein passiver Lineartyp



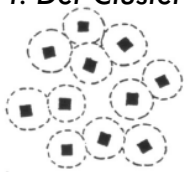
Dieser Typ verkörpert eine sehr ökonomische Form des Siedelns. An Haupt-Ausfallstraßen werden die anliegenden Grundstücke ohne Plan bebaut. Haus um Haus entsteht so zwangsläufig ein lineares Gebilde. Die anfängliche Ökonomie dieses Typs (keine Erschließungskosten) kann sich ins Gegenteil verkehren, sobald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

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.

4. Der Cluster (C), ein stochastischer Feldtyp

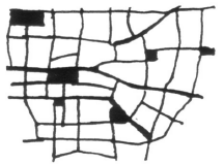


Hier ist keines der drei Grundelemente Erschließung, Parzellierung, Bebauung von vornherein festgelegt. Eine mehr oder weniger zufällige Anfangsverteilung von Einzelgebäuden determiniert die weiteren Schritte.

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 wir aus vielen winkligen Altstädten, aber auch aus vielen Spontansiedlungen am Rande Dritter-Welt-Metropolen kennen.

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



Abb. 5.54 (oben) aus HUMPERT [06] Das Phänomen der Stadt S.57. Villa Rustica, Ludwigsburg-Hoheneck. Beispiel für einen Nukleus.

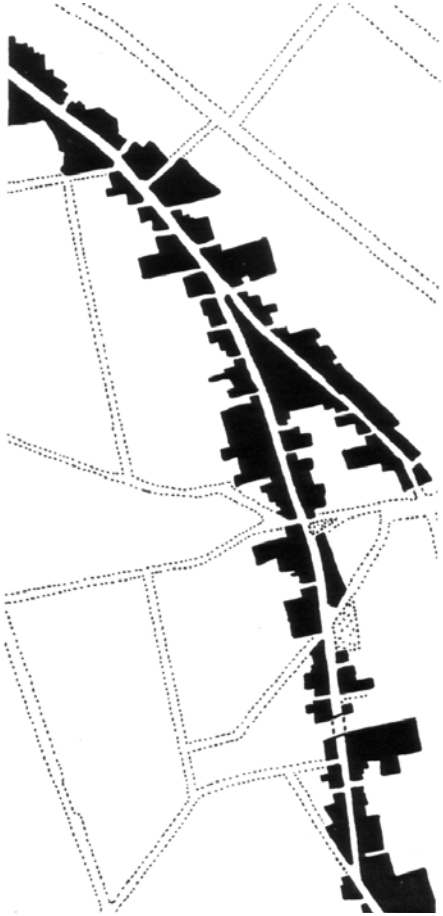




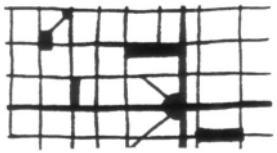
Abb. 5.55 (mitte) aus HUMPERT [06] Das Phänomen der Stadt S.103. London um 1680, Ausleger in Southwark. Beispiel für den Feldtyp Ausleger.

Abb. 5.56 (links) aus HUMPERT [06] Das Phänomen der Stadt S.100. Berlin-Neukölln, Karl-Marx- und Richardstraße. Beispiel für einen Wegelagerer.

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.

6. Der Plan (P), ein determinierter Feldtyp



Hier tritt der Mensch als Planer auf. Er legt das Erschließungssystem, den Parzellenplan und die Bebauungsstruktur 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 [06] S. 36ff

Soweit aus HUMPERT [06]: Das Phänomen der Stadt. Was kann nun aus diesen Darstellungen für unser 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 für uns durchaus hilfreich, auch können wir die Feldtypen mit unseren Methoden generieren. Dennoch wollen wir im Grunde den entgegen gesetzten Weg gehen, 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.

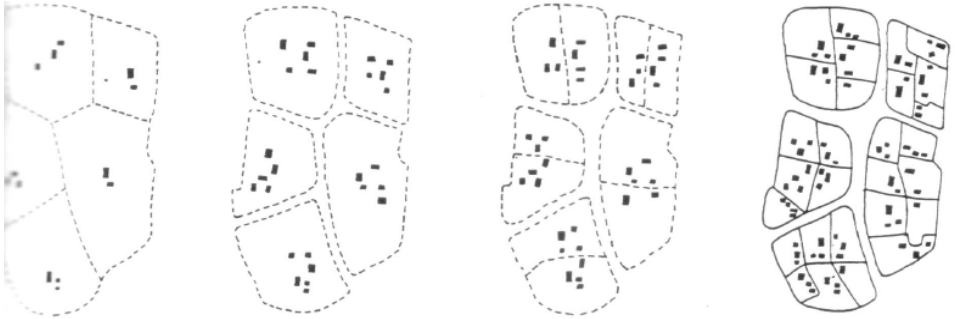


Abb. 5.57 aus HUMPERT [06] Das Phänomen der Stadt S.61. Entwicklung des Zellen-Haufendorfes. Beispiel für einen Clustertyp.

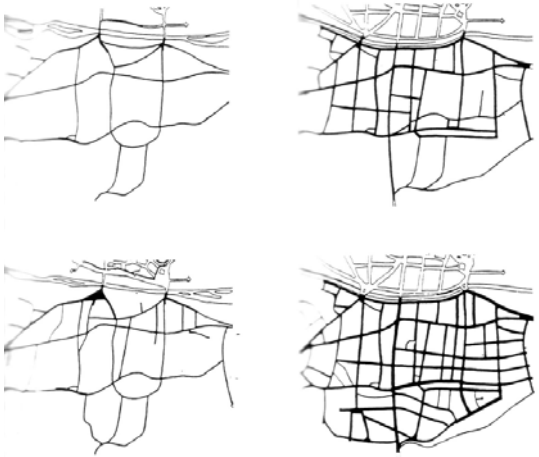


Abb. 5.58 aus HUMPERT [06] Das Phänomen der Stadt S.63. Die Wiehre – Eine Freiburger Vorstadt. Entwicklung des Wegenetzes. Beispiel für den Vernetzer.

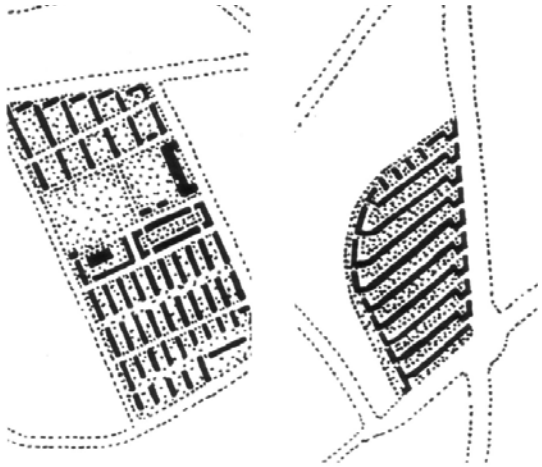


Abb. 5.59 aus HUMPERT [06t] Das Phänomen der Stadt S.108. Links: Die Friedrich-Ebert-Stiftung von Ernst May in Frankfurt a. M.
Rechts: Die Heimat-Siedlung von Ernst May in Frankfurt a. M.
Beides Beispiele für den Feldtyp Plan.

Folgerung

Wenn wir, wie bei HUMPERT [06]: 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.

Vergleichen wir nun diese Feldtypen mit den Möglichkeiten, die sich aus unserem Anlagerungssystem der Agenten an vorgegebene Straßen ergeben, so können wir 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. 5.60 - 5.61). 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 wir unter 4.8 dargestellt haben. Da dies jedoch Typen relativ hoher Determiniertheit sind, wollen wir diese hier nicht eingehender betrachten.

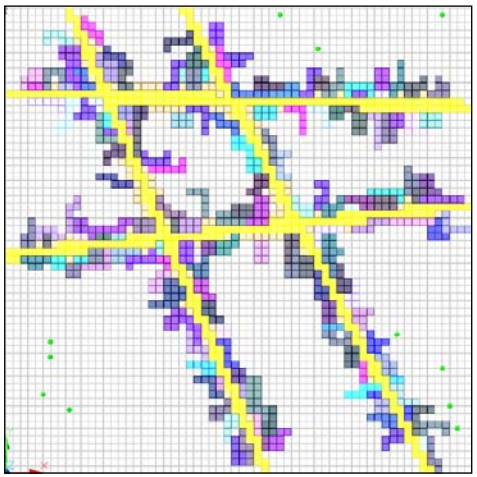


Abb. 5.60. Agenten des Typs 1, die sich nur an den Straßen anlagern können, bilden eine Wegelagererstruktur. Bei jeder Anlagerung werden bis zu sechs Zellen als eine Parzelle markiert, dies kann pro Agent variieren, wenn verschiedene Grundstücksgrößen gewünscht sind. Es können noch weitere Differenzierungen eingeführt werden, z.B. wie viele Zellen einer Parzelle an der Strasse liegen dürfen.

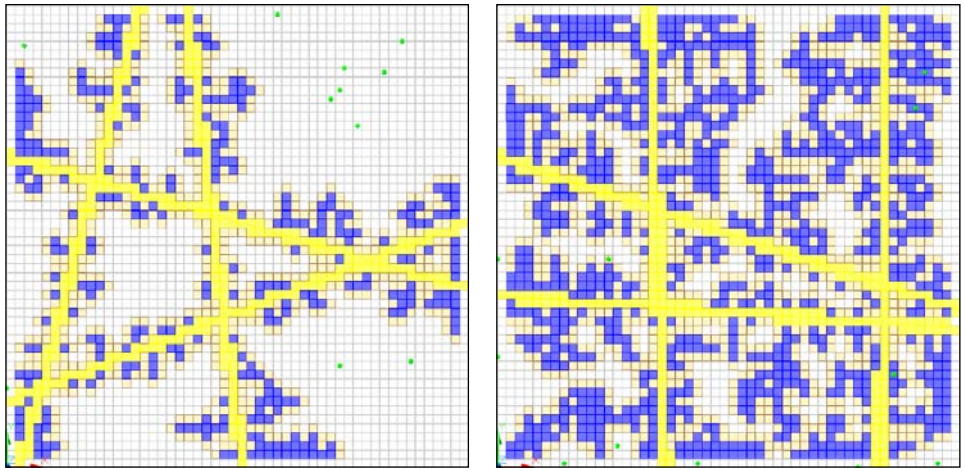


Abb. 5.61 und 5.62. Die Komplexität wird zu Beginn wieder auf weniger Elemente reduziert. Gelb – Strassen, Blau – besetzte Zellen. Gezählt werden nur die orthogonalen (von Neumann) Nachbarn und es gibt nur Agenten des Typs 3, die sich sowohl an der Straße als auch an besetzten Zellen anlagern können. Durch dieses System entsteht hauptsächlich der Feldtyp des Auslegers und vereinzelte Wegelagerer. Die Auslegerarme wachsen nach einiger Zeit und entsprechender Dichte zusammen. Wir haben noch keine Endbedingung festgelegt, wie beispielsweise die Anzahl der besetzten Zellen, sondern beim linken Bild 2000 und beim rechten 5000 Iterationen rechnen lassen. Freiflächen und Erschließung müssen noch über eine zusätzliche Zellenanalyse eingefügt werden.

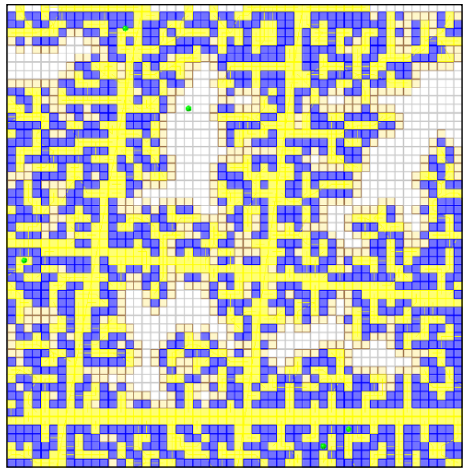


Abb. 5.63. Zur Erschließung der Auslegerzellen, darf jede Zelle, die sich nicht an einer Strasse anlagert, zwei Straßenzellen für eine Anbindung an das Wegesystem erstellen. Neben der unzureichenden Flächenbesetzung für die Bebauung, dient diese Regel als erster Schritt zu einer dynamisch generierten Erschließung, führt allerdings noch zu einem hohen Flächenverbrauch für die Strassen, die zudem nicht überall zusammenhängen.

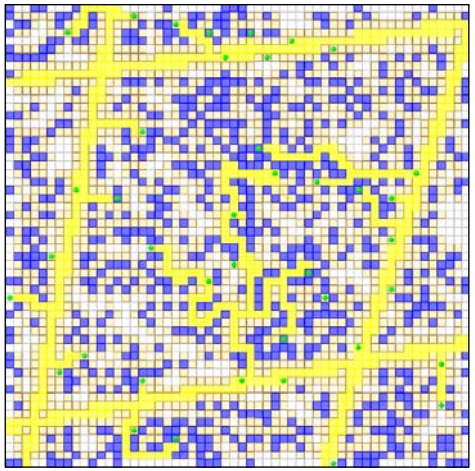


Abb. 5.64. Um den Anschluss jeder angelagerten Zelle an das übrige Wegesystem zu garantieren, wird ein pathfinding–Algorithmus verwendet. Von einer beliebigen Stelle in einem Feld (grüne Punkte) wird ein Pfad zur nächsten Strasse gesucht, wobei die Hindernisse umfahren werden. In dem oben abgebildeten Beispiel wurde ein zufällig erzeugtes Hindernisfeld verwendet.

Abb. 5.65. Das System ist bis auf die Größe der Parzellen unverändert.

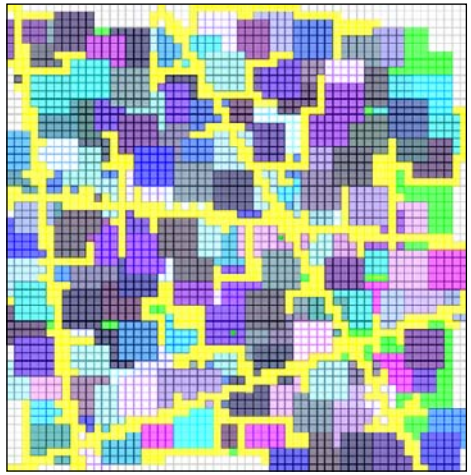
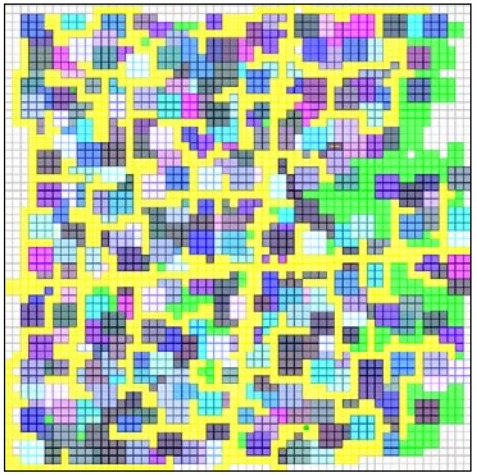
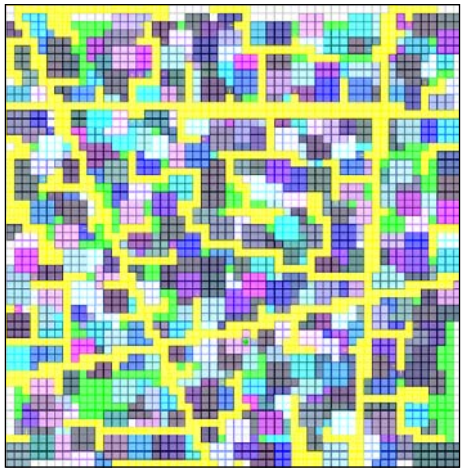


Abb. 5.66. In dieser Untersuchung geben wir nur zwei Strassen vor, so dass die frei zu organisierende Fläche größer wird.





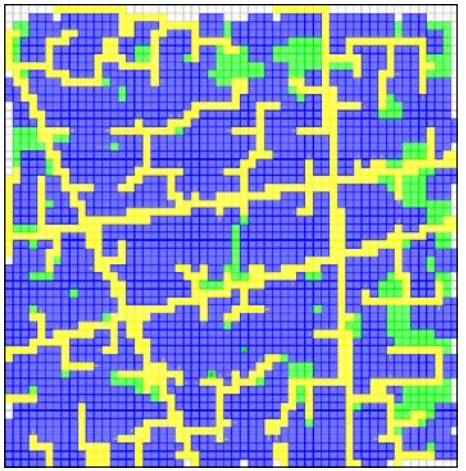
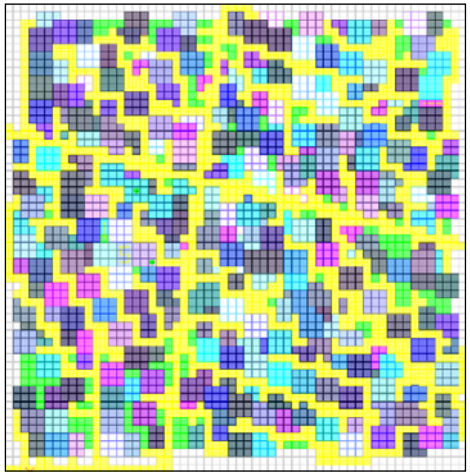
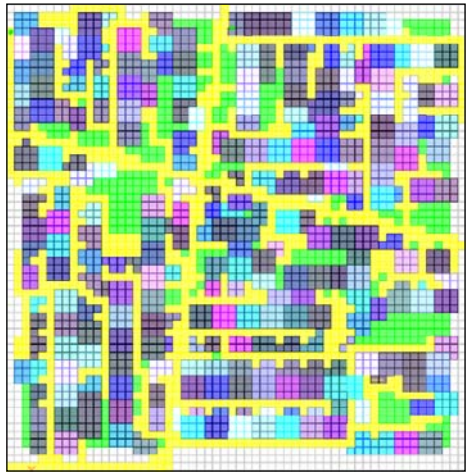


Abb. 5.67 und 5.68. Als nächstes besetzen die angelagerten Zellen ein größeres Gebiet, welches eine Parzelle darstellt (verschiedene Farben). Jede Parzelle muss wiederum mittels des pathfinding–Algorithmus an das Wegenetz (gelb) angeschlossen werden. Mit dieser Methode kommen wir dem aktiven Lineartyp 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.

Abb. 5.69 und 5.70. 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 benötigen wir eine Methode die Sackgassen miteinander zu verbinden um die Ausleger miteinander zu vernetzen. Datei:[19_wegelagerer_11_parzellen.dvb]





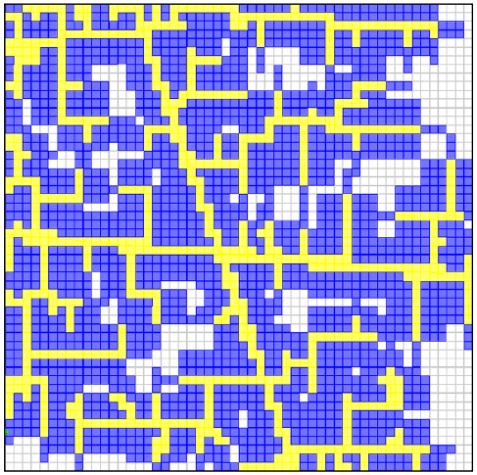
Dynamische Erschließung

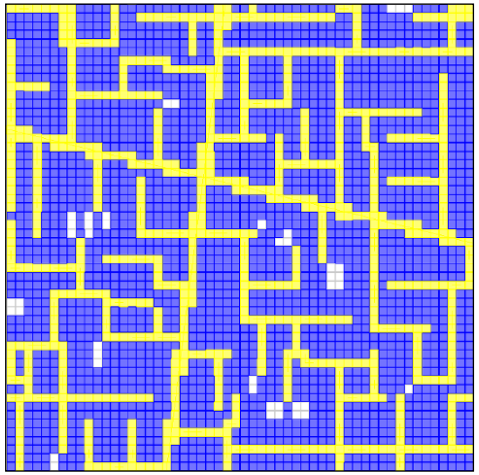
Das Wegesystem, welches für die Erschließung der angelagerten Parzellen erzeugt wird, bezeichnen wir als dynamische Erschließung, da sie sich der jeweiligen Struktur besetzter Flächen anpassen kann. Dazu verwenden wir, wie auf der letzten Seite detailliert gezeigt, einen pathfinding–Algorithmus, der eine Verbindung von der Parzelle zu dem bestehenden Wegesystem herstellt Abb. 5.63 und 5.64). 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 (Abb. 5.67 – 5.82).

Abb. 5.71. In diesem Versuch verändern wir die Systematik und definieren um die generierten Strassen einen Bereich von drei Zellen als bebaubares Gebiet. Datei: [19_wegelagerer_12_strPrim.dvb]

Abb. 5.72. Um die Arme miteinander zu verbinden, lassen wir die angelagerten Straßenzellen neben einer Verbindung zum Wegenetz zwei Zellen in die entgegengesetzte Richtung besetzen. Trotz einer Anlagerungswahrscheinlichkeit von 1 erreichen wir dadurch teilweise eine Vernetzung.





Diese Steuerung realisieren wir mit der Formel:

```
Rnd(1) >= (1 - zelle(rKoord(0), rKoord(1)).aW) ^ zelle(rKoord(0), rKoord(1)).state
```

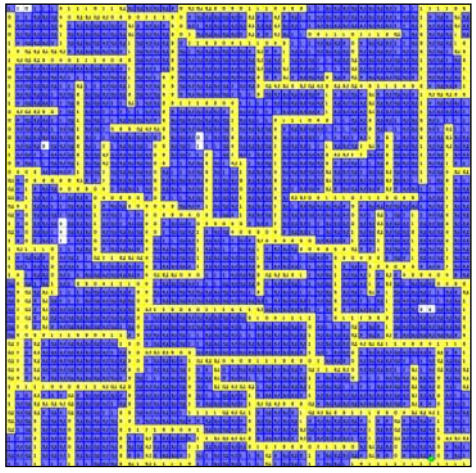
Das bedeutet, dass wir einen Zufallswert zwischen 0 und 1 mit der Anlagerungswahrscheinlichkeit ^ Anzahl der besetzten Nachbarn vergleichen. Die Anlagerungswahrscheinlichkeit hängt von der Moorschen Nachbarschaft (siehe zelluläre Automaten) der Straßenzellen ab und wird mit

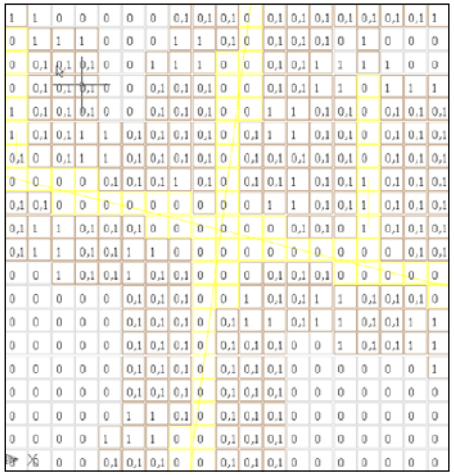
`1/Anzahl Nachbarn * x` berechnet.

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 5.1 beschriebenen Informationsfeldes dar. Für die Berechnung verwenden wir eine ähnliche Methode wie unter 5.3 bei den zellulären Automaten für die Bebauungsstrukturen. 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. 5.73 und 5.74. Die Anlagerungswahrscheinlichkeit wird lokal von den Zellen vorgegeben, wodurch bestimmte Stellen bevorzugt werden können. In diesem Beispiel belegen wir die Enden mit dem Wert 1, also 100% und Zellen ab drei benachbarten Straßenzellen mit 1/Anzahl Nachbarn * x.





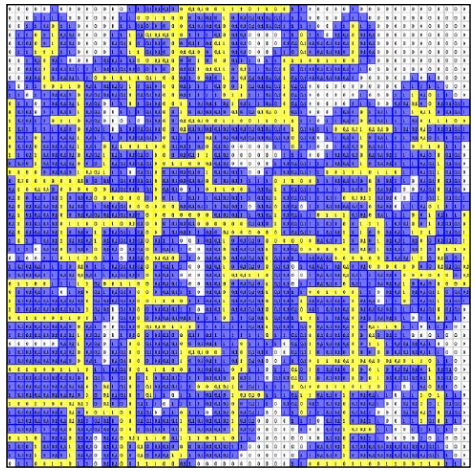


Abb. 5.75. Die so erzeugten Strukturen haben die Eigenschaft, dass sie zuerst die Verzweigungen in die freie Fläche ausbauen und die Vernetzung erst bei einer höheren Dichte entscheidend zunimmt. In diesem Beispiel haben wir die Tiefe des Anlagerungsfeldes und die zusätzlichen Straßenzellen auf zwei reduziert, was zu einer feingliedrigeren Struktur führt.

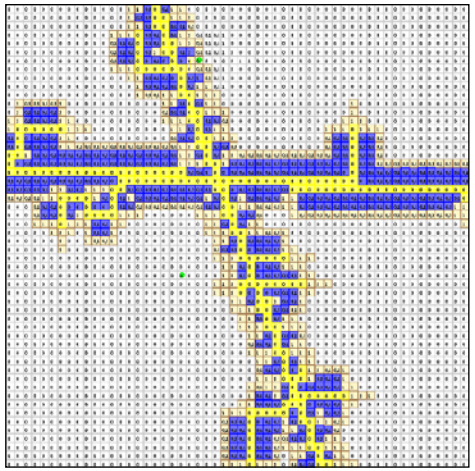


Abb. 5.76. Für unser Arbeitsmodell verwenden wir zwei zufällig platzierte Straßen als Ausgangssituation für den Anlagerungsprozess. Wesentlich dabei sind die Anknüpfpunkte, die als hellbraune Zellen markiert sind. In unserem Beispiel wird die Häufigkeit dieser Punkte über die Neigung der Geraden definiert. 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 verwenden wir weiterhin die Markierungsmethode des Datenfeldes, um die zu verbindenden Zellen zu identifizieren. Liegen sie innerhalb eines bestimmten Radius, wird mittels des pathfinding–Algorithmus ein neuer Verbindungsweg generiert. Dieses Vorgehen stellt eine angemessenere Konstruktionstopologie dar, da ein Weg eher an einen bestehenden angeschlossen, als in eine andere Richtung gebaut wird.

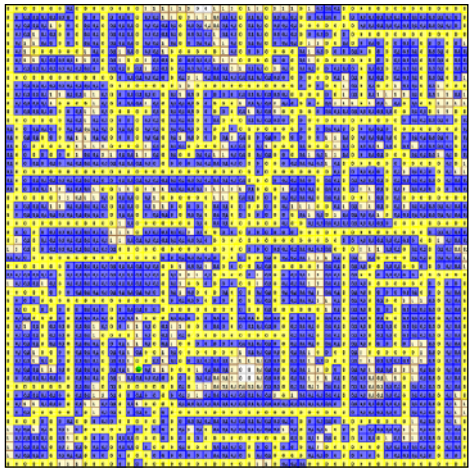


Abb. 5.77. Die Wanderpunkte starten entweder von den leeren Zellen aus, was die Ausbreitung in die freie Fläche fördert, oder sie werden auf den Zellen mit einem aW – Wert von 1 platziert, was eine direkte Erweiterung des Wegesystems bewirkt und zu einer besseren Vernetzung führt. Die Feldtiefe beträgt in diesem Beispiel 3 Zellen.

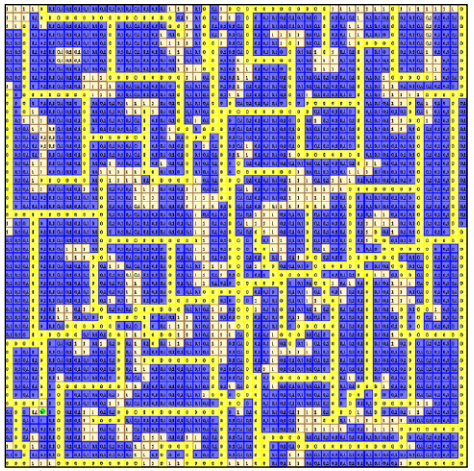
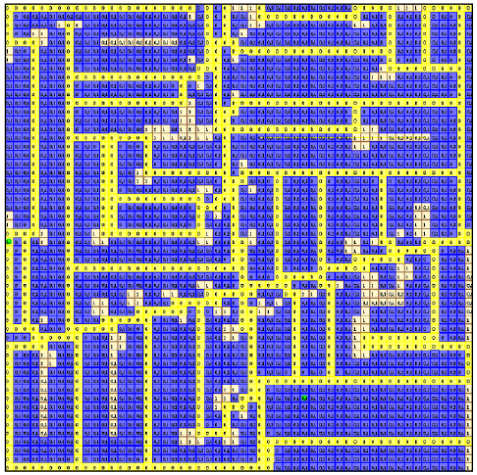
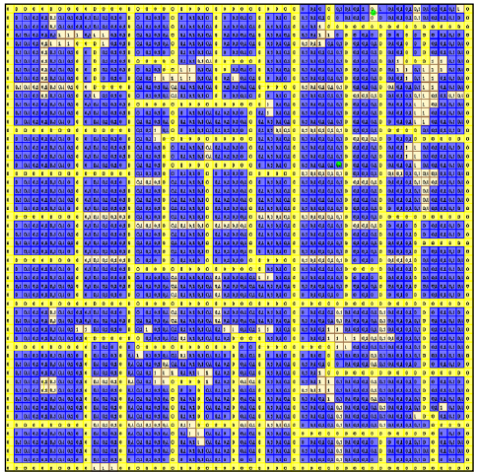


Abb. 5.78. Dieser Variante unterscheidet sich von der nebenstehenden dadurch, dass wir die Feldtiefe auf 4 Zellen erhöht haben, was eine weitmaschigere Struktur entstehen lässt.
Stellt man zu Beginn weniger Anknüpfpunkte zur Verfügung, verfranst die Struktur nicht so sehr im inneren.
Datei: [19_wegelagerer_15_strPrimDat.dvb]

Abb. 5.79 und 5.80. Bei dem System links unten verbinden sich die angelagerten Zellen in der einen Richtung mit dem nahesten 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 definieren wir eine maximale Zeilenlänge, bei deren Überschreiten eine Unterbrechung in der Bebauungsstruktur eingefügt wird (rechts).





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 den Methoden, die wir zum Ausbau des Typs des Vernetzers verwenden können. Dazu brauchen wir lediglich die bestehenden Feldwege in das Modell aufzunehmen und können die Verbindungspunkte direkt oder indirekt, beispielsweise über die Bebauungsdichte definieren.

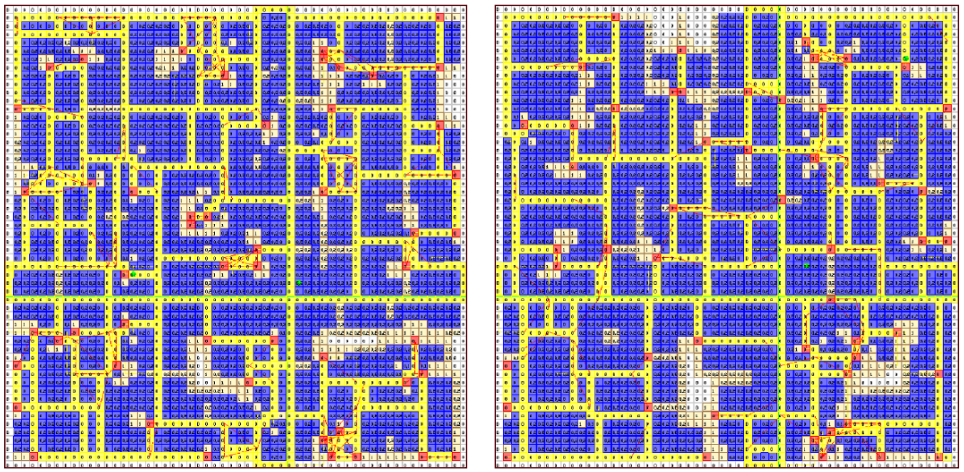


Abb. 5.81 und 5.82. Die rot markierten Zellen stellen die Anschlusspunkte des Wegesystems dar, die zur Vernetzung verwendet werden können. Diese können sowohl in vorgegebene Wege eingefügt, als auch dynamisch bei den generierten Abschnitten hinzugefügt werden. Befinden sich zwei rote Zellen innerhalb eines bestimmten Radius, dann werden sie über einen neu erstellten Weg miteinander verbunden, sofern diese Verbindung nicht bereits über bestehenden Straßenabschnitte besteht.
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.
Datei: [19_wegelagerer_18_verbinder.dvb]

Cluster

Dieser Feldtyp lässt sich erzeugen, indem nach der Anlagerung 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 angedockt 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. 5.83 und 5.86).



Abb. 5.83. Anfangskonfiguration für die Initialisierung des Anlagerungsprozesses.

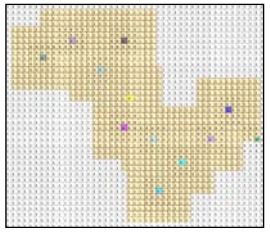
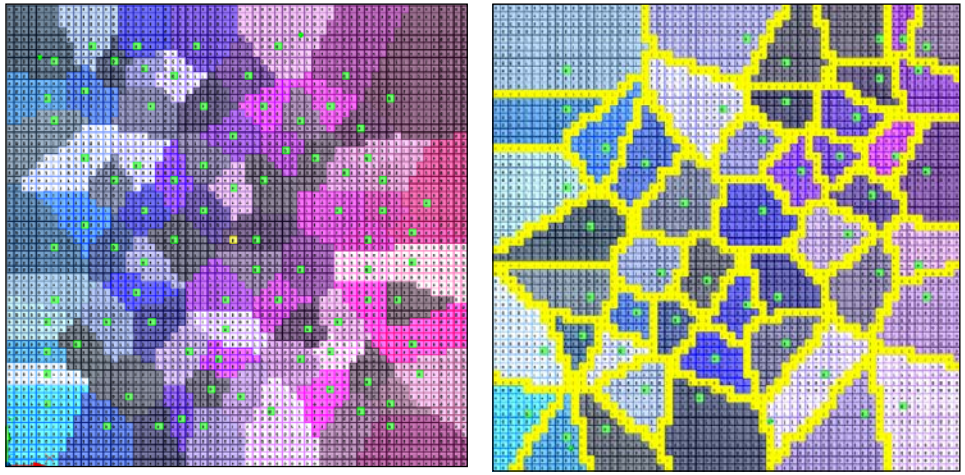


Abb. 5.84. Es können Bereiche mit unterschiedlicher Anlagerungswahrscheinlichkeit definiert werden. In diesem Beispiel können im Abstand von zwei Zellen (0) keine weiteren Punkte um eine bereits angelagerte Zelle angedockt werden. Die Anlagerung im Randbereich wird mit einem hohen Wahrscheinlichkeitswert (1) bevorzugt.

Abb. 5.85 und 5.86 (unten links) Parzellierungsstruktur ohne Erschließungssystem. Die Parzellen (versch. Farben) entstehen, indem sich jede Zelle dem nächsten Anlagerungspunkt (grün) zuordnet. Es entsteht ein gerastertes Voronoidiagramm. (unten rechts) Die Wege (gelb) wurden an den Parzellengrenzen eingefügt.



Ausblick

Wir haben Möglichkeiten gezeigt, wie die elementaren Feldtypen aus dem Grundelement einer Zelle mittels des Anlagerungsprozesses erzeugt werden können, ohne auf bereits vorgegebene Wegesysteme angewiesen zu sein, sondern diese als dynamisches System mit der Struktur als Gesamtes zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurden für das Anlagern der Zellen bestimmte Restriktionen aufgestellt, die zu differenzierten Strukturen führen. Mit diesen Untersuchungen haben wir an die Forschungen von Bill HILLIER und Julienne HANSON aus „The Social Logic of Space" [21] und einigen jüngeren Veröffentlichungen angeknüpft (Abb. 5.87).

Sicherlich benötigen wir für die Erzeugung städtischer Strukturen auch globale Ordnungsstrukturen, die sich nicht vollständig aus der Kombination einzelner Elemente herleiten lassen. Dennoch meinen wir, ein System gestaltet zu haben, welches die Elemente in ihrer Verhaltenswahrscheinlichkeit zu vorher definierten Ordnungsmustern organisiert. Diese Muster sind ihrerseits wiederum von Selbstorganisationsmechanismen gesteuert, denen wir in der Konzeption der Informationsebene nachzugehen haben. 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. 5.88).

„The simple diagramm 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 [21], S. 22.

„Society must be described in terms of its intrinsic spatially; space must be described in terms of its intrinsic sociality." S. 26

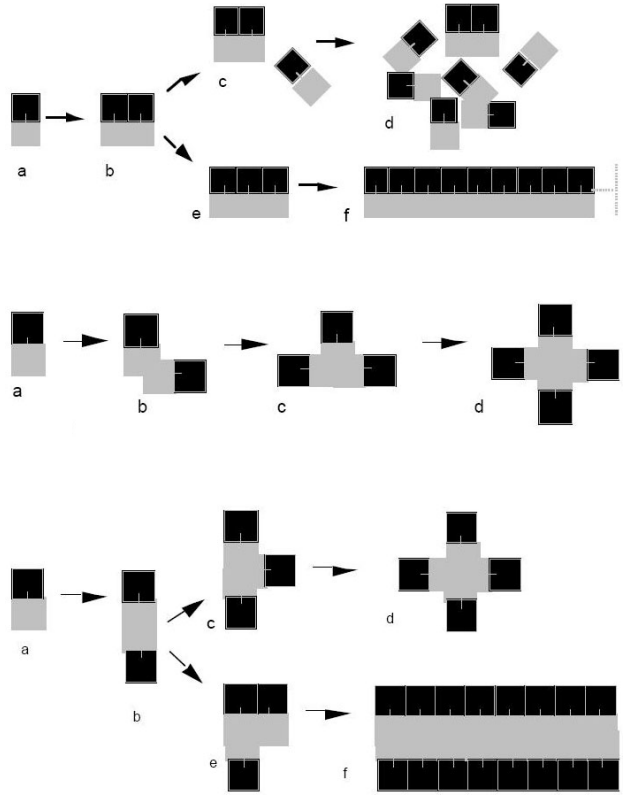


Abbildung 5.87 (oben) aus Bill Hillier [45]: The knowledge that shapes the city, S. 9.
Abbildung 5.88 (unten) aus HILLIER, HANSON [21]: The social logic of space, S. 22.



5.3 Bebauung

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, beschrieben sind (Abb. 5.89), entwickeln wir im Folgenden einige Experimente, wie sich innerhalb eines vorgegebenen Straßenrasters verschiedene Bebauungen generieren lassen. Einen typologischen Rahmen geben die Untersuchungen aus Arch+: Der Sprawl [11] zu der Bebaubarkeit von Rasterfeldern vor (siehe Abb. 3.1 und 3.4).
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:

Zustände

Zustand 0 ist die leere Zelle
Zustand 1 ist die besetzte Zelle .
Weitere Zustände können beliebig eingeführt werden.

Regeln

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. 5.91).



Abbildung 5.89 aus dem Artikel von P.Coates [24].

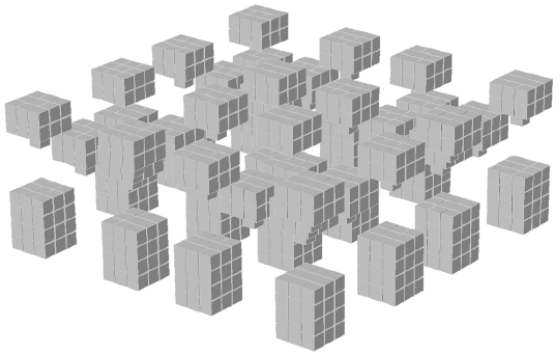
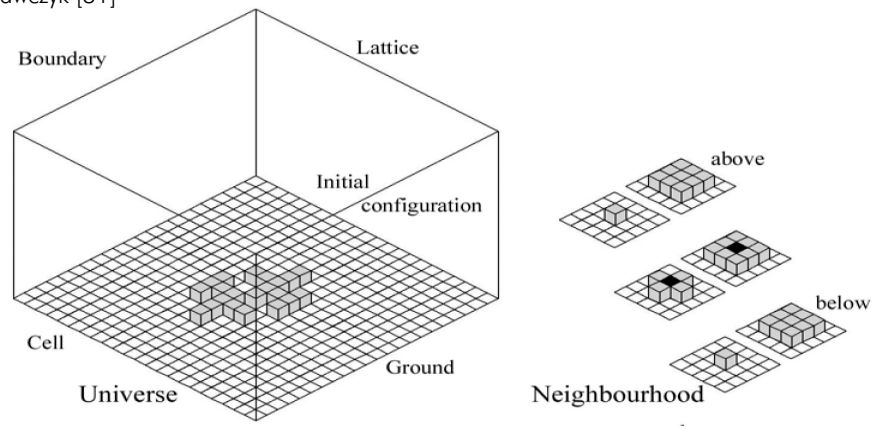


Abb. 5.90 (links) Zelluläre Struktur unter Verwendung der von P. Coates angegebenen Regeln: 2524, wobei für eine lebende Zelle der Zustandswert 4 gesetzt werden muss.
Für die Nachbarschaften werden die neun Zellen unterhalb, die acht Zellen auf der gleichen Ebenen und die eine Zelle genau über der betrachtete Zelle untersucht.

Datei: [01_zelluAutomata_3D.dvb]

Abbildung 5.91 (unten) zeigt den zellulären Raum und die Nachbarschaftsebenen.
Aus Krawczyk [31]



Der Block

Als erstes bewegen wir uns in einer experimentellen Umgebung mit vorgegebenem, orthogonalem Straßenraster. Um die Idee einer Blockrandbebauung mit unseren beiden zellulären Automaten zu verwirklichen, erzeugen wir im ersten Schritt die 2D Grundstruktur, 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 verwenden wir einen dreidimensionalen zellulären Automaten, 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, wird 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 0 für aus und 1 für an (Abb. 5.92 – 5.95).

Datei: [02_zelluAutomata_block.dvb] - bis zum ersten Stop läuft der zweidimensionale zelluläre Automat, anschließend startet der dreidimensionale.

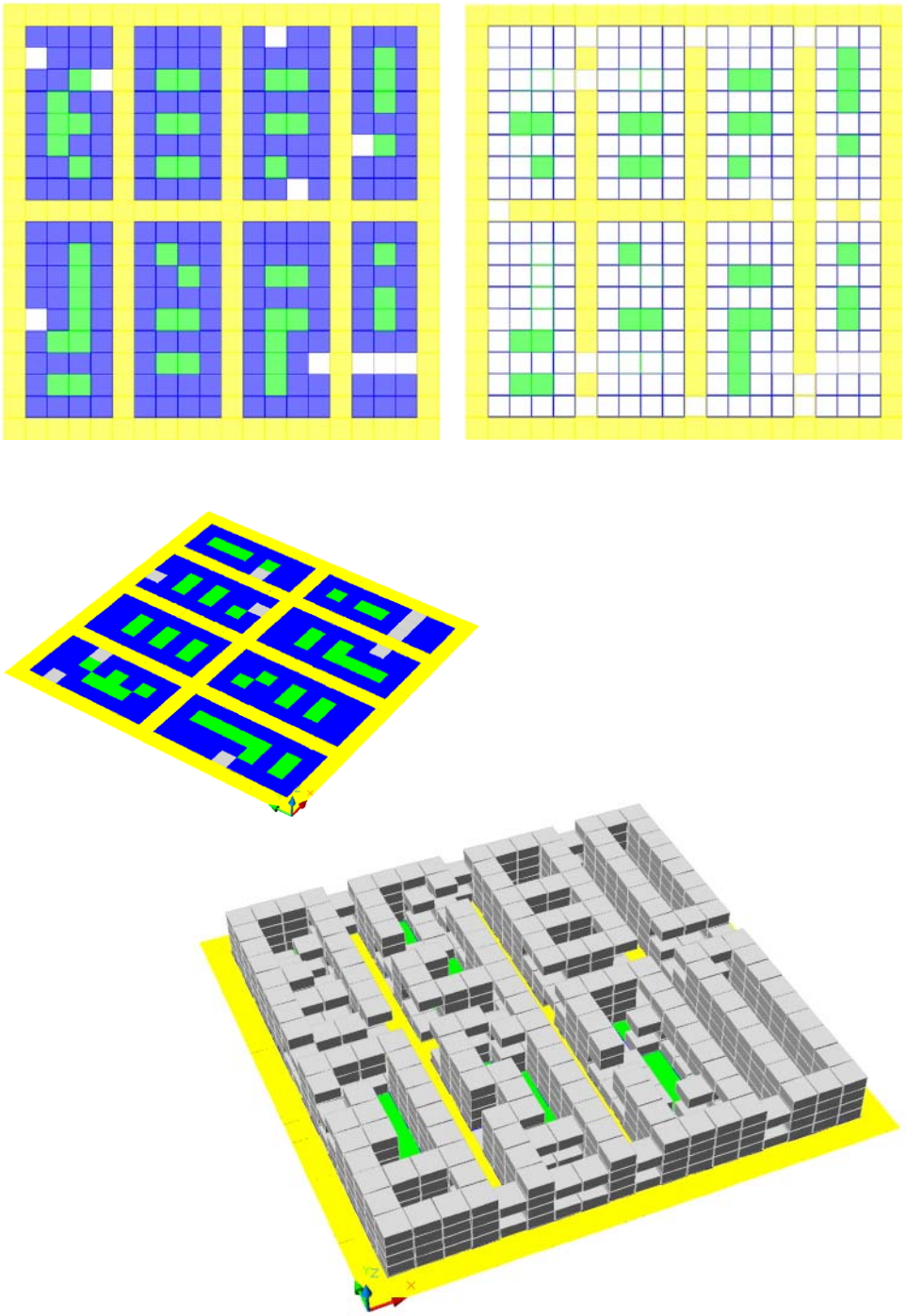


Abbildung 5.92 - 5.95 (oben links) Grundriss, nach 10 Iterationen des zweidimensionalen zellulären Automaten
(oben rechts) nach der 3D Bebauung.
(mitte) Isometrie des Zellenfeldes
(unten) die Blockstruktur nach der Generierung mittels des zellulären Automaten 2514.
gelb - Straßen
blau - Bebauung
grün (grau) - Freiflächen

Frei im Raster

Im nächsten Schritt haben wir 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. 5.110 – 5.122).
Zur Erzeugung der durchgrünten Struktur haben wir für den 2D Automaten den 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.

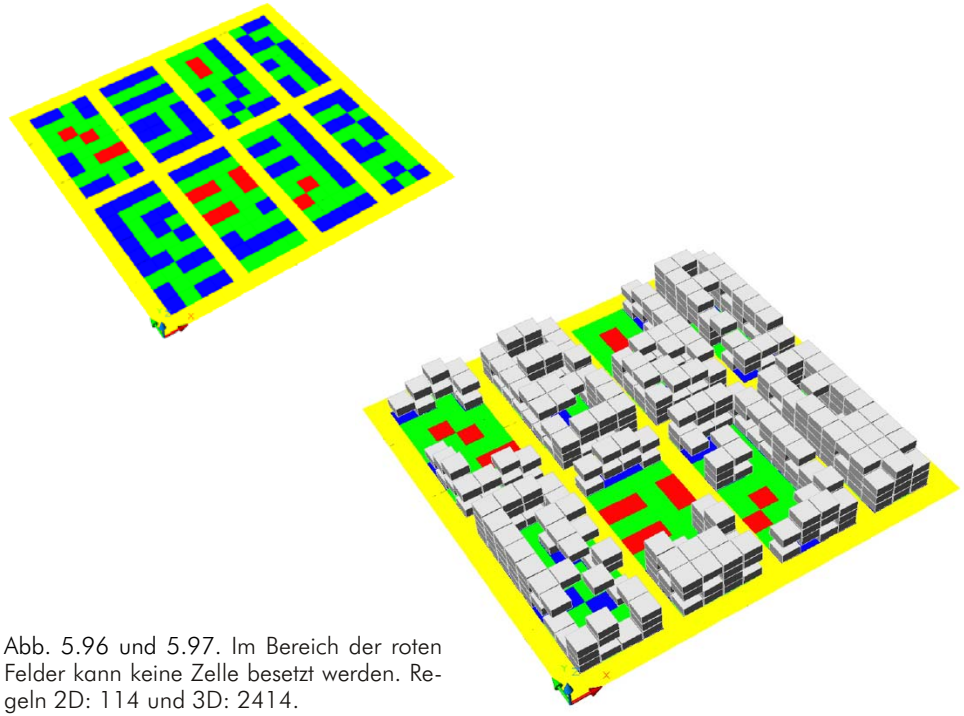


Abb. 5.96 und 5.97. Im Bereich der roten Felder kann keine Zelle besetzt werden. Regeln 2D: 114 und 3D: 2414.

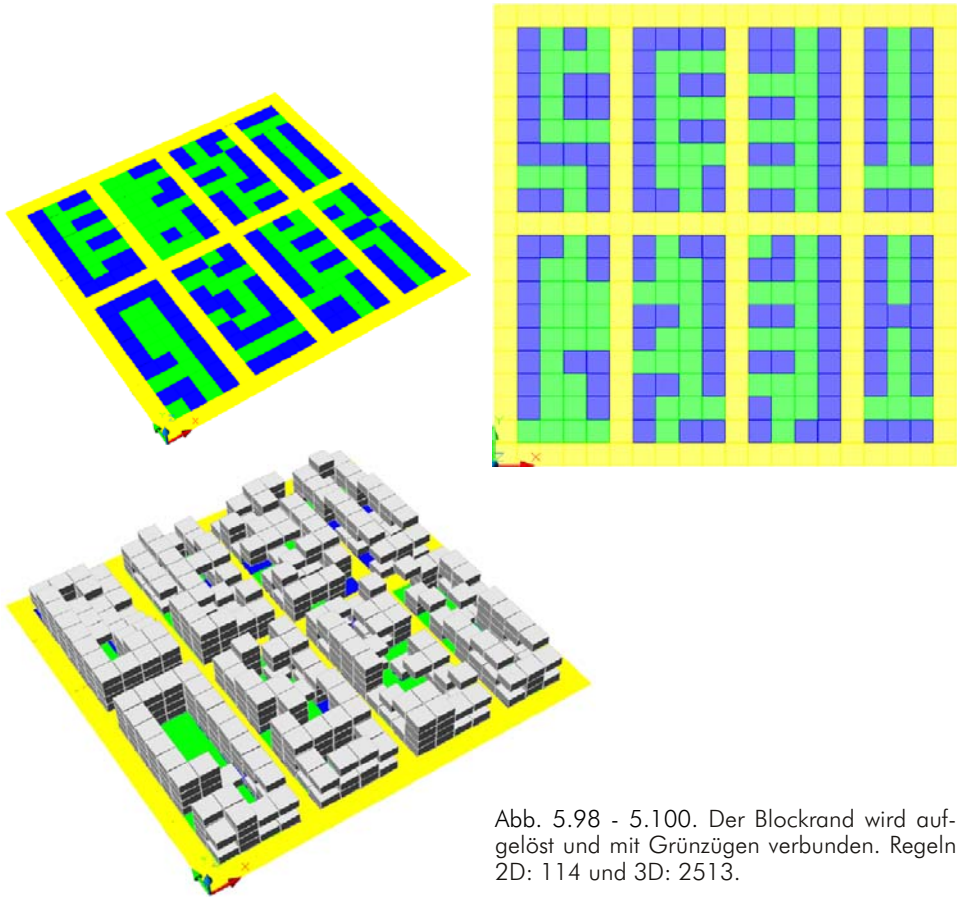


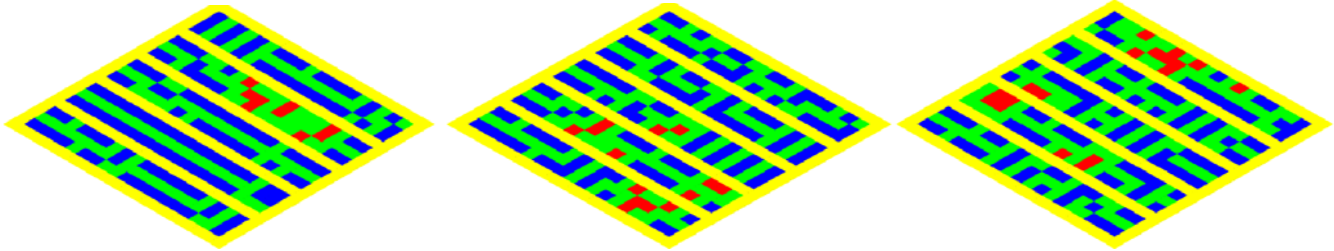
Abb. 5.98 - 5.100. Der Blockrand wird aufgelöst und mit Grünzügen verbunden. Regeln 2D: 114 und 3D: 2513.

Für die Erzeugung komplexerer architektonischer Strukturen benötigen wir weitere Differenzierungsmöglichkeiten. Zu diesem Zweck führen wir zusätzliche Zustände für die Zellen ein. 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.
Datei: [03_zelluAutomata_freiRaster.dvb]

Abhängigkeit vom 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.

Abb. 5.101 -5.103. 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.



Bei den folgenden Versuchen verwenden wir eine zufällige Anfangsbelegung von 30% und verändern die Straßenabstände jeweils für die oben untersuchten Regeln 137 und 114. Die Differenzierung in eine Blockrand- bzw. Zeilenbebauung und eine durchgrünte, freiere Anordnung der Bauflächen erweist sich in allen Beispielen als gültig. Wir haben hier lediglich diese beiden Möglichkeiten eingehender betrachtet, es sind aber noch viele weitere Kombinationen möglich, die zu sinnvollen und interessanten Strukturen führen (Abb. 5.101 – 5.110).
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. 5.104 -5.109. Für die obere Reihe gilt 137 und für die untere 114. Anfangsbelegung war 30%. Die Straßenabstände wurden sukzessive verändert.

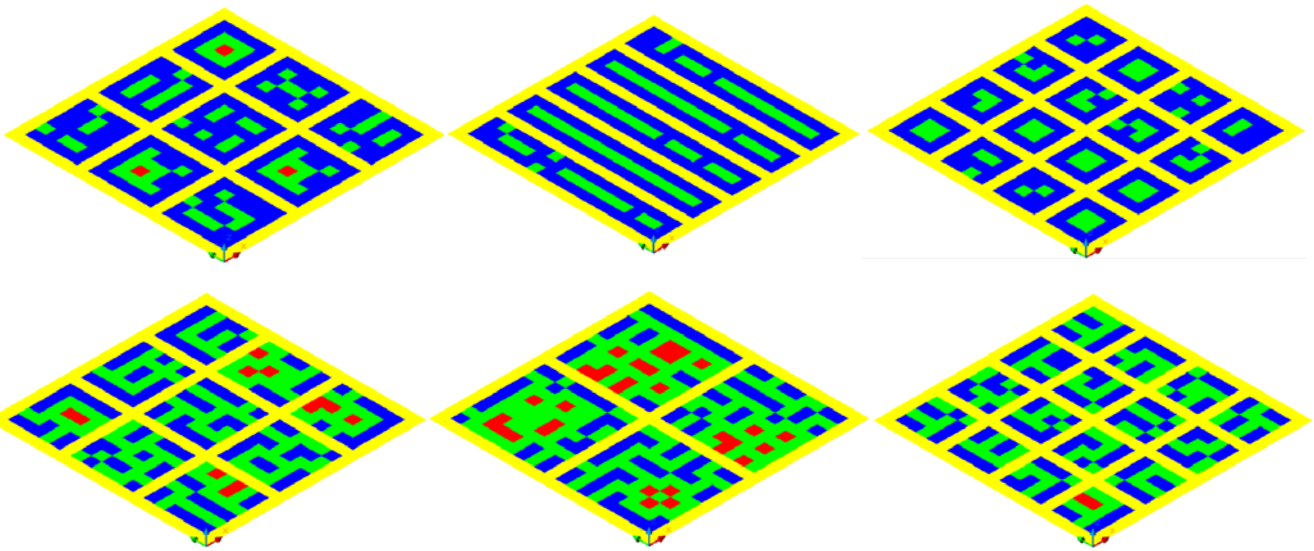
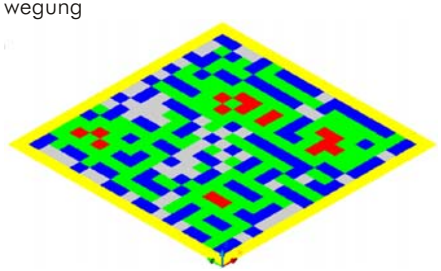


Abb. 5.110. Eine Konfiguration ohne Durchwegung



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 werden wir in den folgenden Experimenten nach Regeln des dreidimensionalen zellulären Automaten suchen, 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, betrachten wir die Zelle direkt unterhalb und oberhalb und die acht benachbarten Zellen in der gleichen Ebene der untersuchten Zelle. Später werden wir freiere Strukturen untersuchen 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 erweitern.

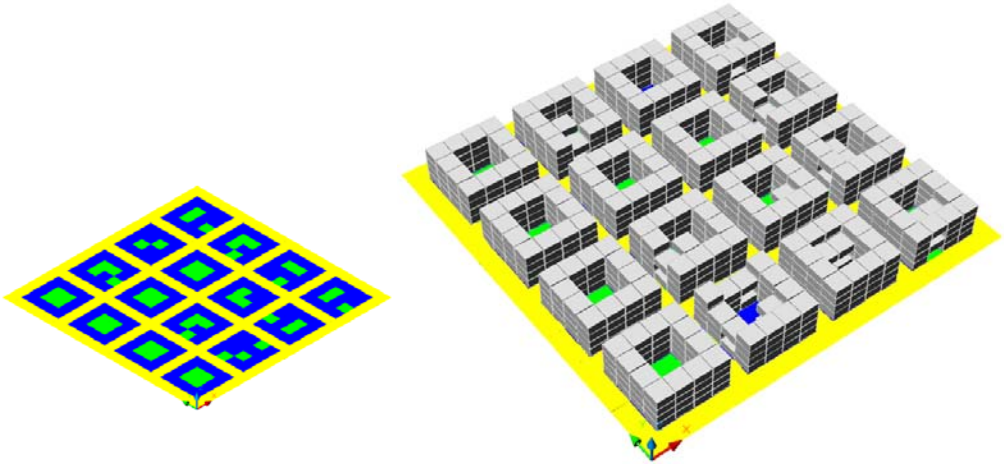
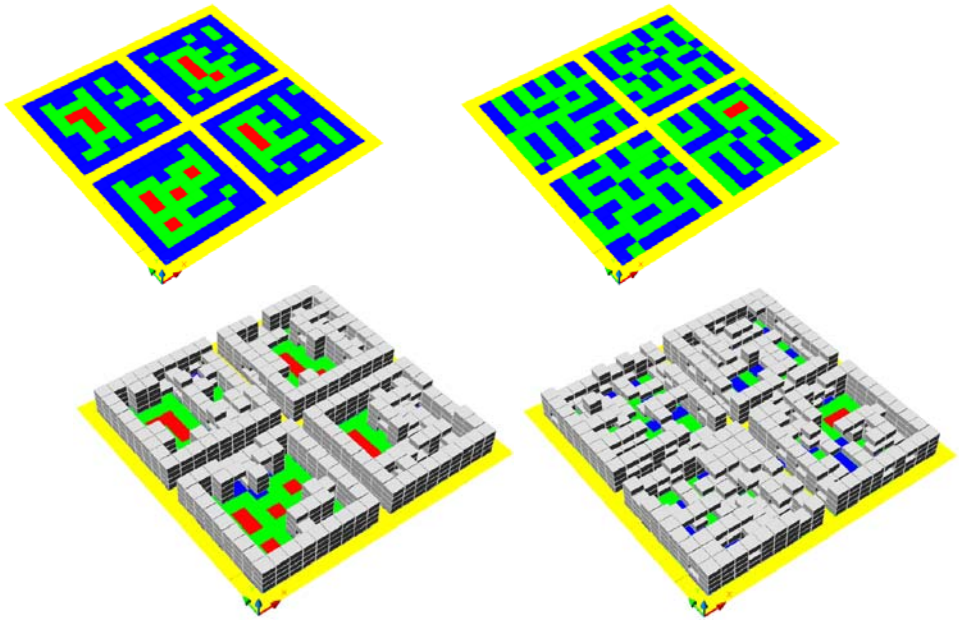
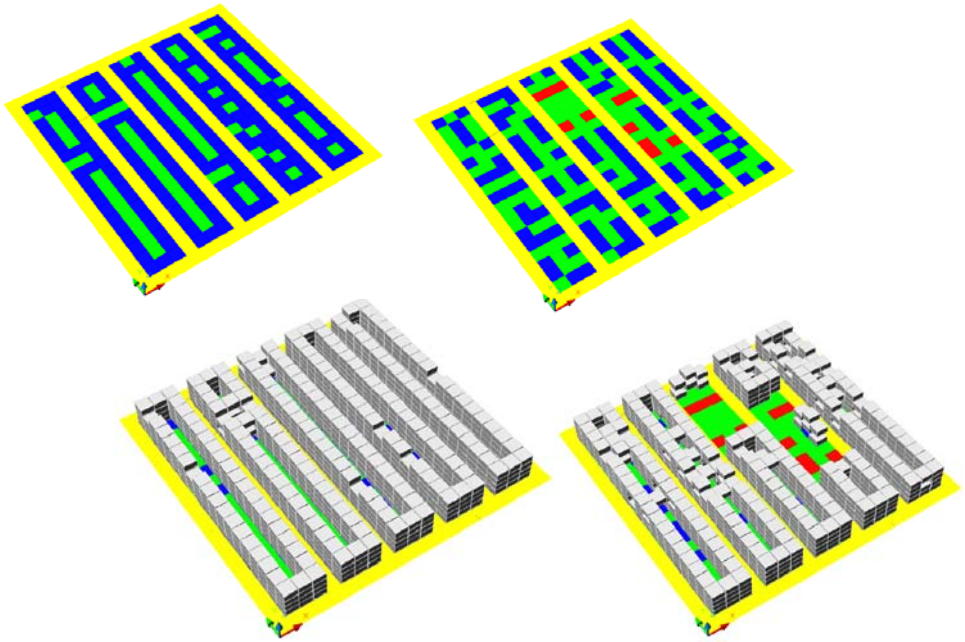
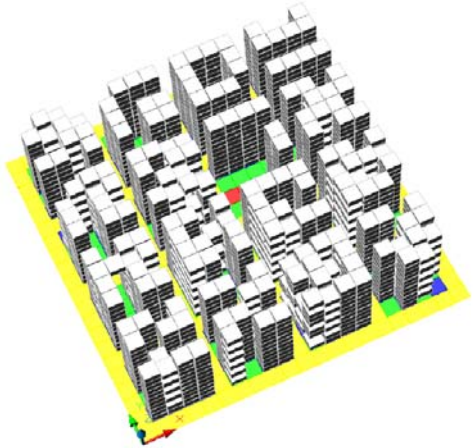


Abb. 5.111 und 5.112. Ein dreidimensionaler zellulärer Automat, der Ergebnisse liefert, die sich sehr eng an die Struktur des zweidimensionalen Automaten halten: 2514 nach 5 Generationen.

Abb. 5.113 - 5.120. In der Versuchsreihe unten 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.

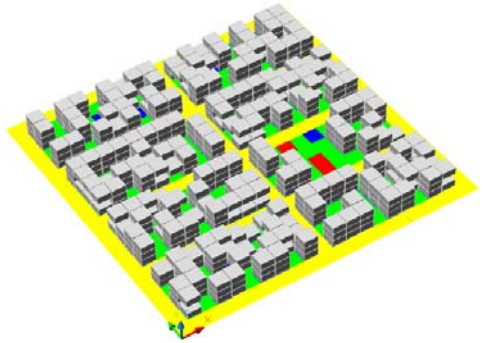






Nachdem wir eine Vielzahl an Regelvariationen für den dreidimensionalen zellulären Automaten vorgenommen haben, das System jedoch jedes Mal eine geschlossene Blockstruktur erzeugt hat, haben wir die untersuchten Nachbarn verändert. Zur Umsetzung der aufgelockerten Struktur in eine dreidimensionale Gebäudestruktur untersuchen wir die Zelle direkt unter und die vier Zellen in der gleichen Ebenen der betrachteten Zelle, die der von Neumannschen Nachbarschaft entsprechen. Unter dieser Voraussetzung haben wir 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. 5.113 – 5.128).

Abb. 5.121 und 5.122. (oben und unten)
Die Regeln der für die dreidimensionale Struktur funktionieren bei unterschiedlichen Bebauungshöhen.



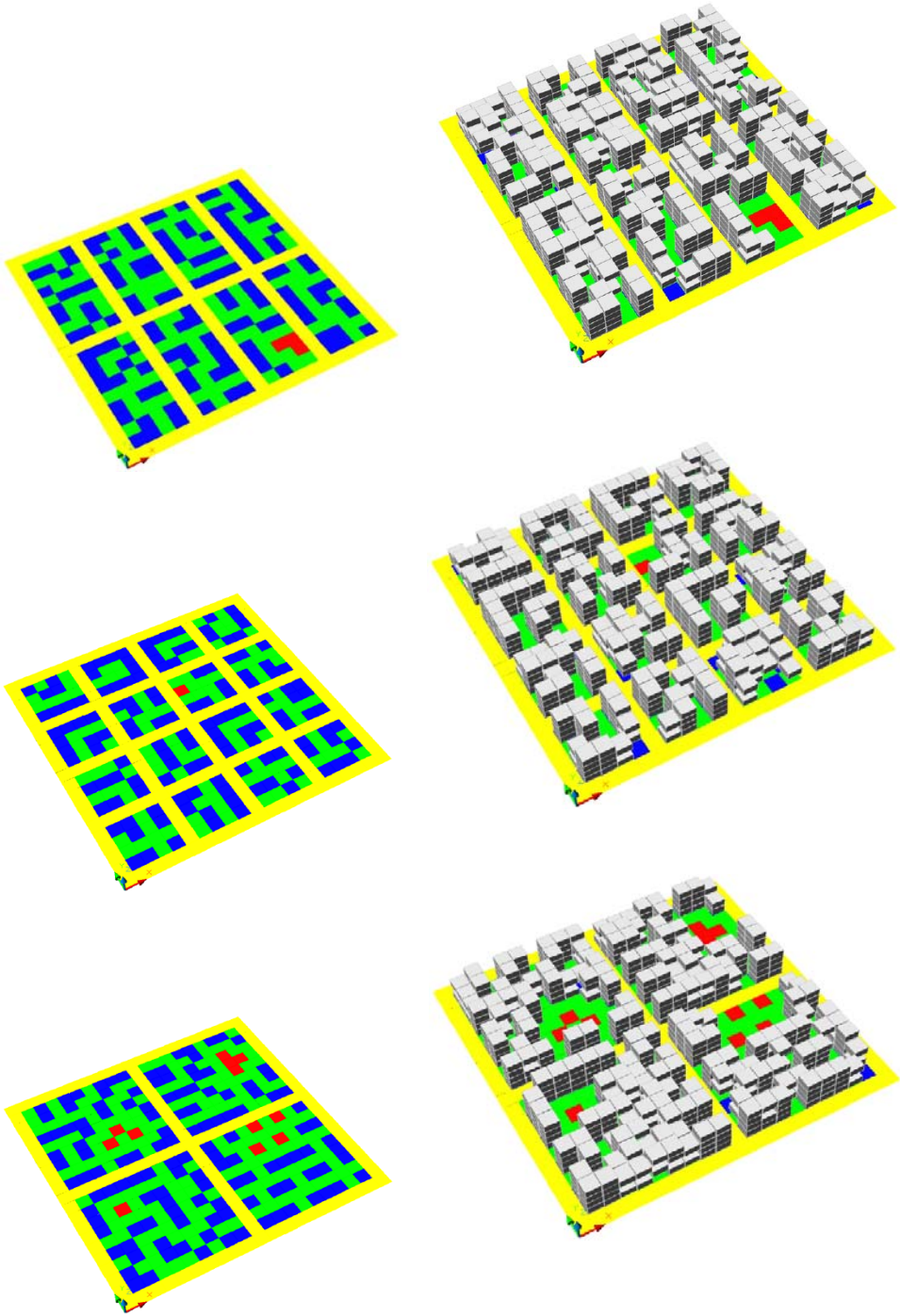
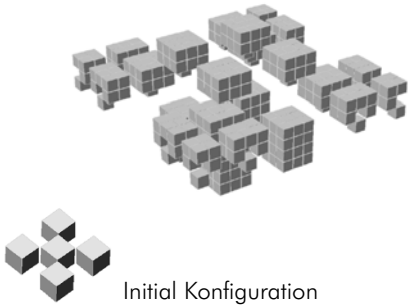


Abb. 5.123 - 5.128 (rechts) die Ergebnisse des Automaten 1311 mit unterschiedlichen Straßenabständen nach der 10. Generation.

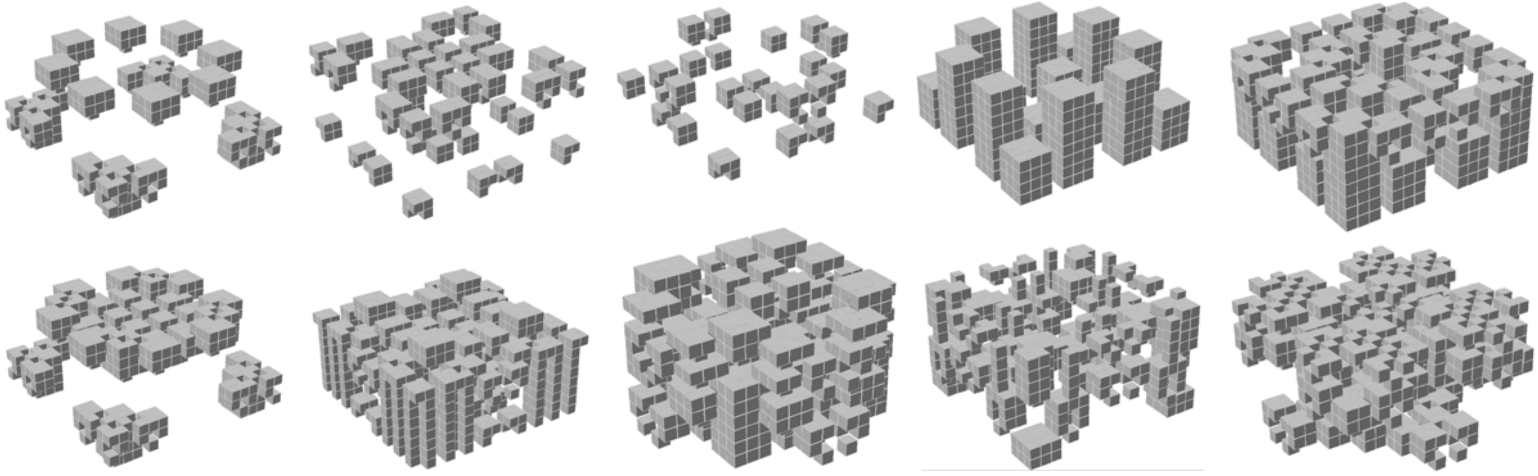
Frei im Raum

Bisher haben wir versucht, mit dem dreidimensionalen zellulären Automaten die vorgegebene Bebauungsstruktur räumlich umzusetzen und in den obigen Beschreibungen einige Möglichkeiten dafür erläutert. Jetzt geht es darum, die flächige Struktur als Initialisierung für sich relativ davon 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, verändern wir die Abhängigkeit der Zelle von der Nachbarschaft so, 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 wir diesen Automaten richtig rekonstruiert haben, 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 unseres 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. Verwenden wir für den binären Automaten die Regel 2524 erhalten wir das nebenan abgebildete Ergebnis.



Initial Konfiguration



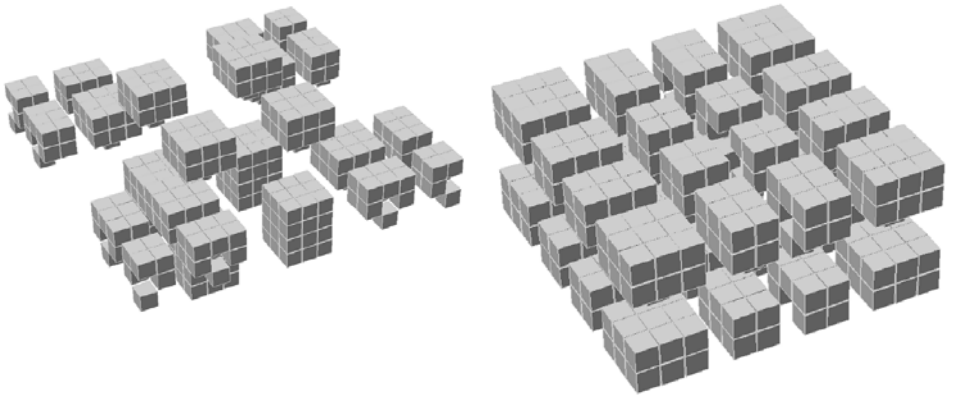


Abb 5.129 (oben) 3D binärer Automat 1111, links nach der 4. Generation und rechts nach der 10.

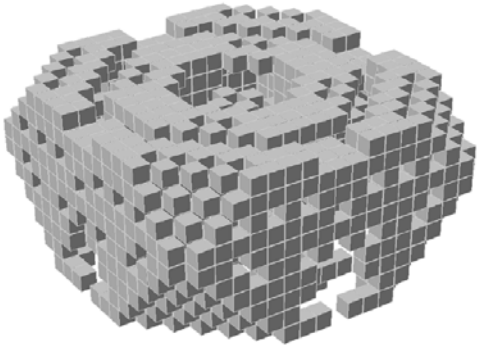


Abb 5.130 (rechts) 3D binärer Automat mit der Regel 2524 nach der 10. Generation.

Abb 5.131. Die untere Reihe 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.

Da sich die dreidimensionalen Automaten relativ unabhängig von der Bebauungskonfiguration des zweidimensionalen Automaten entwickeln, müssen wir nach anderen räumlichen Ordnungsmechanismen Ausschau halten. 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. 5.132 – 5.135).

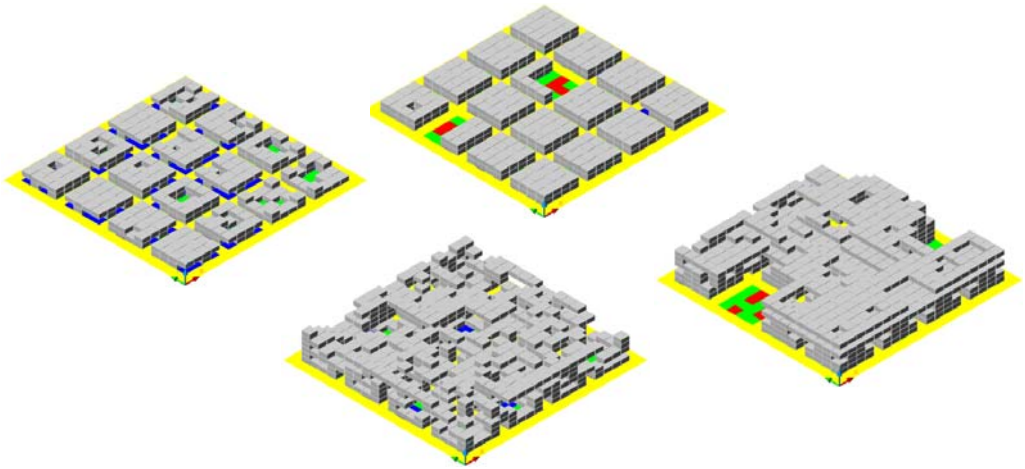


Abb 5.132 (oben) Die Automaten entwickeln sich bereits nach der 0. Generation, also nach dem ersten Iterationsschritt so, dass sie in ihrer Struktur neben den internen Wachstumsregeln hauptsächlich von den negativ definierten Räumen beeinflusst werden. Links der Automat mit 1515 und rechts mit 2524 jeweils nach der 0. und der 10 Generation. Der Straßenraum wird ab dem 3. Geschoss überbaut.

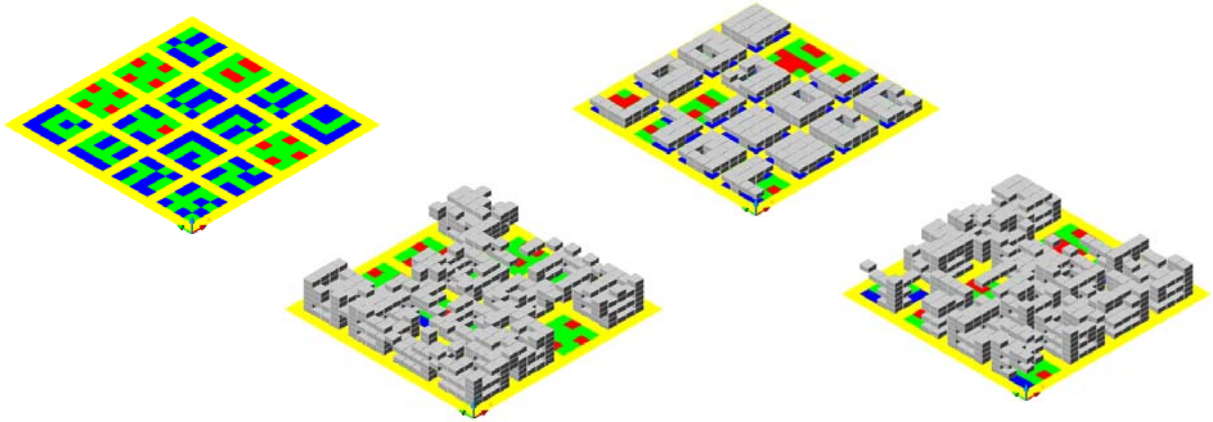
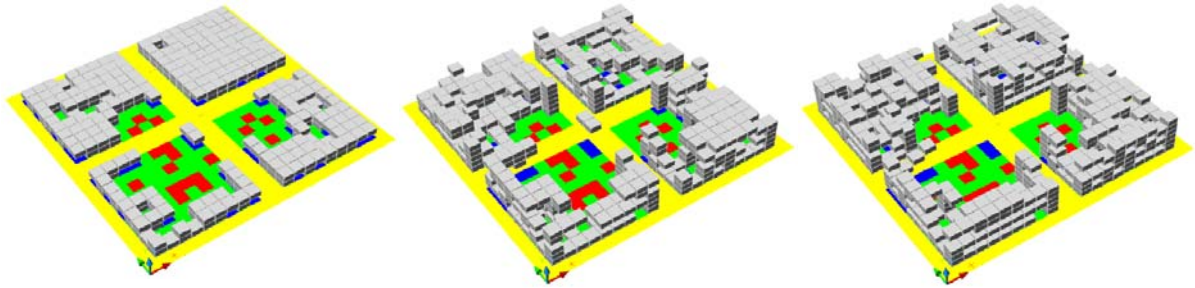


Abb. 5.133 (links) Die Abhängigkeit der Automaten von den Freiräumen. Bei den rechten beiden Bildern bleiben die Straßen als Schluchten erhalten. Die Zählregel ist für beide Automaten 2524.

Abb. 5.134 (unten) 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.



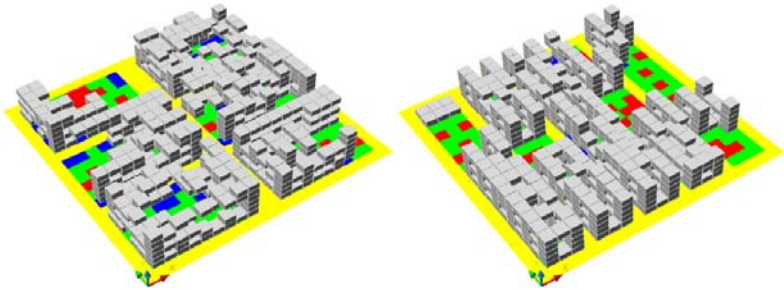


Abb. 5.135. Zwei Modelle mit anderen Straßensystemen, aber demselben Automaten 2524. Das Verhalten ist überall ähnlich.

Datei: [06_zelluAutomata_freiRaum.dvb]

Invertierung

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 drehen wir im den folgenden Experimenten dieses Verhältnis um und lassen 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, 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. 5.136 -5.150).

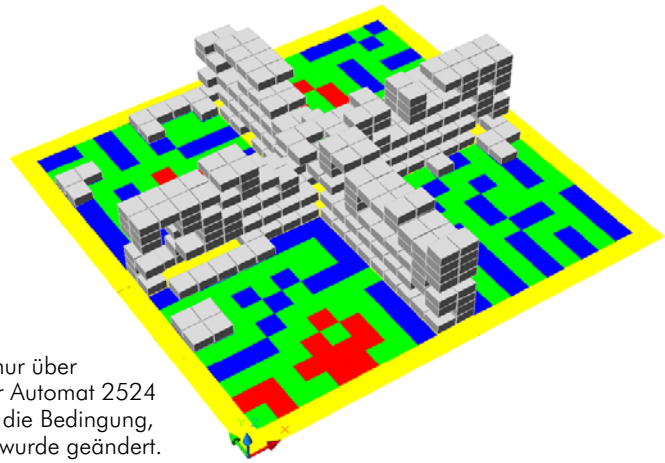
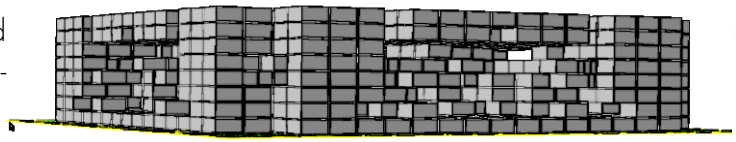


Abb. 5.137. Zellen können nur über Straßenflächen wachsen. Der Automat 2524 ist der gleiche wie oben, nur die Bedingung, wo Zellen entstehen können wurde geändert.



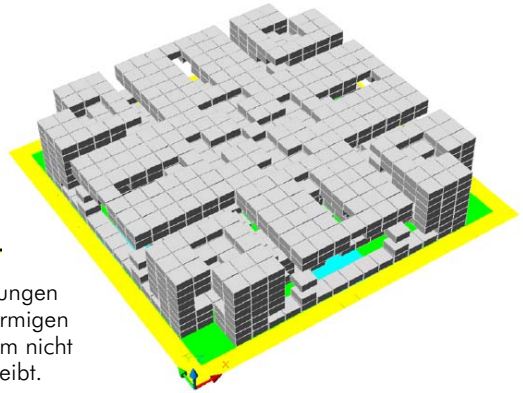
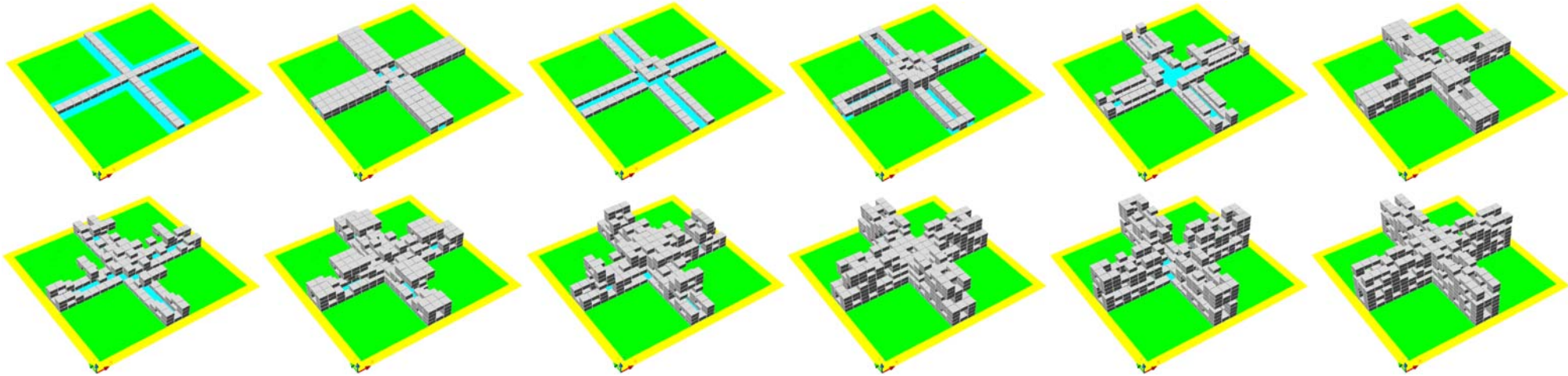


Abb. 5.138 und 5.139. Die beiden Abbildungen oben zeigen das Ergebnis bei einer kreuzförmigen Ausgangskonfiguration, wenn das Wachstum nicht auf die Cyan farbigen Bereiche begrenzt bleibt.

Abb. 5.136. Der 3D Automat 2524 wird durch die kreuzförmigen Reihen (cyan Zellen) initialisiert. Die abgebildete Sequenz stellt die Entwicklung über 10 Generationen hinweg dar.



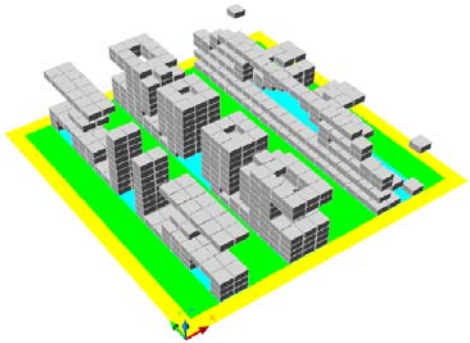
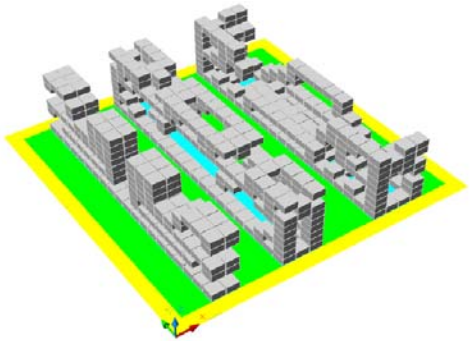
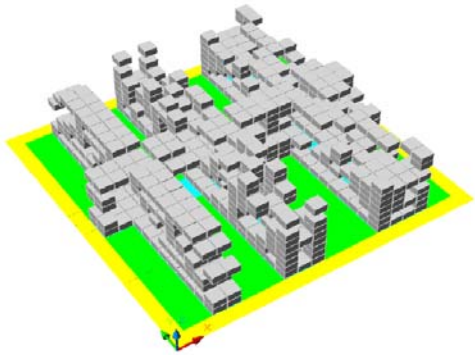
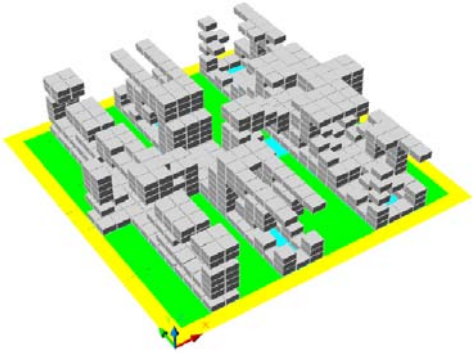
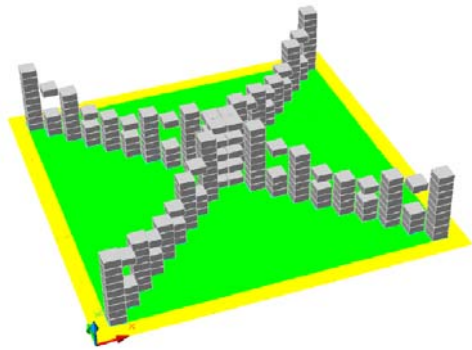
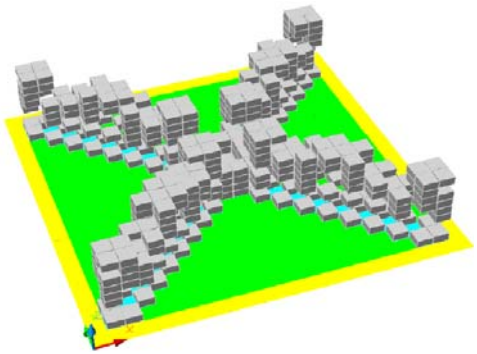







Abb. 5.140 - 5.144 (oben) Bilder aus der Versuchsreihe, bei der lineare Bauflächen unterschiedlicher Breite mit jeweils einer Reihe am Rand oder in der Mitte initialisiert wurden. Von links nach rechts: Automat 1325 mit 9 Generationen, 2525 mit 9 Gen., 3525 mit 10 Gen., 1515 mit 8 Gen.

Abb. 5.145 und 5.146 (links) Es wurde eine Verbindung eingefügt, wodurch eine Kammstruktur entsteht. Links 2525 mit 10 Gen, rechts 1515 mit 7 Gen.

Datei: [07_zelluAutomata_3D_invertiert.dvb]

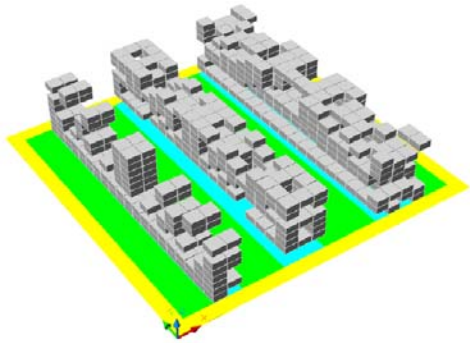
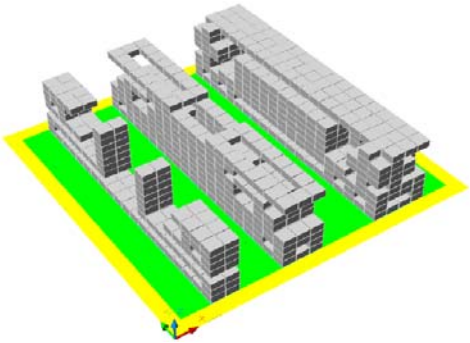
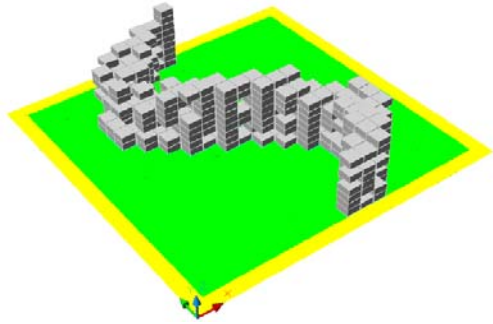
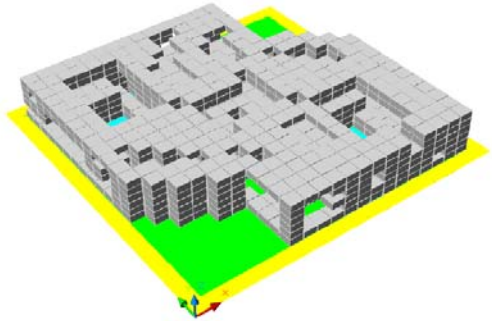
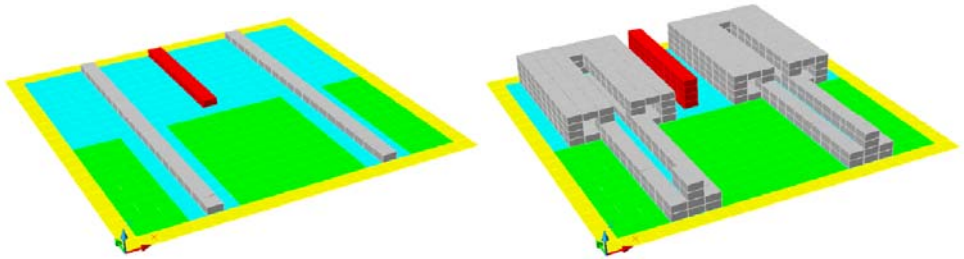





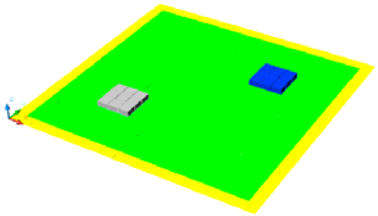
Abb. 5.147 - 5.150 (unten links) zwei x-förmige Strukturen mit verschiedenen Breiten. Beide mit 1515 erzeugt. (rechts) Zwei sinusförmige Strukturen, ebenfalls mit 1515 erzeugt – mit und ohne Wachstumsbegrenzung

Abstand

Abschließend untersuchen wir die Zusammenhänge der Räume zwischen den Gebäudestrukturen eingehender. 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 haben wir uns 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.



Wir führen folglich einen weiteren Zustand für eine 3D Zelle ein, den wir als „frei" bezeichnen und mit dem Wert 10 belegen. 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. 5.151 – 5.163).
Die roten Abstandszellen können auch dynamisch entstehen, wenn sich zwei Baustrukturen zu nahe kommen.
Die Arbeit an dem System zur Abstandserzeugung hat uns auf den Gedanken gebracht, Zellen einzuführen, die wie Parasiten fungieren, und dort entstehen, wo sie eine günstige Umweltbedingung in der Konfiguration der anderen, lebenden Zellen vorfinden.

Datei: [08_zelluAutomata_3D_abstand.dvb]

Abb. 5.151 - 5.154. Das Beispiel zeigt 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 rechten Abbildung sind die roten Zellen ausgeblendet.

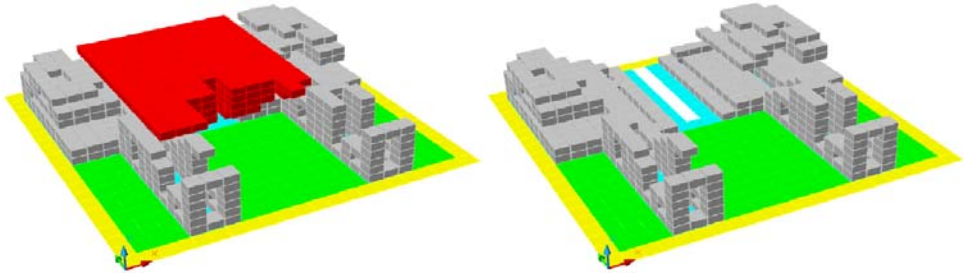
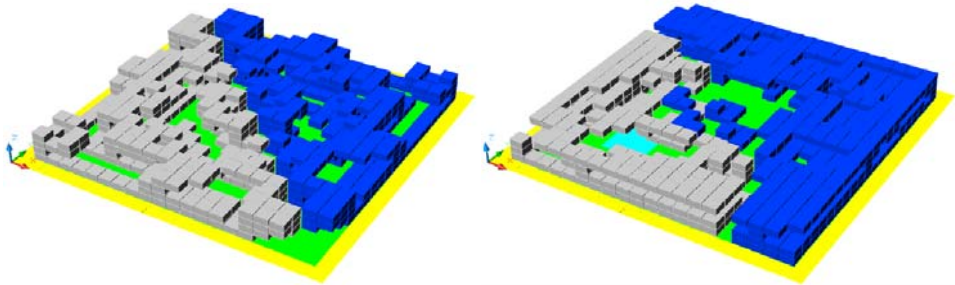
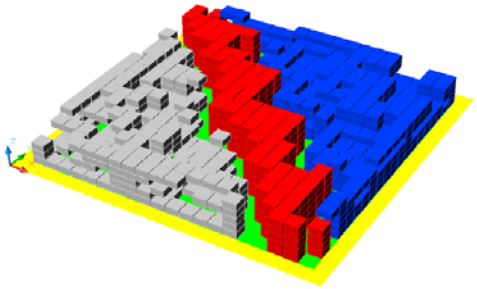


Abb. 5.155 - 5.157. Aus der Ausgangskonfiguration (kleines Bild links) entwickeln sich zwei Automaten, die sich gegenseitig verdrängen. Auf dem mittleren Bild zwei gleiche 2525 Automaten, auf dem rechten ist der blaue ein 1515 Automat. Es entsteht ein Kampf um das Territorium, in dem ein Automat den anderen verdrängt.





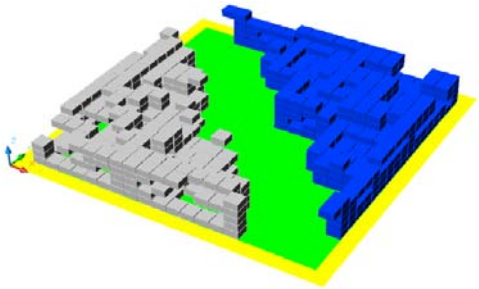
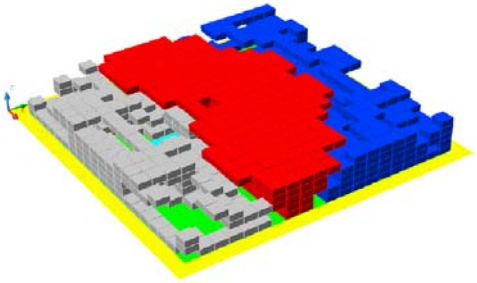


Abb. 5.158 und 5.159. An der Grenze der beiden Automaten entstehen die Initialzellen des roten Automaten dort, wo sich der blaue und der graue Automat berühren.
In den beiden Abbildungen oben wachsen die ‚Abstandszellen' einfach nach oben, was in unserem System für die Abstandsflächen bei Strukturen dieser Höhe ausreicht.

Abb. 5.160 - 5.161 (mitte) Die roten Zellen wachsen zusätzlich nach jedem zweiten Geschoss horizontal. Automaten wieder 2525 und 1515 und roter Automat 1999.



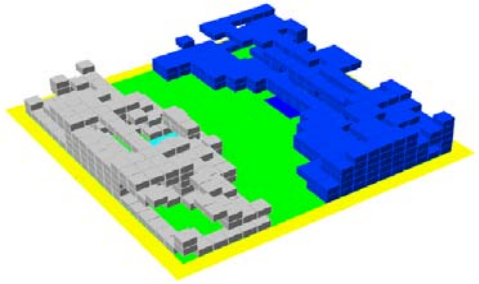
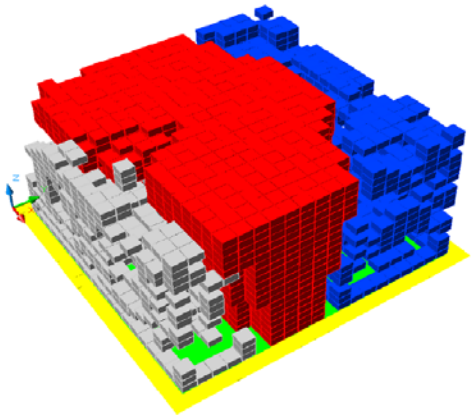
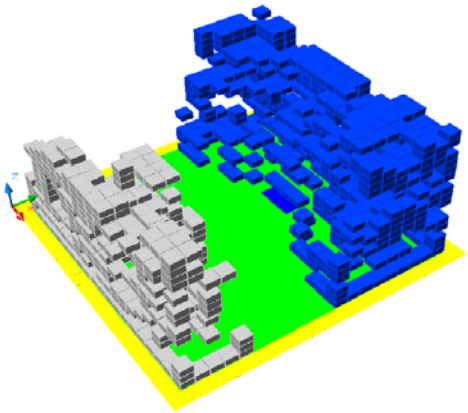


Abb. 5.162 - 5.163. Auch bei höheren Baustrukturen scheint die horizontale Verbreiterung der ‚Abstandszellen' keinen Sinn zu machen, da bereits zu viele rote Zellen zwischen den Automaten entstehen. Eine Verbreiterung ist demnach nur sinnvoll, wenn die Grenze als eine Zelle breite Linie vorher festgelegt wird, oder wir die Entstehungsregeln entsprechend verfeinern.





Uns 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.

Ausblick

Wir konnten 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, die durch weitere Interpretationsverfahren zu einem architektonischen Ergebnis überführt werden, was im nächsten Abschnitt skizziert wird.

Architektonische Interpretation

Zum Abschluss unserer Betrachtungen der zellulären Automaten werden einige Möglichkeiten vorgestellt, die erzeugten Strukturen architektonisch zu interpretieren. Es werden Arbeiten von P.Coates [24] und Krawczyk [31] zitiert, die sich damit bereits auseinandergesetzt haben (Abb. 5.164 – 5.167).

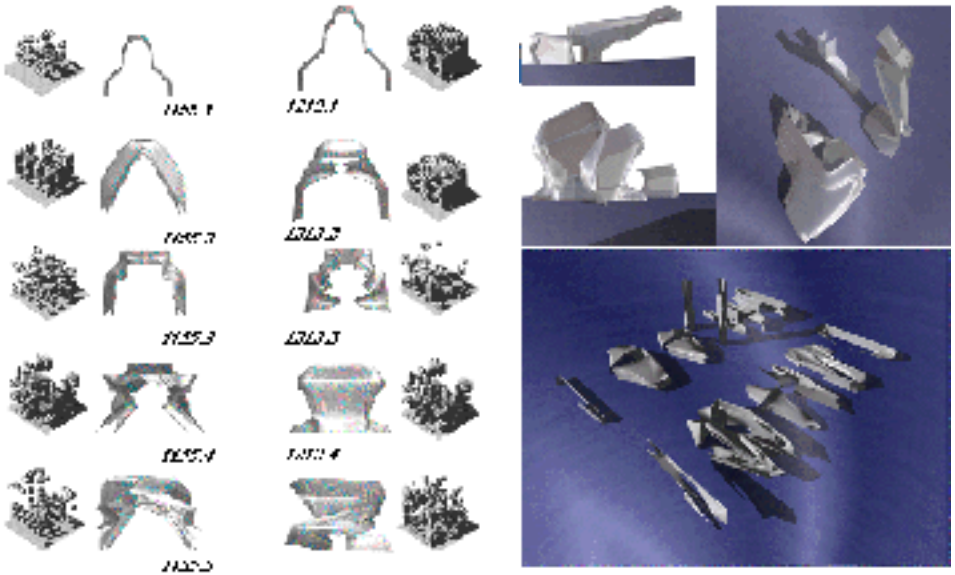


Abb. 5.164. ist einem Artikel von P.Coates [24] entnommen.

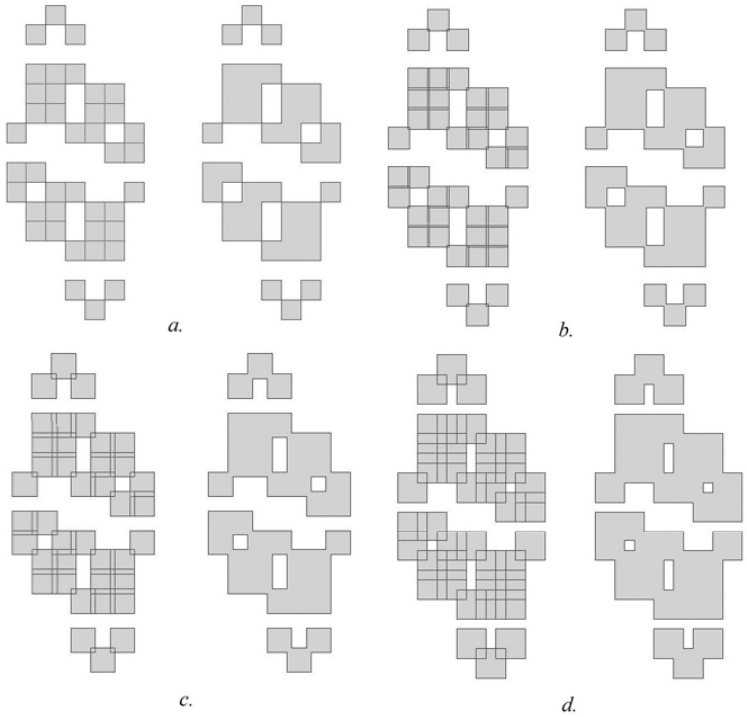
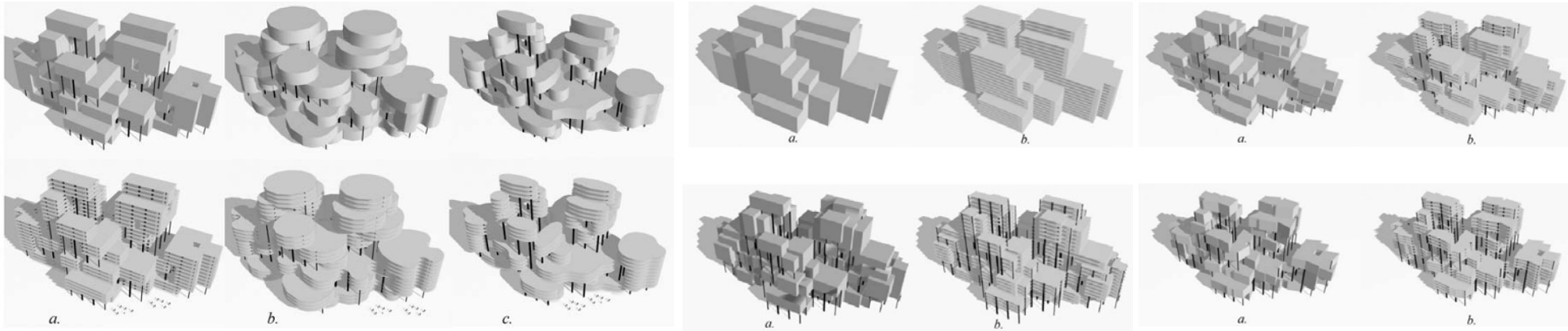
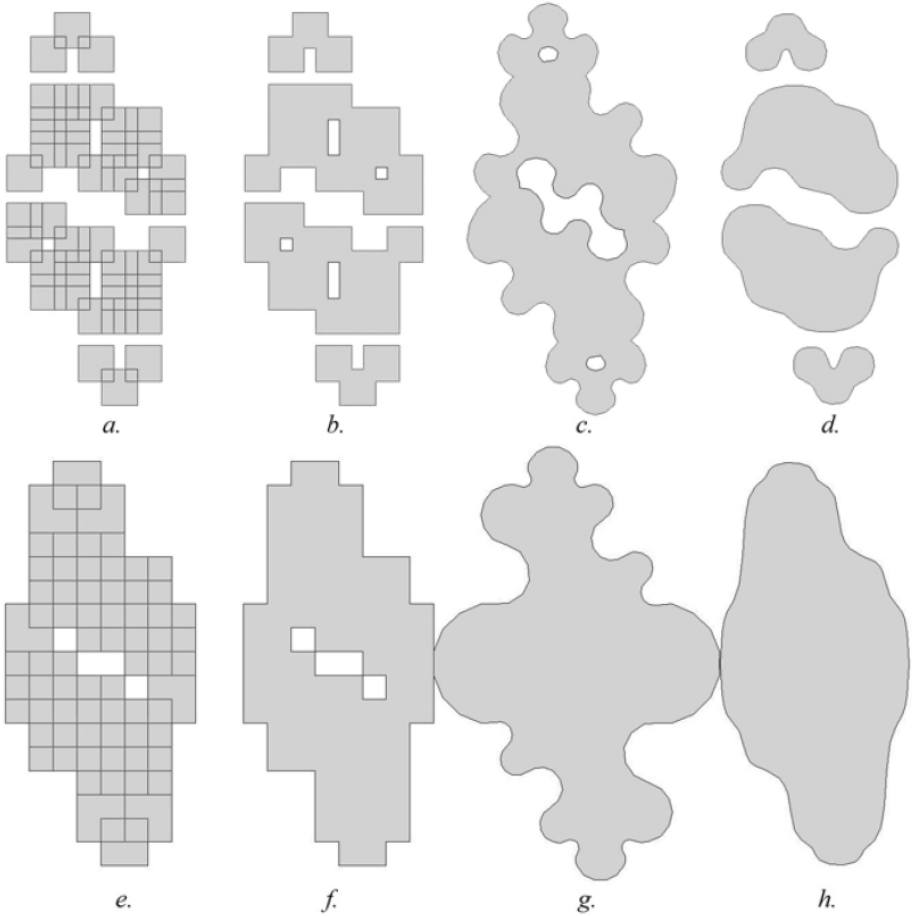


Abb. 5.165. Interpretationen einer dreidimensionalen zellulären Struktur. Krawczyk [31]



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

Abb. 5.166 - 5.167 (linke Seite und unten) Interpretationen einer Grundrissebene einer zellulären Struktur. Krawczyk [31]



Schlussbemerkungen zu den zellulären Automaten

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

5.4 Optimierung

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 wählen wir die Termitensysteme aus (Abb. 4.12 – 4.16). 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.

Evaluation

Bevor wir eine Struktur hinsichtlich bestimmter Kriterien optimieren können, benötigen wir 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 untereinander ableiten lässt (Abb. 6.4).
Wir können 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 wir verwenden die angepassten Werte, um die bestehende Struktur mittels eines Optimierungsalgorithmus umzugestalten.

Geometrie

Für die Untersuchungen der Generierungsmethoden bewegen wir uns 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 wir sie am Ende von Abschnitt 5.3 beschrieben haben.
Da diese Methoden für die Auseinandersetzung mit den Optimierungsmöglichkeiten nur peripher sind, beschränken wir uns auf die Darstellung des Drehens der Zellen nach den Straßentrassen (Abb. 5.168).

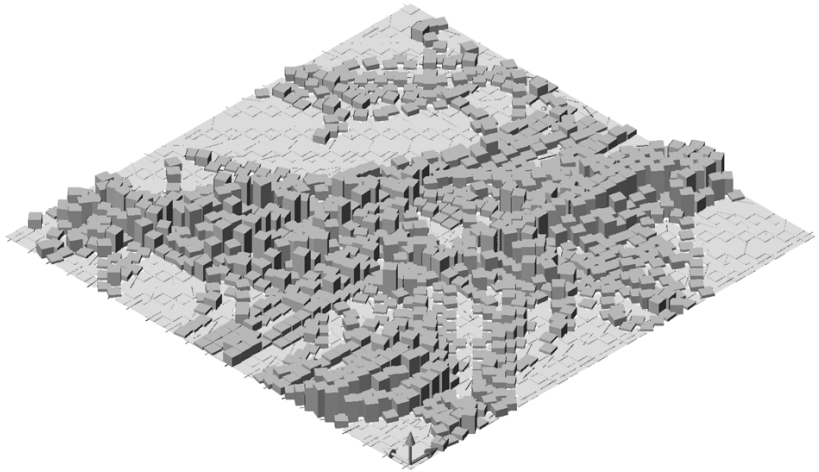
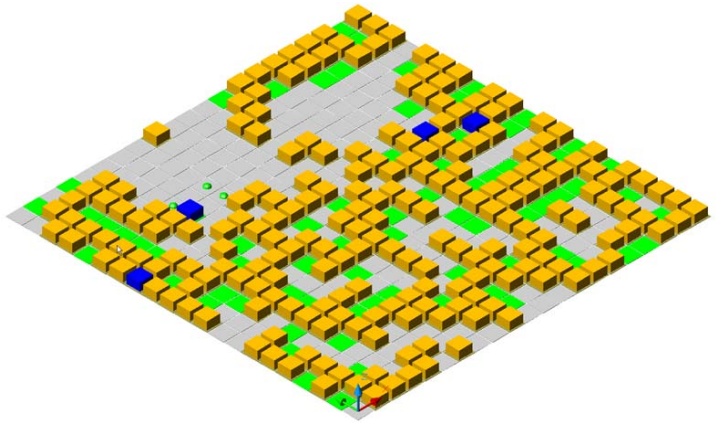


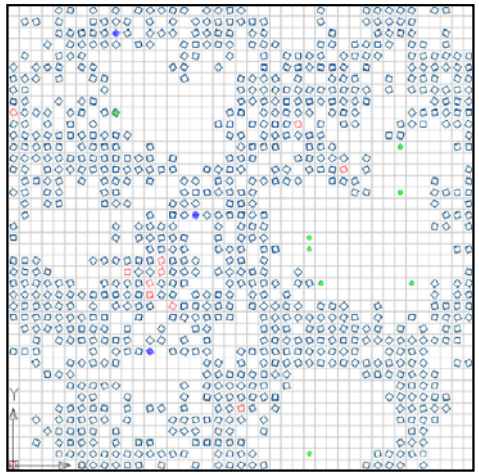
Abb. 5.168. Beeinflussung der Zellengeometrie.

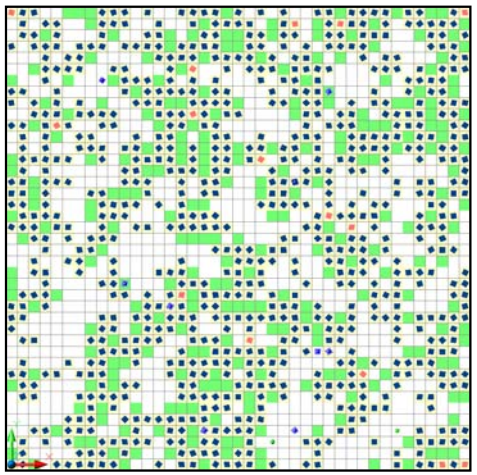
Umbau

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 wir allerdings keine sich gegenseitig widersprechenden Kriterien angeben, 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 uns, Anforderungen an das System zu stellen, von denen wir wissen, 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 untersuchen wir dazu die Termitensysteme. 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 zu erhalten werden braucht (Abb. 5.169 – 5.172). Diese Methode bietet sich außerdem für die Entwicklung des Feldtyps ‚Vernetzer' an, der im Abschnitt 5.2 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.







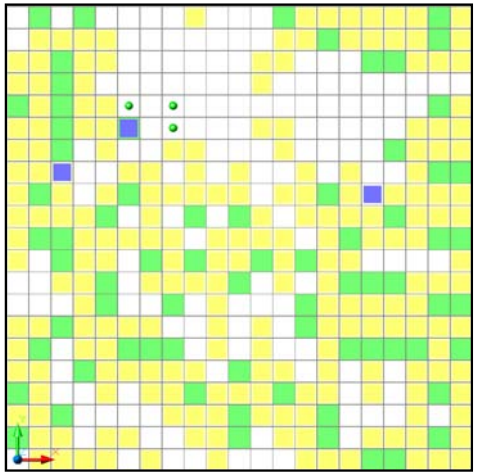


Abb. 5.169 - 5.172
(ganz links) Verdichtung einer ursprünglich homogenen Verteilung der blauen Zellen.
(mitte) Die Struktur wurde so umgebaut, dass jede bebaute Zelle mindestens eine freie als Nachbar hat. Bei Zellen mit drei besetzten Nachbarn wurde die vierte, leere Zelle grün markiert und damit für eine zukünftige Bebauung gesperrt.
(rechts) Ausschnitt aus dieser Struktur
(oben) Isometrische Darstellung, bei welcher 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 Wohnnutzung vorausgesetzt wurde. Für ein Gewerbe- oder Industriegebiet benötigen wir angepasste Regeln für die Kombination der Einheiten sowie veränderte Elementgrößen.
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 gewünschten Entfernungen untereinander ausgedrückt werden. Bei der Definition der Beziehungen werden sich einige Anforderungen gegenseitig widersprechen, weshalb meist nicht alle zugleich erfüllt werden können (Abb. 5.174 u. 5.175). 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, verwenden wir einen genetischen Algorithmus.
(siehe [43] GOLDBERG, David E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning)

Abbildung 5.173 (rechts) Die Relationen aus den unten abgebildeten Tabellen werden mit Hilfe des genetischen Algorithmus 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).

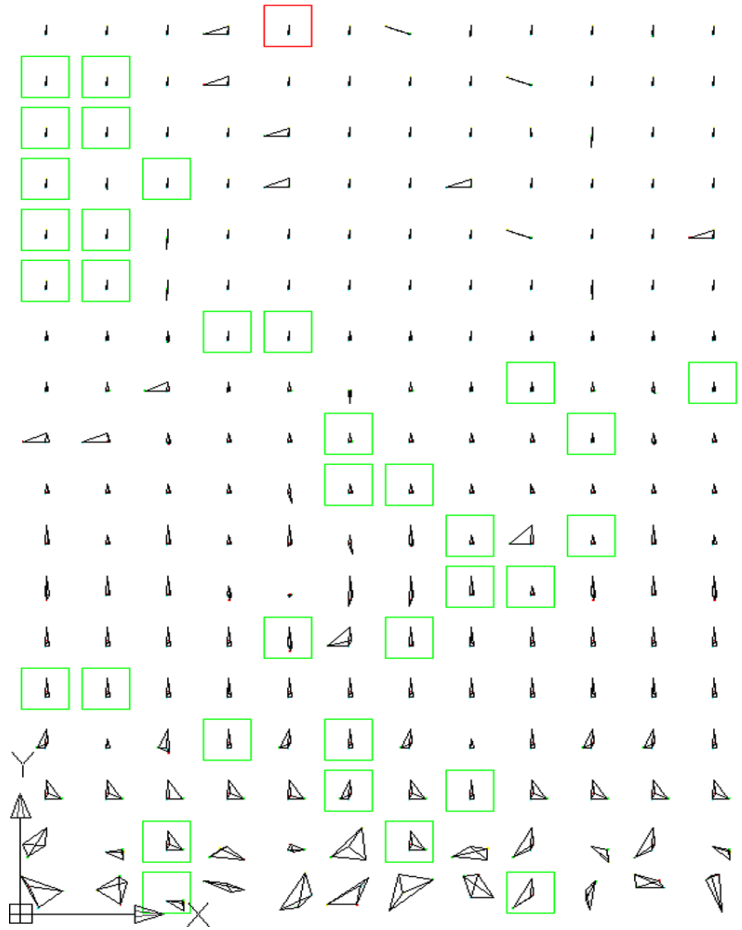
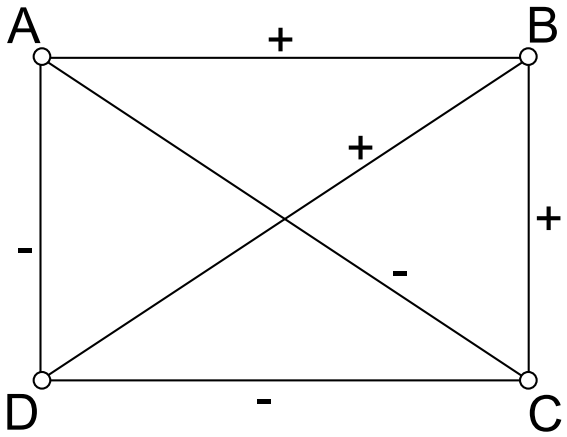
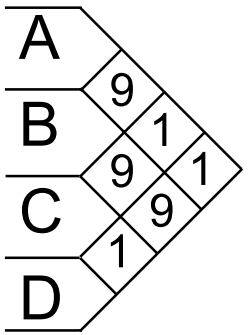
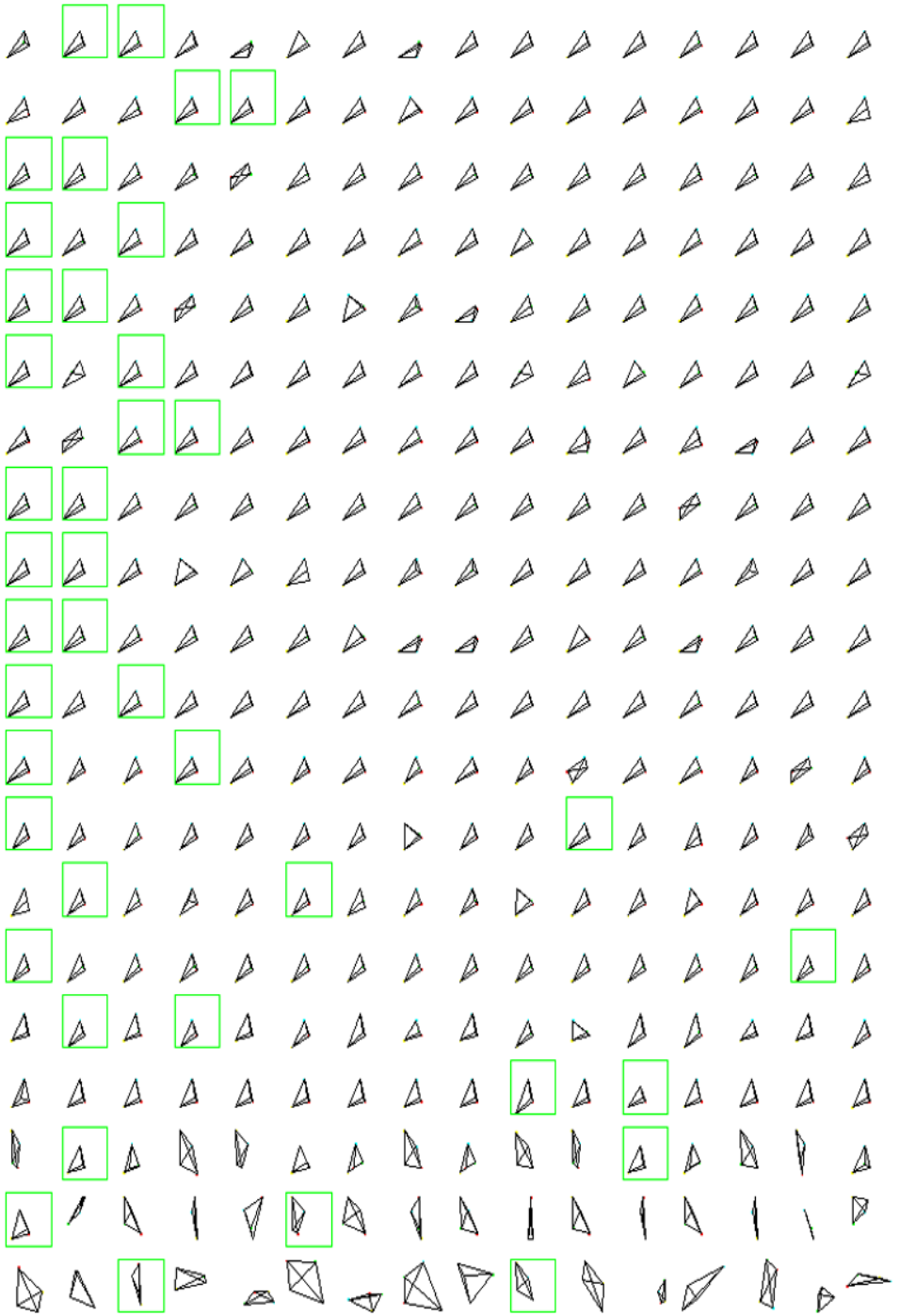


Abbildung 5.174 und 5.175 (unten) Relationen zwischen vier Nutzungen. Links als Diagramm, in dem jeder Buchstabe mit jedem anderen in einer Beziehung steht, die entweder mit + oder – ausgedrückt ist. In der tabellarischen Darstellung rechts daneben ist + und – durch 9 und 0 ersetzt, die bereits eine Entfernung angeben. Bei vier Elementen entstehen sechs Abhängigkeiten.



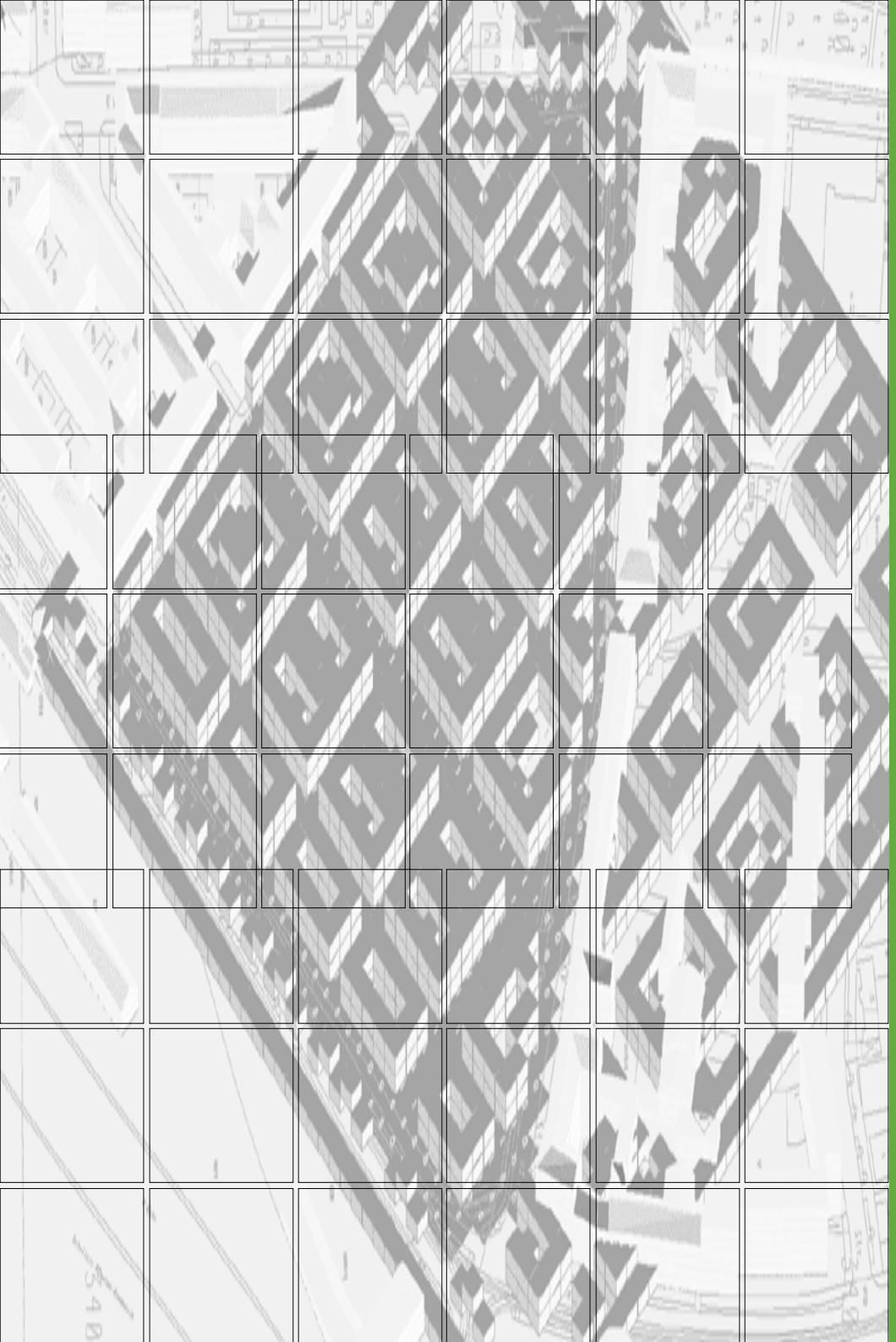




In den abgebildeten Beispielen (Abb. 5.173 u. 5.176) wird das Prinzip des genetischen Algorithmus ersichtlich. In der ersten Generation (jeweils die unterste Zeile) werden einige Lösungen mit zufällig erzeugten Werten generiert. Diese werden danach ausgewertet, wie weit sie vom Optimum abweichen. Dazu werden die Abweichungen jeder Relation addiert, was einen numerischen Ausdruck ergibt, den wir als ‚Kosten' bezeichnen. 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 geringste Wegelänge, die wir mit 0 annehmen. Gesucht wird die Variante mit den geringsten ‚Mehrkosten'. Die Positionen der Wegeknoten 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.

Abbildung 5.176 (links) Die Relationen der letzten Seite wurden für dies Berechnung verändert, indem das Verhältnis D-C auf 9 gesetzt wurde. Wir verwenden 16 Variationen pro Generation. Nach 20 Durchläufen konnte keine Konfiguration gefunden werden, die alle Anforderungen erfüllt. Als Ergebnis wird die Lösung mit der geringsten Abweichung verwendet (grün umrandet).



Feldversuche

6. Feldversuche

In diesem Kapitel wenden wir versuchsweise die Methoden an, welche für die Entwurfsumgebung entwickelt wurden. Im ersten Schritt werden wir uns bemühen, die Regeln der Entstehungsprozesse beispielhafter Siedlungsmuster aufzuspüren und analoge Strukturen zu generieren.
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 unsere Versuchsentwürfe anbietet.

6.1. Interface

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.

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 umrandenden 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

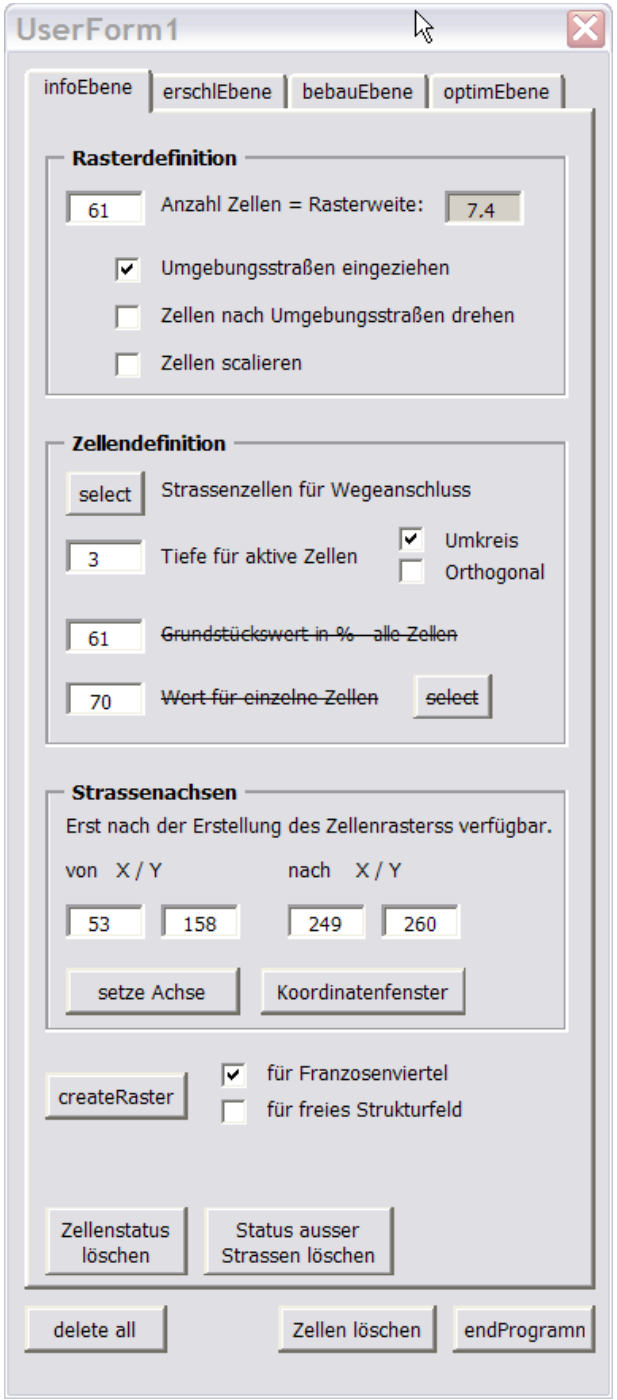


Abb. 6.1. Interface: Registerkarte für die Informationsebene

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.

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 zu Verfügung stehen.

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.

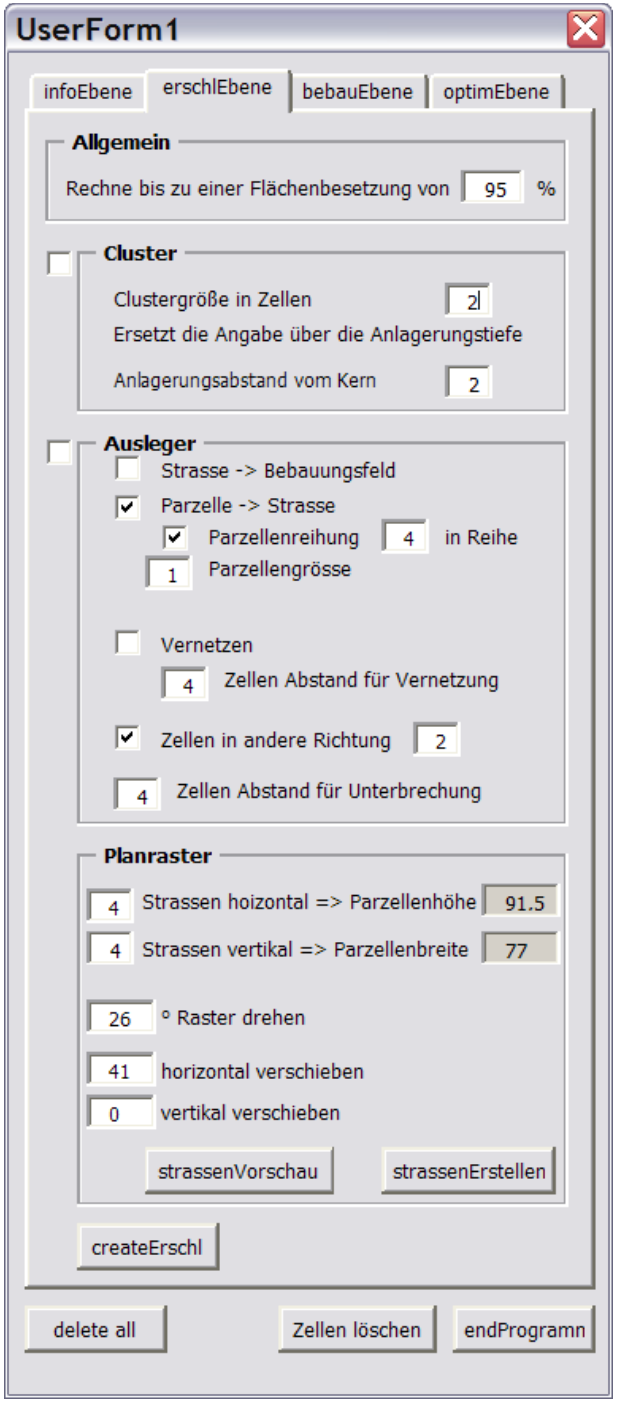


Abb. 6.2. Interface: Registerkarte für die Erschließungsebene

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

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

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 5.3 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.

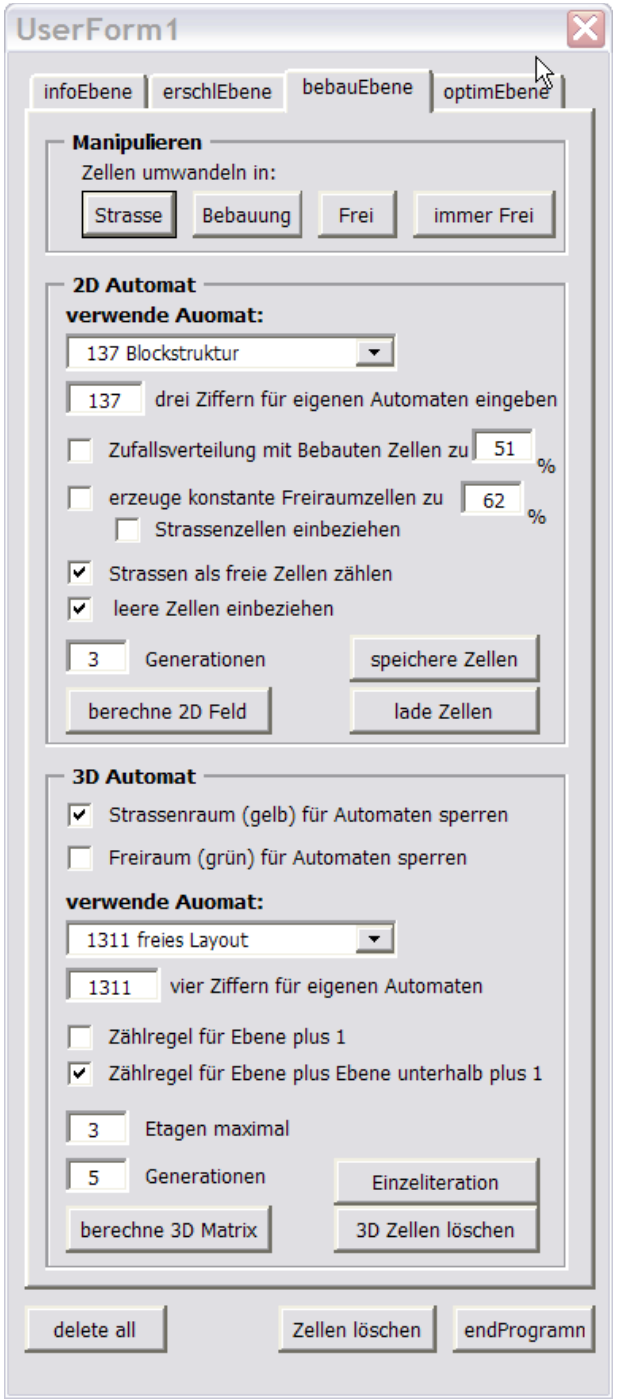


Abb. 6.3. Interface: Registerkarte für die Bebauungsebene

Die oberen beiden Restriktionen bestimmen, über welchen Zellen der Automat agieren kann. Über den deaktivierten Flächen bleibt der Status immer ‚tot'.
Die Zählregeln sind im Kapitel 5.3 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.

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 Ansichtssteuerung. Hier kann auch der referenzierte Umgebungsplan ein- und ausgeblendet werden (add_XRef und del_XRef).

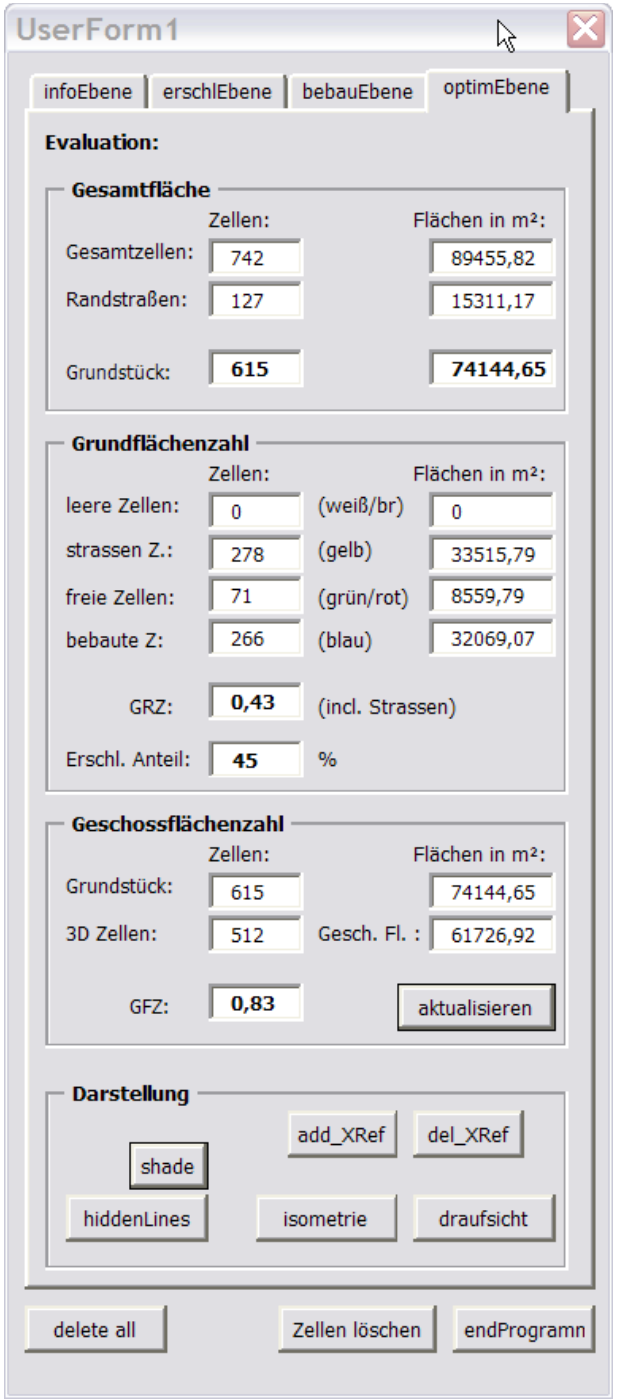
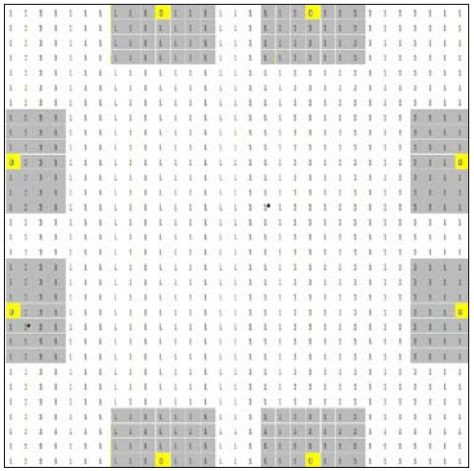


Abb. 6.4. Interface: Registerkarte für die Optimierungsebene

6.2. Strukturdifferenzierung

Nach der Besprechung der unterschiedlichen Feldtypen und deren Generierung sowie der Übersetzung in dreidimensionale Strukturen, betrachten wir jetzt die Möglichkeiten, welche sich aus dem Zusammenwirken der einzelnen Module ergeben und 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.



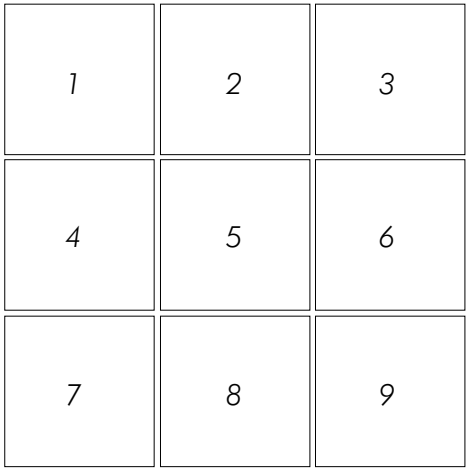


Abb. 6.5 und 6.6 (oben links) Ausgangskonfiguration für jede der neun Strukturen. Die gelben Zellen sind die vordefinierten Strassenanschlusspunkte, die eine Vernetzung erlauben. Die grauen Felder bilden entsprechend den Bedingungen der Anlagerungsprozesse die möglichen Anlagerungszellen für die Wanderpunkte.
(rechts) Für eine genaue Bezeichnung der Strukturen in den folgenden Beschreibungen sind die Felder von 1 bis 9 nummeriert.

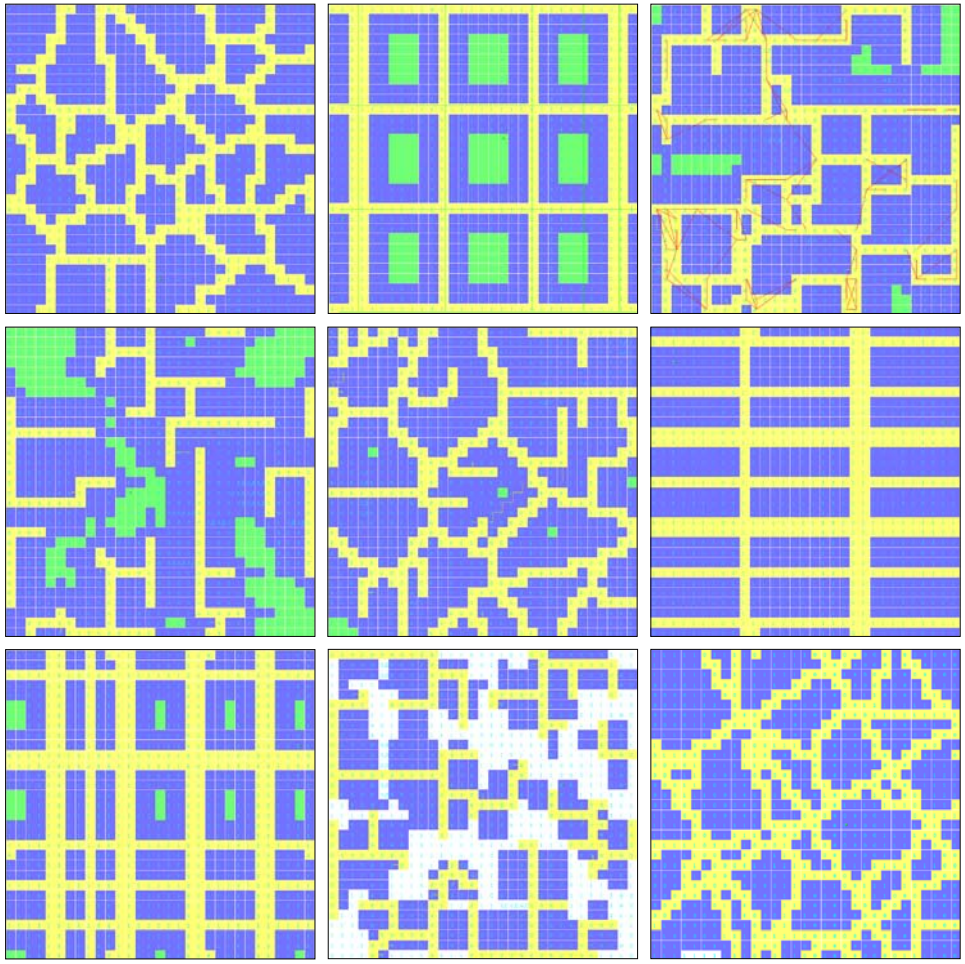


Abb. 6.7 (links) Die neun verschiedenen Ausgangsstrukturen, die mittels der Informations- und der Erschließungsebene erzeugt wurden. Die Strukturen werden folgendermaßen bezeichnet:
1. Cluster, 2. Raster, 3. Ausleger – Strassen vernetzt, 4. Ausleger – Strassen unvernetzt, 5. Cluster mit Ausleger, 6. Reihen, 7. unregelmäßiges Raster, 8. Ausleger – Parzellen, 9. Raster mit Cluster.

Beschreibung

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.

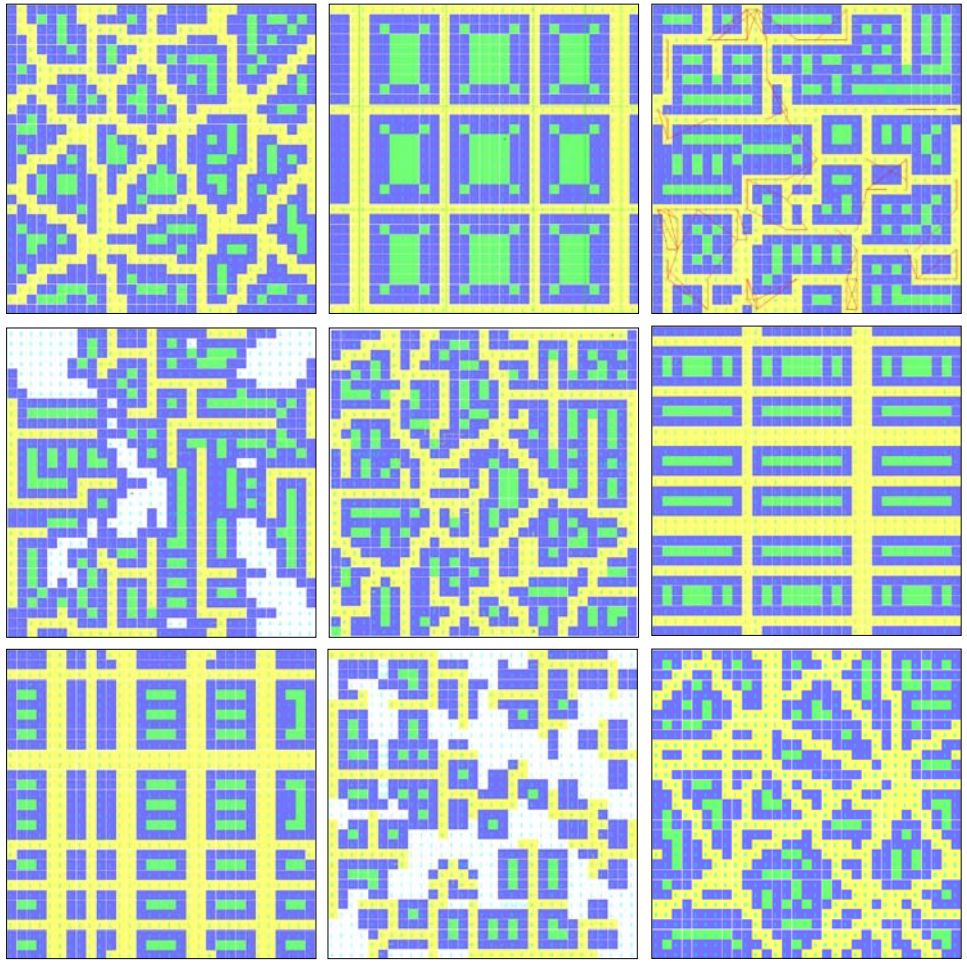
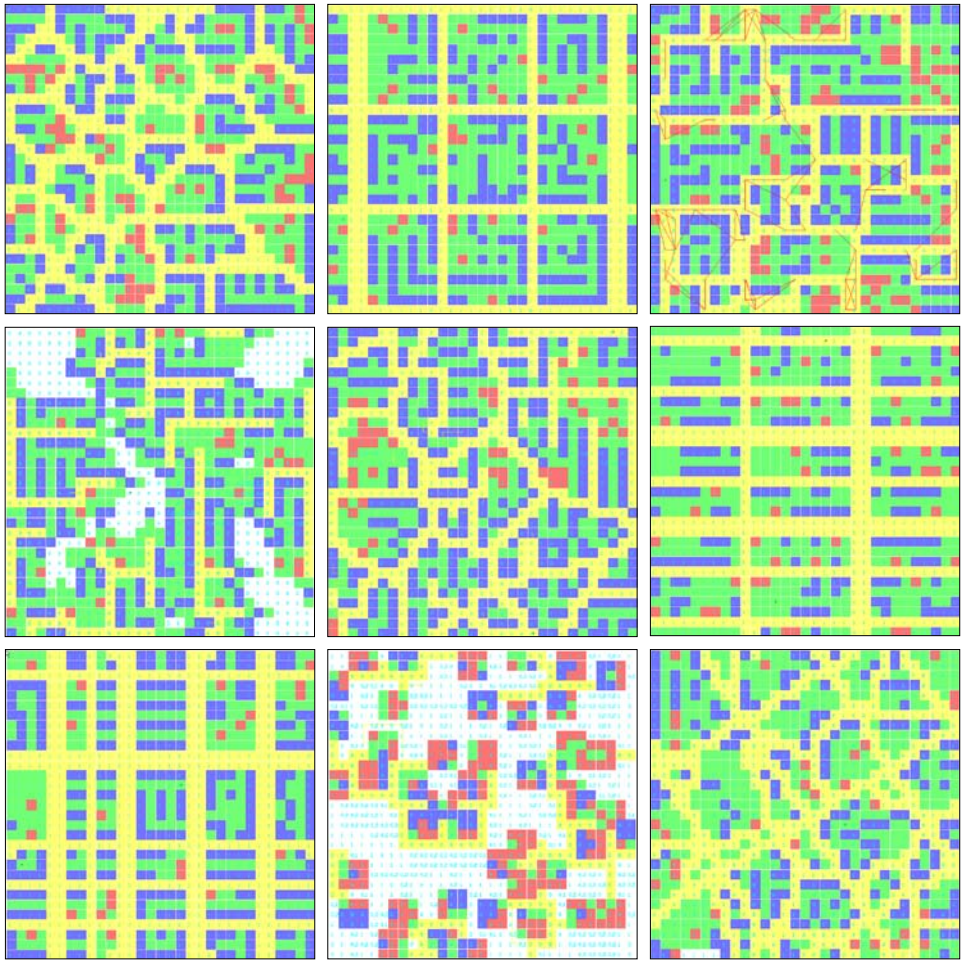


Abb. 6.8 - 6.10. (diese und nächste Seite) Weiterbearbeitung der Ausgangsstrukturen, wie sie mit den zweidimensionalen Automaten der Bebauungsebene realisiert werden können.
(unten links) Innerhalb der gegebenen Erschließungssysteme entwickeln sich Randbebauungen, die über das Interface mit der Voreinstellung „137 Blockstruktur" herstellbar sind.
(unten rechts) Der Automat „114 freies Layout".
Von diesen Varianten unterscheiden sich jene der Abbildung auf der nächsten Seite 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%.





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.

Abb. 6.11. 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 wuren im Kapitel 5.3 Bebauung eingehend beschrieben.



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



Abb. 6.12. 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.

(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 verschieden 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

Abb. 6.13. Bei diesem Beispielen wurden die gleichen Einstellungen verwendet wie bei dem Vorangegangenen (Abb. 6.12, freies Layout). Es sind lediglich nicht zu bebauende Zellen als Restriktion eingeführt worden, welche die Struktur auflockern (rote Zellen).



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 [24] wird diese Zählregel verwendet.

In den abgebildeten Beispielen kommt diese Regel bei dem Strukturfeld Nummer 7 vor, welches auf dem unregelmäßigen Raster basiert. Dort werden „freie" Automaten mit der Bezeichnung 1325, 3525 und 1515 verwendet.

6.3. Franzosenviertel

Versuchsfeld

Unser Planungsgebiet liegt in Haidhausen, im so genannten „Franzosenviertel“, zwischen dem Ostbahnhof und dem am Isarhochufer gelegenen Alt-Haidhausen. Das Quartier wurde in der Zeit nach der Gründung des 2. deutschen Kaiserreichs 1871 („Gründerzeit“) als bürgerliches Wohnviertel in den zeittypischen historistischen Stilen 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 Altbausanierungswelle 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 Bahngeleisen. Auf dem Entwurfsgelände liegt ein Parkplatz mit großem Baumbestand, nach Norden und Osten schließen Gewerbe und ein Asylbewerberheim an.

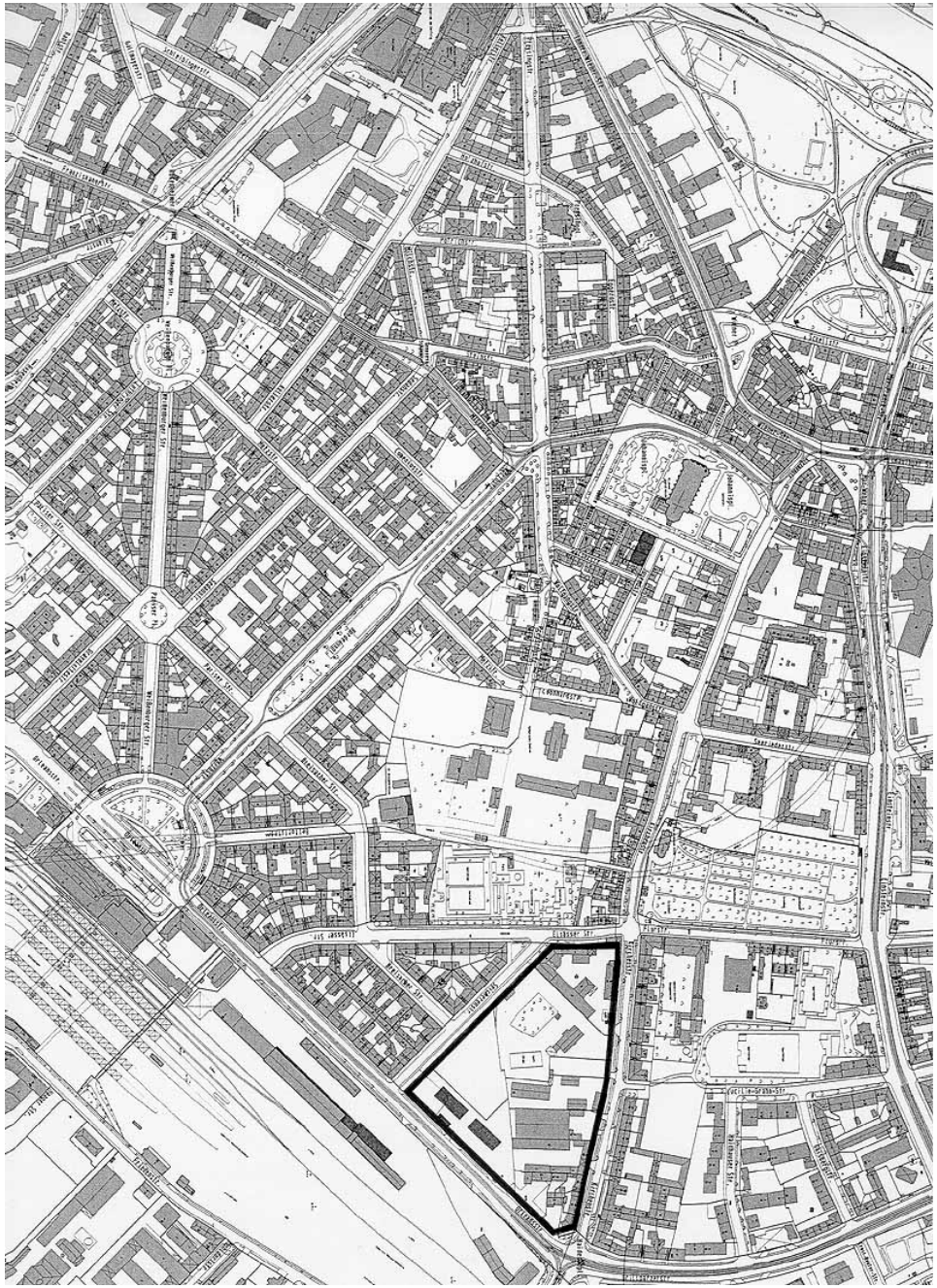
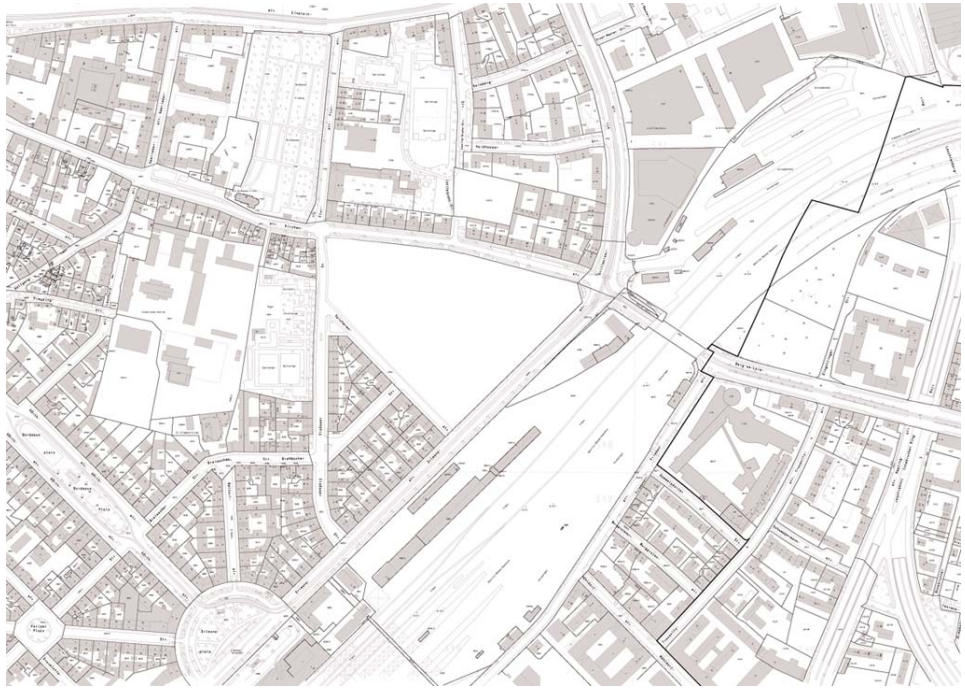


Abb. 6.14. Das Versuchsfeld:
Franzosenviertel in München, ohne Maßstab.





Abstraktion

Für die Anwendung der erarbeiteten Entwurfsmethoden abstrahieren wir vom beschriebenen Kontext auf die wesentlichen, strukturellen Elemente, die wir in den vorangegangenen Kapiteln besprochen haben. 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.

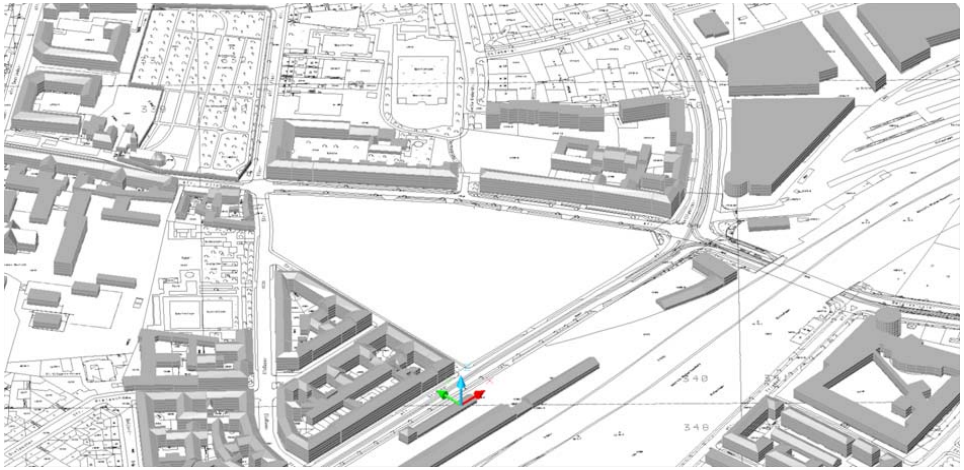
Das Entwurfsgebiet wird für die folgenden Strukturentwürfe als leer geräumt betrachtet (Abbildung links). Für eine einfachere Einpassung des Zellenrasters wurde der Grundrissplan um 45° gedreht. In den isometrischen Darstellungen, die wir zur Visualisierung der dreidimensionalen Strukturen verwenden,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

Kontext

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).

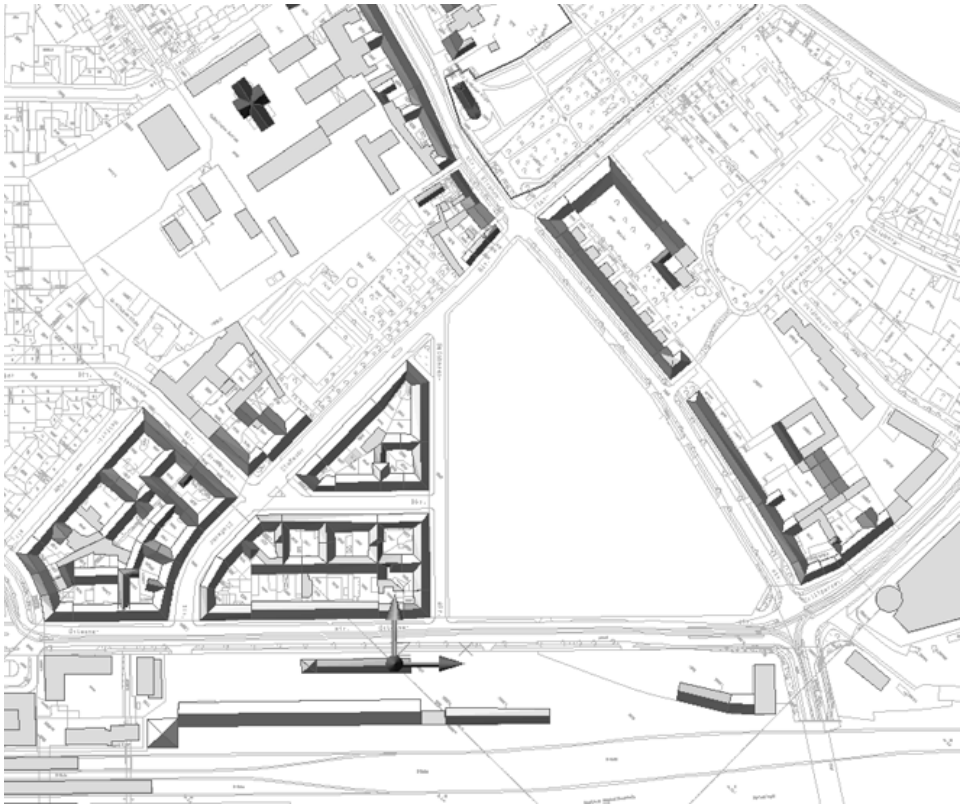
Abb. 6.15 (links oben) Der Ausschnitt des leer geräumten Planungsgebiets mit Umgriff (genordet). Plan aus der Stadtgrundkarte München
Abb. 6.16 (links unten) Das entsprechende Luftbild zum oberen Plan, auf welchem der Bestand zu sehen ist. Die Aufnahme ist der CD Luftbilder München entnommen.



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. 6.17 (oben links) Isometrische Darstellung des unbebauten Grundstücks mit den Bestandsgebäuden der Umgebung. Blick von Süden.

Abb. 6.18 (unten links) 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).



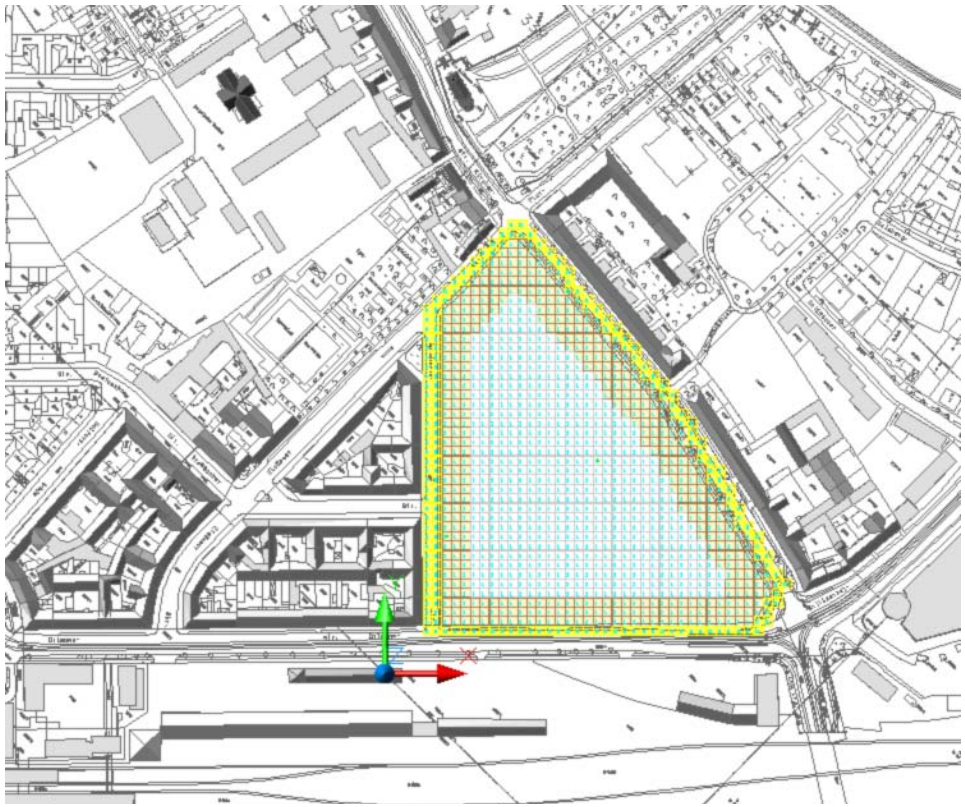
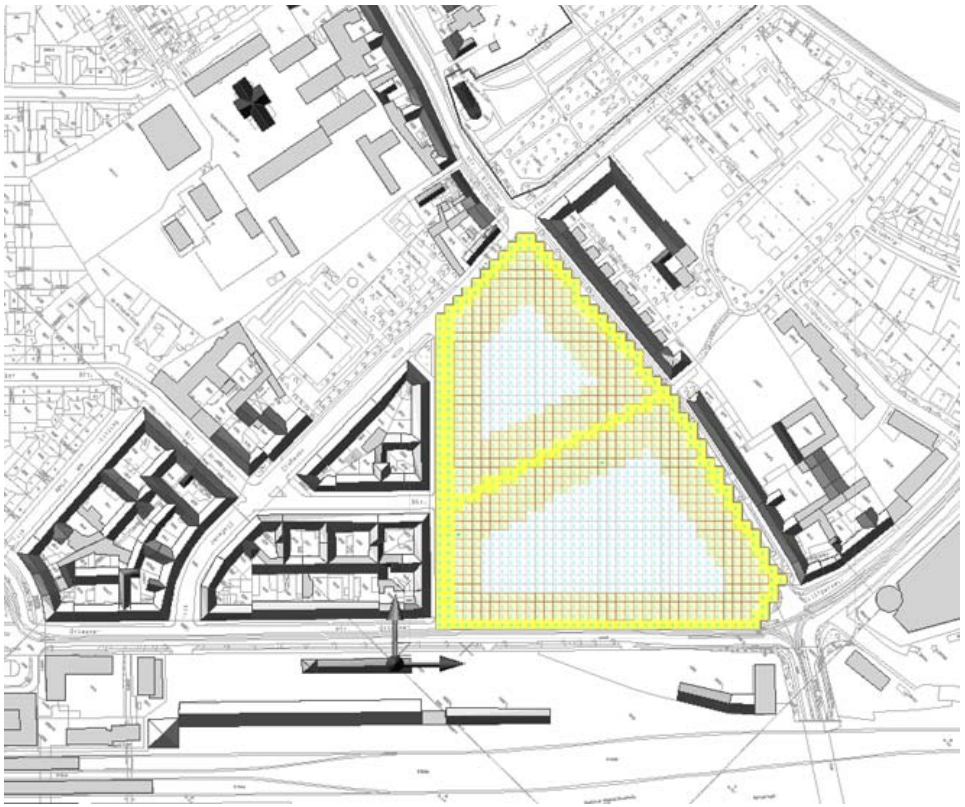




Abb. 6.19 (oben) Das Koordinatenfenster, über welches die Koordinaten der Kreuzungspunkte der Umgebenden Strassen abgefragt werden können.

Abb. 6.20 (unten) Die eingefügte Achse nimmt zwei der auf das Grundstück treffenden Strassen auf und verbindet sie miteinander.



Vorgehensweise

Die Beispiele auf den folgenden Seiten (Abb. 6.22 – 6.25) sind alle nach dem gleichen Schema aufgebaut: Ausgehend von einer Erschließungsstruktur, die jeweils einem Thema wie Block, Zeile, Cluster und Ausleger folgt (einzelne Abb. links), werden drei verschiedene Möglichkeiten für eine entsprechende Bebauungsstruktur dargestellt (Abb. der drei übereinander angeordneten Grundrisse), die schließlich in die dritte Dimension übersetzt werden, wobei wiederum unterschiedliche Methoden verwendet werden (isometrische Darstellungen auf der rechten Seite). Die ausgewählten Beispiele stellen lediglich einen winzigen Teil der potentiellen Möglichkeiten dar, die von den gewählten Einstellungen abhängen.

Abb. 6.21 (unten rechts) Beispiel für die Möglichkeiten der manuellen Zellendefinition. Dieses Vorgehen bleibt allerdings besonderen Ausnahmesituationen vorbehalten, da sich die Strukturen im Allgemeinen aufgrund ihrer inhärenten Regeln selbst organisieren sollen.



Blöcke

Auf dieser Doppelseite werden drei verschiedene Methoden vorgestellt, wie sich aus einem Ausgangsraster (einzelne Abbildung ganz links) unterschiedliche Blockstrukturen ableiten lassen. 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 haben wir bereits dargestellt und verweisen hierzu auf Kapitel 5.3 Bebauung. Lediglich auf die Maßstäblichkeit in Abhängigkeit von der Zellengröße werden wir weiter unten näher eingehen.

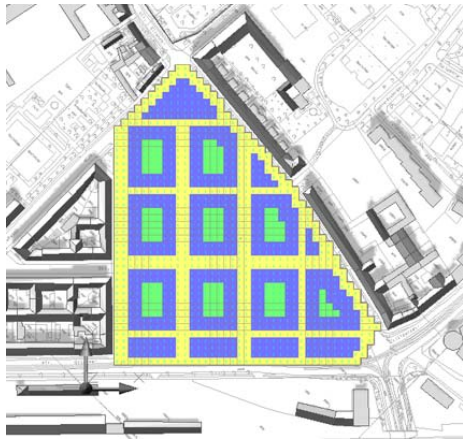




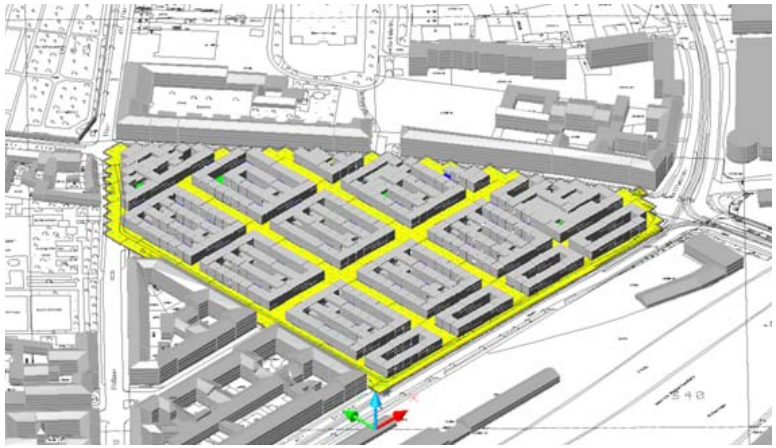
Abb. 6.22
(obere Reihe) Die bebaubaren Felder sind max. zwei Zellen von den Strassen entfernt. Der 3D-Automat (linke Isometrie 2514 Blockstruktur, rechte Isometrie 1515 freier Automat) darf nur über den blauen Zellen agieren. Die Restriktionen des Systems sind insgesamt sehr hoch.

(mittlere Reihe) 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. (linke Isometrie 2514 Blockstruktur, rechte Isometrie 1515 freier Automat)

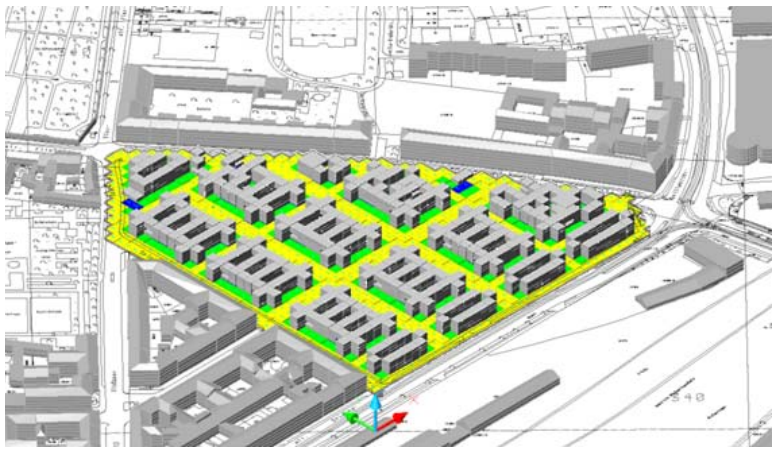
(untere Reihe) Der 2D-Automat berechnet die Strassenkorridore als bebaute Flächen, wodurch ein Abstand der blauen Zellen zur Strasse hin entsteht. Der 3D-Automat bleibt auf den Raum über den Blauen Zellen beschränkt. (linke Isometrie 2514 Blockstruktur, rechte Isometrie 1515 freier Automat)









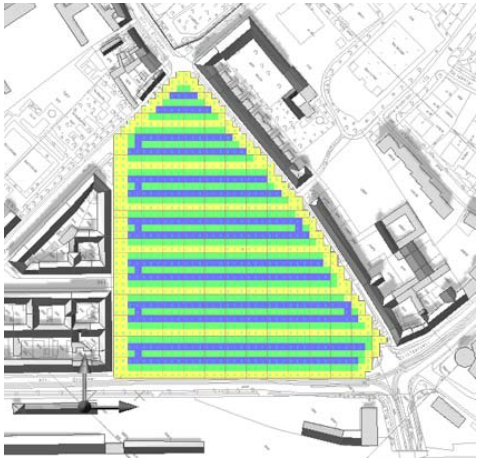




Zeilen

So wie bereits die Blöcke, basieren die Zeilen auf dem Feldtyp des Plans. In unserer 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 unser Hauptinteresse den Bedingungen der Selbstorganisation gilt, werden wir uns mit den stark restriktiven Systemen weniger beschäftigen.







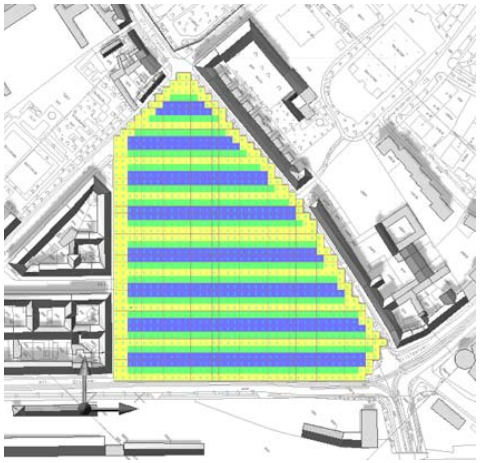
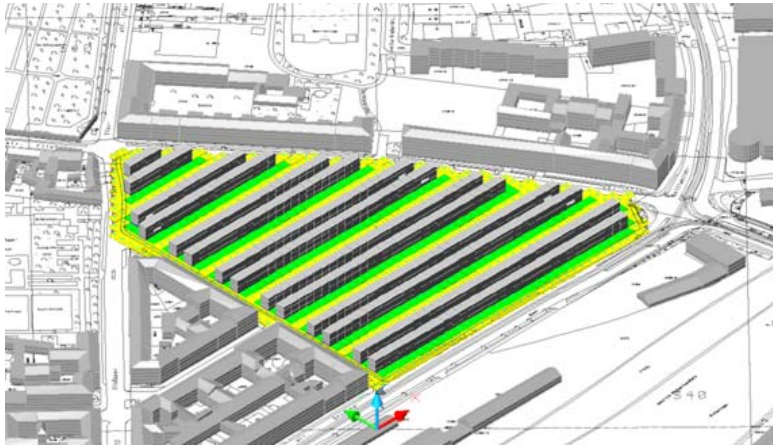
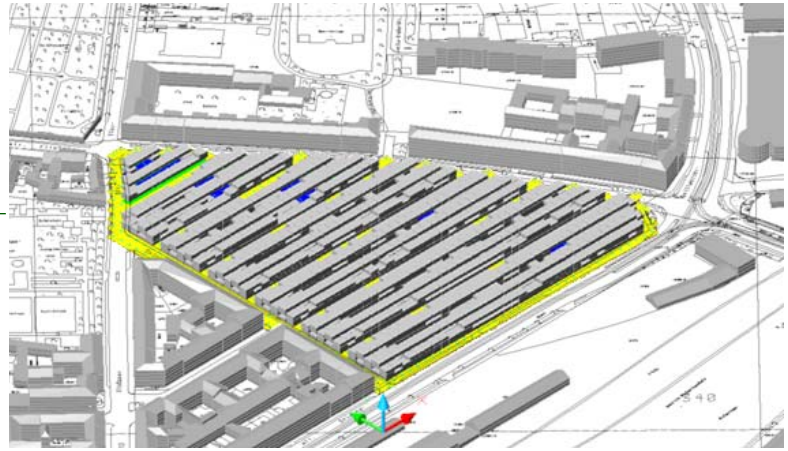


Abb. 6.23
(obere Reihe) Das Baugebiet wird mit sechs parallelen Strassen in gleich hohe Zeilen unterteilt. Der 2D Automat berechnet die blauen Zellen unter der Prämisse, dass die Strassen als besetzt gelten (137 Blockstruktur). Für die linke Isometrie wurde der 3D Automat ‚2514 Blockstruktur' verwendet, wobei die grünen Zellen nicht bebaut werden durften. Die rechte Isometrie wurde mit dem freien 3D Automaten 1515 berechnet, wobei nur die Strassen frei bleiben mussten.

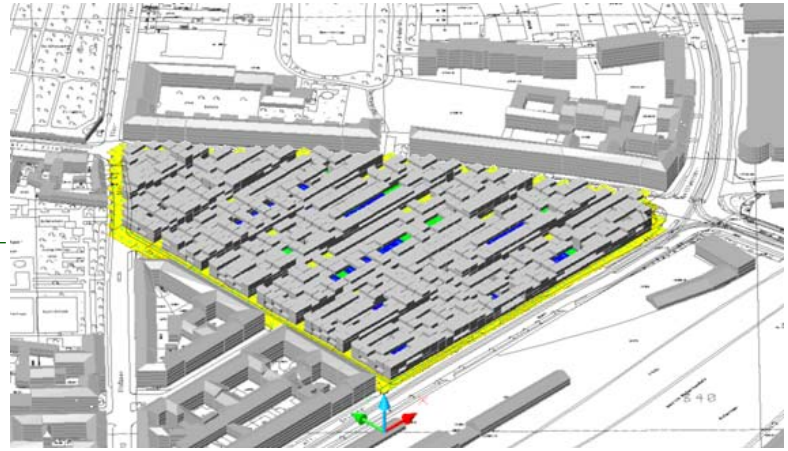
(mittlere Reihe) Die Felder zwischen den Strassen wurden mit dem 2D Automaten 114 freies Layout strukturiert. Es entsteht ein relativ ungeordnetes Muster aus kurzen und langen Zeilen. Für den 3D Automat wurde bei der linken Isometrie der Automat 1311 und bei der rechten der Automat 1515 verwendet. In beiden Fällen waren nur die Strassen frei zu halten.

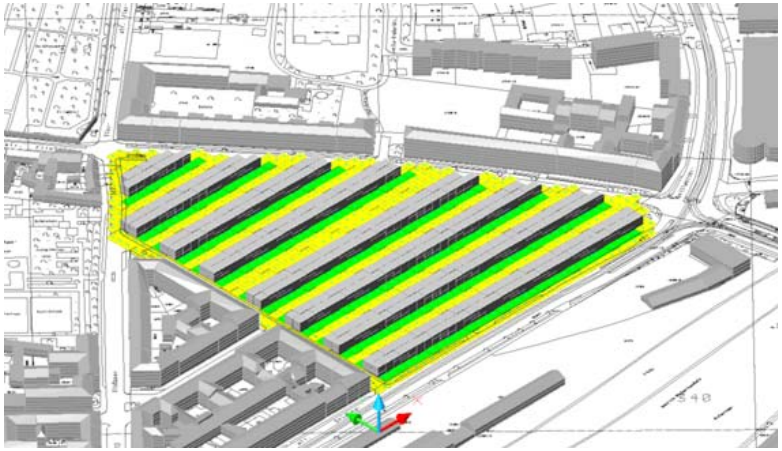
(untere Reihe) Durch die Verkleinerung des Straßenabstandes erzeugt der 2D Automat eine Kompakte Zeilenstruktur, die Analog zu oberen Reihe in eine dreidimensionale Struktur übersetzt wird. (3D links 2514, grün freihalten; 3D rechts 1515, grün freihalten)

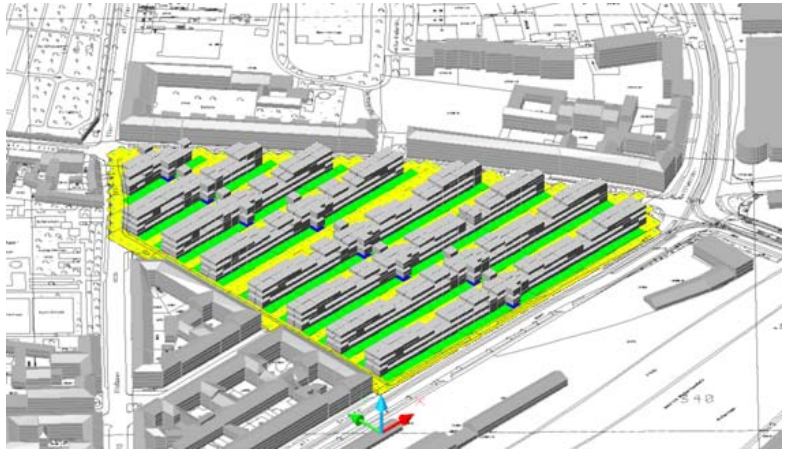












Cluster

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. Die Erschließungssysteme organisieren sich in Abhängigkeit von den Parametern selbst. Als Ausgangssituation sind lediglich die umrandenden 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.

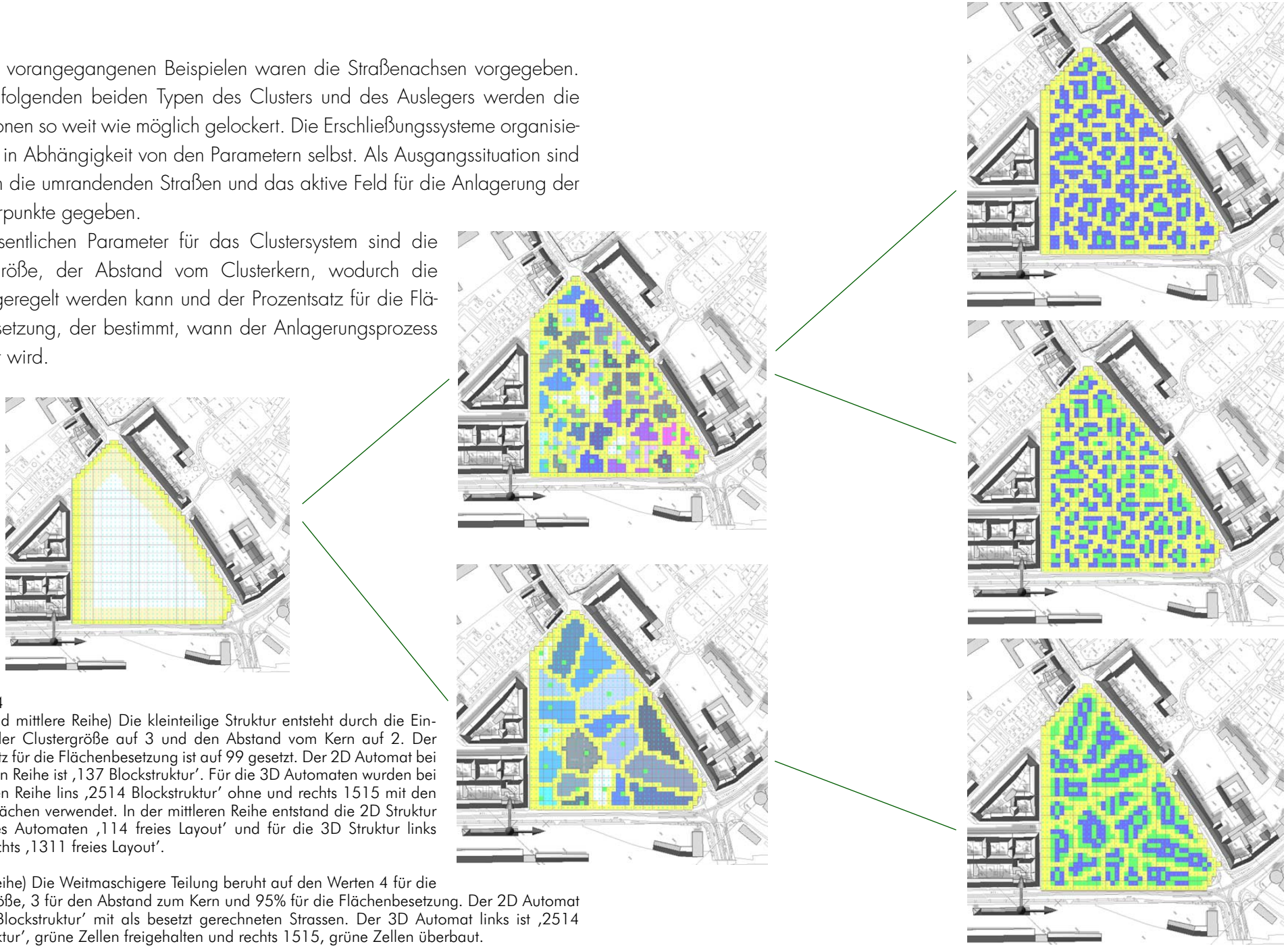
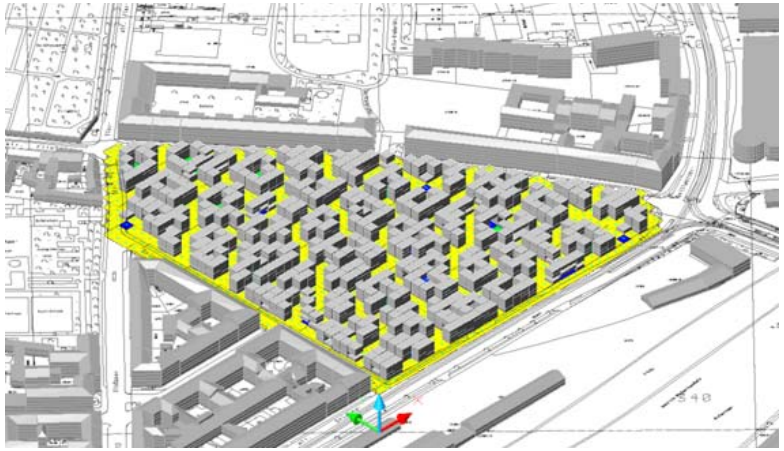


Abb. 6.24
(obere und mittlere Reihe) Die kleinteilige Struktur entsteht durch die Einstellung der Clustergröße auf 3 und den Abstand vom Kern auf 2. Der Prozentsatz für die Flächenbesetzung ist auf 99 gesetzt. Der 2D Automat bei der oberen Reihe ist ‚137 Blockstruktur'. Für die 3D Automaten wurden bei der oberen Reihe lins ‚2514 Blockstruktur' ohne und rechts 1515 mit den grünen Flächen verwendet. In der mittleren Reihe entstand die 2D Struktur mittels des Automaten ‚114 freies Layout' und für die 3D Struktur links 1515, rechts ‚1311 freies Layout'.

(untere Reihe) 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 links ist ‚2514 Blockstruktur', grüne Zellen freigehalten und rechts 1515, grüne Zellen überbaut.









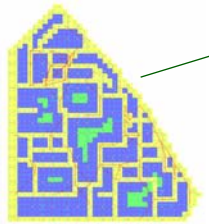




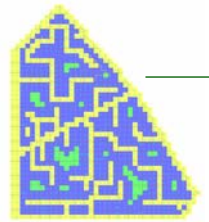
Ausleger

Für diesen Strukturtyp sind drei verschiedene Prinzipien für die Generierung des Erschließungssystems konstitutiv: erstens die Vernetzung der freien Enden innerhalb eines definierten Radius´ (oben), 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 (unten).
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.











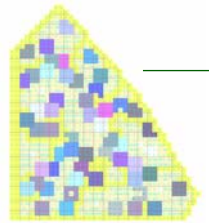




Abb. 6.25
(obere Reihe) Vernetzte Erschließungsstruktur mit folgenden Einstellungen:
aktive Zellen: 2, vernetzten Abstand: 4, Straßenzellen in andere Richtung: 2,
Abstand für Unterbrechung: 4. Die 2D Bebauungsstruktur wurde mit dem Automaten ‚137 Blockstruktur' erzeugt. 3D Automat links ‚2514 Blockstruktur' und rechts 1515.

(mittlere Reihe) Struktur ohne Vernetzung, ansonsten die gleichen Einstellungen wie für die obere Reihe. Für den 2D Automaten galt ‚137 Blockstruktur', Strassen als besetzt berechnet. 3D Automat links ‚2514 Blockstruktur' und rechts ‚1311 freies Layout'.

(untere Reihe) 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 links ‚2514 Blockstruktur' und rechts 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.













Maßstäblichkeit

Die Abmessungen der einzelnen Zelle geben die Maßstäblichkeit für das gesamte Raster vor. Bisher wurde für die Beispiele in diesem Kapitel eine Rasterweite von 8,8m 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 den nebenstehenden Abbildungen haben wir dieses Rastermaß verändert, so dass eine gröbere Struktur mit 15m in der oberen und unteren Reihe und eine feinere mit 7,2m 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.

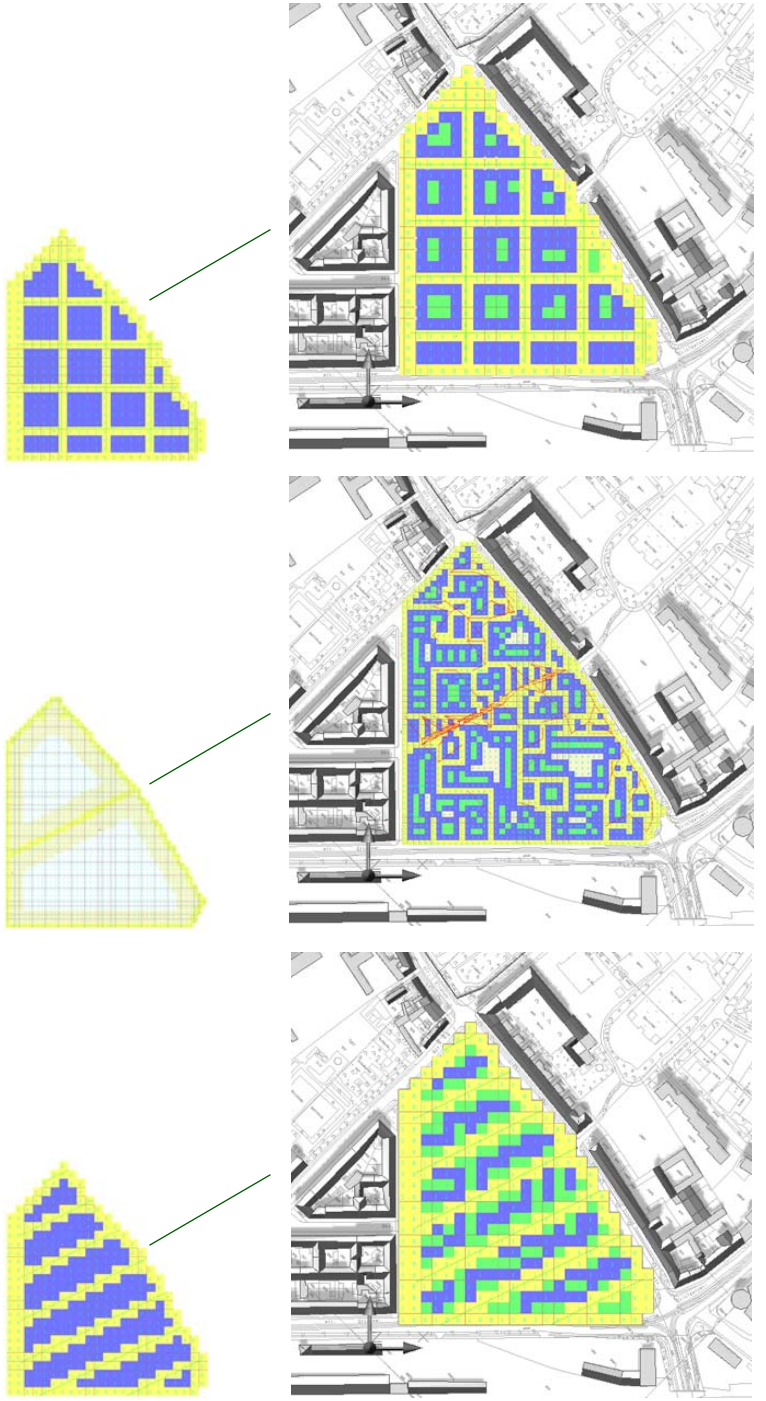
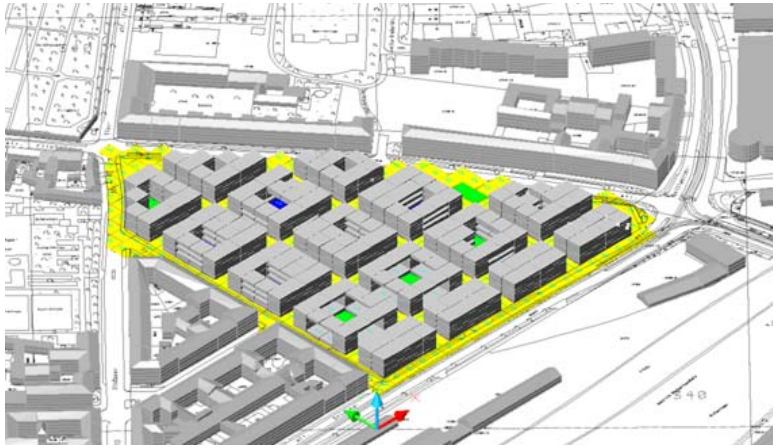


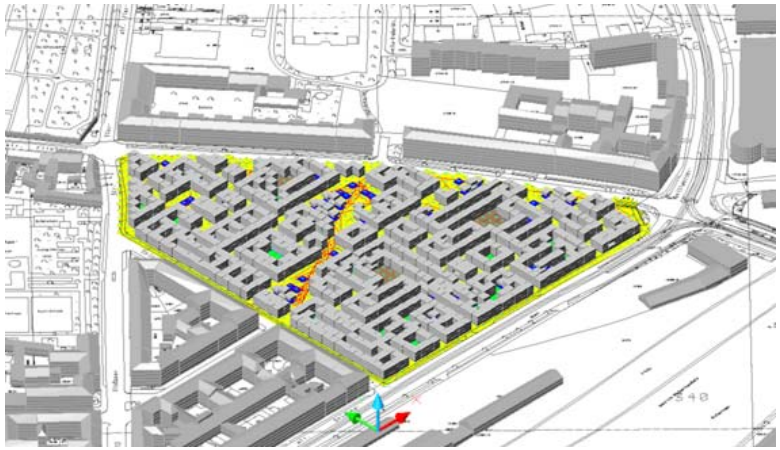
Abb. 6.26

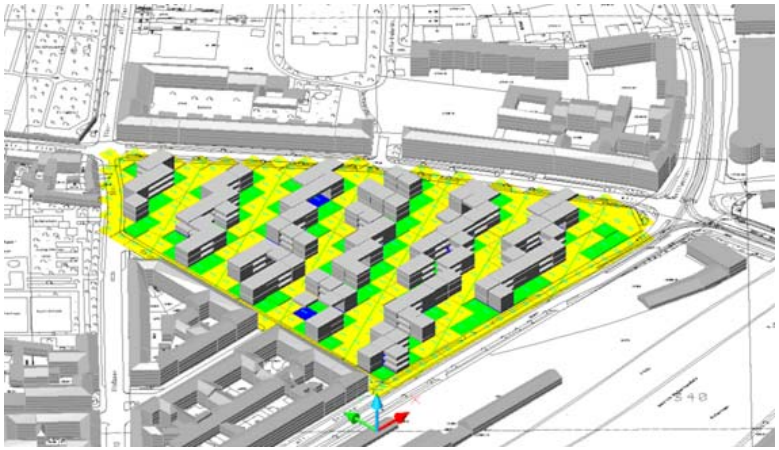
(obere Reihe) Raster mit 4 horizontalen und 3 vertikalen Achsen (Verschiebung h: 40, v: -5, Drehung: 0°), 2D Automat ‚137 Blockstruktur' und ‚2514 Blockstruktur' für den 3D Automaten.

(mittlere Reihe) 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.

(untere Reihe) 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.







Ausblick

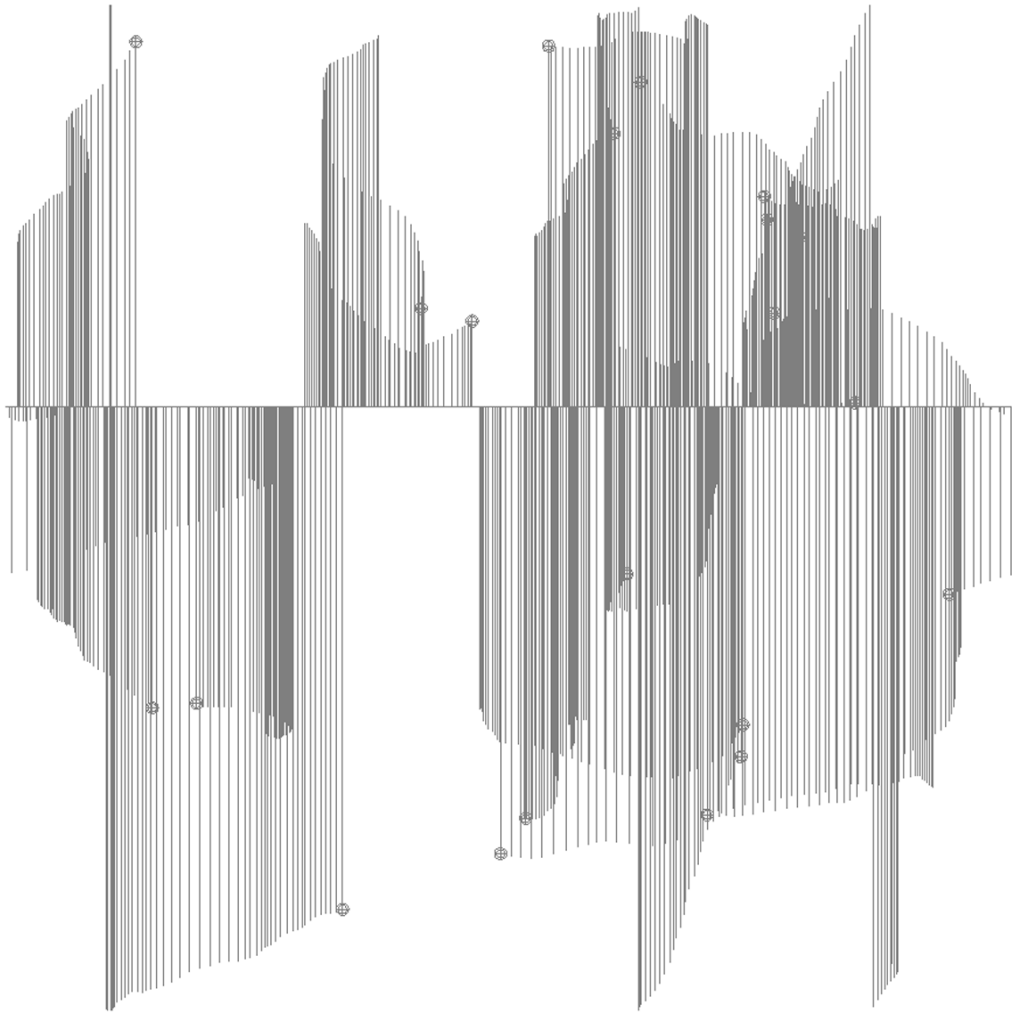
Da es uns nicht möglich war, alle Ideen in der gegebenen Zeit umzusetzen, sollen an dieser Stelle kurz einige sinnvolle Weiterentwicklungen angeführt werden:

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 4.3 eingeführten und unter 5.4 näher besprochenen Termitensystems umgesetzt werden kann.

Die Bedingungen der einzelnen Parzelle wurden in den Ausführungen zu diesem Kapitel abstrahiert. Wir haben uns darauf konzentriert, die Abhängigkeiten des Erschließungssystems zur Flächenbesetzung hin zur räumlichen Struktur darzustellen. Für die Bebauungsregeln innerhalb einer Parzelle wurden in Kapitel 5.3 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.



Diskussion

7. Diskussion

Dieser Arbeit liegt eine tendenziell technokratische Haltung zugrunde, zu deren Reflexion einige mahnende Gedanken von Günther Anders [41] 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 unserem 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 „Prometheisches 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, stellen wir jetzt mehr her, als wir uns vorstellen und verantworten können.

Wir sind uns bewusst, dass wir uns mit der Arbeit an einer computergenerierten Entwurfsumgebung in eben diesem Spannungsfeld bewegen; dass wir einerseits eine größere Freiheit hervorbringen wollen und eine Verbesserung der Umwelt erreichen möchten, andererseits aber auch den Einfluss des Menschen in diesem Prozess auf eine Teilkomponente reduzieren - mit der Tendenz, ihn ganz überflüssig zu machen. 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, unser allgemeines 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, die zu den gängigen CAD-Programmen geführt hat, können wir 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 wir stark vereinfachen, ehedem 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 sehen wir vielmehr im „algorithmischen Denken". Wir verstehen hierunter eine Strategie, die es ermöglicht, komplexe Probleme in kleine, einfach zu handhabende Schritte zu zerlegen und am Ende wieder zusammenzufügen. Wir suchen also nach den Elementen und deren Eigenschaften, die ein System ausmachen, und entwerfen für ihr Zusammenwirken entsprechende Algorithmen, um eine komplexe Struktur zu erzeugen. Diese Methode wird als Bottom-up-Vorgehen bezeichnet.

Aus diesem Kontext heraus möchten wir unsere 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.

7.1 Simulationen

Wir verwenden in unserer Arbeit häufig Simulationstechniken, die das Verhalten komplexer Systeme zu erfassen und nachzubilden versuchen. Abschließend soll näher auf diese Methoden eingegangen werden.
Man mag sich fragen, wozu wir den Aufwand betreiben, eine computergenerierte Entwurfsumgebung zu erarbeiten um die Entwicklung von Stadtstrukturen zu simulieren, wenn wir die Ergebnisse solcher Simulationen einfach in Natura beobachten können. Wir möchten dazu folgende, allgemeingültige Gedanken anführen, die teilweise über den konkreten Bezug zu unserer Arbeit hinausgehen:
(Die Aufstellung ist von JOSSEN und EYER [30] übernommen und für den vorliegenden Bezugsrahmen angepasst)

a) Gründe, die für eine Simulation sprechen:

- **Senkung des Material-/Kostenaufwands.**
  Man denke zum Beispiel an Crash-Tests in der Fahrzeugentwicklung. Es ist weder kostengünstig noch umweltfreundlich, einen Prototypen eines Autos samt sensorbestückten Dummies zu Schrott zu fahren und dann zu entsorgen. Ebenso können wir eventuell auftretende Probleme bei der Planung einer Siedlung erkennen und vorzeitig eingreifen.

- **Universeller Einsatz.**
  Ist ein Simulationsprogramm erst einmal entwickelt worden, kann es schnell und beliebig oft modifiziert und ausgeführt werden. Man hat damit die Möglichkeit mit demselben Programm die Entwicklung unterschiedlicher Siedlungsstrukturen zu untersuchen und beliebige Alternativen zu erstellen.

- **Senkung von Risikofaktoren.**
  Funktionale und technische Zusammenhänge können vorher getestet werden 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.

- **Senkung des Zeitaufwands.**
  Ein Ingenieur konstruiert eine Brücke. Anstatt umständliche Modelle zu bauen und diese zu testen, ist es oft schneller eine Computersimulation laufen zu lassen. Auf diese Weise ist auch die sonst zeitaufwendige Datenerfassung schon erledigt, die für die Konstruktionspläne erforderlich ist.

- **Vereinfachte Analyse**
  von Zusammenhängen durch rasches Ändern von Parametern. In ein Computerprogramm kann man jederzeit eingreifen und es beliebig verändern. Untersucht zum Beispiel ein Wissenschaftler die Relation zwischen Grundwasser und Waldbestand, so kann er auf dem Computer nach Gutdünken Bäume entfernen und ebenso schnell wieder hinsetzen.

- **Finden von Optimallösungen.**
  Alle bisher genannten Punkte laufen schlussendlich auf ein und dasselbe hinaus: Durch Simulationen können Optimallösungen für beinahe jedes Problem zu erschwinglichen Kosten gefunden werden.

b) Gründe, warum man mit einer Simulation vorsichtig umgehen sollte:

- **Mathematische Fehler** können unbemerkt bleiben. Wenn irgendwo im Programm ein Fehler herumgeistert, so muss der Programmierer das nicht unbedingt bemerken. Ein Restrisiko bleibt immer, was zum Beispiel bei Gebäudekonstruktionen fatale Auswirkungen haben könnte.

- **Restfehler** bleiben immer. Da ein Computer nur mit endlicher - wenn auch sehr hoher - Genauigkeit rechnen kann, entstehen immer Rundungsfehler. Auch diese sind beim Simulationsergebnis zu berücksichtigen.

- **Beschränkte Anzahl von Faktoren.**
  Um eine Problemstellung für die Maschine berechenbar zu machen, muss sie abstrahiert werden. Man muss das Problem aus seinem Umfeld herausnehmen. Dabei fallen Einflussquellen weg. Zwar nur kleine, aber deren viele.

- **Konstruktionsfehler.** Es können auch unbemerkt wichtige Einflussquellen vergessen oder falsch mit dem Problem in Zusammenhang gebracht werden.

- **Interpretationsfehler.** Auch wenn die ganze Simulation stimmt, so kann sie falsch oder fehlerhaft ausgewertet werden.

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. Wir kennen dazu zwei Strategien:

a) Experimenteller Weg

- Festlegen einer Theorie über das Verhalten des realen Objekts
- Nichtformales Aufstellen eines Algorithmus nach der Theorie
- Vergleichen des Ergebnisses mit der Natur
- Korrekturen an der Theorie und/oder am Algorithmus vornehmen
- Erneutes Testen und Korrigieren bis die gewünschten Ergebnisse vorliegen.

b) Rechnerischer Weg

- Physikalische Eigenschaften des realen Objekts ermitteln
- Formales Aufstellen eines Algorithmus nach den physikalischen Gegebenheiten
- Vergleichen des Ergebnisses mit der Natur
- Korrekturen am Algorithmus vornehmen
- Erneutes Testen und Korrigieren bis die gewünschten Ergebnisse vorliegen.

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 aufwendig 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.
Uns darf nicht nur das bloße Endergebnis der Simulation interessieren, sondern insbesondere haben wir den Faktor Zeit, das heißt den Konstruktionsablauf zu berücksichtigen.
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 die Dachkonstruktion ableiten und nicht umgekehrt – bei einer Siedlung 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.

7.2 Einordnung in ein Planungssystem

In der folgenden Aufstellung haben wir versucht, die wesentlichen Einflüsse auf den Planungsprozess darzustellen und in Kategorien zu gliedern. Dies soll eine Beurteilung ermöglichen, in welchen Bereichen wir uns mit der Konzeption der computergenerierten Entwurfsumgebung befinden, welche Punkte außer acht gelassen wurden und welche Einflüsse sich eventuell einer sinnvollen Simulation entziehen müssen.

Wir hoffen, in Kapitel 5 gezeigt zu haben, dass es prinzipiell möglich ist, in die von uns 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 unter 7.1 Simulationen beschrieben.

Allgemeines Planungssystem

- Modelle der Flächenbesetzung
    - additiv
    - dividierend
    - subtrahierend

- Art der Struktur
    - Raster- oder Parzellenbebauung
    - Zeilenbebauung
    - freistehende Gebäude
    - Cluster

- Art der Erschließung; 1. Ebene Verkehrsstraßen
    - Baumstruktur mit Sackgassen
    - Halbverband (Teilweise Raster und Verästelung)
    - Straßenraster - mit möglichen Störelementen wie Diagonalen

- Grundstückserschließung; 2. Ebene
    - Wohnblock (Spännertypen); von Straße oder Innenhof
    - Zeilen (Spännertypen von Straße) (Reihenhäuser Einzelerschließung)
    - Sekundäres Wegesystem für fußläufige Erschließung
    - Einzelerschließung bei freistehenden Gebäuden
    - Interne Erschließung über Laubengänge, innenliegende Gänge

- Berücksichtigung topologischer Gegebenheiten
    - Geländebeschaffenheit 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 diese Einheiten leisten?)
    - Funktion (Wie müssen die Einheiten beschaffen sein?)
    - Kombination (Bausteine die miteinander kombiniert werden können)
    - Bauelemente (Kombination mehrerer Bausteine)
    - 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, Vorfertigung…

- Partizipatorische Planung
    - Nutzerbeteiligung an der Planung (Internet)
    - 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)

- Außerarchitektonische Einflüsse
    - globale, kapitalistische Entwicklungen - Konzernpolitik
    - Politische/Wirtschaftliche Bestrebungen - Regierungen
    - Bevölkerungsmigration – verwaiste Gebiete -> Politik, Wirtschaft, Kapital

7.3 Anwendungs- und Entwicklungsmöglichkeiten

Wir nehmen an dieser Stelle Bezug auf die absehbaren Möglichkeiten der Ergebnisse der Arbeit, 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, werden diese im Folgenden erläutert.
Das entwickelte Programm will keine fertigen, architektonisch konzipierten Gebäudestrukturen erzeugen, wogegen es im Abschnitt 5.3 – Bebauungsstrukturen, abgegrenzt wurde. Dies wäre ein weiterer Detaillierungsschritt, welcher der Einführung weiterer Ebenen entspräche. Wir gehen von einem städteplanerischen Kontext aus, 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 führt.

Erste These
Große Bauprojekte werden primär von privaten Investoren entwickelt. Die öffentliche Hand zieht sich weitgehend aus ihrer Verantwortung zurück. Das führt dazu, dass wirtschaftliche Gesichtspunkte im Vordergrund stehen und gesellschaftliche Interessen, wie städtebauliche Qualitäten, nachrangig behandelt werden.

- ⇨ Wir benötigen eine Strategie, um den Investoreninteressen gerecht zu werden und dennoch architektonische Qualitäten zu fördern, die der Allgemeinheit zugute kommen.
- ⇨ Eine ökonomisch optimale Ausnutzung des Grundstücks muss gewährleistet werden. D.h. größtmögliche Nutzflächen in Abhängigkeit von GRZ und BGF, als Grundlage für eine profitable Bebauung.
- ⇨ Dafür können wir ein Computerprogramm entwickeln, dass diese Vorgaben erfüllt und gleichzeitig diese Anforderungen als strategische Basis für die Herleitung qualitativ hochwertiger räumlicher Konfigurationen verwendet - also die eintönigen Standardlösungen nicht mit ästhetischen, sondern mit ökonomischen Argumenten zu überwinden sucht.
- ⇨ Das umgekehrte Argument, dass sich die Architekten dadurch selbst überflüssig machen, kann aufgrund der zu Beginn des Kapitels ausgeführten Gedanken zu den allgemeinen Konsequenzen der Technisierung nicht gelten. Darüber hinaus hat sich die Architektenschaft durch die Antiquiertheit ihres Denkens bereits selbst aus diesen Tätigkeitsbereichen weitgehend verabschiedet und die Entscheidungskompetenz den Projektentwicklern und Generalübernehmern überlassen.

Zweite These
Aus den ökonomischen Zwängen ergibt sich eine Verkürzung der Planungszeiträume für die 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 als kreatives Planungsinstrument kann bei richtiger Anwendung neben der Qualität auch die Rationalität von Entwurfsprozessen verbessern.
- ⇨ Sind einmal die Regeln (Genotypen) für eine Struktur gefunden, die sich auch in der Praxis als tauglich herausgestellt hat, können diese Regeln für weitere Planungen verwendet werden. Die Entwicklung des Entwurfs hängt allerdings von der Umwelt ab, so dass sich das Ergebnis (Phänotyp) jedes Mal unterscheiden wird.
- ⇨ Dadurch wird es möglich, auf erprobte Lösungsmuster zurückzugreifen, ohne sich in platten 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 zu weiter optimierten Lösungen zu gelangen.

Dritte These

Das Instrumentarium des Bebauungsplanes kann die Nutzungsart und -verteilung festschreiben und rudimentäre Vorgaben für eine räumliche Gestaltung über Baugrenzen und -linien und den Ausnutzungskennziffern machen. Der Bebauungsplan wird im besten Fall von einem im Vorfeld stattgefundenem städtebaulichen Wettbewerb abgeleitet.

- ⇨ Die strukturellen Regeln für einen Bebauungsplan können über die Parameter des von uns vorgeschlagenen Programms bestimmt werden, wodurch die Möglichkeiten der Bebaubarkeit festlegt werden. (Genotypen und Phänotypen)
- ⇨ Abstandsflächen und Baugrenzen können weit flexibler gelöst werden, wenn man die Parameter voneinander abhängig macht und den primären Sinn dieser Regelungen direkt z.B. über die Berechnung der Belichtung ableitet und gleichzeitig die daraus entstehenden Bebauungsmöglichkeiten ersichtlich werden. Ein gutes Beispiel ist Watanabe: Sun Good City [10].
- ⇨ Der Energieaufwand für die Erstellung und Benutzung eines Wegesystems oder einer Gebäudestruktur kann berechnet und optimiert werden.

Vierte These

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

- ⇨ Die von uns entwickelten Modelle lassen sich um soziale Komponenten erweitern, wodurch gesellschaftliche Prozesse, sofern sie statistisch erfassbar sind, in die Simulationen mit einfließen können.
- ⇨ 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 diese zum Zeitpunkt der Planung meist nicht bekannt sind, oftmals zum Scheitern solcher Projekte führt. Die stochastischen Prozesse sozialer Dynamiken können mittels Agentensystemen simuliert werden.
- ⇨ Dadurch können die räumlichen Planungen auf ihre sozialen Auswirkungen hin überprüft werden, und umgekehrt dient die Modellierung sozialer Prozesse als Grundlage für die räumlichen Planungen.

Fünfte These

Da nur die großen Metropolen mit einer ständigen Bevölkerungszunahme zu rechnen haben, werden, neben den Neuplanungen städtischer Gebiete, zukünftig zunehmend Strategien für den Umbau und die Neustrukturierung bestehender Stadtstrukturen bis hin zu deren Rückbau erforderlich werden. Dies bedeutet, dass innerhalb des komplexen, städtischen Gefüges zu operieren ist und vielfältige Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt werden müssen.

- ⇨ Über die Informationsebene lassen sich alle relevanten Daten bestehender Strukturen erfassen.
- ⇨ Diese dienen als Grundlage für die Umstrukturierung nach neuen Zielkriterien mittels der Optimierungsebene, womit ein Um- oder Rückbau ermöglicht wird.
- ⇨ Wie in der vierten These beschrieben, lassen sich die Veränderungen auf ihre sozialen Auswirkungen hin überprüfen.

Neben der nüchternen Analyse der pragmatischen Anwendungen ist es uns ein besonderes Anliegen, mit der vorgeschlagenen Methode zu neuartigen räumlichen Konfigurationen zu gelangen, um den städtischen Raum wieder aufregender zu machen.

7.4 Beurteilung der Entwurfsumgebung

Was haben wir erreicht und wo stoßen wir an die Grenzen unserer Möglichkeiten? 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 zu Beginn des Kapitels formulierte Fragestellung der „Tools" – also der Planungswerkzeuge zurückzukommen. Man kann die Computermodelle, mit denen wir uns beschäftigen, natürlich dazu verwenden, bestimmte Strukturen zu erzeugen, welche die vorgegebenen Restriktionen erfüllen, um beispielsweise eine Variante mit Zeilenbebauung der mit geschlossener, blockartiger Randbebauung gegenüberzustellen – die Restriktionen verändern und wieder vergleichen. Eine zweifelsohne hilfreiche Verwendung für Planungsprozesse.
Ein solcher Einsatz der erarbeiteten Methoden interessiert uns allerdings 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. Aus diesem Grund versuchen wir die Systeme, die wir untersuchen, auf möglichst einfache Grundelemente zu reduzieren, um nach den Relationen zu suchen, die nötig sind, daraus komplexe Strukturen zu bilden. Als Ausgangssystem verwenden wir Zufallsprozesse 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, können wir weiter fragen, ob diese Prozesse in der richtigen Art und Weise zu dem Ergebnis geführt haben – siehe Konstruktionstopologie im Abschnitt 7.1 über Simulationen. Und schließlich, welche Bedingungen nun zu den Relationssetzungen führen, was uns auf die Untersuchung sozialer Strukturen und deren Dynamiken verweist. Dies wäre allerdings Gegenstand zukünftiger Forschungen.

Können wir die Idee des „Bildes" einer Stadt mit den Methoden computergenerierter Stadtstrukturen in Überseinstimmung bringen?
„Interessant sind in diesem Zusammenhand 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." **[Kevin Lynch, Das Bild der Stadt, Bauwelt Fundamente Bd.16, Birkhäuser Verlag, Wiesbaden 1965, S. 106]**

Bei der Anwendung computergenerierter Entwurfsverfahren für architektonische Aufgabenstellungen lässt sich feststellen, 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 wir an die ursprünglichen Ideale der klassischen Moderne der 20er Jahre des 20. Jahrhunderts anknüpfen.
Die Rolle des Planers sehen wir in der Gestaltung und Auswahl der verwendeten Algorithmen und in der Beurteilung der Qualität der Ergebnisse, so dass gegebenenfalls der Designprozess in einem iterativen Vorgehen verfeinert werden kann.
Uns interessieren nicht die Phänomene, sondern deren Zustandekommen. Darum konzentrieren wir uns auf eine Darstellung der ‚Regeln', die hinter den Strukturen liegen und für deren Entstehung wesentlich sind.
Diese Regeln können wir in Anlehnung an die Evolutionstheorie als „genetische Informationen" bezeichnen, 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 Kategorien als Typen bezeichnet. Haben wir 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 uns um das Verständnis der Abhängigkeit der Phänotypen von den Genotypen und um die Frage, warum sich die genetischen Informationen einer Erscheinung verändern. Können wir 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. Unser Hauptaugenmerk liegt allerdings weniger auf der semantischen Ebene, welche über bestimmte Bedeutungsinhalte die kulturellen Kodierungen einer Gesellschaft enthält. Vielmehr interessieren wir uns für die Konsequenzen, welche durch die Eigenart von Gebäuden gegenüber anderen Artefakten gegeben sind, nämlich, dass sie durch ihre materielle Erscheinung den leeren Raum in ihrer Umgebung beeinflussen.
„…, 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 [21].**

Wir sehen demnach die Hauptaufgabe bei einer Weiterführung der Arbeit neben der oben beschriebenen Ergänzung und Vertiefung der Entwurfsmethoden hinsichtlich ihrer technischen Ausführung und Einbeziehung weiterer mathematischer Modelle darin, 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 uns geht und dass wir dies erreichen können.

Anhang

Anhang

Ohne den sehr hilfreichen Handouts, die auf den Internetseiten der University of East London am CECA (Centre for Evolutionary Computing in Architecture), Director: Paul Coates, erhältlich sind, wäre uns der Einstieg in die architekturbezogene Programmierung mit VBA wesentlich schwerer gefallen:
http://www.uel.ac.uk/ceca/cad/cad_homepage/swiki.html

Für an der Programmierung Interessierte können diese Materialien nur weiterempfohlen werden. Arbeiten der Studenten dieses Kurses finden sich online unter:
http—swiki.arch.ethz.ch8888-unit6

Als Literatur für die VBA Programmierung erwiesen sich die Bücher von DUMMER, HUTH [35]: AutoCAD VBA. Einführung, Anwendung, Referenz, für die Verwendung unter AutoCAD und KOFLER[37]: Visual Basic 6. Programmiertechniken, Datenbanken, Internet, für allgemeine Programmierkonzepte als sehr hilfreich.
Für Programmieranfänger bietet sich Design by Numers von John MAEDA an – eine sehr anschauliche Einführung in die Welt der Grafikprogrammierung.

Auszüge aus dem Programmcode

Die Datenstruktur für die Zellen und die Agenten wurden mit dem Datentyp ‚Type' definiert, der es uns 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 limitted 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 - Codeausschnitt zu 5.2

```
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
```

```
Sub 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 Nachbaren 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

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 - Codeausschnitt zu 5.3

```
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
         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 Nachbaren 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
            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

                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 Nachbaren 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
         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.

Literaturangaben

Literatur zu den städtebaulichen Kontexten:

[01] ALBERS, Gerd: Stadt Planung. Eine Praxisorientierte Einführung. Primus Verlag, Darmstadt, 2. Auflage 1992. Ersterscheinung 1988.

[02] BATTY, Michael, LONGLEY, Paul: Fractal Cities, A Geometry of Form and Function. Academic Press, London 1994

[03] BENEVOLO, Leonardo: Die Geschichte der Stadt. Campus Verlag GmbH, Frankfurt / New York; 8. Auflage 2000. Italienische Erscheinung 1975 bei Editori Laterza, Rom.

[04] FELDT, Alan G.: CLUG: Community Land Use Game. Player´s Manual. The Free Press. New York, 1972.

[05] HILBERSEIMER, Ludwig: Entfaltung einer Planungsidee. Ullstein Bauwelt Fundamente 1963

[06] 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)

[07] PRINTZ, Dieter: Städtebau. Band 1, Städtebauliches Entwerfen. 6. Auflage. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 1995

[08] PRINTZ, Dieter: Städtebau. Band 2, Städtebauliches Gestalten. 4. Auflage. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 1992

[09] SCHAUR, Eda: Ungeplante Siedlungen, non-plannes Settlements. Instituts für Leichte Flächentragwerke (IL 39) der Universität Stuttgart. Herausgegeben von Frei Otto. 1990 als Dissertation von Eda Schaur erschienen.

[10] WATANABE, Makoto Sei: Induction Design. A Method for Evolutionary Design. Birkhäuser 2002.
Internet: http://www.makoto-architect.com/idc2000/index2.htm

[11] Arch+ : Der Sprawl (109/110 Dezember 1991)

Literatur zur Planungs- und Entwurfstheorie:

[12] ALEXANDER, Christopher Notes on the Synthesis of Form, Harvard Paperback, Cambridge 1964/71

[13] BAER, Adrian Methodische Probleme des Computergestützten Architekturentwurfs, ETH Zürich Architekturabteilung A16, Verlag der Fachvereine, 1972

[14] Van den BOOM, Holger (1989) „Designvisionen" Vortragsmanuskript, Braunschweig April 1989

[15] DIRLEWANGER, Heinz; Geisler, Eduard; Magnago-Lampugnani, Vittorio: Architektonische Entwurfshilfe auf der Ebene der Gestalt. Architekturpsychologische Forschung. Karl Krämer Verlag, Stuttgart, 1977

[16] FISCHER, Günther: Architektur und Sprache. Grundlagen des architektonischen Ausdrucksystems. Mit einem Vorw. von Jürgen Joedicke. archpaper – Edition Krämer. Karl Krämer Verlag Stuttgart, Zürich 1991.

[17] 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

[18] LENART, Mihaly: Expertensysteme in der Architektur und im Bauwesen, Birkhäuser Verlag Basel-Boston-Berlin, 1991

[19] MITCHELL, Willian J.: The Logic of Architecture. Design, Computation, and Cognition. MIT Press Cambridge, Massachusetts, London 1990

[20] MASER, Siegfried: Zur Planung gestalterischer Projekte. Hg. Siegfried Maser. Designtheorie Band 2. Verlag Die Blaue Eule, Essen 1993

[21] HILLIER, Bill; HANSON, Julienne: The social logic of space. Barlett School of Architecture and Planing. University College London. Camebridge University Press 1984

Literatur zu den Computer Modellen

[22] BENTLEY, Peter j.; CORNE, David, W - Editors: Creative Evolutionary Systems. Academic Press. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco, USA 2002

[23] De BERG, Mark; van KREVELD, Marc; OVERMARS, Mark; SCHWARZKOPF,

Otfried Cheong: Computational Geometry. Algotithms and Applications, Second Edition. Springer-Verlag 2000.

[24] 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)

[25] Christian DERIX, Corinna SIMON, Paul COATES: 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] ELENI, 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)

[27] FLAKE, Gary William: The computational beauty of nature: computer explorations of fractals, chaos, complex systems, and adaption. MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England 1998

[28] FRAZER, John: An Evolutionary Architecture. The Architectural Association, London 1995.

[29] HWANG, Frank k.; RICHARDS, Dana S.; WINTER, Pawel: The Steiner Tree Problem. Annali of Discrete Mathematics. Elsevier Science Publishers B. V. 1992.

[30] JOSSEN, Peter und EYER, Daniel: Wachstumssimulationen. Internetessay: http://www.fraktalwelt.de/lsys/lsysinhalt.htm

[31] 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)

[32] PREPARATA, Franco P; SHAMOS, Michael Ian: Computational Geometry. An Introduction. Second Printing, Sprinter-Verlag 1985.

[33] RESNICK, Mitchel: Turtles, Termits, and Traffic Jams, Explorations in Assiveley Parallel Microworlds. MIT Press, 1994

[34] SPEKTRUM der Wissenschaft, Sonderheft: Computer-Kurzweil II. Zelluläre Automaten von A. K. Dewdney. 1988

Literatur für die Programmierung

[35] Dummer, Karsten; Huth, Michael: AutoCAD VBA. Einführung, Anwendung, Referenz. Addison Wesley Verlag, München 2004

[36] KANNENGIESSER, Matthias: ActionScript, das Praxisbuch, Professional Series; Franzis' Verlag GmbH, Poing, 2002.

[37] KOFLER, Michael: Visual Basic 6. Programmiertechniken, Datenbanken, Internet. Addison Wesley Longman Verlag GmbH. Bonn 1999

[38] MAEDA, John: Design By Numbers. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. 1999

Weitere

[39] DAWKINS, Richard: Der blinde Uhrmacher. Ein neues Plädoyer für den Darwinismus. Kindler Verlag, München 1987

[40] RECHENBERG, Ingo Evolutionsstrategie. Optimierung technischer Systeme nach den Prinzipien der biologischen Evolution, Stuttgart-Bad Cannstatt 1973

[41] 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

[42] Norbert Elias: „Was ich unter Zivilisation verstehe", Antwort auf Hans Peter Duerr (Aus: „Die Zeit", Nr. 25/88, Seite 37/38).

[43] GOLDBERG, David E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison Wesley Longmann, Inc. 1989

Papers auf der beigelegten CD

[44] 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

[45] 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

Internet

Auf der unten angegebenen Internetseite finden sich die Programmcodes in ACAD - Visual Basic for Applications. Die VBA-Scripte welche im Text mit [name.dvb] angegeben werden, befinden sich jeweils in dem nach Kapitel und Abschnitt benannten Ordner.

Zum starten eines Programms öffnen Sie AutoCAD (wir haben die Version 2005 benutzt), legen ein neues Zeichnungsdokument an und öffnen unter Extras -> Makros -> VBA-Manager… den VBA-Manager. Im Manager können die .dvb-Dateien geladen werden, um anschließend in den Visual Basic Editor zu wechseln. Aus dem Editor heraus werden die Programme gestartet. Für weitere Details betreffs der Bedienung des Editors verwenden sie bitte die Onlinehilfe in AutoCAD.

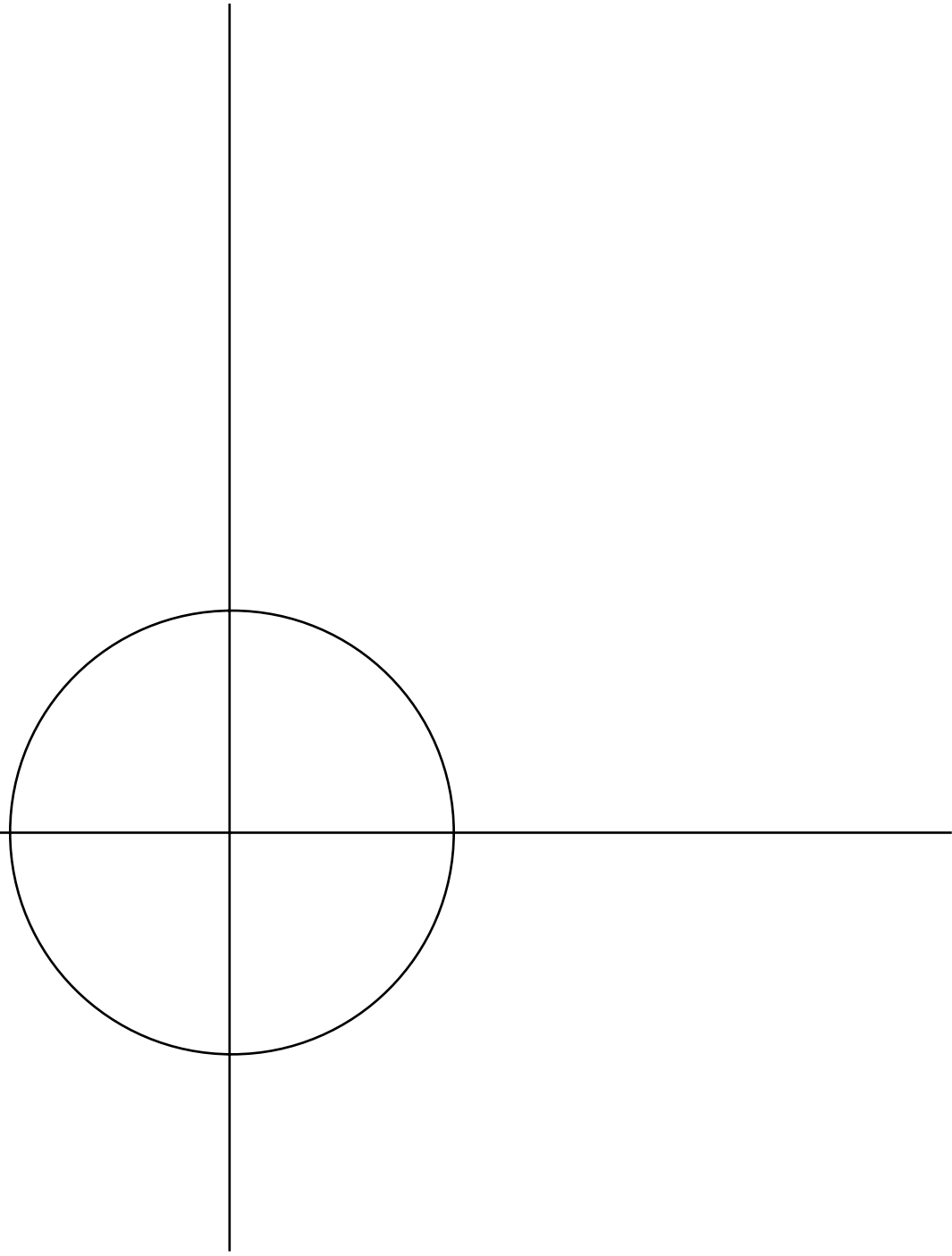
Die vorgelegte Arbeit mit allen hier veröffentlichten und weiteren, ergänzenden und fortführenden Materialien ist online verfügbar unter:

http://www.entwurfsforschung.de/compStadt/compStadt.htm

Dort wird außerdem ein Forum zum Thema eingerichtet, in der Hoffnung, eine Diskussion initiieren zu können. Die Fortführung dieser Arbeit wird auf den Entwurfsforschungs-Seiten dokumentiert werden.

Im Ordner ‚03_Exkurse' findet sich ferner eine Arbeit über ‚computergenerierte Strukturformen', die wir als Recherche für die Computermodelle angefertigt haben. Die Darstellung ist teilweise noch lückenhaft, da dieses Projekt noch nicht abgeschlossen ist. Die Grundintention hoffen wir dennoch vermitteln zu können.

Außerdem findet sich unter den Exkursen unsere Arbeit „Entwurfsgenerator", welche sich mit einer computergenerierten Gebäudestruktur auseinandersetzt und als unsere erste Diplomarbeit an der Fachhochschule München unter der Betreuung von Prof. Sigi Bucher und Prof. Dr. Ulrich Winko entstanden ist. Im Kontext der in Kapitel 3 dargestellten Maßstabsfenster, decken die Methoden, welche im „Entwurfsgenerator" vorgestellt werden, die beiden Fenster Parzelle und Grundriss ab, die aus diesem Grund in der vorliegenden Arbeit nicht eingehender behandelt wurden.



01_Scripte 02_Heft als pdf-Datei 03_Exkurse 04_Material

Kontakt

Dipl. Ing. (Arch) Reinhard König
tel 089 724 30 615
mob 0179 667 99 78
koenig@entwurfsforschung.de

Dipl. Ing. (Arch) Christian Bauriedel
tel 089 139 484 72
mob 0179 480 9172
bauriedel@entwurfsforschung.de

Forschung: www.entwurfsforschung.de

Büro: www.koenig-bauriedel.de
Plinganserstrasse 150 / Gebäude 8
d-81369 München

