

DIPLOMARBEIT

Funktionswert von Stiegenarchitektur

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dipl.-Soz. Harald Trapp
Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn Christian Kühn

e253/1

Institut für Architektur und Entwerfen
Abteilung für Gebäudelehre und Entwerfen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von
Martin Ritzinger
0326696
Weyringergasse 40/30
A-1040 Wien

Wien, Mai 2013

Danksagung

Ich widme diese Arbeit meiner Familie. Zudem richte ich größten Dank an meine Betreuer Harald Trapp und Christian Kühn. Ebenso danke ich meinen Atelierfreunden für ihre Unterstützung und freue mich auf gemeinsames Gestalten.

Dank gilt auch den Freunden in den Architekturzeichensälen,
sowie all jenen, die mit mir den Weg meiner Bildung und Ausbildung gehen.

Abstract

Diese Arbeit beinhaltet eine Definition zur Funktion eines Architekturelements: der Stiege, sowie weitere Betrachtungen zu ihrer Funktionalität. Beschrieben werden Rahmenbedingungen, sowohl in der methodischen als auch in der maschinellen Herstellung von Verbindungsstrukturen zwischen Raumbereichen. Eingebettet in das Szenario einer bauteilproduzierenden Wiener Deponie werden die generierten Strukturen in dieser Arbeit so wie auf der entworfenen Deponie auf ihre Funktion hin überprüft. Zudem werden die Grundlagen, welche die Flexibilität und Vielfalt der speziell entwickelten Stiegenplanungsmethodik gewährleisten, unter den Gesichtspunkten diskreter Strukturgenerierung erörtert. Zum Abschluss stehen mit generierten Stiegenstrukturen die abstrakten Gesichtspunkte im Blickfeld, welche reale Strukturen mit einer abstrakten Funktion verbinden und ihre Funktionalität eingrenzen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
Abstract	iii
Vorwort	vii
1 Zur Funktion ebener Verbindungsstrukturen und darüber hinaus	1
1.1 Begrenzung der Ebene, Erschließung des Möglichkeitsraumes	3
1.2 Varianten zur Höhenüberwindung ohne Maschinen	5
1.3 Eindeutig nicht einseitige Funktionalität	7
1.4 Funktionsparameter von Höhenüberwindungen	9
1.5 Rekursionen an Stufen und Stiegen	11
1.5.1 Von einem Punkt über n Segmente zu einem anderen	11
1.5.2 Transformation von Strukturkopien	11
1.5.3 Schleifenverbindungen zu einem Ziel	13
1.5.4 Stärken und Schwächen des Möglichkeitsraumes	13
2 Beschreibungssystem für Verbindungsstrukturen	15
2.1 Definition einer Verbindungsstruktur	17
2.2 Einfache Verbindungsstruktur	17
2.3 Steigung und Richtungsänderung	19
2.4 Ohne Steigung und Richtungsänderung, mit Verbindungsteilung und -vereinigung .	19
2.5 Die Stiege - eine spezielle Verbindungsstruktur	21
2.5.1 Definition der Stiege	21
2.5.2 Grundlegende Beschreibung der Stiege	21
2.5.3 Spezifische Parameter einer Stiegenstruktur	21
2.5.4 Podestdefinition und Parameter	21
2.5.5 Definition der Stufe	22
3 Die Deponie als Rahmen für Funktionsuntersuchungen	23
3.1 Geschichte und Zustand der Deponie im Jahr 2011	25
3.2 Bauteilerzeugung auf der Deponie	25

4	Systematik architektonischer Strukturen	31
4.1	Das System einer Systembeschreibung	33
4.2	Allgemeine Theorie zum Vergleich von Strukturen	35
4.3	Barrieren in lebenden Systemen und in der Architektur	37
4.4	Systemstabilität oder Systemflexibilität	37
4.5	Randbedingungen der Strukturgenerierung	39
5	Methode zur Erzeugung von Stiegenstrukturen	41
5.1	Forderung der Theorie	43
5.2	Ziel	43
5.3	EAG 3	43
5.4	Rahmen	43
5.5	Regelwerk	45
6	Betrachtung der Generierungsergebnisse	47
6.1	Generierte Stiegenarchitekturen	49
7	Funktion im Vergleich	75

Vorwort

Jegliche Funktionalität oder Disfunktionalität einer architektonischen Struktur lässt sich in abgesteckten Rahmenbedingungen objektiv betrachten und nachvollziehen. Durch ein festgelegtes Betrachtungssystem wird es möglich, spezifische Definitionen zu architektonischen Funktionen, Funktionsgrenzen, Grenzfunktionen und zu architektonischen Funktionsgrenzbereichen zu erstellen. Systematik, Strukturregeln, sowie qualitative und quantitative Annahmen führen zu konkreten aber nicht allgemeingültigen Definitionen. Es wird angenommen, dass die Funktionalität einer Architektur primär durch die Form von Grundelementen, sowie deren Beziehung untereinander bestimmt wird. Aus der Familie der Verbindungsstrukturen nehmen Ebenen, Gänge, Rampen, Stiegen, Leitern und Aufzüge besonders nutzungsrelevante Rollen ein, wobei in dieser Arbeit ausschließlich das Grundelement Stiege auf seine Funktionalität untersucht wird.

Kapitel 1

Zur Funktion ebener Verbindungsstrukturen und darüber hinaus



Abb. 1: Direktverbindung von Punkt 1 zu Punkt 2 (Grundriss)



Abb. 2: Hindernis zwischen den Punkten und 3 Reaktionsmöglichkeiten (Grundriss)

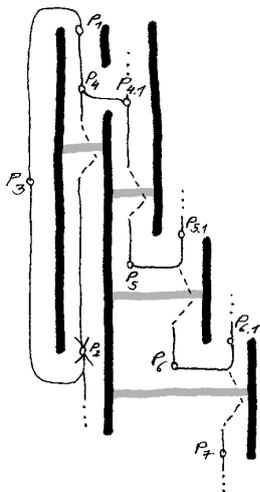


Abb. 3: komplizierte Wand- und Wegstruktur, bietet 6 Anknüpfungspunkte (Grundriss)

1.1 Begrenzung der Ebene, Erschließung des Möglichkeitsraumes

Gegeben sind zwei Punkte, die durch eine Gerade verbunden sind. Gleich den zahllosen Möglichkeiten die beiden Punkte im dreidimensionalen Raum miteinander zu verbinden, gibt es zahllose Möglichkeiten eine beliebige Raumform mit architektonischen Strukturelementen zu füllen. Abbildung 1 zeigt die kürzeste Möglichkeit von Punkt 1 zu Punkt 2 zu gelangen. Diese Geradlinigkeit kann als Mutter aller schlichten Architekturstrukturen gelten. Die einfache Linie gilt als Verbindungsstruktur, wie in Kapitel 3 beschrieben wird.

Die Idealverbindung wechselt die lineare gegen die flächige Gestalt, wenn sie auf jeder Seite von einer Parallele, einer Wand, flankiert wird. Diese Wände bilden die durch die Architektur geplante Einschränkung der Bewegungsfreiheit im Umfeld der Verbindung. Abbildung 2 zeigt eine physische aber überwindbare Barriere (hellgrau) und Alternativen zu Punkt 2 zu gelangen. Die Rolle von Barrieren als systemisches Stabilisierungsinstrument wird in Kapitel 4 erörtert. Während sich durch die Umgehung der Wände positive Erlebnisse ergeben können, besteht auch die Möglichkeit, das Hindernis in der Höhe zu überwinden - dargestellt durch die strichlierte geknickte Linie -, vorausgesetzt man ändert seine Gestalt nicht.

Mittels Abbildung 3 werden ebene Verbindungsvarianten und solche mit Höhenüberwindung zwischen den Punkten 1 und 2 veranschaulicht. Das Erreichen der Punkte 4 bis 7, sowie die potentiellen Verbindungen von diesen weg, bedingen noch keine Höhenüberwindung. Umgekehrt besteht ohne räumliche Einschränkung grundsätzlich die Möglichkeit eine Struktur zur Höhenüberwindung in der Architektur zu planen.

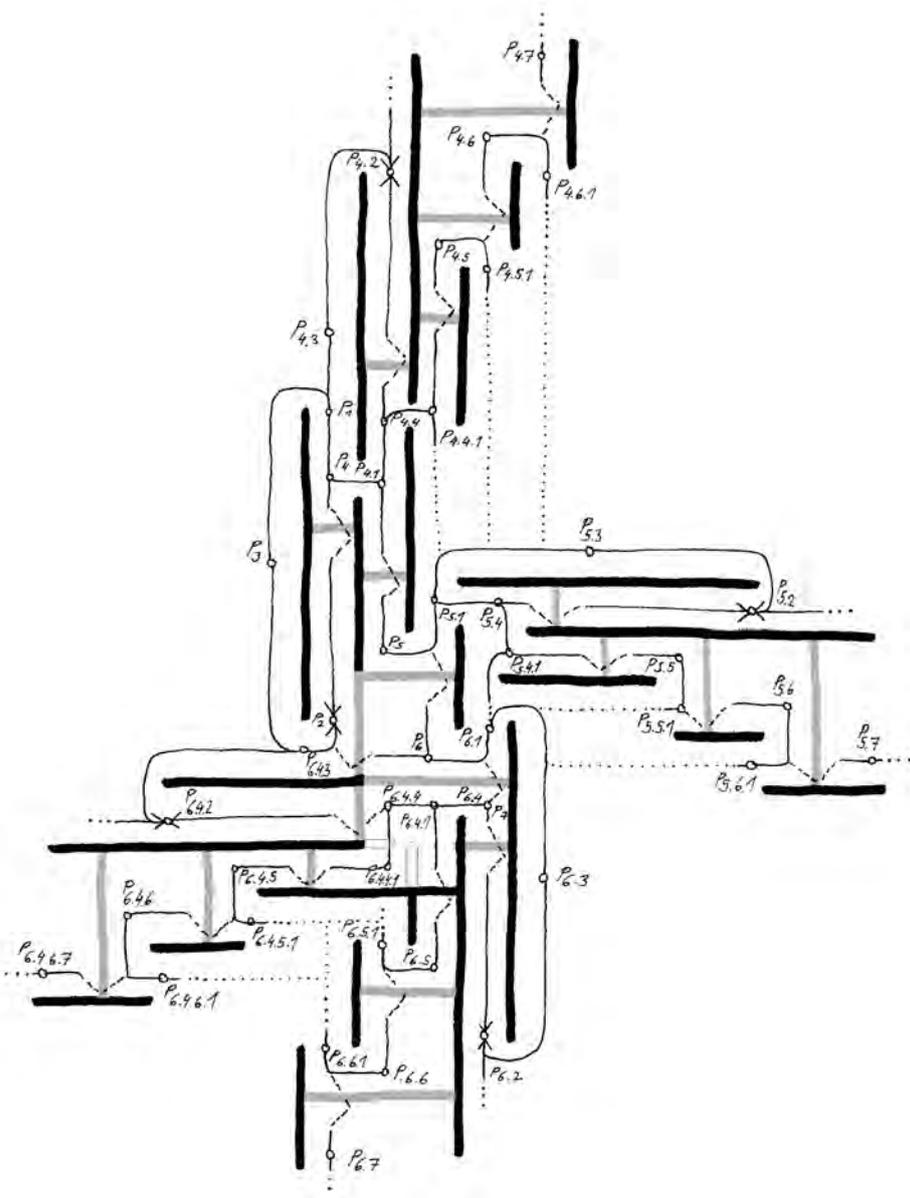


Abb. 4: komplexe Wandstruktur mit zahlreichen Verbindungsmöglichkeiten (Grundriss)

Ein Plädoyer für rekursive Planungsmethodik und selbstähnliche Strukturen veranschaulicht Abbildung 4, denn die Struktur aus Abbildung 3 ist hier vier Mal eingesetzt worden. Jedoch ist der Hauptzweck dieser Struktur ein anderer. In jedem dieser Strukturteile deckt sich der eigene Punkt 1 mit einem der Punkte 4.1 bis 6.1. Also ist das Versprechen potentieller Verbindungen aus Abbildung 3 von diesen Punkten weg eingelöst. Lediglich die einfach umrandete weiße Wand wird zugunsten einer durch Strukturüberlagerung sich anbietenden Verbindung zwischen 6.4.1 und 6.4.4.1 entfernt. Hingegen wird die doppelt umrandete weiße Wand aus der unteren Struktur beginnend bei Punkt 6.1 belassen. Einige mögliche Verbindungen im Raum haben nun Gestalt angenommen, Punkt 2 ist von Punkt 1 aus auf vielfältige Weise erreichbar - man befindet sich im Raum der Möglichkeiten. Alle weiteren Verbindungsmöglichkeiten sind Nebeneffekte des längeren Weges durch die Struktur. Wieder hat man grundsätzlich die Möglichkeit beliebiger Höhenüberwindungen.

Jedwede Bauteilstruktur gestaltet Nutzungsmöglichkeiten, schränkt in der Bewegungsfreiheit ein und konfrontiert mit unerwarteten Erlebnissen. Weglängen, Nutzungsüberlagerungen und -konfrontationen können als negative Grenzen der Nutzung der Ebene oder als positive Nebeneffekte erlebt werden. Die Setzung eines Bauteils, wie zum Beispiel einer Stiege, kann aus zu definierender funktioneller Notwendigkeit oder als erste Voraussetzung für weitere Strukturen geschehen. Die Grundzüge architektonischer Funktionalität einer Struktur sind somit Nutzungsvariation, Bewegungsfreiheit und Einschränkung, sowie erwartete und unerwartete Erlebnisse.

1.2 Varianten zur Höhenüberwindung ohne Maschinen

Architektonische Raumverbindungsarten, insbesondere Höhenüberwindungsstrukturen, verlangen menschliche Kraftakte, subjektiv wahrgenommen meist beträchtliche. Kein Mensch kann am Beginn seines Lebens eine Leiter, Leiterstiege oder Stiege überwinden. Die wenigsten können es am Lebensende. Aufgrund der Unvorhersehbarkeit der zukünftigen persönlichen Möglichkeiten sind Methoden zur flexiblen Nutzung von Architekturen zu verwenden.

Soll eine Architektur menschlichen Leistungsdefiziten oder -überschüssen Rechnung tragen, so müssen gleichzeitig mehrere Wege zum Nutzungsziel führen (Abbildung 5). Das bedeutet, das Erschließungssystem muss für jede Verbindung zweier nutzbarer Raumpunkte eine oder mehrere Alternativen anbieten. Sofern nicht explizit erwünscht, darf ein Raum weder auf eine unabänderliche Funktion maßgeschneidert sein, noch eine ursprünglich eingeplante architektonische Nutzung im Laufe der Zeit verschwinden. Geht man nicht davon aus, dass es als Verbindungsstruktur eine bis in alle Ewigkeit perfekte Lösung gibt, muss der Architekt eine Vielzahl an Strukturen in Planung und Verwirklichung bieten, worauf in den Kapiteln 5 und 6 eingegangen wird. Kapitel 4.3 rechtfertigt den Überschuss an architektonischen Elementen und Nutzungsmöglichkeiten sowie eine eingeplante Fehlerfreundlichkeit durch den Vergleich mit lebenden Systemen in der Biologie.

Der Variantenreichtum in der Höhenüberwindung bietet lange oder kurze, schmale oder breite, steile oder flache Wege (Abbildung 6). Ob reduzierte oder aufwändige Stiegen bevorzugt werden, hängt von persönlichem Geschmack, kulturellen Sitten, den finanziellen Möglichkeiten und den räumlichen Anforderungen ab.

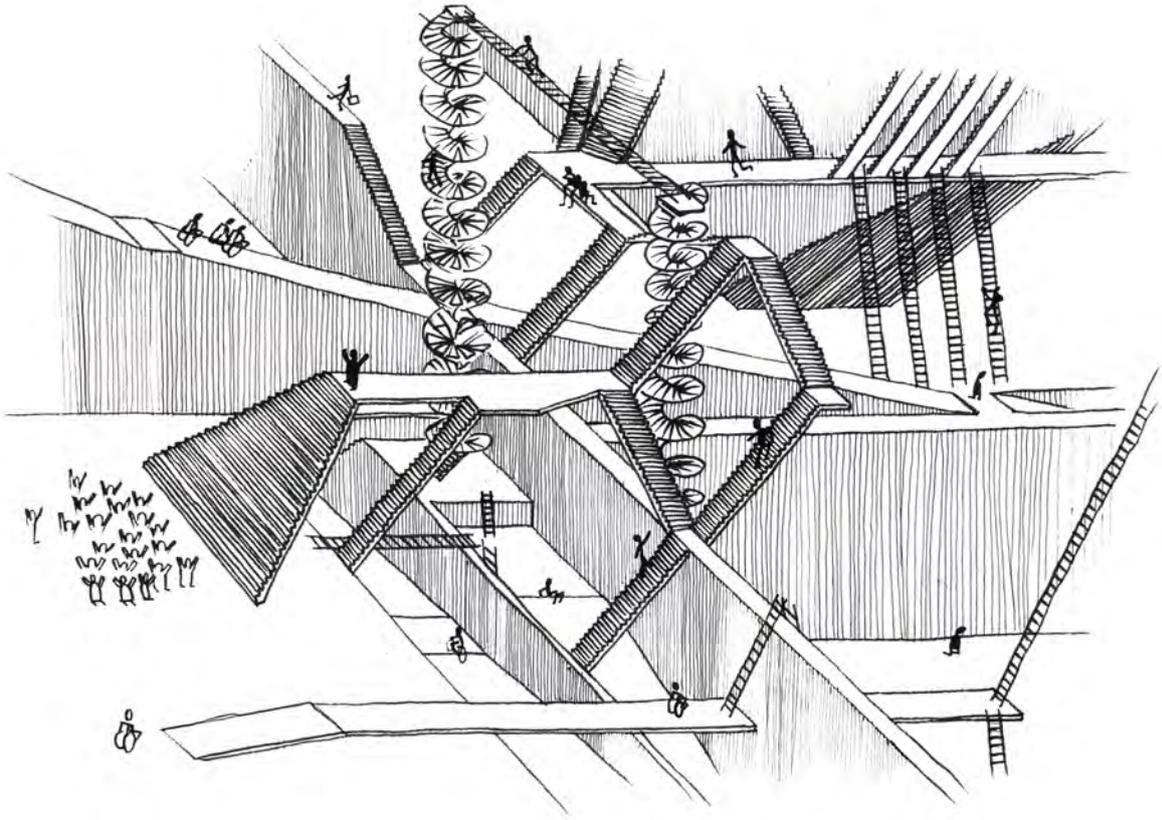


Abb. 5: die Welt der überwundenen Höhen

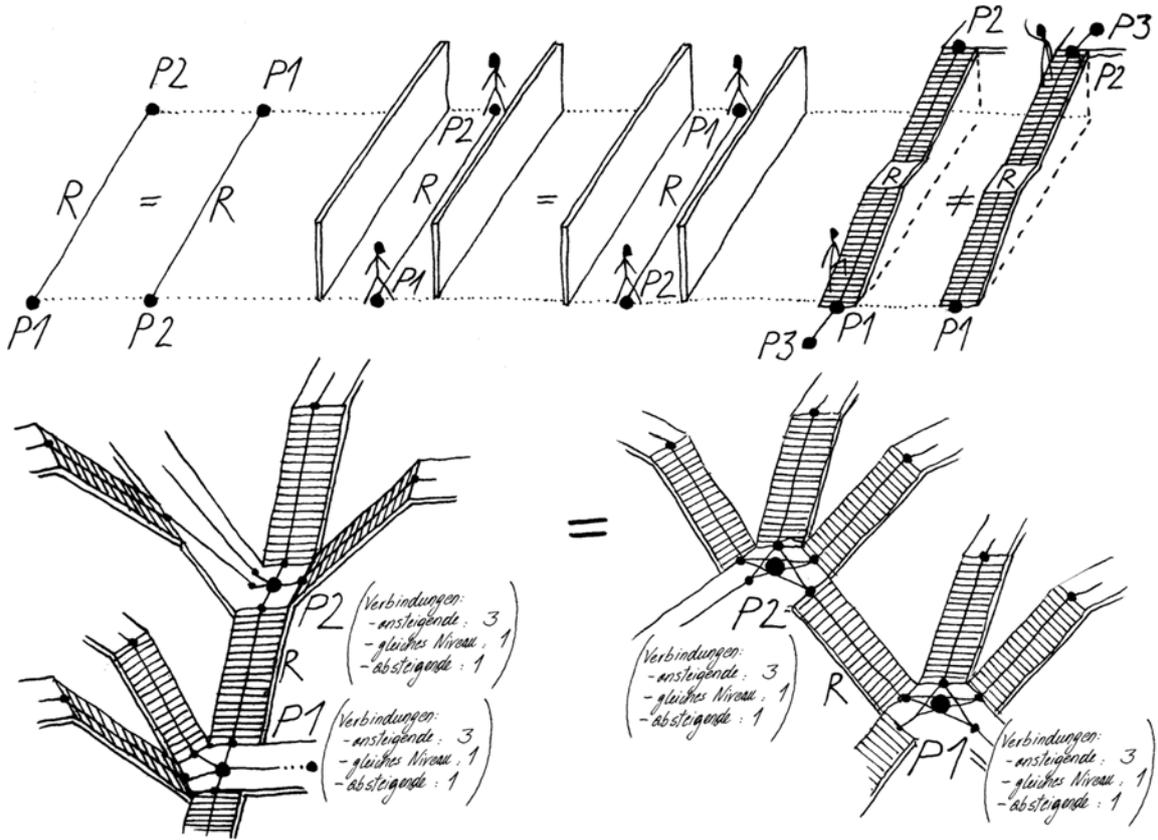


Abb. 6: Strukturell gleiche und ungleiche Punkte, bedingt durch Verbindungszahl und - art

1.3 Eindeutig nicht einseitige Funktionalität

Ich gehe davon aus, dass einer architektonischen Raumerschließung und der dadurch entstehenden Funktionalität eine innere Logik zugrunde liegen soll.

Der Mathematiker und Logiker Alfred Tarski definiert:

Man nenne eine Beziehung R *eindeutige Beziehung* oder *funktionale Beziehung* oder einfach *Funktion*, die zwischen zwei Dingen bestehe, wenn jedem Ding P_1 genau ein Ding P_2 entspreche, so dass P_1RP_2 gelte. Die Formeln P_1RP_2 und P_3RP_2 hätten stets die Formel $P_1 = P_3$ zur Folge. [1]¹

In Formelschreibweise (Abbildung 6.a):

$$P_1RP_2 = P_2RP_1$$

Formel für komplexe heterarchische Funktionen (siehe Kapitel 1.5.4), (Abbildung 6.b):

$$P_1RP_2R\dots P_n = P_n\dots RP_2RP_1$$

Weiters erklärt er, dass die Beziehungen P_1RP_2 und P_2RP_1 einander entsprechen und ihre Glieder vertauschbar seien, weil man konstanten Größen keine variablen Größen gegenüberstellen könne.

Selbst bei der Planung der veränderungsfreundlichsten Architektur müssen die zu verbindenden Raumpunkte einer architektonischen Erschließung zu bestimmten Zeitpunkten feststehen. Bis dahin soll kein Punkt im Raum durch Kompromisse im Planungsprozess eine untergeordnete Position und Erreichbarkeit erhalten. Angenommen Punkt 1 liegt am unteren Ende einer Höhenüberwindung und Punkt 2 am oberen (Abb. 6). Und angenommen Punkt 1 und 2 sollen architektonisch verbunden werden, so darf der Mensch auf Punkt 1 dem Menschen auf Punkt 2 nicht über- oder untergeordnet werden, indem Punkt 1 von 2 aus einfacher erreichbar ist als umgekehrt. Denn es verlangt unterschiedliche menschliche Leistung, eine Stiege von unten nach oben oder umgekehrt zu überwinden. Ebenso ist es unplanbar, wer wann wie und wie oft von welchem Punkt zu welchem Punkt einer Struktur zu gelangen sucht.

Ohne Kompromissbereitschaft ist eine Hierarchie der Räume, der Raumverbindungen, der Nutzungen vorab der konkreten Planung nicht festlegbar. Abhilfe schaffen Planungsmethoden (Kapitel 5), die die große Zahl an Strukturvarianten (Kapitel 6) gewährleisten, sowie der Nutzbarkeitsvergleich dieser zueinander (Kapitel 4.2, 5 und 6).

¹Tarski, Alfred: Einführung in die mathematische Logik; Seite 108ff

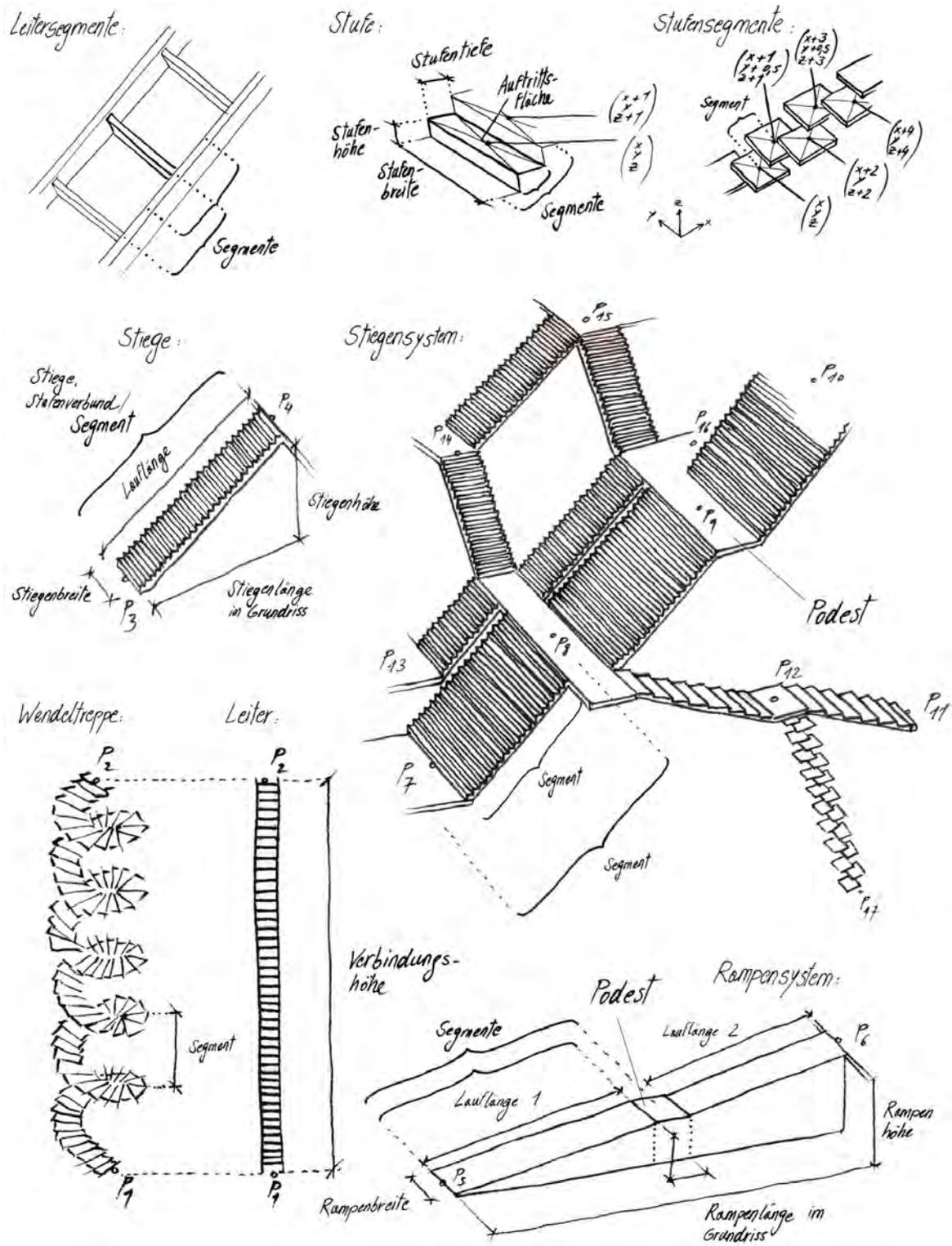


Abb. 7: Funktionsparameter von Höhenüberwindungen

1.4 Funktionsparameter von Höhenüberwindungen

Sprossen, Stufen und Podeste, Leitern, Stiegen und Rampen, Stiegensysteme, Rampensysteme, sowie daraus zusammengesetzte Verbundsysteme besitzen unnatürlich gleichmäßige Charaktere. Sie definieren sich durch betrachtungsabhängige Zerlegung in Bauteile, wie Sprossen, Stufen und ebenen Stiegen. Die Zerlegung in diskrete Segmente und ihre iterative Einsetzung garantieren dem Planer und Nutzer Berechenbarkeit des Planungsprozesses und des Ergebnisses. Diese noch abstrakte Berechenbarkeit ermöglicht eine Modularisierung in Vorfertigung, Transport und Einsetzung der Bauteile zur Höhenüberwindung unterschiedlicher Größenordnungen. Fast spielerisch kann man im Planungsprozess oder auch auf der Baustelle mit den vorgefertigten Elementen jonglieren.

Die Stufe ist hier das wichtigste Beispiel eines Höhenüberwindungssegments. Man beschreibt in mehreren Wissenschaftsdiziplinen bedeutende Veränderungen des Systemzustandes als abstrakte Stufen. Vom Verlust der Stetigkeit einer diagrammatischen Kurve, über Tonveränderungen einer Musik, bis zu dem die ebene Fläche brechenden einsamen Berg, spricht man von Stufen. Als Stufe der Architektur bezeichne ich ein einzelnes Bauteil zur Höhenüberwindung, deren Hauptelement eine horizontale Auftrittsfläche ist. Die Form der Stufe ist individuell festzulegen, muss jedoch für den Menschen ohne Hilfsmittel überwindbar sein. Im Allgemeinen nicht durch Klettern, sondern durch das Heben des Beins. Das dafür geschaffene Steigungsverhältnis deklariert eine Stufenhöhe von 17 cm als vertretbar und angenehm für den durchschnittlichen Menschen. Im Regelfall wird die Auftrittsfläche mit 29 cm Tiefe und einer Breite von 80 cm bemessen.

Zusammenhängende Stufen gelten als Stiege oder Stufenverbund, gesehen als iteratives System im folgenden Kapitel. Sie werden den Planungsgesetzen entsprechend einfach gestaltet. Aufwändige Stiegen sind bisher eher durch Sonderplanung als durch vorgefertigte Planungsformeln erhältlich. Wie alle Höhenüberwindungsarten werden Stiegen zurückhaltend oder offensichtlich inszeniert. Planer spielen mit Position, Antritt, Austritt, Stufengestalt und -anzahl, Podesten und Kreuzungen, Geländern und Verhüllungen.

Die mit eigenen Gesetzen versehene Stufenplatzierung kann durch zwei sich ändernde Koordinaten, wie bei einem linearen Stufenverbund oder drei, wie bei der Samba-Stiege und komplexeren oder chaotischen Stufensystemen, gekennzeichnet sein. Ein diskretes Höhenüberwindungssystem definiert sich durch einen lückenlosen Unterschied der Koordinaten benachbarter Elemente. Lücken haben spezielle Wirkung auf Stiegensystemplanung und -beschreibung, sowie auf die Nutzbarkeit der bauteilgestützten Höhenüberwindung.

Nach achtzehn aufeinander folgenden Stufen schreiben viele Planungsgesetze eine auf Höhe der jüngsten Stufe liegende größere ebene Fläche, ein Podest vor. Dies dient der Sturzbremmung, der Rast, der Kreuzung mit Nutzflächen und anderen Erschließungssystemen.

Leitern und Wendelstiegen dienen der Überwindung von Distanzen zwischen Raumpunkten, die sich nur in einer Koordinate - der architektonischen Höhenkoordinate unterscheiden. Zwar kann diese Verbindungsmethode auch zur Verbindung gänzlich unterschiedlicher Punkte verwendet werden, umgekehrt aber nicht die Methode zur Planung einer Stiege auf eine rein vertikale Verbindung. Ihre Segmente, die Sprosse und die Wendelstufe können gleichmäßig, komplex oder chaotisch angeordnet werden, was ihre Funktionalität unterscheidet, gewährleistet oder verhindert.

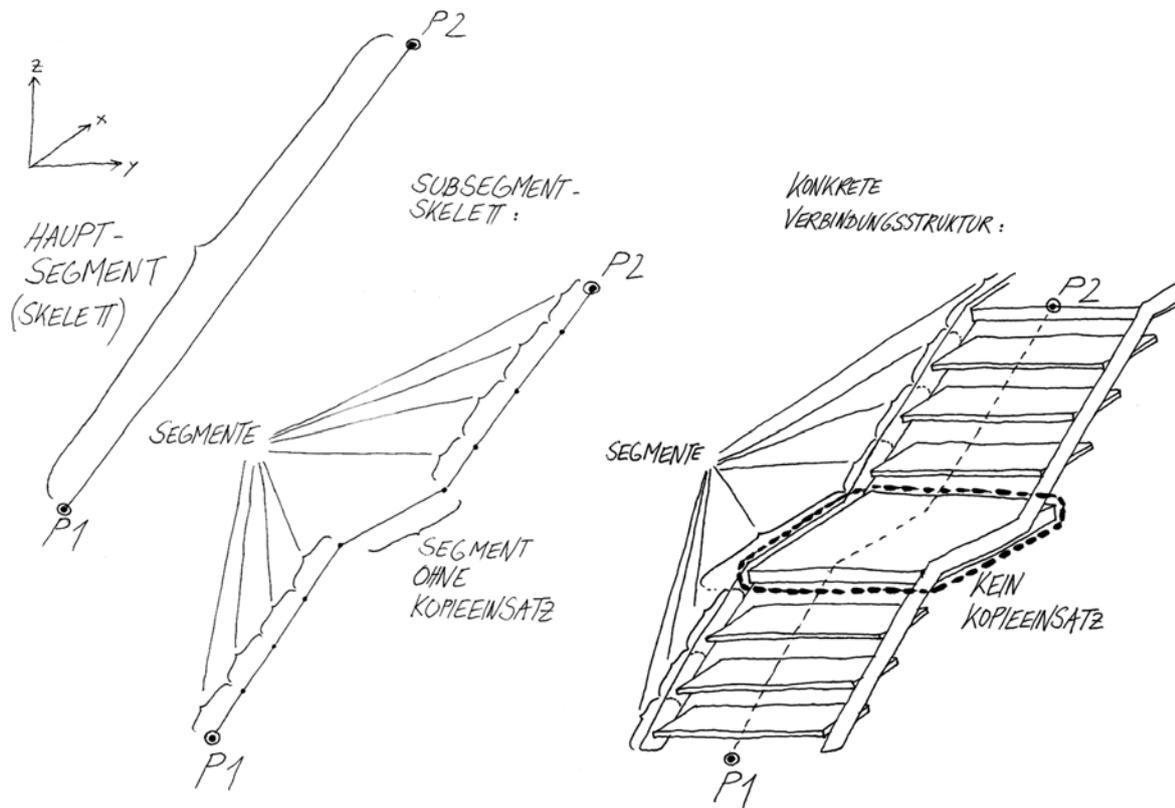


Abb. 8: Abstrakte und konkrete Skelettsegmente einer Verbindungsstruktur

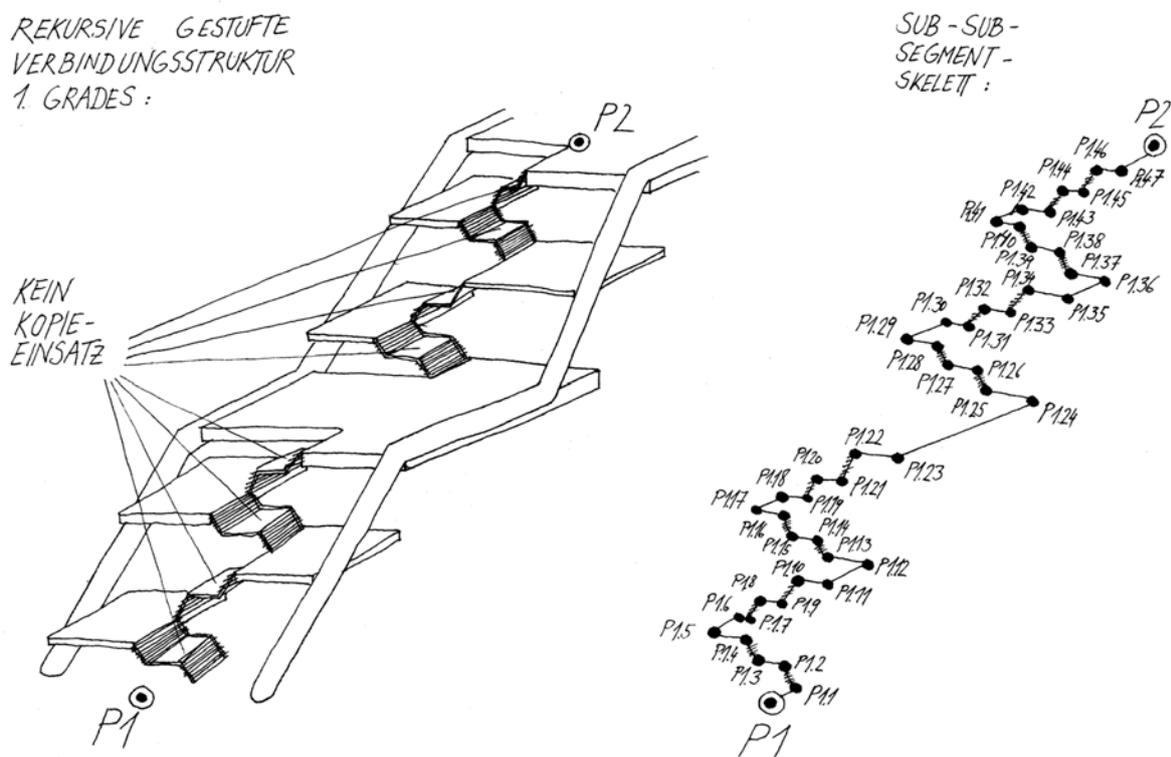


Abb. 9: Eine Verbindungsstruktur enthält kleine Kopien seiner selbst an seinen Segmentknotenpunkten

Als entgegengesetzte Kategorie einer nicht-maschinellen Höhenüberwindung gilt die Rampe, eine flache und meist viel Fläche verbrauchende Bauteilstruktur, wobei sich deren Inszenierung, da sie für viele Menschen angenehm nutzbar ist, anbietet. Einzelne Rampen und Rampensysteme sind oft notwendigerweise groß, daher erhaben inszenierbar.

Kapitel 3 handelt von einer individuellen Beschreibungsmethode von Stiegenverbindungen und ermöglicht eine systematische Betrachtung späterer Generierungsergebnisse in Kapitel 6 und der dadurch aufgestellten Funktionsbehauptungen über Stiegen in Kapitel 7.

1.5 Rekursionen an Stufen und Stiegen

1.5.1 Von einem Punkt über n Segmente zu einem anderen

Zumindest ein Raumpunkt ist mit zumindest einem anderen Raumpunkt durch eine architektonische für den Menschen nutzbare Struktur zu verbinden. Diese noch nicht näher definierte Struktur soll als Hauptnetzwerk an Segmenten, wie Stufen oder Stiegen, gelten (Abbildung 8). Bei festgelegten Segmentknoten, nach einer bestimmten eingesetzten Segmentanzahl oder einer sonstigen Bedingung, können Nebenstrukturen aus Segmenten, also alternative Verbindungsstrukturen, angegliedert werden. Die räumliche Segmentumgebung und Regeln der Segmentanordnung bestimmen den Charakter der Nebenstrukturen. Rekursion bedeutet, dass die Skelette von Nebenstrukturen und Hauptstruktur einander gleichen müssen. Um eine unendliche Struktureinsetzung zu verhindern, soll es Regeln geben, dass manche Segmentknoten mit Nebenstrukturen versehen werden und andere nur die Möglichkeit dazu besitzen (Abbildung 9).

Planungsmethoden nach selbstähnlichen einfachen Regeln erzeugen eine große Zahl an vergleichbaren Ergebnissen. Rekursive Anwendung von Regeln und rekursive Einsetzung von Segmenten verstärken Einfachheit und Geschwindigkeit des Planungsprozesses. Eine mit Nutzbarkeit, Wirtschaftlichkeit und künstlerischer Gestaltung verträgliche Planungsrekursion wird möglich, indem zumindest ein Weg in einem Segmentnetzwerk keinen rekursiven Einsatz derselben Netzwerkstruktur bedingt. Indirekt rekursive Methoden erzeugen von einer Hauptstruktur ausgehend Nebenstrukturen, die zu anders gestalteten Nebenstrukturen führen, aber nicht zu sich selbst zurück. Man erreicht strukturelle Abwechslung beliebiger Tiefe in Form und Nutzung.

1.5.2 Transformation von Strukturkopien

Rekursion beruht darauf, dass das „gleiche“ Ereignis auf verschiedenen Ebenen zugleich auftritt. Doch sind die Ereignisse auf verschiedenen Ebenen nicht genau gleich - oder vielmehr: wir finden trotz allen Verschiedenheiten eine invariante Eigenschaft in ihnen. [2] ²

Die primäre Funktion jeder architektonischen Verbindung ist, Menschen von Raumpunkten zu Raumpunkten gelangen zu lassen. Eine Hauptstruktur lässt sich durch Isomorphie der Strukturbestandteile, also durch funktionalitätserhaltende Transformationen, entwickeln. Der Physiker und Erforscher künstlicher Intelligenzen Douglas R. Hofstadter nennt Isomorphie eine informationserhaltende Transformation (Abbildung 10).

²Douglas. R. Hofstadter: Gödel, Escher, Bach; Seite 161

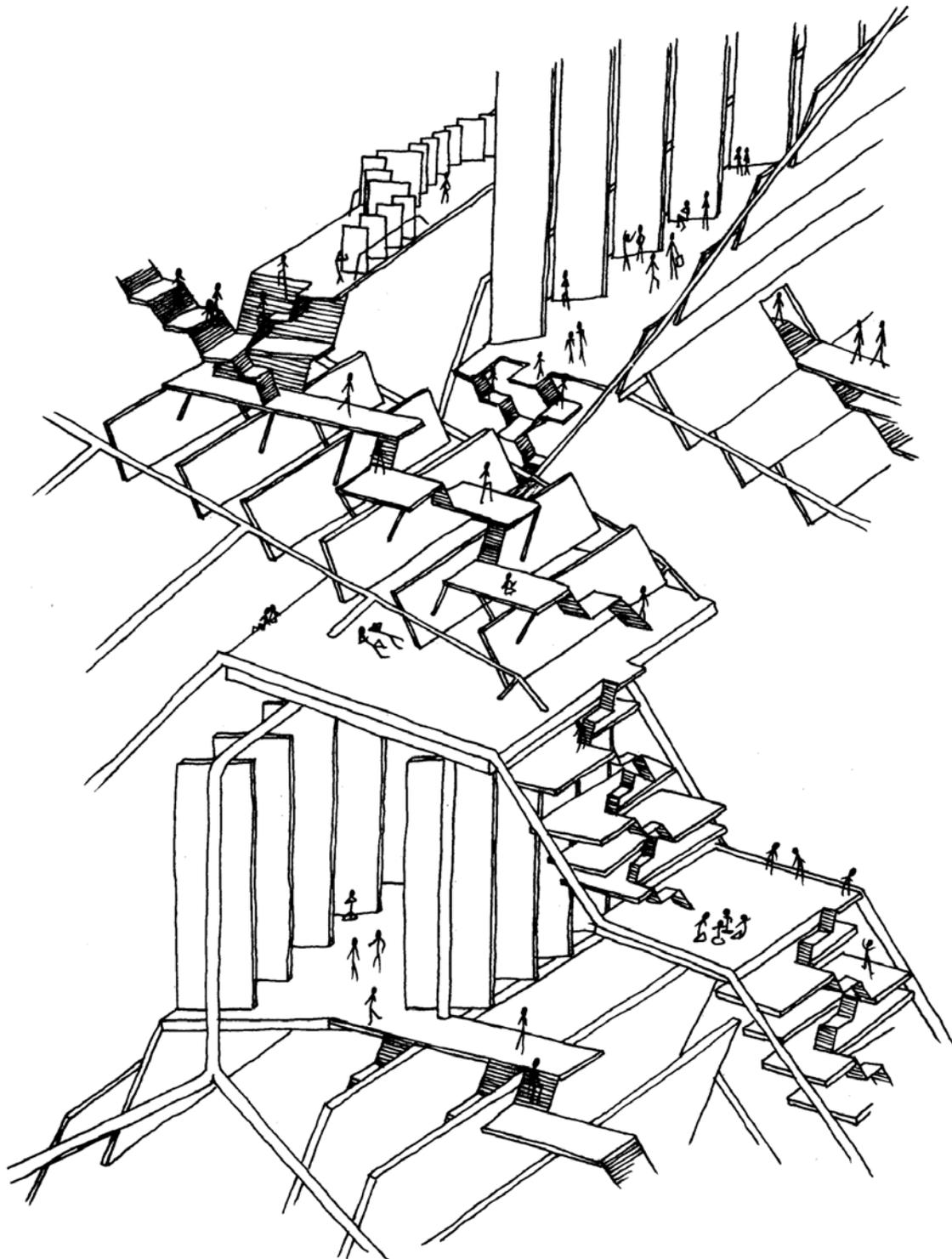


Abb. 10: Rekursiver Einsatz von Stiegelementen erzeugen Architektur

Der Begriff der Isomorphie, sowie Arten des Vergleichs von Strukturen und deren Nutzung werden in Kapitel 4.3, 6 und 7 erläutert. Hofstadter erwähnt, dass die Kopien einer Struktur in sich selbst verdreht, gespiegelt, skaliert, erweitert oder verzerrt sein können, solange die prinzipielle Funktion des Verbindungssystems, die für den Menschen nutzbare Verbindung von Raumpunkten, gewährleistet ist. Selbstähnliche Muster würden oft Größenänderungen ihrer Kopien aufweisen. Das abstrakte Skelett, das den rekursiven Zusammenhang des Musters zeige, bliebe bestehen.

1.5.3 Schleifenverbindungen zu einem Ziel

Sowohl der Planungsprozess der Struktur, bestehend aus einem oder mehreren Segmenten, als auch die Wahl des Weges durch den Nutzer kann in Schleifenform stattfinden. Sind die Anforderungen an verschiedene Segmente innerhalb einer Verbindungsstruktur einander gleich, sind baugleiche Module zur Raumpunktverbindung einsetzbar. Die Anordnung von Bauteilmodulen sollte in einfacher (Abbildung 16, links) oder komplexer Weise (Abbildung 16, rechts) erfolgen. Der Einsatzprozess gehorcht den Gesetzen der Schleife und weist damit Anfangs- und Endbedingung, mögliche Endlosigkeit, möglichen Prozessabbruch, sowie einen zu definierenden inneren Schleifenalgorithmus auf: Positionierung, Drehung, Spiegelung, Skalierung, und Verzerrung. Er dauert an bis die Schlussbedingung erfüllt ist, also ein oder mehrere Startpunkte mit einem oder mehreren Zielpunkten verbunden sind. Oder eine zu definierende Abbruchbedingung kommt zum Zug, um das endlose Einsetzen von Bauteilen zu verhindern. Sie könnte bestimmt sein durch die Anzahl der in diesem Schleifenprozess eingesetzten Module, durch Überschreiten festgesetzter Raumbegrenzungen oder durch Erreichen einer verträglichen Bauteildichte innerhalb der Raumbegrenzungen.

1.5.4 Stärken und Schwächen des Möglichkeitsraumes

Ein Programm mit einer solchen Struktur, in der es keine „höchste Stufe“ (oder keinen „Monitor“) gibt, nennt man eine Heterarchie (im Gegensatz zur Hierarchie).³

Das übergeordnete Planungsregelwerk und die darin enthaltenen Planungsregeln sind so zu wählen, dass man gemäß Kapitel 1.3 eine heterarchische Nutzung des Raumes bewirkt, wenn nicht anders gewünscht. In einer heterarchischen Raum- und Funktionsordnung werden keine Raumfunktionen in Positionierung und Erschließung und damit in der Nutzung benachteiligt. Dadurch obliegt es dem Nutzer einen Verbindungsweg zu bevorzugen. Auch kann ein Strukturteil aufgrund seiner vielen Verzweigungen oder seiner Direktheit als dominant erscheinen.

Notgedrungen erschließt der Nutzer in ein-, zwei- und dreidimensionalen Verbindungssystemen sekundäre Raumbereiche und Raumfunktionen. Denn jede Verbindungslinie besteht aus einer unendlichen Anzahl an Funktionspunkten, Abzweigungen und Kreuzungen. Vorgeschlagen werden Gleichbehandlung der Funktionen, der Modularisierung der Planungsregeln und eine abstrakte Rückkopplung in Positionierung der Bauteile. Das bewirkt eine Abwendung von Planungsmethoden mit nur einer möglichen Lösung hin zu einem sich ständig erweiternden Funktionalitätsnetzwerk. Schwächen sind die Stärken von Nutzungsmöglichkeiten einer Architektur, denn jede Raumbeschränkung und jede willkürliche Entwicklung in die dritte Dimension bringt unabsehbare Nutzungsmöglichkeiten.

³Douglas. R. Hofstadter: Gödel, Escher, Bach; Seite 145

Kapitel 2

Beschreibungssystem für Verbindungsstrukturen

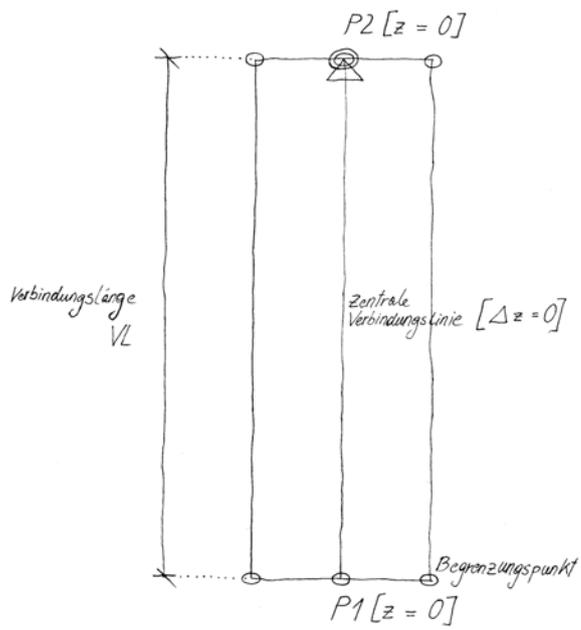


Abb.11: Direkte Verbindung ohne Steigung, Richtungsänderung, Kreuzung, Vereinigung

2.1 Definition einer Verbindungsstruktur

Eine Verbindungsstruktur besteht aus mindestens einem zu definierenden architektonischen Element, durch das zumindest zwei Raumpunkte für bestimmte Menschen erschließbar miteinander verknüpft werden.

2.2 Einfache Verbindungsstruktur

- Verbindungsstruktur von Raumpunkt P_1 zu Punkt P_2 : ($P_1 \rightarrow P_2$) auf lokaler Nullebene N_{loc1} , (Abb. 10);
- Erschließungsfläche hat mindestens vier Begrenzungskurven, deren Längen von 0 bis n betragen können;
- Die Begrenzungskurven setzen sich aus Begrenzungspunkten (Anzahl zwischen 2 und n pro Kurve) zusammen;
- die zentrale Verbindungslinie einer Verbindungsstruktur ergibt sich aus der Interpolation der Begrenzungslinien und ist charakterisiert durch:
 - Richtung: Startpunkt $P_1 \rightarrow$ Fokuspunkt P_2
 - Steigung: keine / stetige / unstetige ;
 - Länge der zentralen Verbindungslinie $L_{Vtotal} = L_{VS1} + L_{VS2} + \dots L_{VS_n}$
 - keine Richtungsänderung;
 - Verbindungsteilung (im Beispiel: 0);
 - Verbindungsvereinigung (im Beispiel: 0);

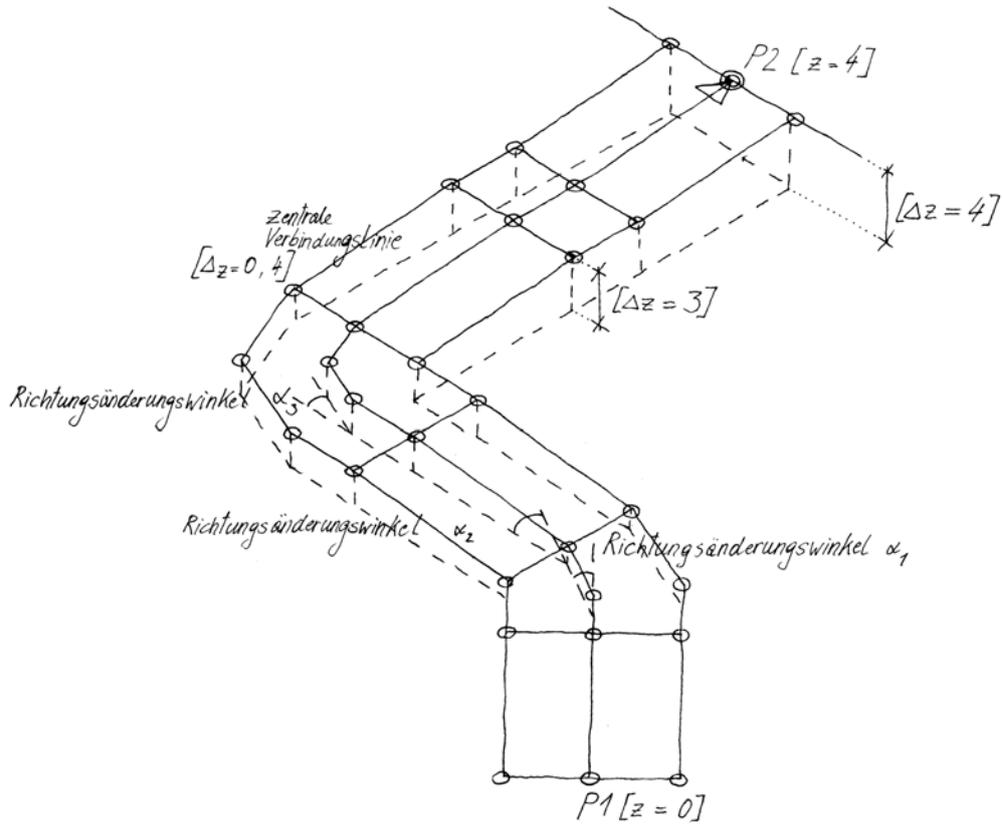


Abb. 12: Direkte Verbindung mit Steigung und Richtungsänderung, ohne Kreuzung und Vereinigung

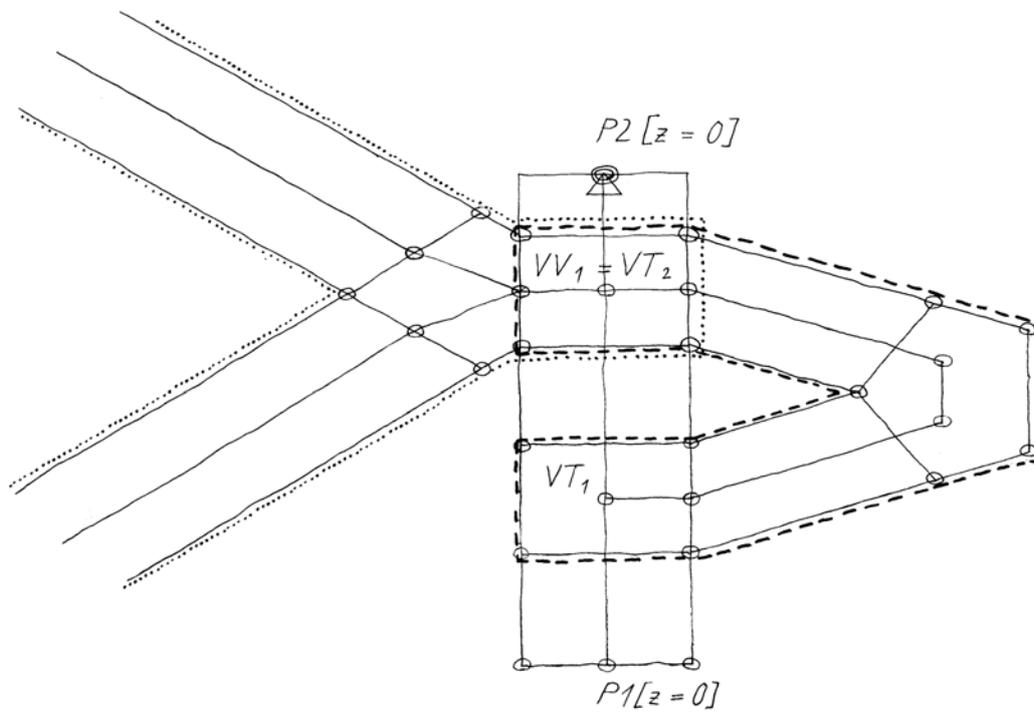


Abb. 13: Verbindung, die sich an zwei Punkten teilt und an einem Punkt zwei Verbindungen aufnimmt

2.3 Steigung und Richtungsänderung

- Verbindungsstruktur von Raumpunkt P_1 zu P_2 ,
mit vertikaler Differenz (ausgehend von Nullebene N_{loc1}), (Abbildung 12);
- Richtungsänderungen als Winkel α_1, β_2 , etc. auf lokaler Nullebene N_{loc1} dargestellt und in Bezug auf Fortführung des vorherigen Verbindungsliniensegments;
- dreiteilige Erschließungsoberfläche;
- 8 Punkte zur Definition der Begrenzungskurven ;
- Länge der zentralen Verbindungslinie: $L_{Vtotal} = L_{VS1} + L_{VS2} + \dots L_{VS_n}$
- Verbindungsteilung (im Beispiel: 0);
- Verbindungsvereinigung (im Beispiel: 0);

2.4 Ohne Steigung und Richtungsänderung, mit Verbindungsteilung und -vereinigung

- Verbindungsstruktur von Raumpunkt P_1 zu P_2 ,
ohne vertikale Differenz (auf Nullebene N_{loc1}), (Abbildung 13);
- fünfteilige Erschließungsoberfläche;
- 12 Begrenzungssubkurven;
- 12 Punkte zur Definition der Begrenzungssubkurven;
- Vertikalitätsdifferenz: $\Delta z = 0$
- keine Richtungsänderung;
- Länge der zentralen Verbindungslinie: $L_{Vtotal} = L_{VS1} + L_{VS2} + \dots L_{VS_n}$
- eine Verbindungsteilung 1. Grades (strichliert):
zwei Verbindungsteilungspunkte $VT_1, VT_2 =$ Alternative mit zwei Segmenten;
- eine Verbindungsvereinigung 2. Grades an Punkt VV (punktiert):
Kombination der Verbindung ($P_1 \rightarrow P_2$)
mit zwei anderen Verbindungen in einem Punkt VV_1 ;

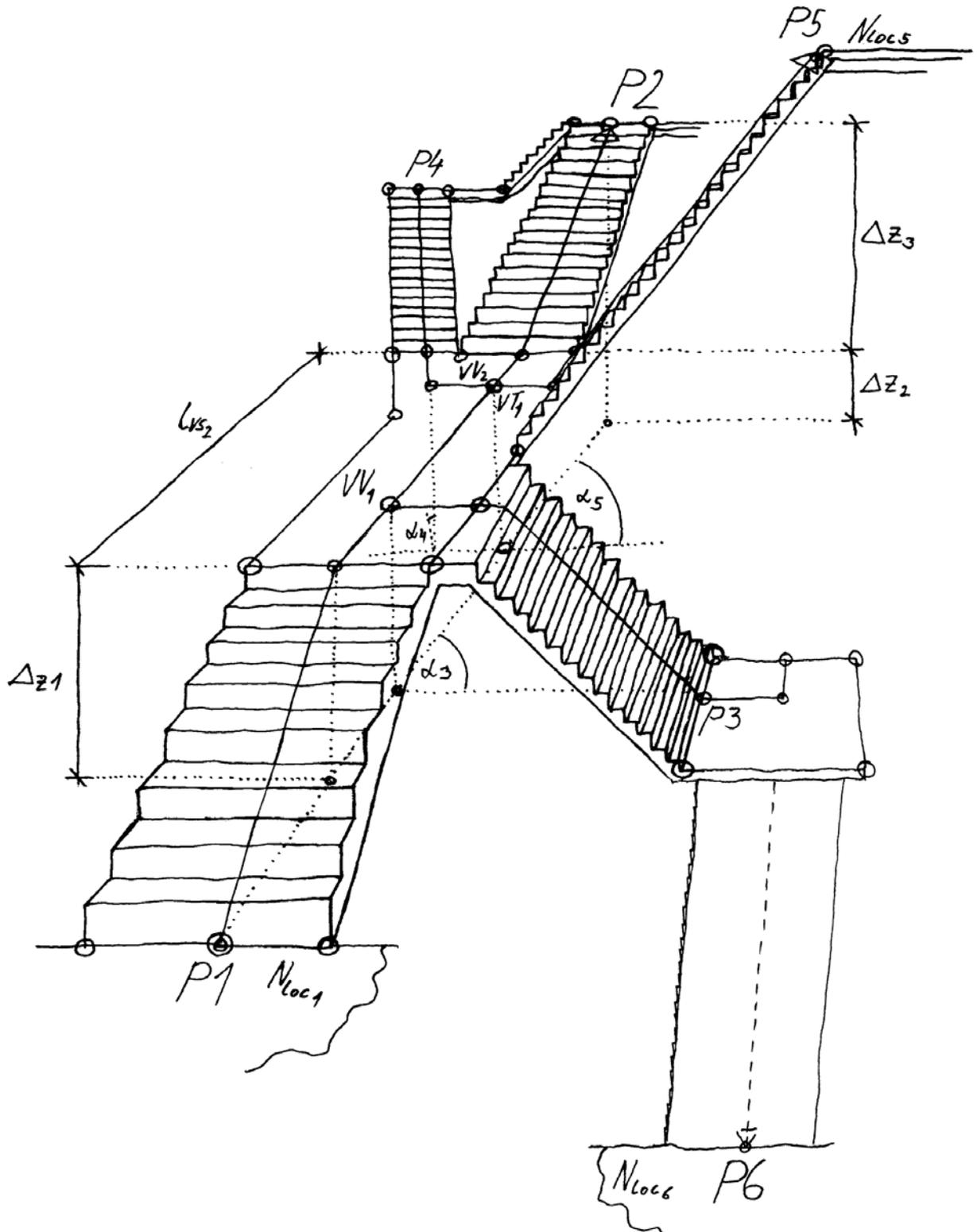


Abb.14: Stiegenstruktur nach Parametern allgemeiner Verbindungsstrukturen

2.5 Die Stiege - eine spezielle Verbindungsstruktur

2.5.1 Definition der Stiege

Als Stiege soll eine Struktur, bestehend aus zusammenhängenden für bestimmte Menschen überwindbaren Quadern, gelten, wobei mindestens ein räumlicher Startpunkt verbunden wird mit mindestens einem Zielpunkt auf unterschiedlichem Vertikalitätsniveau.

2.5.2 Grundlegende Beschreibung der Stiege

Stiegenstrukturen werden mit den zuvor definierten Parametern allgemeiner Verbindungsstrukturen beschrieben und um spezielle erweitert, (Abb. 13):

- Verbindungsrichtung: $P_1 \rightarrow P_2$
- Segmentanzahl der Verbindungslinie und deren Längen: $L_{VS1}, L_{VS2}, \text{etc.}$
- Vertikalitätsdifferenz: $\Delta z = 0$
- Richtungsänderungswinkel $\alpha_1, \beta_2, \text{etc.}$: auf lokaler Nullebene N_{loc1} dargestellt und in Bezug auf Fortführung des vorherigen Verbindungssegments;
- Verbindungsvereinigungspunkte $VV_1, VV_2, \text{etc.}$ mit Grad der Verbindungsvereinigungen: 1. Grad: Kombination der Verbindungsstruktur $P_1 \rightarrow P_2$ mit einer anderen Verbindungsstruktur in einem Punkt VV_1 ; *Verbindungsteilungspunkte* $VT_1, VT_2, \text{etc.}$ mit Grad der Verbindungsteilung: 1. Grad: alternative Verbindungsstrecke mit zwei Segmenten (Abb. 14: $P_1 \rightarrow P_4 \rightarrow P_2$);

2.5.3 Spezifische Parameter einer Stiegenstruktur

- Stiegenlauflänge, Stiegenlänge im Grundriss, Höhendifferenz, Stufenanzahl, Stufenhöhe, Stufenbreite, Stufentiefe und Steigungsmaß (siehe auch Kapitel 1.4);
- Hauptverbindungsstruktur zwischen ($P_1 \rightarrow P_2$);
- durchschnittliche Steigung zwischen genau einem Startpunkt P_1 und einem Zielpunkt P_2 ;
- Höhendifferenzen $\Delta z_1, \Delta z_2, \text{etc.}$ der Segmente der Verbindungsstruktur;

2.5.4 Podestdefinition und Parameter

Ein Podest ist ein Stiegensystemelement, das zum Ruhen, zur Sturzbremmung, Orientierung und Richtungsänderung dient. Als Baukörper wird das Podest von einer Mindestanzahl von drei in einer horizontalen Ebene liegenden Begrenzungspunkten geformt. Die Mindestfläche eines Podestes ist bestimmt durch die Minimallänge der die Fläche teilenden Verbindungslinien zwischen den Begrenzungspunkten.

- Verbindungsvereinigungspunkte VV_1, VV_2 , etc. in der Regel auf Podesten gelegen; Beispiel: VV_1 ist ein Vereinigungspunkt 1. Grades, weil genau eine andere Stiegenstruktur an der Hauptverbindungsstruktur ($P_1 \rightarrow P_2$) bei VV_1 angeschlossen ist;
- Verbindungsteilungspunkte VT_1, VT_2 , etc. in der Regel auf Podesten gelegen; Beispiel: VT_1 ist ein Teilungspunkt 1. Grades, weil genau eine alternative Verbindungsstruktur zwischen P_1 und P_2 ab VT_1 besteht;

2.5.5 Definition der Stufe

Eine Stufe ist ein Baukörper, der aus zwei durch genau eine Kante miteinander verbundenen Flächen besteht. Es wird angenommen, dass eine dieser Flächen vertikal und eine horizontal im Raum liegt. Ob die Flächen an kurzen oder langen Seitenlängen zusammenhängen ist variabel. Ebenso variabel gestaltbar sind die Restflächen des Baukörpers. Der Zweck einer Stufe besteht darin, bestimmten Menschen eine Vertikalitätsüberwindung durch eine einzelne Stufe oder einen Stufenverbund zu ermöglichen. (siehe auch Kapitel 1.4)

Kapitel 3

Die Deponie als Rahmen für Funktionsuntersuchungen

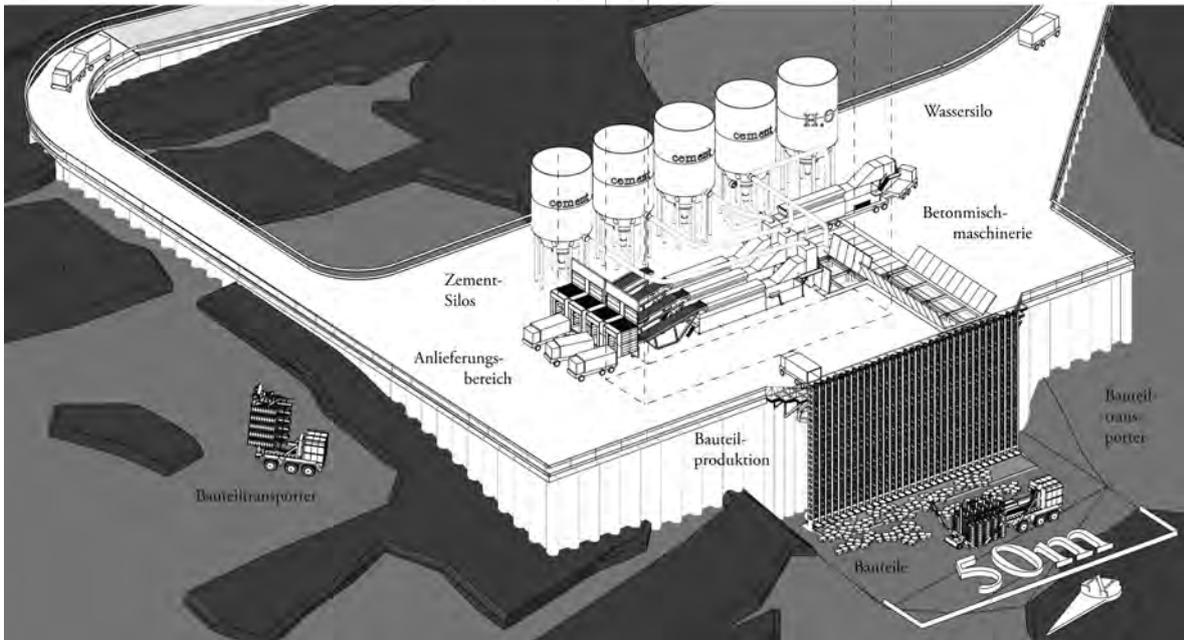
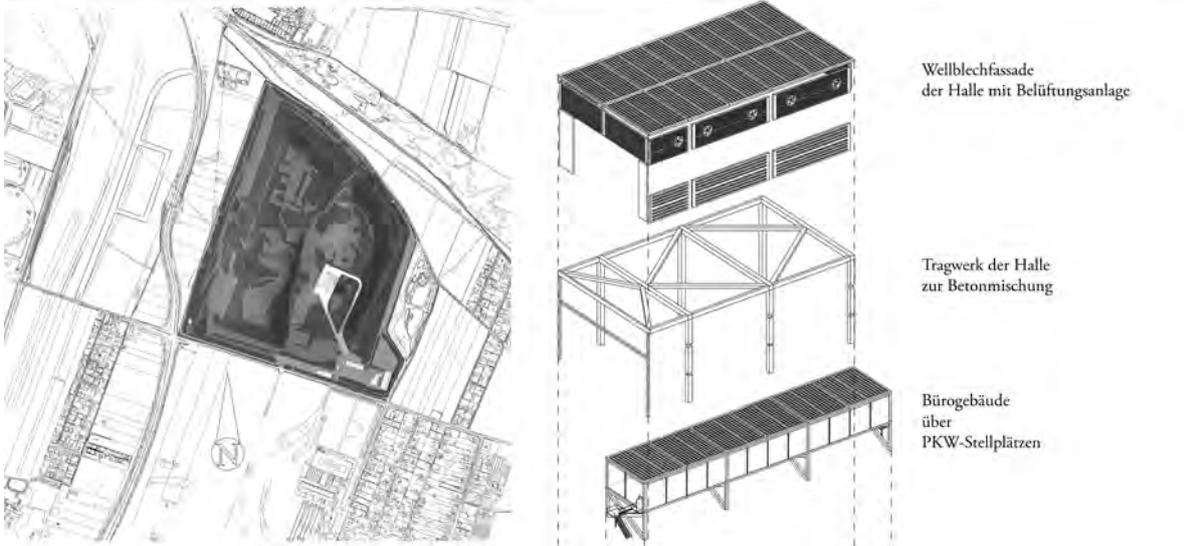
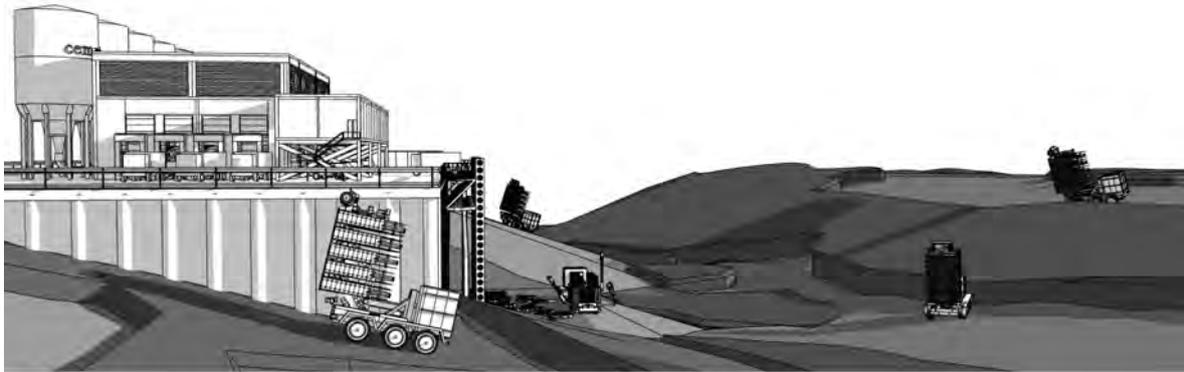


Abb.15: Bestandteile der fiktiven Bauteilproduktionsstätte auf der Mülldeponie Rautenweg

3.1 Geschichte und Zustand der Deponie im Jahr 2011

Im 22. Wiener Gemeindebezirk, 10 Kilometer nördlich vom Stadtzentrum gelegen, befindet sich die mit 58 ha größte Mülldeponie Österreichs, welche im Jahr 1960 eröffnet worden ist. Ende 2011 waren 11.000 m³ Volumen aufgeschüttet, bis 2030 dürfen noch weitere 3.000 m³ hinzukommen. Erlaubte Volumenhöhe ist 205 m über Meeresniveau, also 45 m über Straßenniveau, wodurch ein Teil der Deponie schon 2011 den Höhepunkt des 22. Bezirks markiert. [3]¹

Seit der Inbetriebnahme der Müllverbrennungsanlage Wien-Pfaffenau im Jahr 2008, werden hier nur noch aufbereitete Verbrennungsrückstände eingelagert. Deponiebereiche, die künftig zugeschüttet werden sollen, finden als Zwischenlager und Raum für Aufbereitungsanlagen Verwendung, wobei sämtliche Stoffe außer Verbrennungsrückständen vom Gelände wieder abgeführt werden. Zwischenlagert werden Bauschutt, geschredderter Sperrmüll, Holz, Streusplitt, Hausmüll in Ballenform (Leichtfraktion von der Restmüll-Zerteilungsanlage). Anlagen, die auf der Deponie betrieben werden dürfen sind Streusplittaufbereitungsanlagen, Schredder für Sperrmüll, Brecher für Baurestmassen, Sperrmüllumladestation und Ballierungsanlagen. Die mit bis zu 30 ha jährlich ausgewiesene Fläche eignet sich durch den Schutz des Grundwassers der Umgebung durch das sogenannte „Wiener Dichtkammersystem“ zur Wiederaufbereitung angelieferter Stoffe. Mittels Schichtversiegelung und weiteren ressourcenschonenden Maßnahmen wird vorbeugender Umweltschutz betrieben.

3.2 Bauteilerzeugung auf der Deponie

Der im Folgenden beschriebene Deponiezustand als Produktionsstätte für Bauteile und Versuchsgelände zu deren Anordnung soll als Bestandsannahme und nicht als eigenständiger Entwurf gesehen werden. Die Produktion ist in ineinander greifende Sequenzen gegliedert und wird in der Abfolge von Anlieferung der Materialbestandteile über das erschaffene Bauteil bis zur nutzbaren Bauteilstruktur beschrieben. Vier parallele baugleiche Produktionssequenzen sind möglich, bei Ausfall eines Sequenzgliedes können andere entsprechende Maschinen dessen Aufgabe bei verlangsamer Produktionsgeschwindigkeit übernehmen.

Als Tor zum Bauteilproduktionsbetrieb gilt die Anlieferungsstation für Betonzuschlagsstoffe und Schlacke, also Verbrennungsrückständen aus Wiener und Niederösterreichischen Müllverbrennungsanlagen (Abbildung 16). Ein handelsübliches und standardisiertes Torsystem gewährleistet die Eingabe der Bestandteile über vier Tore auf jeweils ein Förderband. Die Förderbänder transportieren die Stoffe in Betonmischanlagen, die aus Wartungsgründen mobil sind.

Vier parallel geschaltete Betonmischanlagen vermengen Zuschlagsstoffe, Schlacke und Zement aus vier 1000 m³ - Silos und einem 1000 l Wassersilo, welches an eine Wasserzuleitung angeschlossen ist. Jede der Mischanlage versorgt die Bauteilgussmaschine mit flüssigem Schlackebeton über jeweils ein Rohr. Diese Rohre sind durch die Notwendigkeit des Rohrgefälles und des Mischmaschinentransports im Boden versenkt, jedoch durch Bodentüren zugänglich (Abbildung 17).

¹Broschüre der Magistratsabteilung 48 (für Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark)

standardisierte LKW-Anlieferungsstore
für 4 parallele Bauteilproduktionsprozesse

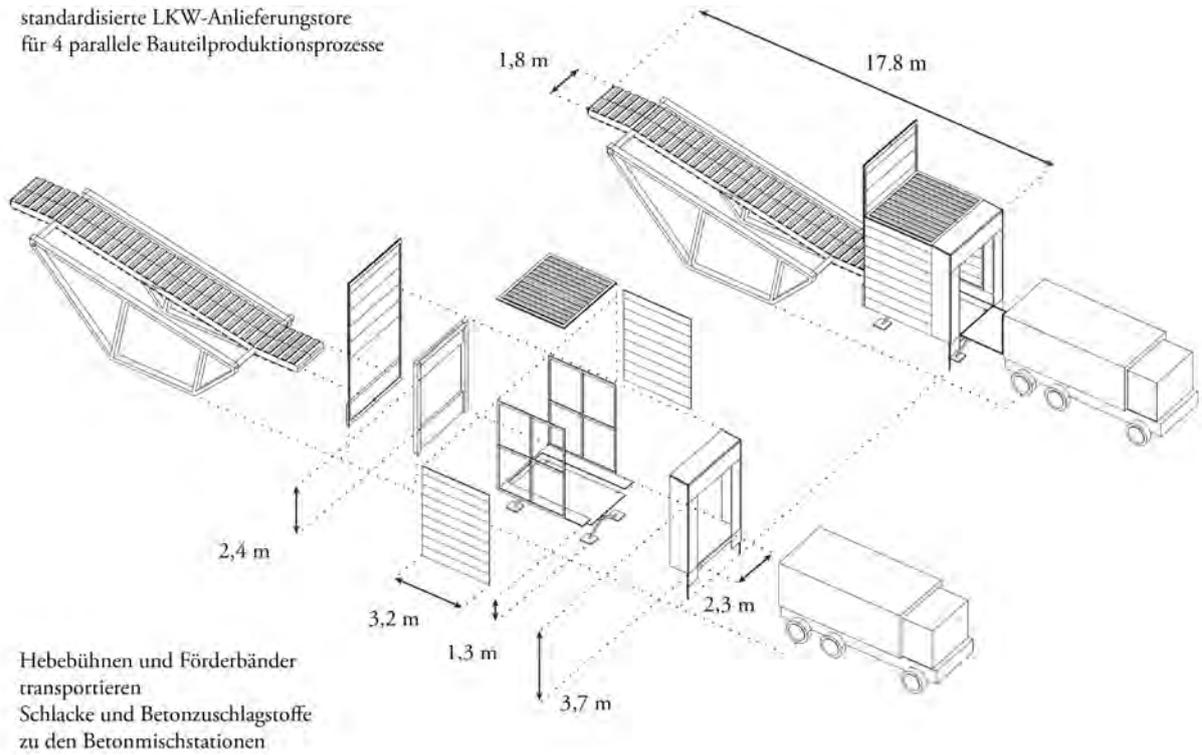


Abb. 16: Systematik der Anlieferungsstation für Schlacke und Betonzuschlagstoffe

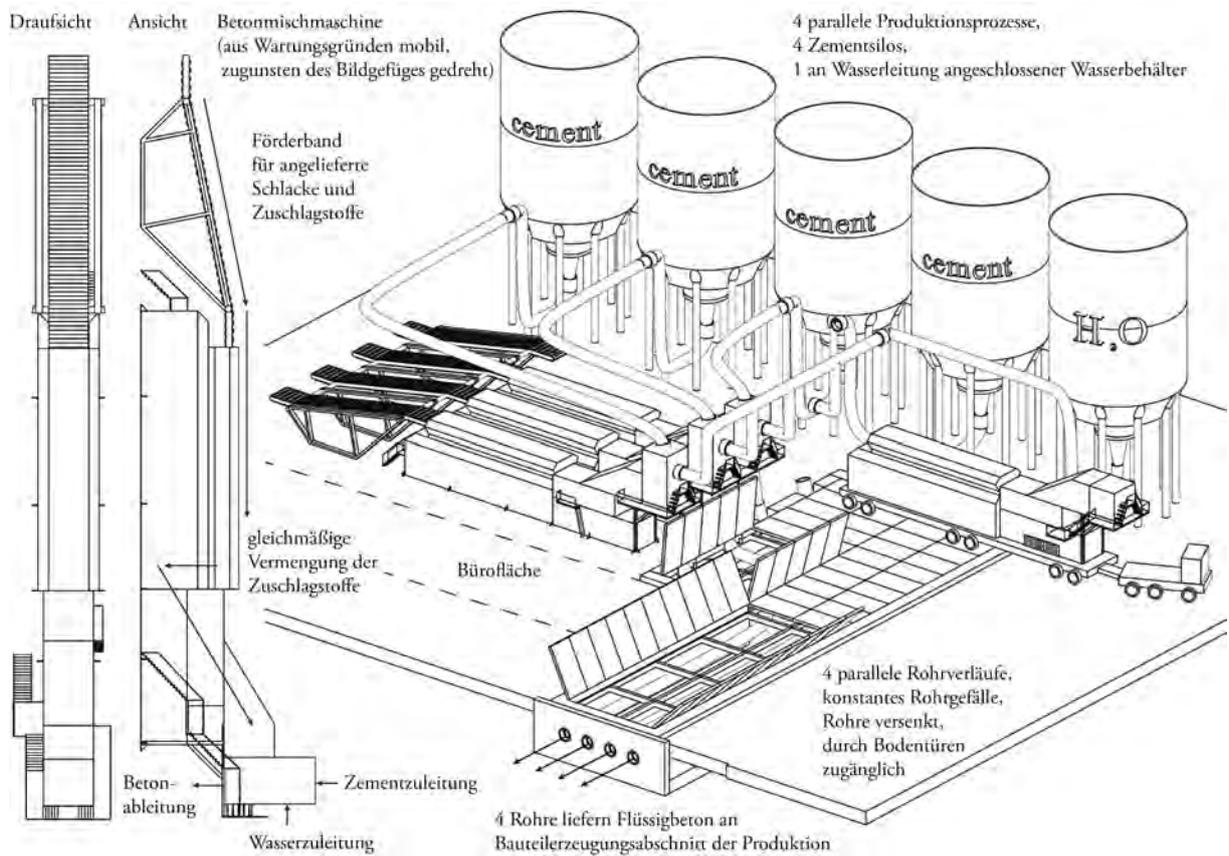


Abb. 17: Mobile Betonmischanlagen mit durch Bodentüren wartbarem Zu- und Abrohrsystem

Durch einen Verteilerpunkt, an dem sich das Rohrsystem aus der fast Horizontalen in die Vertikale verformt, sind jene vier Rohre in der Lage jedes von acht vertikalen Hauptrohren zu speisen. Diese flößen in jeweils vier Bauteilschalungen Schlackebeton ein. Das ermöglicht theoretisch eine Simultanfertigung von zweiunddreißig Quaderbauteilen. Bevor der Beton in eine 20 m unterhalb des Verteilerpunktes liegende Schalung von 1 x 1 x 0,4 m Innenmaß rinnen kann, wird eines von sechzig Bewehrungsgittern aus einem darüber stehenden Lagergerüst in die Schalung gelassen. Nach einer Trocknungszeit von sechs Stunden öffnet sich die Schalung und der Schlackebetonquader wird über Teleskopstangen auf ein Rollenförderfeld geschoben (Abbildung 19).

Im angrenzenden Deponiebereich warten die Quader auf ihre Aufnahme durch einen Bauteiltransporter (Abbildung 20). Die Aufnahme geschieht - ebenso wie der Strukturgestaltungsprozess - durch mit Stangen versehene Greifarme des Transporters. Die Stangen passen in Rohre, welche in das Bewehrungsgitter integriert sind. In Strukturgestaltungsprozess, der in einem beliebigen Raster über das restliche Deponiegelände stattfindet, werden die Bauteilquader zu Stufen- und Flächenformationen über in die Bewehrungsrohre eingeführte Stangen verbunden (Abbildung 18).

Der Hauptzweck dieser Arbeit und damit jener der bauteilproduzierenden Deponie ist die Erzeugung und Untersuchung der Funktionalität von Stufenstrukturen. Im Rahmen eines 220 Felder umfassenden Deponienutzungsrastrers werden Stufengebilde in verschiedenen Größenordnungen mit verschiedenen Voraussetzungen generiert und auf den Feldern von 40 m Seitenlänge gebaut (Abbildung 21). Die Methode zur Generierung einer Stufenstruktur wird in Kapitel 5 dargelegt, die Generierungsergebnisse in Kapitel 6. Schlüsse über die Funktion der generierten Stufenstrukturen ziehe ich in Kapitel 7.

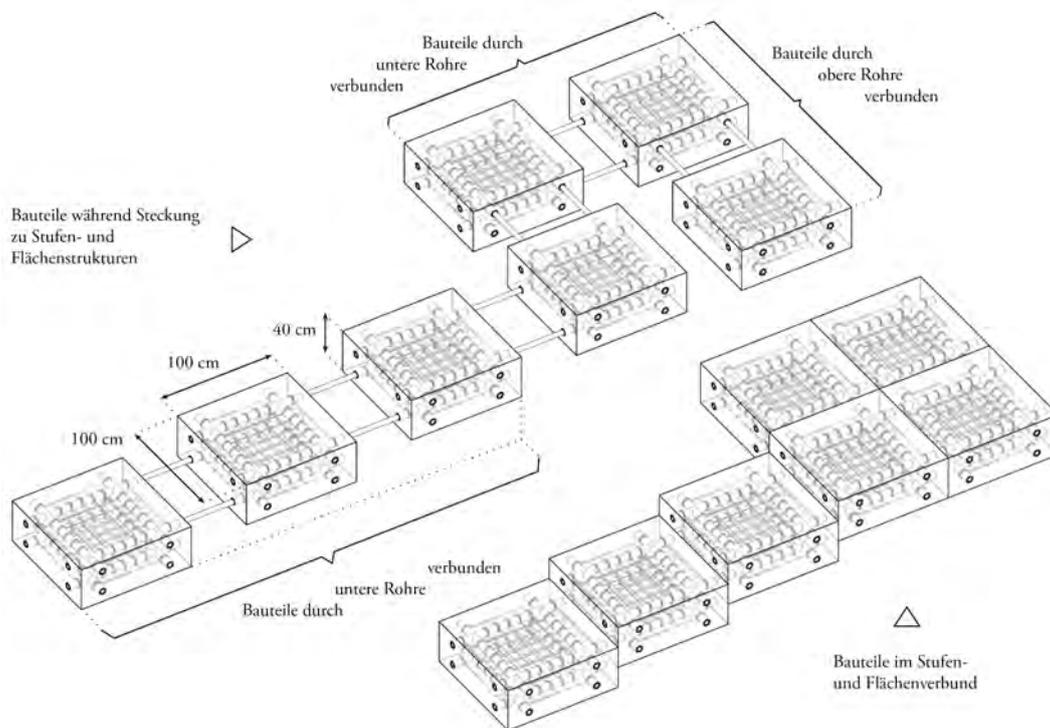


Abb. 18: Betonquader formen durch Stahlstangen verbundene Stufen- und Flächengebilde

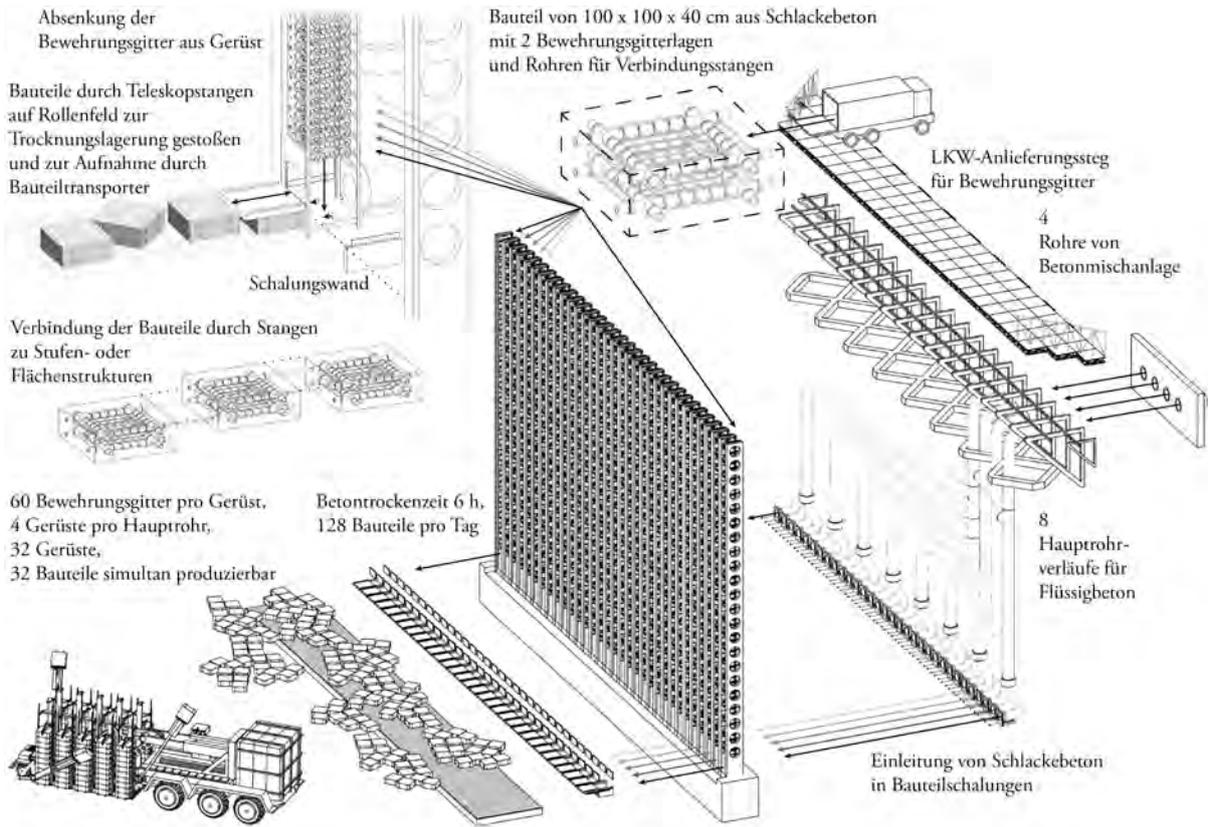


Abb. 19: Bauteilproduktion durch Zusammenführung von Bewehrung und Schlackebeton

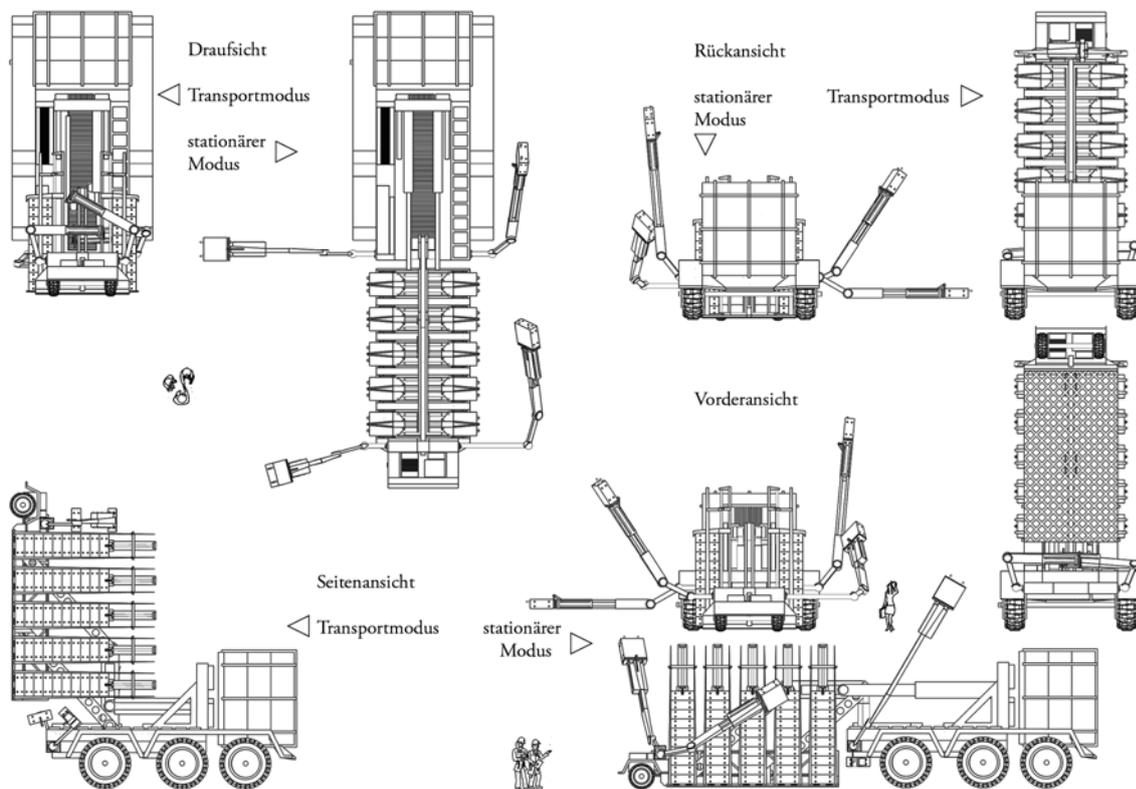


Abb. 20: Bauteiltransport- und Strukturierungskraftfahrzeug für 150 Bauteile

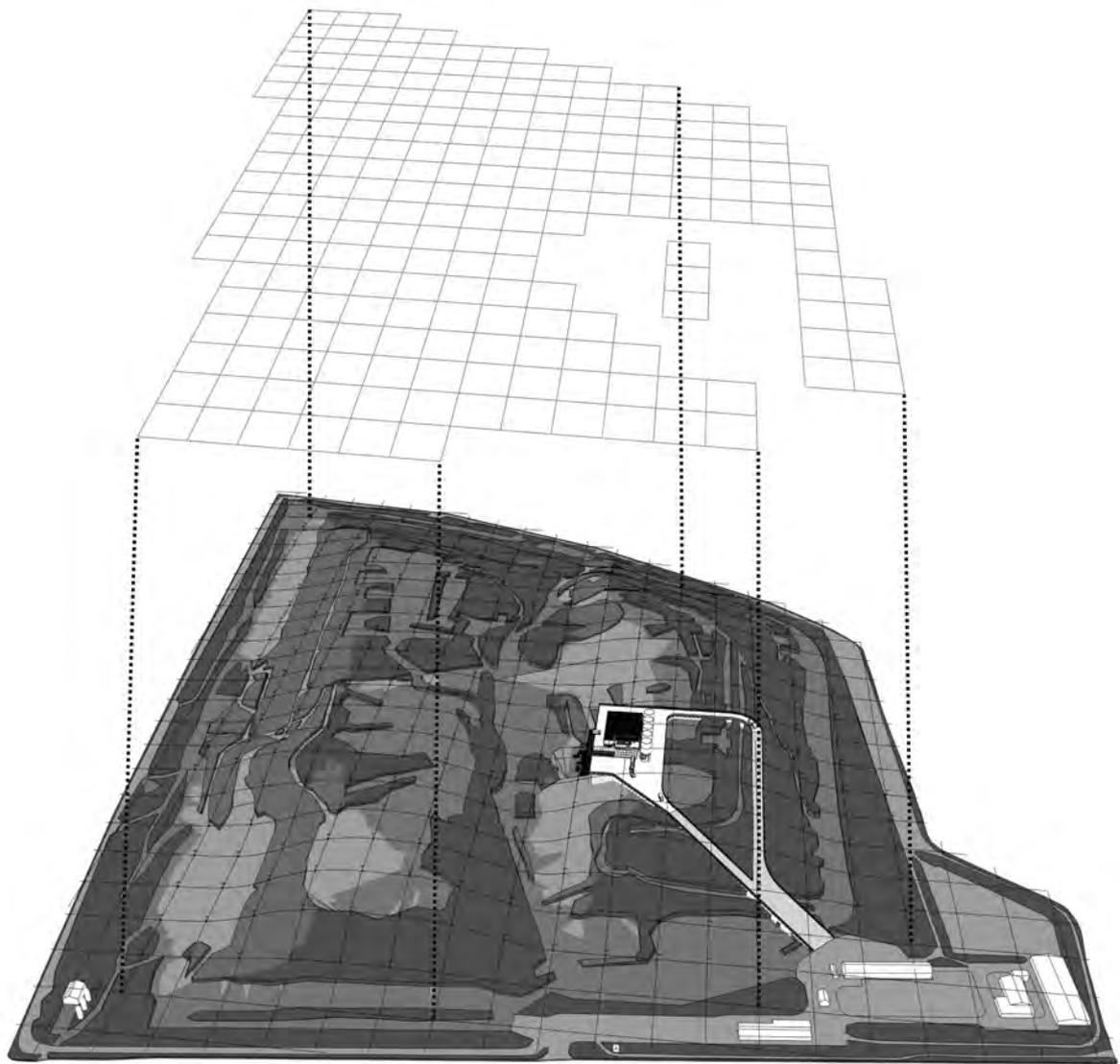
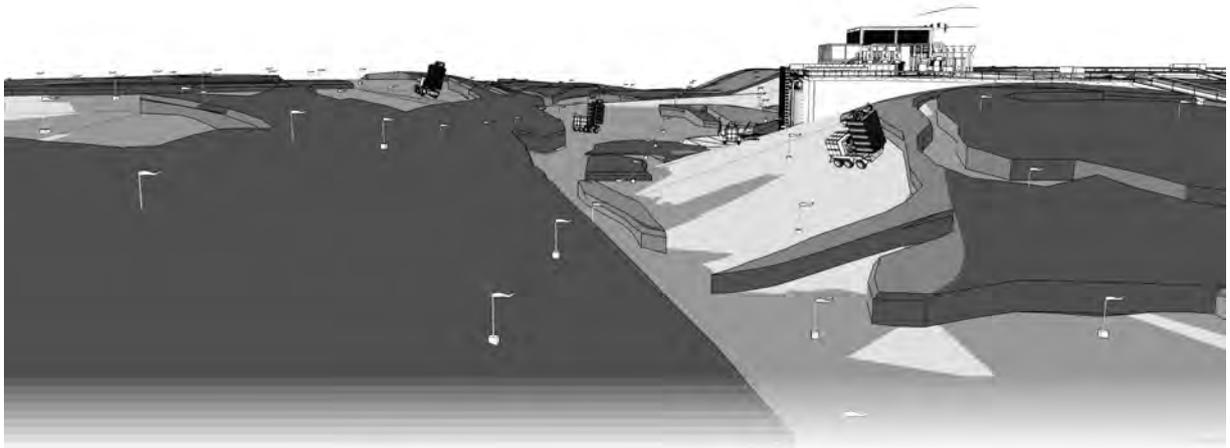


Abb. 21: 220 potentielle Felder von 40 x 40 m zur Setzung von Bauteilstrukturen

Kapitel 4

Systematik architektonischer Strukturen

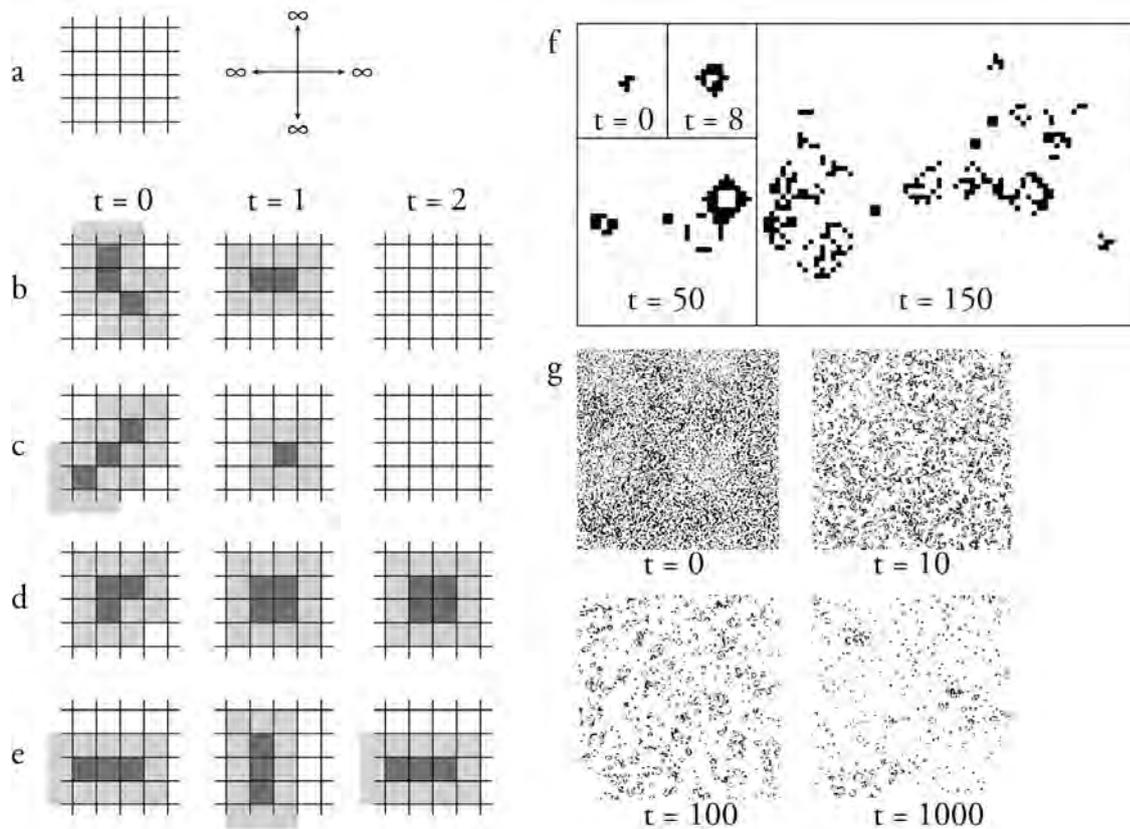


Abb. 22: Ein zelluläres System: 'Game of Life' von John Conway;

a) der Systemrahmen:

- ist ein unendliches zweidimensionales Gitter bestehend aus rechteckigen toten Zellen (weiss);
- lebendige Zellen sind dunkelgrau dargestellt;
- zur Nachbarschaft einer Zelle gehören alle direkt angrenzenden Zellen (hellgrau);
- Berechnung der Zellzustände in Zeitintervallen t ;
- die Startzellen werden vom Benutzer gewählt;

Systemregeln:

- eine tote Zelle wird lebendig, wenn sie genau 3 lebendige Nachbarn besitzt;
- eine lebendige Zelle stirbt, sobald sie weniger als 2 lebendige Nachbarn besitzt;
- lebendige Zellen überleben einen Rechenschritt bei 2 oder 3 lebendigen Nachbarn;
- eine lebendige Zelle stirbt bei 3 oder mehr lebendige Zellnachbarn;

b) c) Startzellen werden definiert, 'sterben' in Rechenschritten $t = 1$ und 2 ;

d) eine Startzelle erweckt durch die Regeln 3 Nachbarzellen, welche regelkonform stabil bleiben;

e) 'Blinker-Zellpopulation': abwechselnd 3 vertikale und 3 horizontale Zellen sind lebendig;

f) 5-Zellen-Startpopulation entwickelt ein komplexes Muster durch Zustandsrückkopplung mit ihren Nachbarn;

g) unvorhersagbare Muster durch einfache Bedingungen und Rückkopplung im Lauf der Zeit;

4.1 Das System einer Systembeschreibung

Ein System sei laut Physiker Rolf Reiner eine Organisation aus irgendwelchen Elementen, die sich geordnet zusammengesetzt qualitativ anders verhielten als die Summe dieser isoliert betrachteten Elemente. Durch Rückkopplung einfacher Regeln und Elementzustände entstehen unvorhersehbare Systemmuster, wie zum Beispiel in dem in Abbildung 22 illustrierten zellulären Automaten "Game of Life" von John Conway . [4] ¹

Des Weiteren würden sich Systeme durch geeignete Methoden in einen Satz funktionell unabhängiger Bestandteile zerlegen lassen. Als wesentliches Charakteristikum eines Systems nennt er neben Form, Funktion und Inhalt seine Struktur, wodurch eine Ordnung von Objekten und Prozessen nach allgemeinen Gesichtspunkten ermöglicht würde. [5] ² Reiner sieht Struktur als die Gesamtheit an Beziehungen der Systembestandteile untereinander. Strukturierung sei bei materiellen Bestandteilen durch die räumliche und zeitliche Zuordnung dieser Objekte zueinander gegeben. Architekt Helmut Spieker stellt fest, dass Systeme dem Menschen Zusammenhänge veranschaulichen würden und Ordnungsprinzipien für die verschiedensten Materialisierungsmöglichkeiten wären. Ebenso hätten Systeme eine zeitliche Komponente, die grundsätzliche Starrheit oder Erstarrung einer Organisation oder Struktur lösen könne. Systematische Methoden hätten prozessualen Charakter und würden oft Handlung beinhalten oder voraussetzen. [6] ³

¹Richter, Klaus; Rost, Jan-Michael; Komplexe Systeme, S. 31 - 40

²Rainer, Rolf; Systeme als Programm: Selbst organisierende Systeme, S. 54f

³Spieker, Helmut; Systeme als Programm: Typen und Systeme - Über das Systemdenken in der Architektur, S.

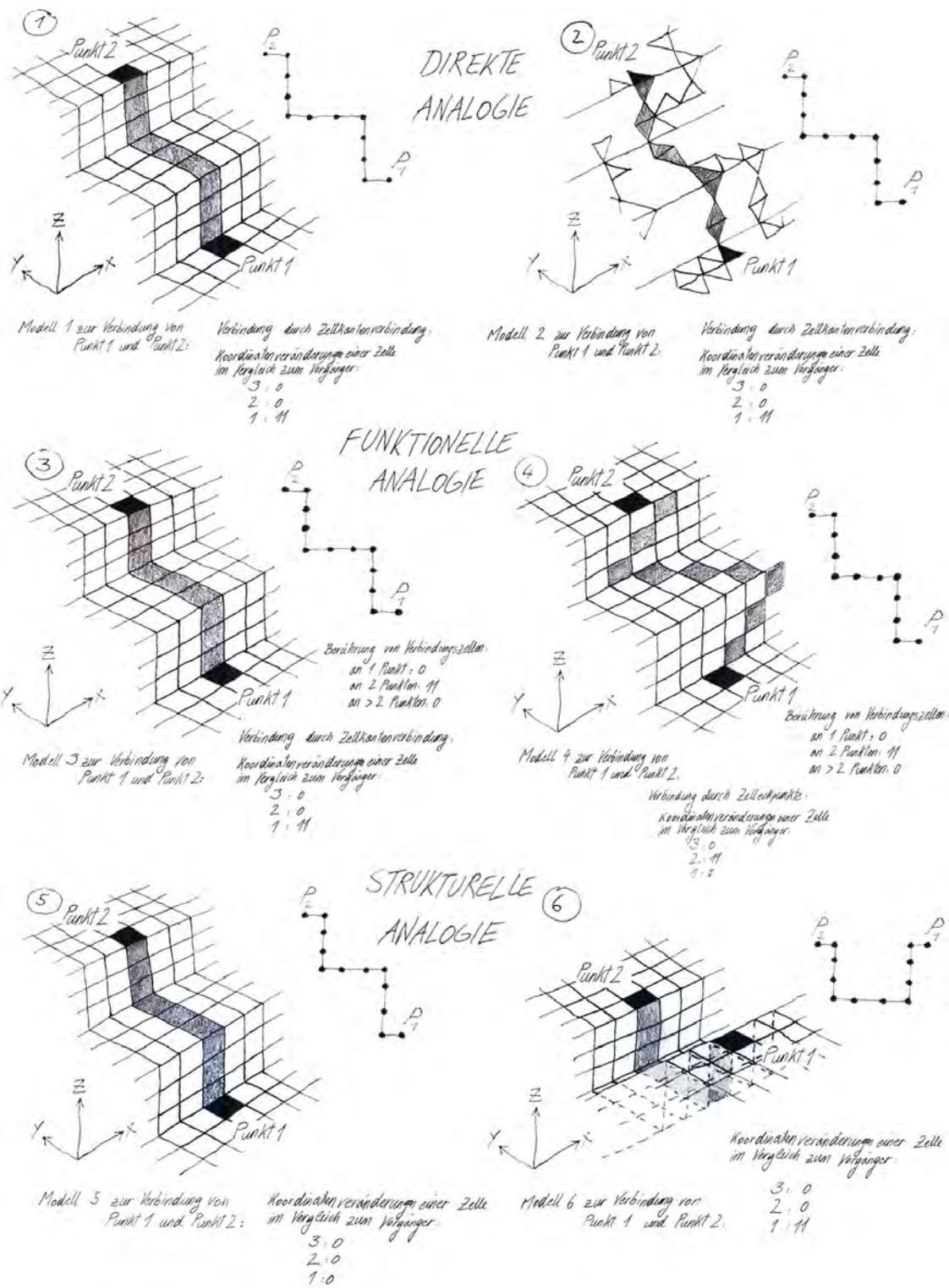


Abb. 23: Direkte, funktionelle und strukturelle Analogie zwischen Modellen von Realitätsbereichen

4.2 Allgemeine Theorie zum Vergleich von Strukturen

Die Beschreibung einer möglichen architektonischen Struktur setzt voraus, dass die Strukturbestandteile bereits beschrieben worden sind. Je mehr Strukturen mit einer Beschreibungssystematik erklärt werden können, desto einsatzfähiger ist diese. Physiker Rolf Reiner fordert, unterschiedliche Realitätsbereiche nicht auf dasselbe Modell abzubilden, sondern mittels Analogien zwischen verschiedenen Phänomenen diese und deren Ähnlichkeiten zu untersuchen (Abbildung 23). Ebenso werden in dieser Arbeit unterschiedliche Strukturvarianten mit ähnlicher Nutzung mit derselben Methode vergleichend untersucht. Er unterscheidet dabei zwischen direkter, funktioneller und struktureller Analogie. Erste bestünde, wenn eine direkte Zuordnung von Prozessen und Objekten eines Realitätsmodells zu denen eines anderen möglich ist. Die funktionelle Analogie setze eine Isomorphie zwischen den - wie auch immer erreichten - Funktionen zweier Modelle oder Strukturen voraus.

Das Wort Isomorphie ist anwendbar, wenn zwei komplexe Strukturen aufeinander abgebildet werden können, und zwar so, dass es für jeden Teil der einen Struktur einen entsprechenden Teil der anderen Struktur gibt, wobei 'entsprechend' bedeutet, dass die beiden Teile in ihren jeweiligen Strukturen eine ähnliche Rolle spielen. (Douglas. R. Hofstadter: Gödel, Escher, Bach; Seite 54) ⁴

Herausstechende Eigenschaft der funktionellen Analogie wäre laut Rolf Reiner der Vergleich unterschiedlicher Methoden und Strukturen, die dieselbe Funktion gewährleisten. Schließlich versteht er unter struktureller Analogie die Übereinstimmung von Modellen in den Relationen zwischen ihren Bestandteilen, wobei die Isomorphie der Modelle von einer höheren Ebene aus betrachtet werden müsse.

⁴Hofstadter, Douglas R; Gödel, Escher, Bach; S. 54

Allopatrische Artbildung:
Ausgangspopulation:

- geographische Isolation
einer Untergruppe

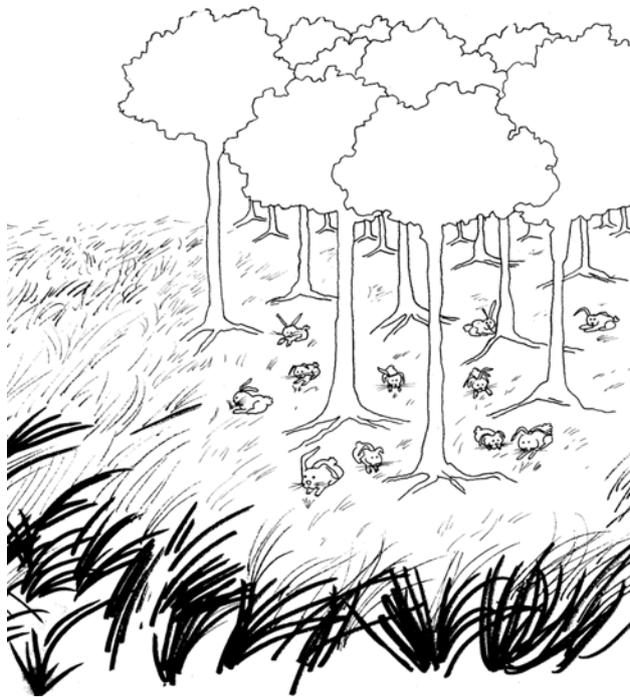


Abb. 24: Biologische Barrieren: Gendiversität durch geographische Isolation von Populationsgruppen

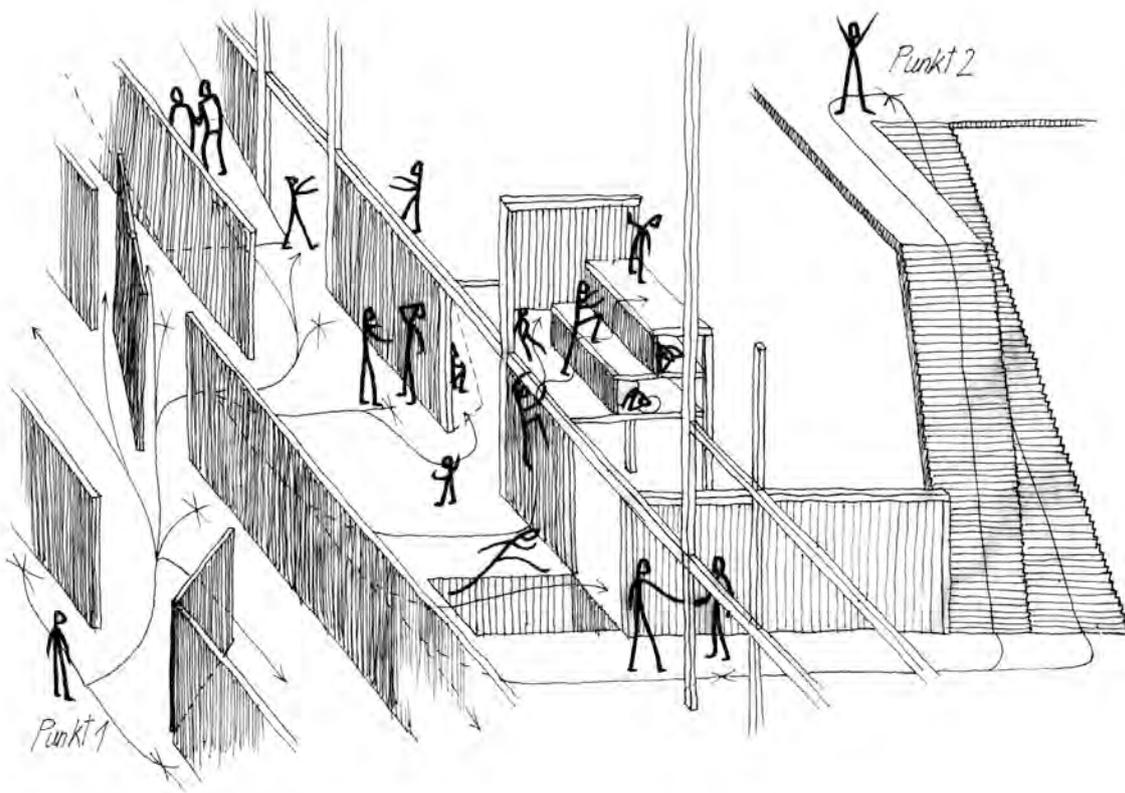


Abb. 25: Architekturbarrieren, Wirkungen und Nebenwirkungen

4.3 Barrieren in lebenden Systemen und in der Architektur

Lebende Systeme würden durch Redundanz, Vielfalt und Barrieren eine lebensnotwendige Fehlerfreundlichkeit und damit das Vorbereitet sein auf unerwartete Ereignisse erhalten, so die Biologin und Computerwissenschaftlerin Christine von Weizsäcker. [7]⁵ Sowohl die Nutzung von Fehlern als auch ihre Transformation in Nützlichem sei unvorhersagbar und überraschend.

Redundanz oder natürlicher Überschuss sei eine Überlebenstechnik, die sich in den Größenordnungen von Molekülen, Zellorganellen, Zellen, Organen, Individuen und Arten bewähren würde. Deren Vermehrungsfähigkeit, aber auch mechanische und chemische Stabilität, würden Redundanz ermöglichen (Abbildung 24).

Eine Vielfalt an Sinneswahrnehmungen, Reaktionsweisen, Gegensätzen, Individuen und Arten, Neugier, Mutationen und Rekombinationen, aber auch Mobilität und physikalische Zufälle würden den Fortbestand von Molekülen, Lebewesen und Arten fördern.

Hingegen unerlässliche Bausteine der Methoden, die Redundanz und Vielfalt erzeugen, seien Barrieren. Zwischen Zellen, Organen, Individuen und Arten bestünden topographische und funktionale Barrieren. Letztere kämen auch zwischen unterschiedlichen semantischen Ebenen vor und würden Schadensbegrenzung zur Folge haben.

Umgelegt auf die Architektur spreche ich Bau- und Planungselementen aller Größenordnungen die Fähigkeit zu, durch abstrakte Nutzungstransformation und konkrete Veränderung an Bauteilstrukturen auf die sich stets wandelnden Bedürfnisse des Menschen angemessen zu reagieren. Stufen, Stiegen und Architekturstrukturen in zehnfacher Menschengröße mögen den Vergleich mit Elementen der Biologie nahelegen. Jedoch soll hier keine Analogie zwischen Biologie oder anderen Wissenschaften und Architektur bewiesen werden. Vielmehr soll davon eine Unterteilung in architektonische Größenordnungen sowie eine Auswahl an Strukturelementen und Regeln inspiriert sein. Diese sollen sich allein von ausgewählten Betrachtungspunkten der Architekturfunktion beweisen. In Kapitel 3 gehe ich auf Bauteile und Planungsregeln ein, deren Anwendung aufgrund innerer Schlichtheit und definitorischer Flexibilität der Architekturplanung eine Nachvollziehbarkeit und Anpassungsfähigkeit bietet.

4.4 Systemstabilität oder Systemflexibilität

Fehlerfreundlichkeit ist eine Absage an die perfekte Planung und zugleich eine sehr realistische, keineswegs romantisch-idyllische Form des Umgangs mit der Zukunft. (Christine von Weizsäcker)

Systemstabilität sei nach der Wissenschaftlerin so lange wünschenswert, bis strenge Elementordnung, gleichbedeutend mit einem Mangel an Fehlerfreundlichkeit, in Stagnation bei unerwarteten Herausforderungen münden würde. Auswege würden flexible Systeme kennen, wobei hier die Fehleranfälligkeit als Komponente der Fehlerfreundlichkeit zu einem Mangel an Tüchtigkeit anwachsen könne. Folgen würde der Zusammenbruch des Systems (Abbildung 26).

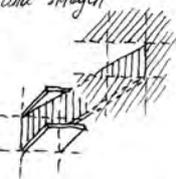
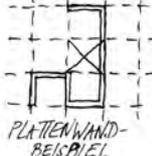
⁵ von Weizsäcker, Christine; Systeme als Programm: Die Chance der Unvollkommenheit; Seite 38ff

ANFORDERUNGEN AN DAS ARCHITEKTONISCHE REGELWERK:

- Einfachheit des Regelwerks
- Austauschbarkeit der Regeln
- Einfachheit der Regeln
- Korrekturmöglichkeiten

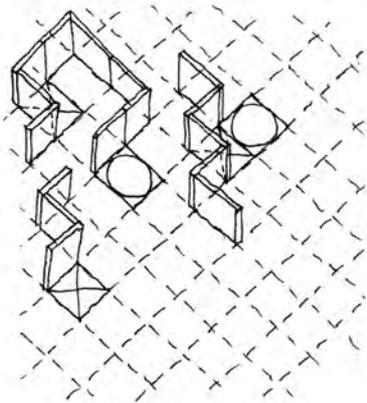
METAREGELN DES REGELWERKS:

- Wahl der Rastergröße
- Wahl 1-n - Felder
- Wahl 1-n - Felder
- abwechselnd Anwendung von Regeln zur Anordnung von Platten und Stiegen
- ALG = zu definierender Algorithmus zur Entscheidung



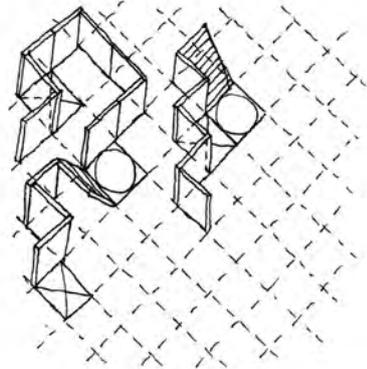
REGELN ZUR ANORDNUNG VON PLATTEN:

- um jedes min 3, max 7 vertikale Platten nach ALG;
- die Platten dürfen an allen Kanten der 8 Nachbarfelder sitzen;
- die Platten müssen einander berühren;



REGELN ZUR ANORDNUNG VON STIEGEN:

- an jedes eine Stiege, wenn Plattenzahl an > 0 und < 4 nach ALG;



KORREKTURMECHANISMUS:

- punktierte Geometrien von Korrekturmöglichkeiten gewählt und gelöscht;
- es dürfen max 7 Platten auf den Nachbarfeldern eines sitzen;

- NEUWAHL VON und
- ANWENDUNG DER ANORDNUNGSREGELN

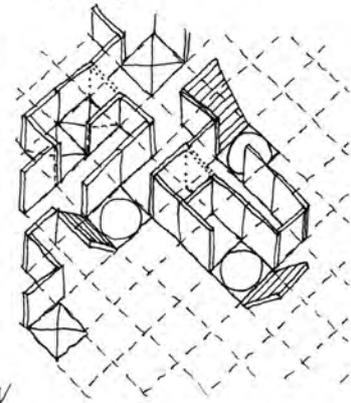


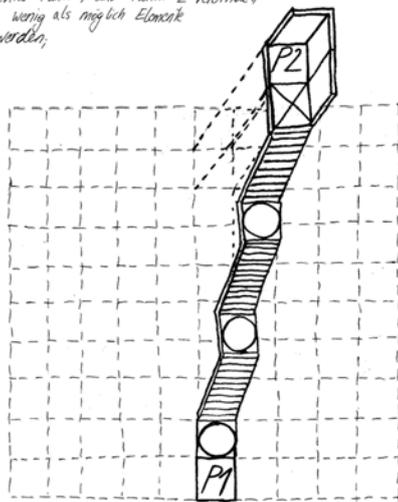
Abb. 26: Systemstabilität und Systemflexibilität

VERGLEICH DER BEISPIELE ZUR MINIMALEN UND MAXIMALEN GRENZGRÖSSE AN SYSTEMELEMENTEN

- Es gelten die Metaregeln aus Abb. 12, die Regeln zur Anordnung von Wandplatten und Stiegen, der Korrekturmechanismus sowie der nicht näher definierte Entscheidungsalgorithmus zur Wahl einer Wand- oder Stiegenposition aus mehreren Möglichkeiten;
- Die - und -Felder müssen so gesetzt werden, dass eine durchgängige Platten- und Stiegenstruktur zwischen Punkt 1 und Punkt 2 entsteht;
- ab der Position einer Stiege liegen unter allen Wandplatten auf der Ebene dieses Stiegenaustrittes Bodenplatten;

MINIMALE GRENZGRÖSSE AN SYSTEMELEMENTEN:

- die minimale Grenzgröße ist bestimmt durch die Setzungsregeln, so dass eine durchgängige zusammenhängende Platten- und Stiegenstruktur Punkt 1 und Punkt 2 verbindet wobei so wenig als möglich Elemente verwendet werden;



MAXIMALE GRENZGRÖSSE AN SYSTEMELEMENTEN:

- bestimmt durch dauerhafte zusammenhängende Platten- und Stiegenstrukturen zwischen Punkt 1 und Punkt 2 innerhalb der Rastergrenzen;
- wieviele Elemente gesetzt werden hängt ab von den Setzungsregeln, den Rastergrenzen, sowie den Entscheidungen des ALG ab;

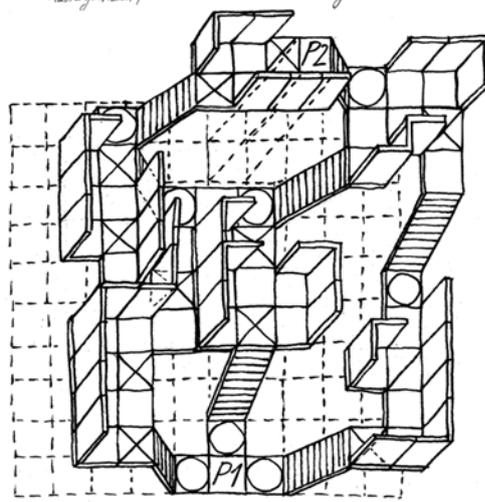


Abb. 27: Minimale und maximale Systemgrenzgrößen

Gemäß meiner bisherigen Planungserfahrung interpretiere ich, dass die Planungsregeln ein wandelbares Architekturgefüge zum Ziel haben sollen, wobei die Regeln und auch die Geschwindigkeit des Wandels flexibel, wenn nicht sogar durch das Gefüge selbst gesteuert werden sollen. Die Geschwindigkeit der Veränderung einer Architekturstruktur bestimmt in letzter Instanz, ob sich die Struktur innerhalb von menschengerechter Nutzungsstabilität transformiert. Im Zeichen der Flexibilität stehen Einfachheit und Austauschbarkeit der inneren Bestandteile von Planungsregeln auf niederer und der Bestandteile angewandter Regelwerke auf hoher Ebene. Ebenso sollen Bauteile einfach gestaltet und vielseitig einsetzbar sein.

4.5 Randbedingungen der Strukturgenerierung

Objekte, die ähnliche Form haben, können auf ähnliche Art und Weise entstanden sein und können ähnlichen Aufgaben auch ähnlich gut dienen. [8]⁶

Generative Entwurfsmethoden der Architektur können charakterisiert sein durch formbestimmende geometrische, abstrakte funktionsbestimmende (z. B.: Abhandlung von Funktionsbeziehungen in Tabellen) oder form- und daher funktionsbestimmende Parameter. Dem Architekten Siegfried Gaß zufolge sei allein die Wahl des Selbstbildungsprozesses ausschlaggebend für das Ergebnis. Analog könnte man hinzufügen, wäre es einleuchtend, dass generell die Wahl der Methode so erfolgen müsse, dass man mit dem Ergebnis zufrieden sein würde. Gaß fordert den Architekten auf, durch die Wahl eines Selbstbildungsprozesses und der entsprechenden Randbedingungen, die für das Gesamtkonzept des Entwurfs richtige Form sich 'von selbst' einstellen zu lassen.

Alle Objekte, die aus Selbstbildungsprozessen hervorgehen, haben eine minimale und eine maximale Grenzgröße, wobei die minimale Größe von der Größe der einzelnen Elemente und der Anzahl der zur Herstellung eines funktionalen Zusammenhangs erforderlichen Elemente abhängt, während die maximale Größe einer Konstruktion durch ihre Masse und den daraus resultierenden Kräften bestimmt wird. (Siegfried Gaß)

Obwohl sich Gaß in seinem Artikel auf Lastabtragungskonstruktionen bezieht, bin ich der Meinung, die minimale Grenzbedingung auch für die Generierung geometrischer Strukturen, deren Funktionalität im Vordergrund steht, übernehmen zu können (Abbildung 27). Vorerst ist die maximale Grenzgröße an zu verwendenden Strukturelementen analog zu definieren. Beide Grenzgrößen sind aber durch die Definition einer erwünschten Funktionalität einer Struktur bestimmt. Man kann, wie in Kapitel 6, eine Aussage treffen - im Vorhinein oder im Nachhinein - durch wie viele Elemente minimal und durch wie viele maximal eine Struktur als funktionierend gesehen werden soll. Umgekehrt handelt Kapitel 7 von einer Funktionalitätsbeschreibung durch Beobachtung von sich entwickelnden Strukturen und ohne Festlegung der Elementanzahl.

⁶Gaß, Siegfried; Systeme als Programm: Selbstbildungsprozesse - Betrachtungen zu Form und Entstehung natürlicher Konstruktionen, S. 60ff

Kapitel 5

Methode zur Erzeugung von Stiegenstrukturen

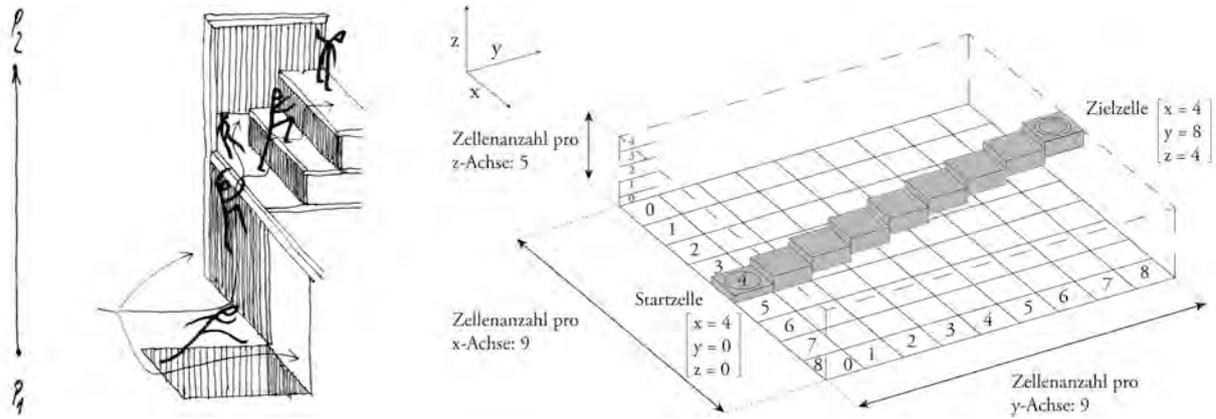


Abb. 27: Links: direkte Punktverbindung, Mitte: unterschiedliche Bewegungsmöglichkeiten, Rechts: der Systemrahmen und Bestandteile der generierten Strukturen

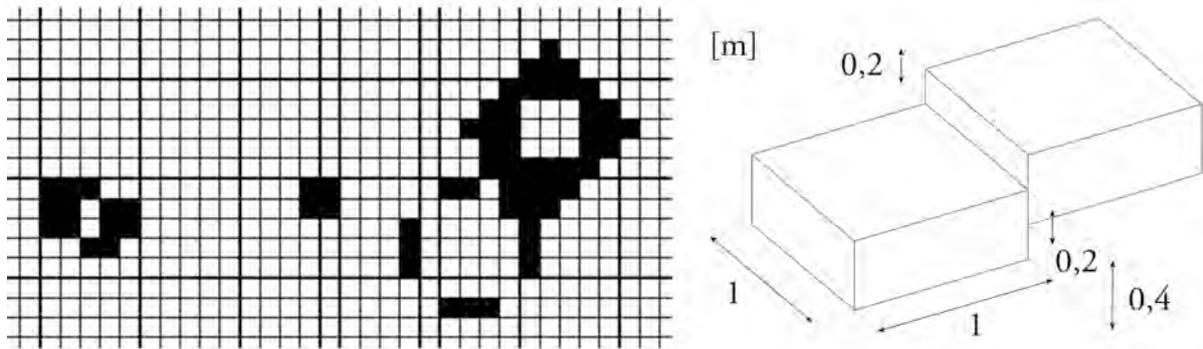


Abb. 28: Links: Ein Muster des zellulären Automaten 'Game of Life', Rechts: Dimensionen und Bezug der Bauteilzellen zueinander

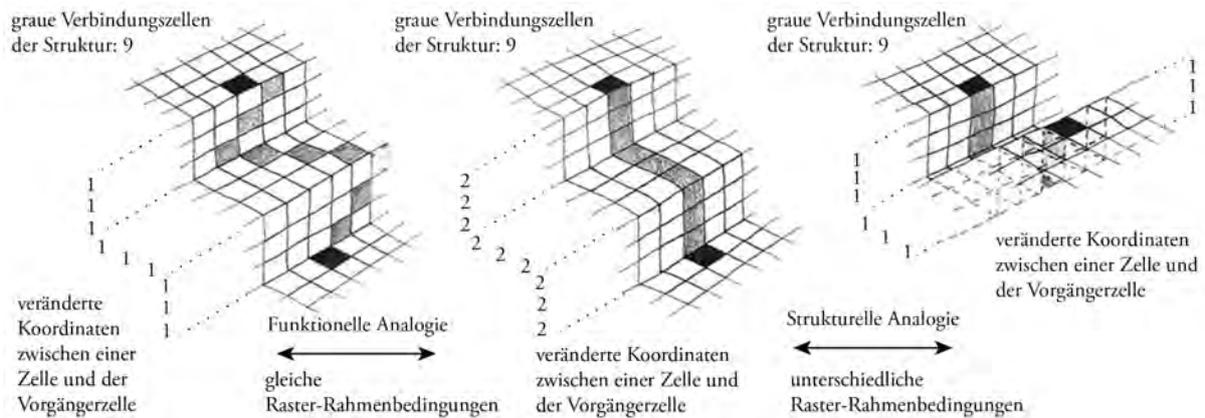


Abb. 29: Systematischer Vergleich von formalen und funktionalen Aspekten einer Struktur durch Analogiebildung

5.1 Forderung der Theorie

Herzustellen ist eine für bestimmte Menschen erschließbare Verbindung zwischen Punkten des dreidimensionalen Raumes.

Die Verbindung soll durch reale Bauteile erzeugbar sein. Daher muss der Systemrahmen und das Planungsregelwerk der Methode durch die Geometrie der Bauteile und des Raumes bestimmt sein. Es ist zu definieren, welche Bewegungsmöglichkeiten ein Mensch haben muss, um die Verbindung nutzen zu können. Jedoch kann eine zur Variantenbildung von Verbindungsstrukturen fähige Methode Bewegungseinschränkung ausgleichen.

Generell beinhaltet die Menge aller Varianten alle möglichen Lösungen (Kapitel 1.2, 1.3, 1.5.4, 4.3). Nutzungsprobleme treten durch unvorhergesehene Entwicklungen von Bedingungen und Bedürfnissen auf. Je größer die Zahl an Planungslösungen, desto höher die Wahrscheinlichkeit künftige Nutzungsprobleme zu verhindern oder diesen durch nachträgliche Strukturänderung zu begegnen. Ein systematischer Vergleich, sowohl der angewandten Methoden als auch der generierten Strukturen, muss eindeutige Entscheidungen ermöglichen (Kapitel 2, 4.2).

5.2 Ziel

Ziel ist die lückenlose Herstellung einer Verbindungsstruktur durch Bauteilgeometrien von genau einem räumlichen Startpunkt und genau einem Zielpunkt und unter bestimmten Rahmenbedingungen. Untergeordnete Ziele sind Varianten der Verbindung, unerwartete Strukturen für Außenstehende und mit der Regelsystematik Vertraute zu erschaffen.

5.3 EAG 3

Der Element-Arrangierungs-Generator 3 (EAG 3) ist ein zur Erschaffung von Stufensystemen in der Programmiersprache Python für Rhinoceros 5 geschriebenes Script. Benutzereingaben und festgelegten Regeln innerhalb des Systemrahmens gehorchend, berechnet das Script Strukturen aus zusammenhängenden Quadern. Diese werden, dem allgemeinen System der zellulären Automaten folgend, als Zellen definiert und in der architektonischen Funktionstheorie als Stufen gesehen. Allen zellulären Automaten gemein ist ihre Struktur aus diskreten geometrischen Rasterfeldern, die ihren für den jeweiligen Automaten spezifischen Status verändern können.

5.4 Rahmen

Die geometrischen Rahmenbedingungen der Methode bestehen aus zwei endlichen Rastern. Einem zweidimensionalen bestehend aus Quadraten, den Eingabezellen, und einem dreidimensionalen, in dem die Quaderzellen generiert werden. Der 2D-Raster bildet die Grundfläche des 3D-Rasters. Für beide Zellarten gilt, dass die Seitenlänge ihrer quadratischen Flächen einmal vom Benutzer bestimmt werden. Die Quaderhöhe beträgt zwei Fünftel der Seitenlänge. Ich habe dieses Verhältnis gewählt, weil sich bei einer komfortablen Auftrittsfläche von 1 x 1 m eine Zellhöhe von 0,4 m ergibt.

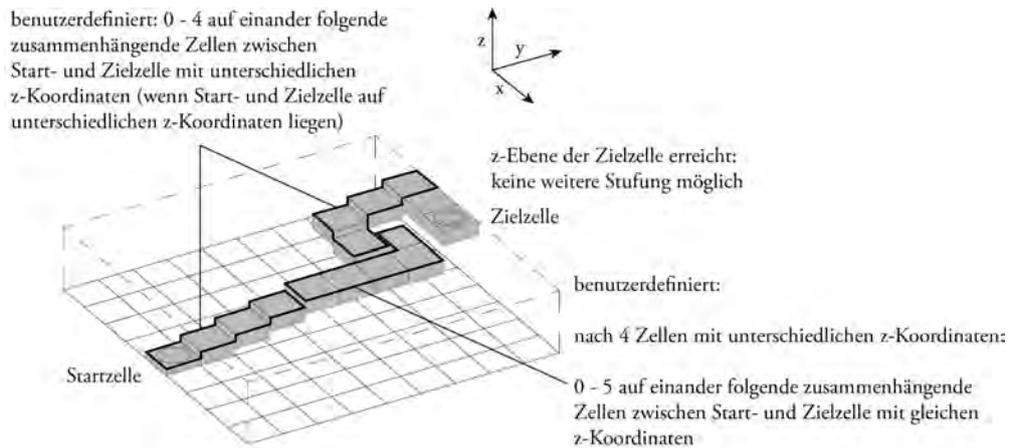


Abb. 30: Der Benutzer bestimmt wann eine Stufe und wann ein Podest gebaut wird

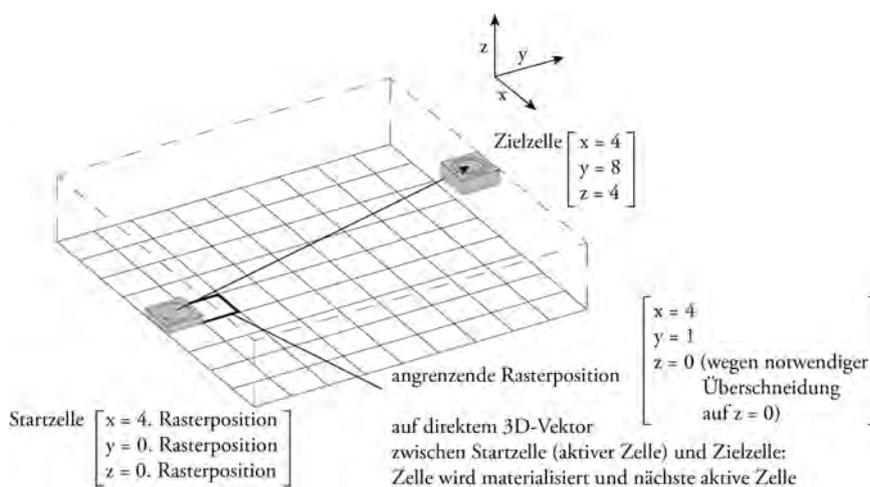


Abb. 31: Berechnung des direkten Weges von aktiver Zelle zu Zielzelle durch Koordinatenvergleich

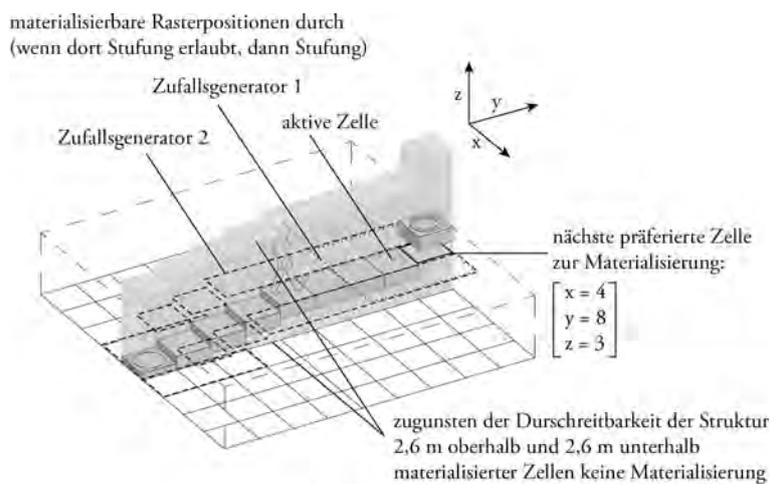


Abb. 32: Nicht materialisierbare Bereiche und Auswege durch Zufallsgeneratoren

Zugunsten der materiellen Verbundenheit der Zellen muss jede Zelle mit zumindest einer anderen über eine ganze oder halbe Seitenfläche verbunden sein. Das ergibt bei vertikal versetzten Zellen - also Stufen - eine steigbare Stufenhöhe von 0,2 m.

Der Benutzer definiert nach wie vielen vertikal versetzten aufeinander folgenden Zellen eine auf derselben Ebene wie die vorherige materialisiert werden muss. Ebenso bestimmt er nach wie vielen auf derselben Ebene liegenden Zellen wieder eine gestufte Struktur beginnt.

Von ihm werden die Rastergrenzen durch die Anzahl der generierbaren Zellen pro Achse festgelegt. Anschließend verlangt das Script vom Benutzer die Wahl einer oder mehrerer Startzellen per Mausklick. Ebenso muss er eine Zielzelle durch Klick auf eine Eingabezelle und Angabe einer Höhenposition festlegen. Das Script startet die Strukturgenerierung.

Ich sehe Segmentierung, Modularisierung und Zerlegung eines Komplexes in Einzelteile in allen Bereichen der dem Menschen bekannten Realität als wirksamstes Element des Schaffens und Entstehens. Genauer soll die Verbindungsstruktur zwischen Raumpunkten aus Segmenten, den Zellen, bestehen, damit umgekehrt geometrisch einfache oder komplexe Strukturvarianten aus einfachen geometrischen Bestandteilen entstehen.

5.5 Regelwerk

Ebenfalls als einfache Module sind die Regeln zu verstehen. Sie folgen einem übergeordneten Regelwerk, sind einander mehr oder weniger ähnlich in ihrer Formulierung und Wirkung und sind grenzenlos erweiterbar. Sinn einer Regel beurteilen Methodikentwickler und Benutzer.

- Anfangs wird jede Startzelle materialisiert und damit zu einer aktiven Zelle.
- Sind mehrere Startzellen gegeben, führt das Script für jede den folgenden Vorgang aus.
- Das Script ist erfolgreich und beendet die Berechnung, wenn eine zusammenhängende Zellstruktur zwischen Start- und Zielzelle generiert worden ist.
- Durch die Nachbarschaftsberechnung werden die Koordinaten der aktiven Zelle und die der Zielzelle verglichen.
- Unterscheiden sich die X- oder Y-Koordinaten, wird auf direktem dreidimensionalen Weg auf einer an die aktive Zelle angrenzende Zelle materialisiert.
- Eine Stufung entsteht, wenn die Nachbarzelle gemäß vorherigem Punkt vertikal näher an der Zielzelle materialisiert werden muss als es die aktive Zelle ist.
- Die Legalität der Zellmaterialisierung wird durch die Materialisierungsregeln überprüft:
 - Die gewählte Zelle darf noch nicht materialisiert sein.
 - Zugunsten der Durchschreitbarkeit der Struktur besteht Materialisierungsverbot für auf die 7 Zellpositionen vertikal oberhalb und unterhalb materialisierter Zellen oder der Zielzelle.
 - Es dürfen nur Zellen innerhalb der Rastergrenzen materialisiert werden.

- Wenn die ausgewählte Rasterposition durch die Materialisierungsregeln nicht bestückt werden darf, wird der erste Python Zufallsgenerator zur Wahl eines neuen Zellnachbarn gestartet. Eine festzulegende Anzahl an Versuchen wird eine der Nachbarzellen der aktiven Zelle auf Materialisierbarkeit überprüft. Ist eine Nachbarzelle materialisierbar, dann wird sie materialisiert, wird damit zur nächsten aktiven Zelle und die Nachbarschaftsberechnung für sie gestartet.
- Ist keine der direkten Nachbarzellen materialisierbar, so wird der zweite Python Zufallsgenerator gestartet. Das Script wählt eine bereits materialisierte Zelle aus, deren Nachbarschaft auf Materialisierbarkeit untersucht wird. Das Script wählt so lange eine bereits materialisierte Zelle für diese Prozedur aus, bis eine Zelle materialisiert werden konnte oder eine festzulegende Obergrenze an Versuchen erreicht worden ist.
- Das Script bricht die Berechnung erfolglos ab, wenn die Obergrenzen des zweiten Zufallsgenerators erreicht oder ein Viertel der Zellen auf Höhe der Zielzelle materialisiert worden sind. Es ist unwahrscheinlich, dass die restlichen Zellpositionen auf der Zielzellenebene einen Weg ermöglichen, da erfahrungsgemäß viele von ihnen innerhalb des nicht materialisierbaren Bereichs oberhalb einer materialisierten Zelle liegen. Bei mehreren Startzellen hat der Misserfolg einer einzigen Weggenerierung den Abbruch der gesamten Berechnung zur Folge. Dies passiert im Allgemeinen nur, wenn die anderen aktiven Zellen auch nur wenig Aussicht auf Erfolg besitzen.

Kapitel 6

Betrachtung der Generierungsergebnisse

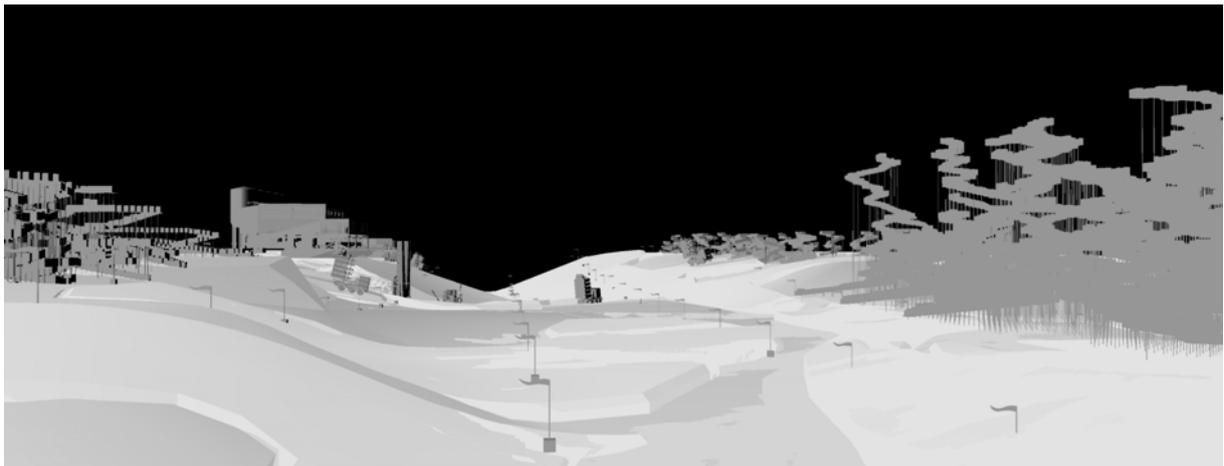


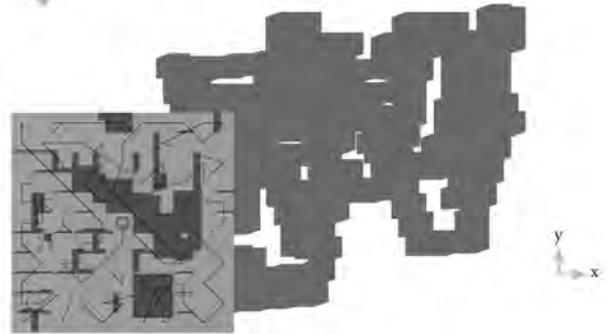
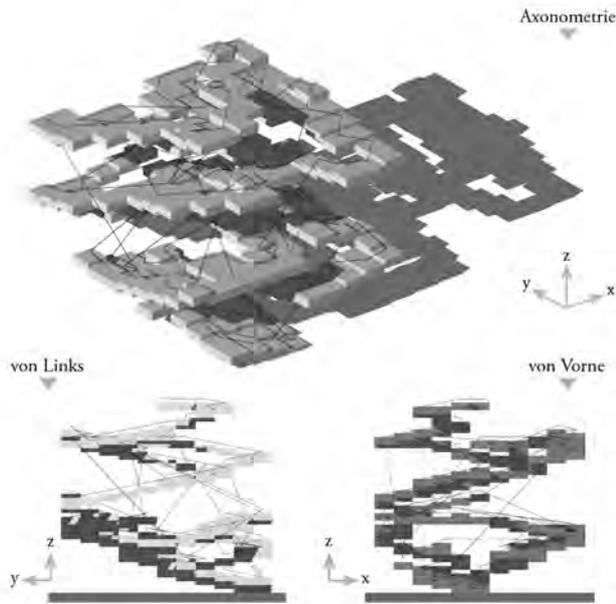
Abb.33: Stiegenstrukturen erwarten ihre Funktionalitätsuntersuchung auf der Deponie.

Bei Nacht.

Im Winter.

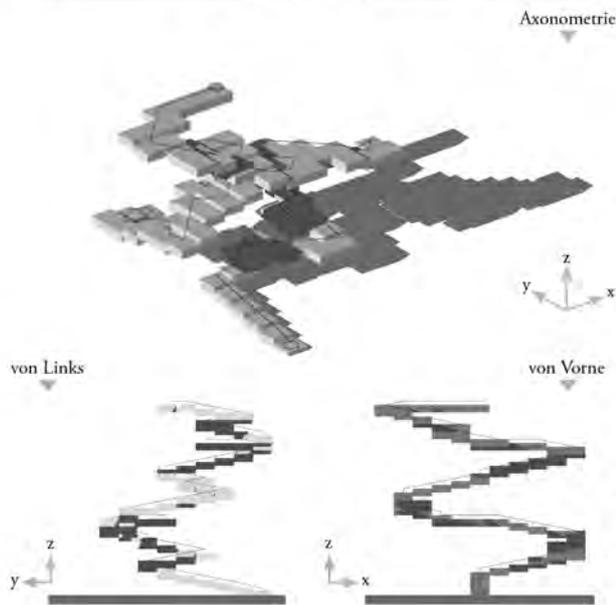
6.1 Generierte Stiegenarchitekturen

- Zellengröße = Auftrittfläche 1 x 1 m, Zellhöhe 0,4 m; zusammenhängender Stufenversatz bringt für den Benutzer zu steigende Stufenhöhe von 0,2 m;
- Experimentfeldgröße 41 x 41 m Grundfläche; geplante Höhe zwischen 0 und 40 m;
- 30 aus 220 möglichen Experimentfelder für 3 Stiegenexperiment szenarios auf Hochplateaus und für Deponiefahrzeuge erschliessbar ausgewählt;
- Generierungsexperimente 1.1 - 1.18 : Varianten an Strukturen bei gleichen Bedingungen
 - Potentielle Zellen auf x-Achse: 10, auf y-Achse: 10, auf z-Achse: 50
 - potentielle Strukturgröße: 10 x 10 x 10 m
 - erlaubte Zellenzahl hintereinander vertikal versetzt (Stufenzellen): 18
 - erlaubte Zellenzahl hintereinander auf selber Ebene (Podestzellen): 5
 - Startzelle: [5, 0, 0]
 - Zielzelle: [5, 5, 49]
- Generierungsszenario 2.1 - 2.7: Große Zahl an Verbindungskreuzungen (Rahmenbedingungen in den Detailbetrachtungen auf den folgenden Seiten angeführt)
- Generierungsszenario 3.1 - 3.8: Dominanz der durch Stiegen verbundenen Ebenen (Rahmenbedingungen in den Detailbetrachtungen auf den folgenden Seiten angeführt)



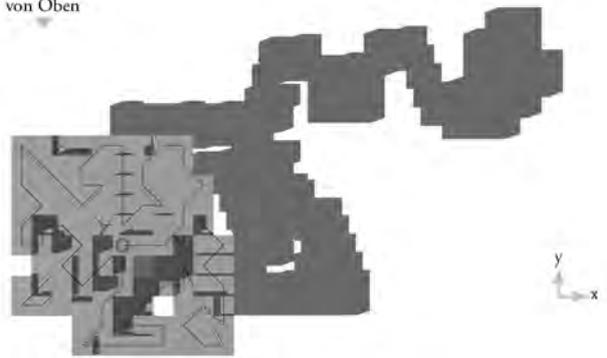
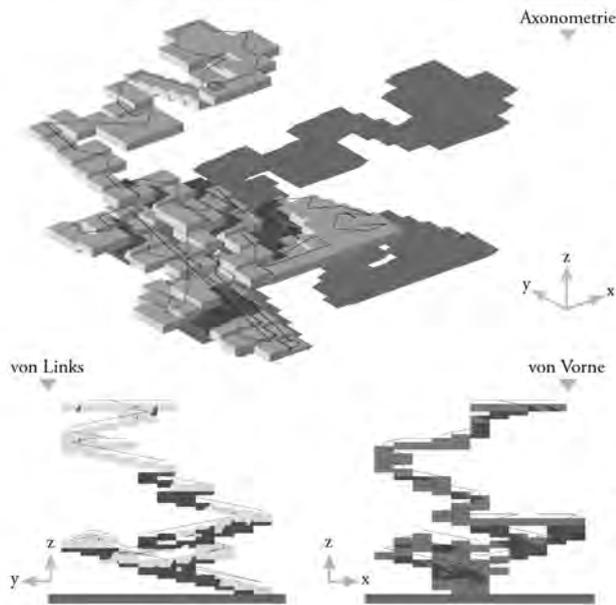
Generierungsexperiment 1.1 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 230
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 66
Podestzellen	: 30
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 5
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 88 und 25



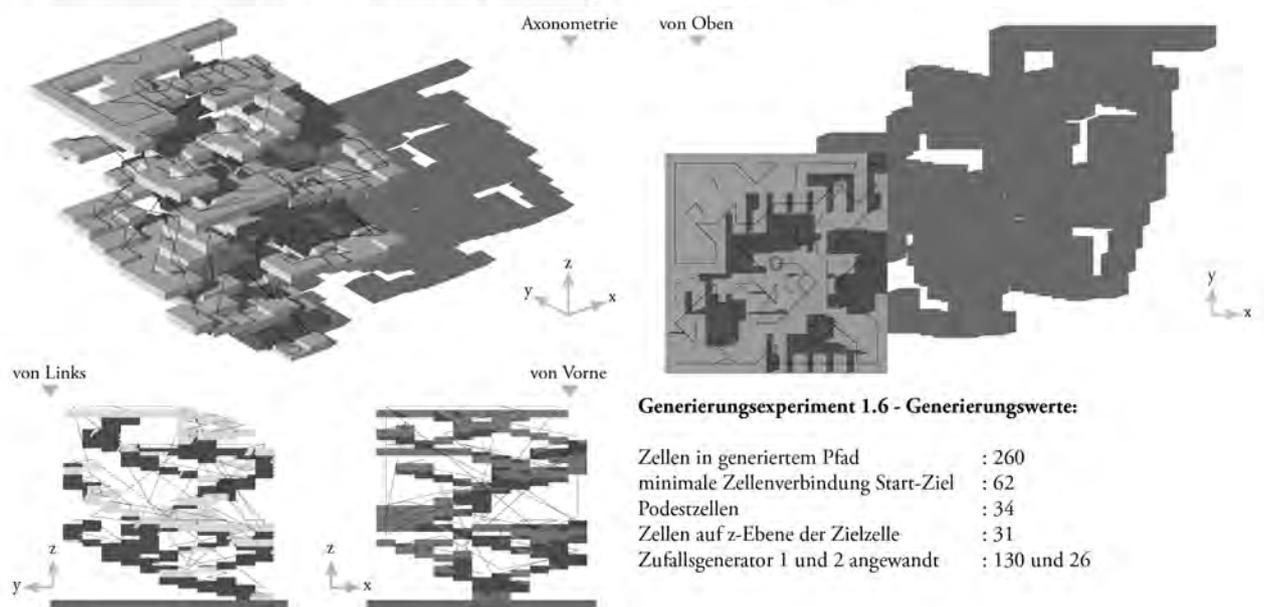
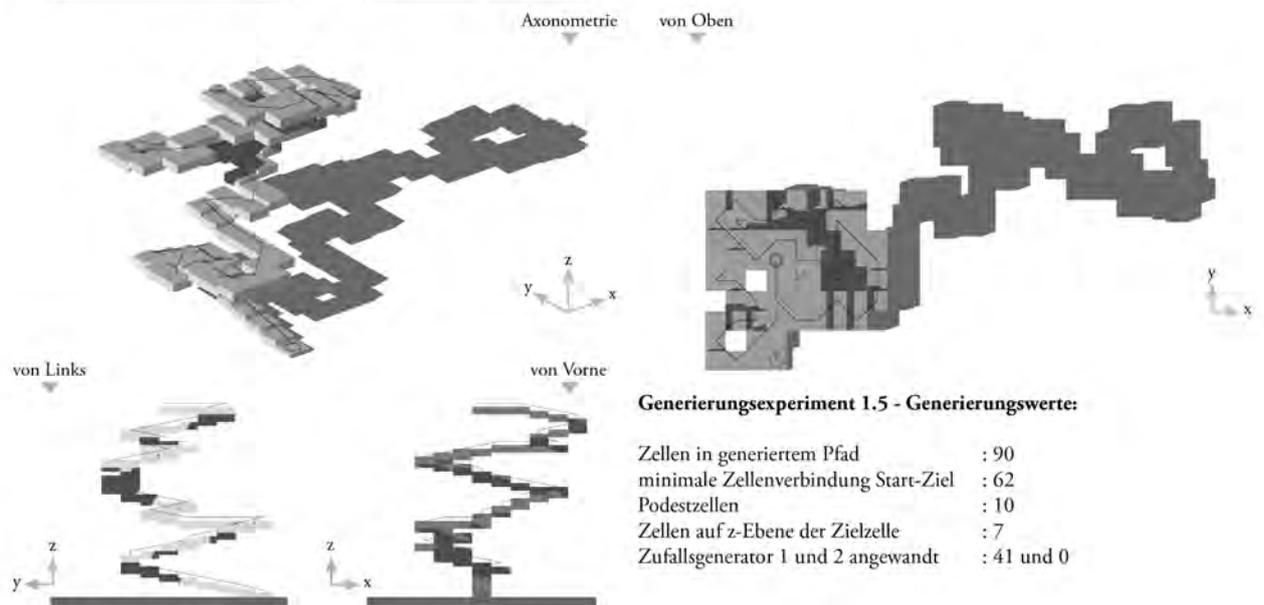
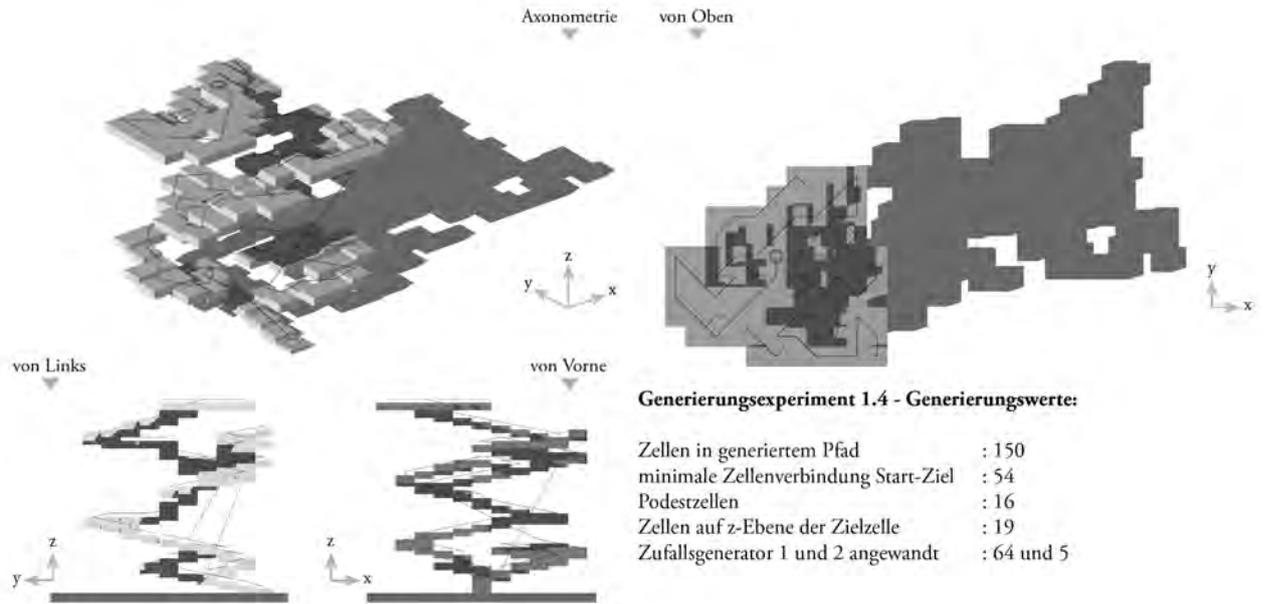
Generierungsexperiment 1.2 - Generierungswerte:

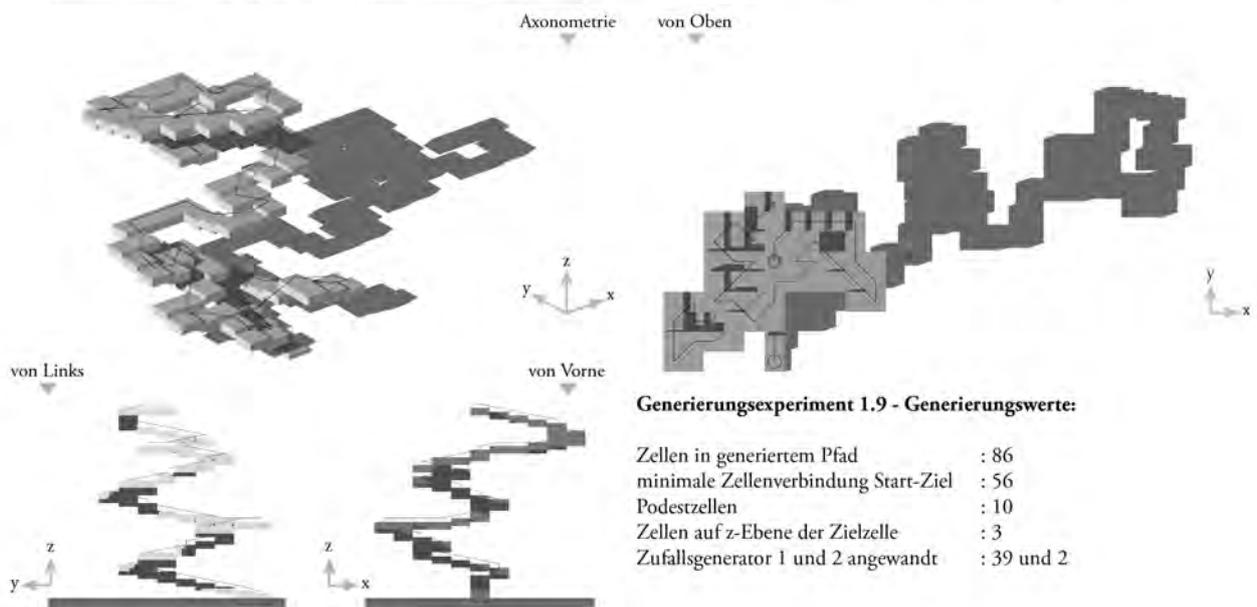
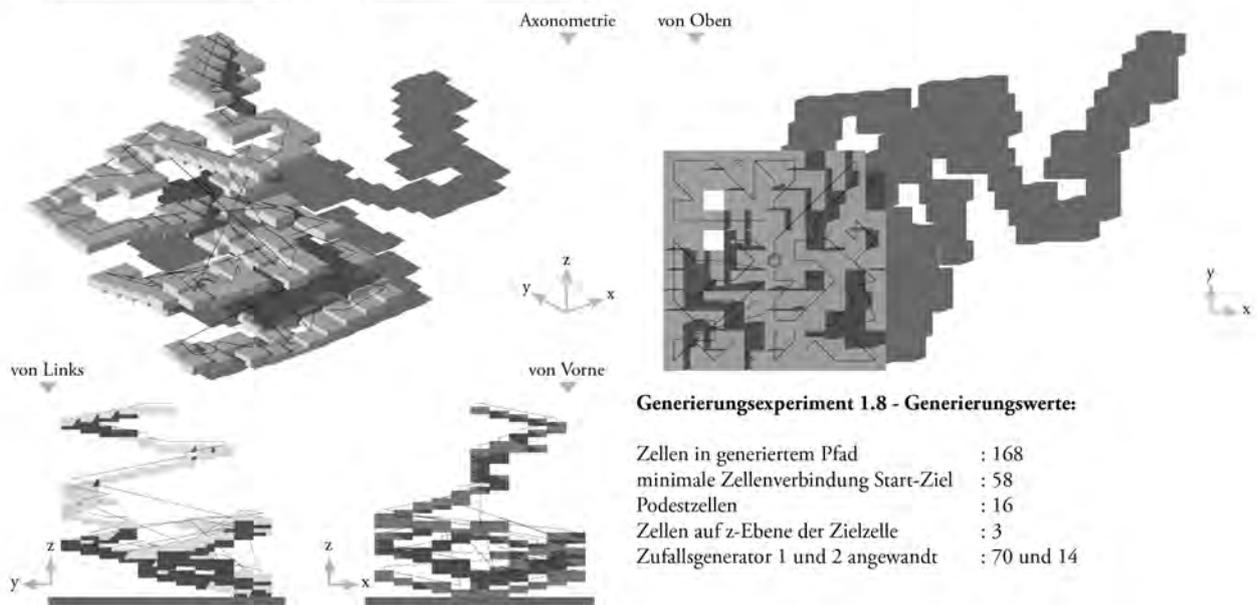
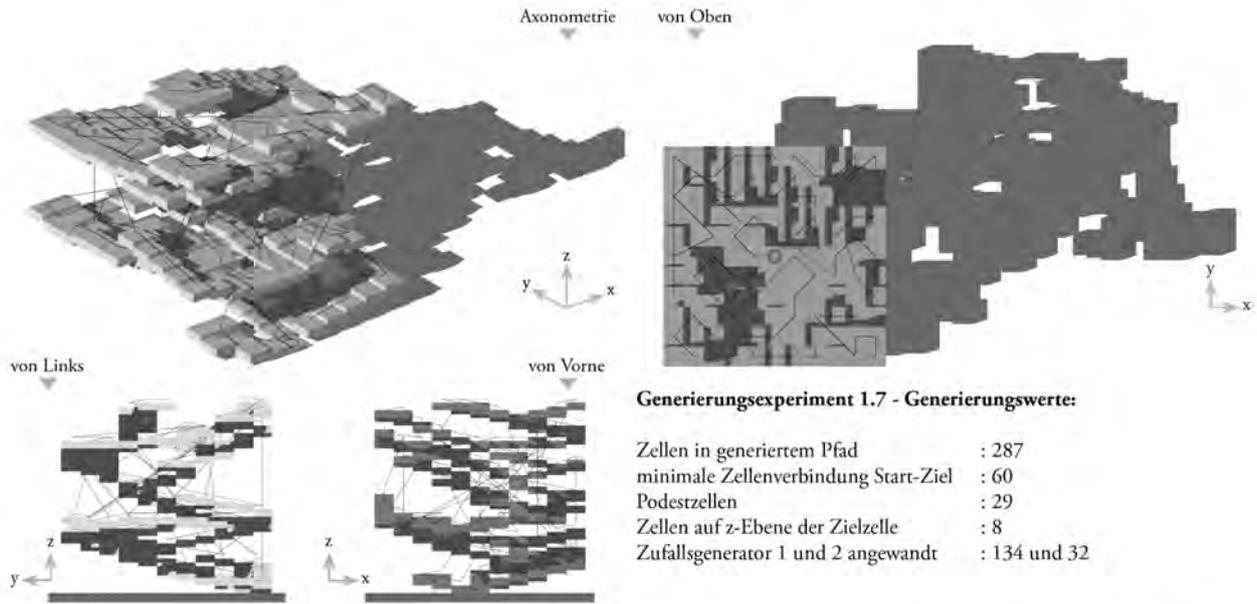
Zellen in generiertem Pfad	: 97
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 66
Podestzellen	: 10
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 7
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 38 und 0

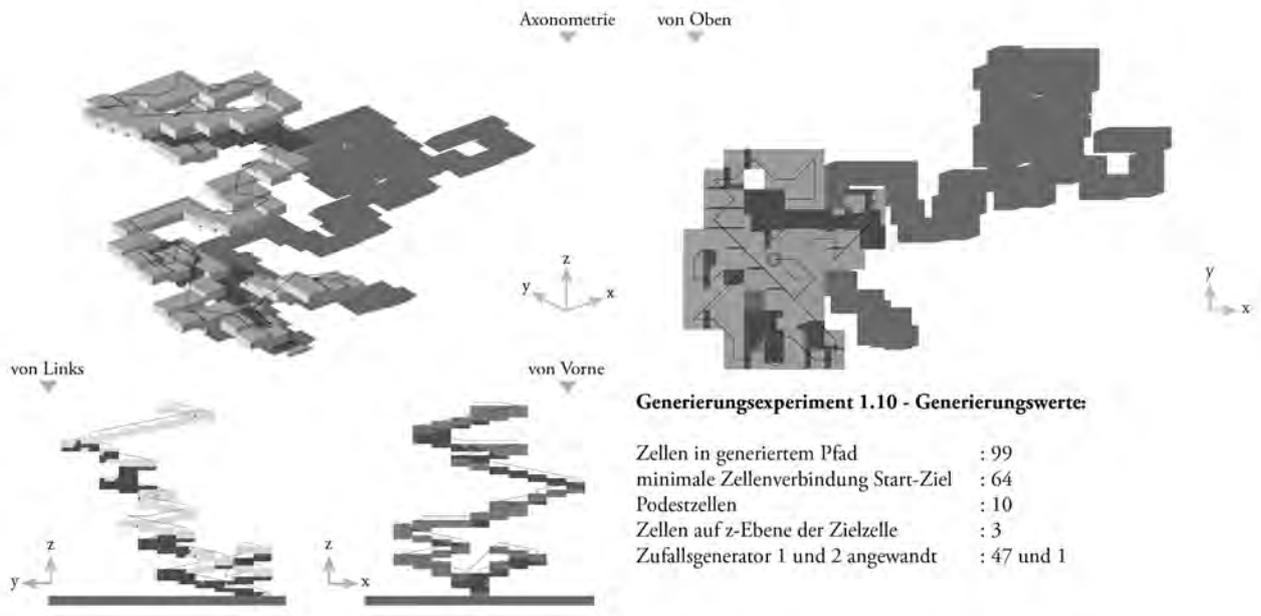


Generierungsexperiment 1.3 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 156
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 48
Podestzellen	: 16
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 16
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 73 und 5

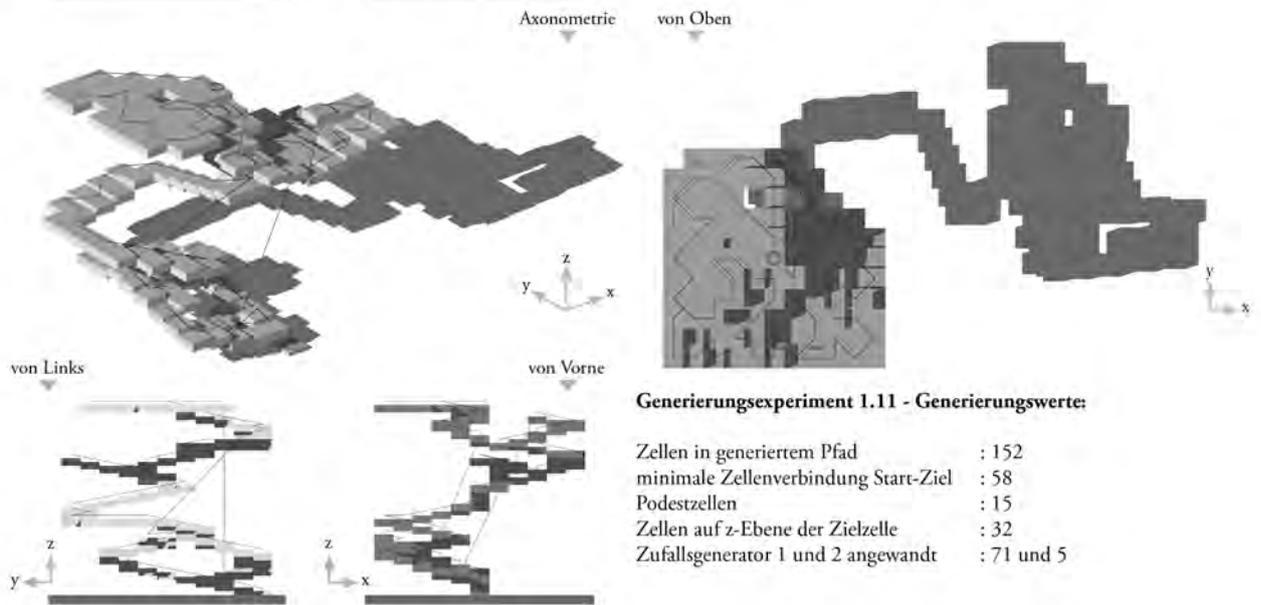






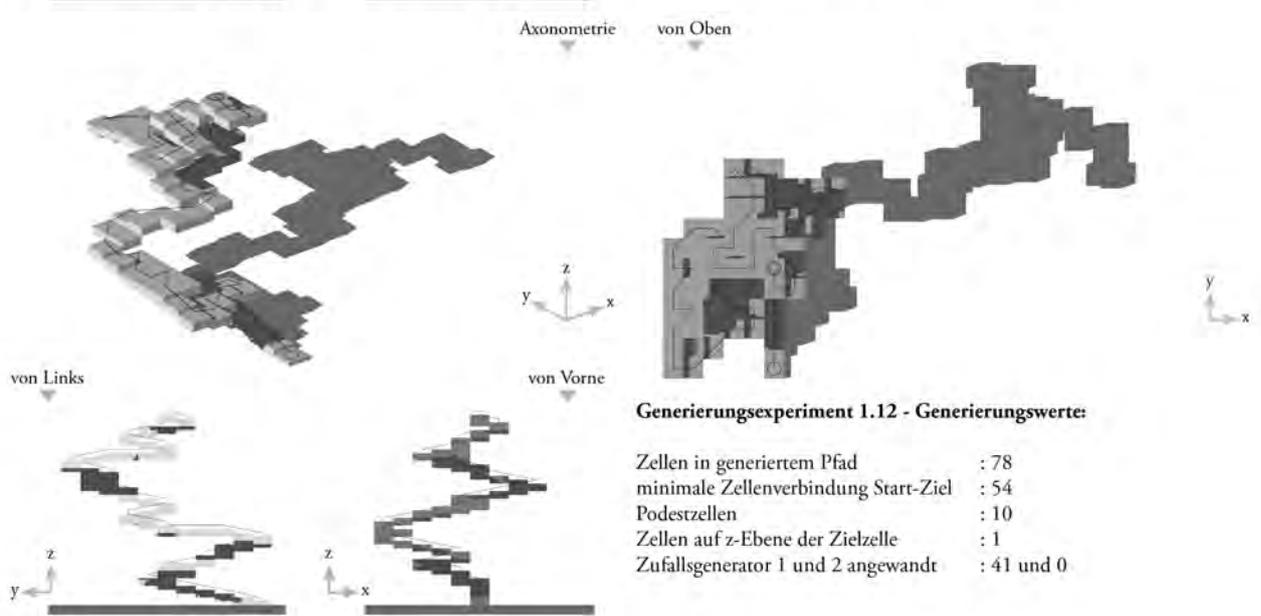
Generierungsexperiment 1.10 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 99
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 64
Podestzellen	: 10
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 3
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 47 und 1



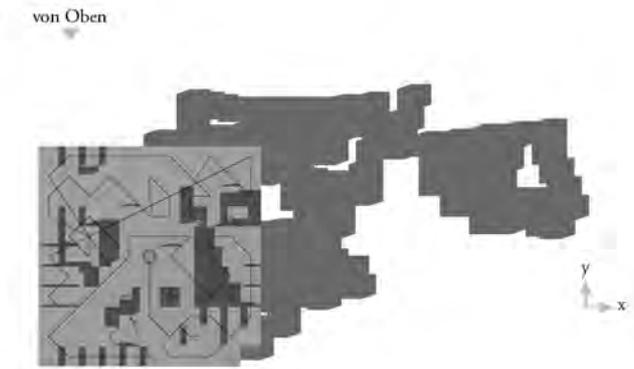
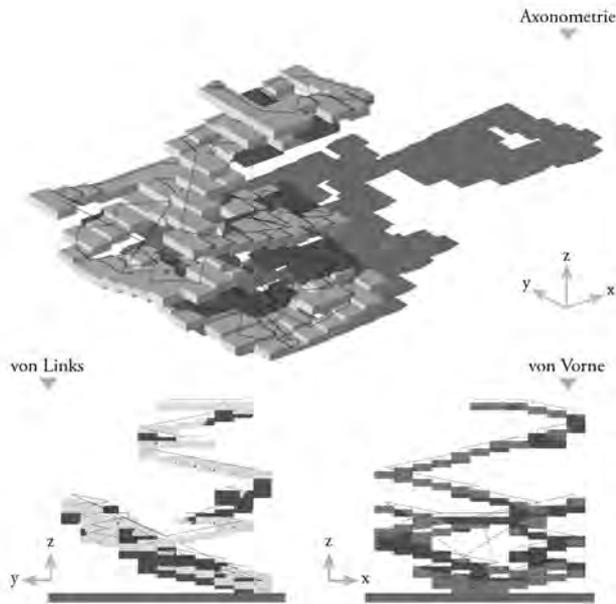
Generierungsexperiment 1.11 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 152
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 58
Podestzellen	: 15
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 32
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 71 und 5



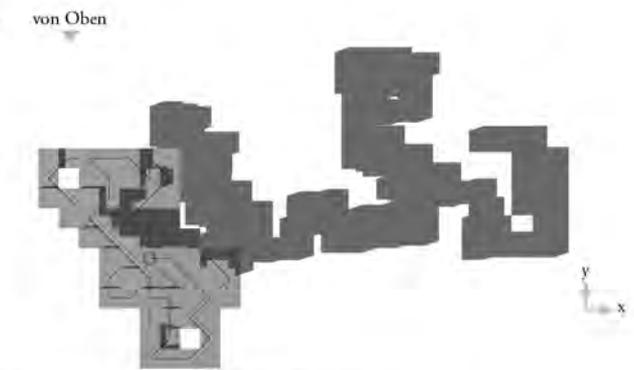
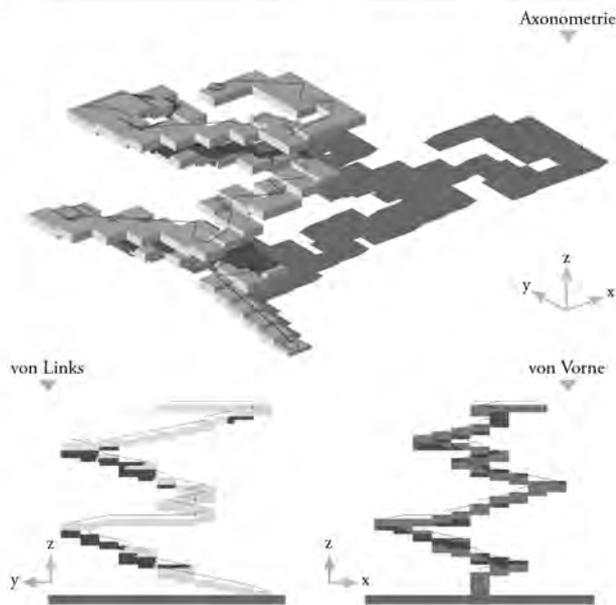
Generierungsexperiment 1.12 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 78
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 54
Podestzellen	: 10
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 1
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 41 und 0



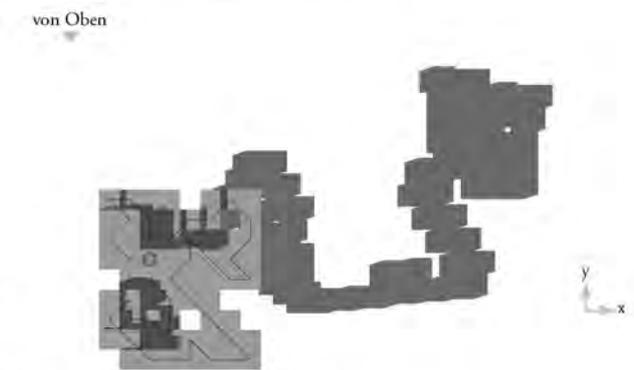
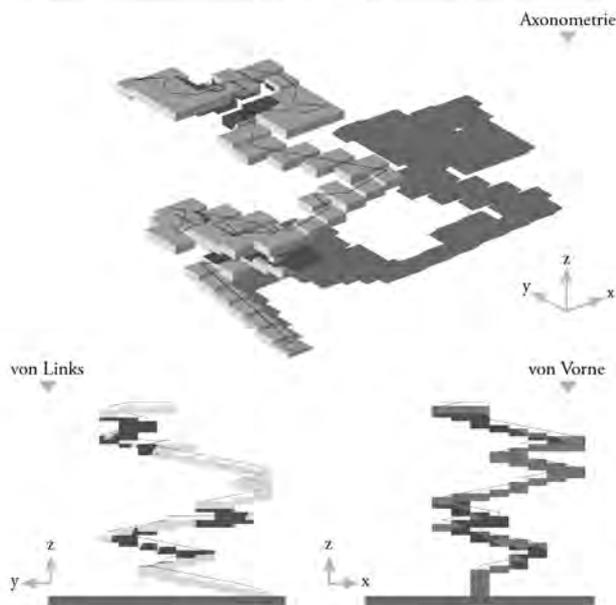
Generierungsexperiment 1.13 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 179
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 60
Podestzellen	: 19
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 8
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 81 und 7



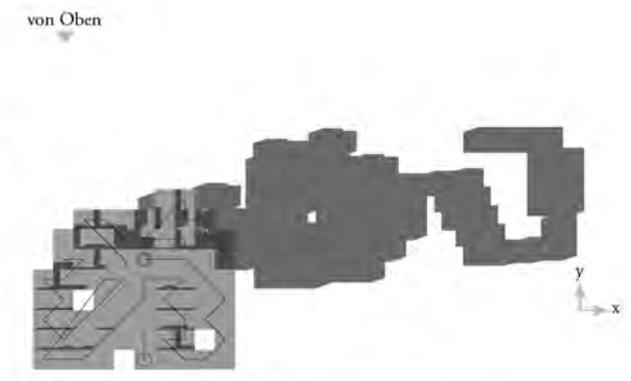
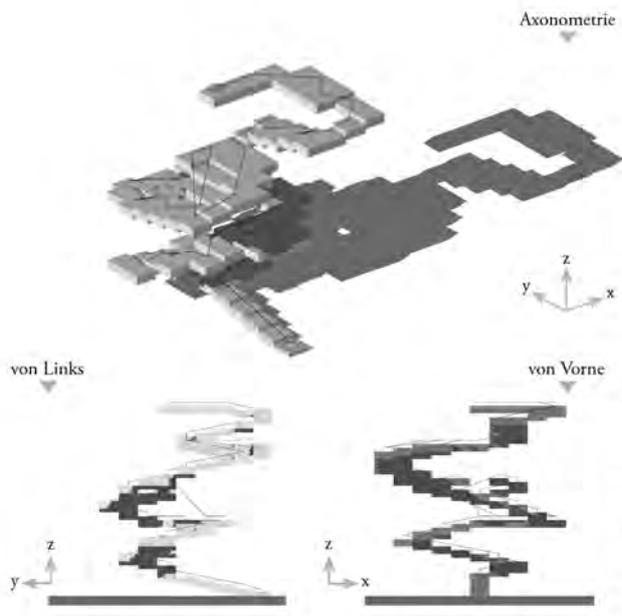
Generierungsexperiment 1.14 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 102
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 72
Podestzellen	: 10
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 13
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 41 und 0



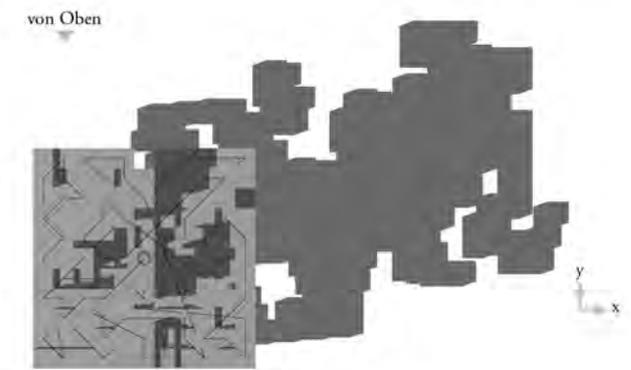
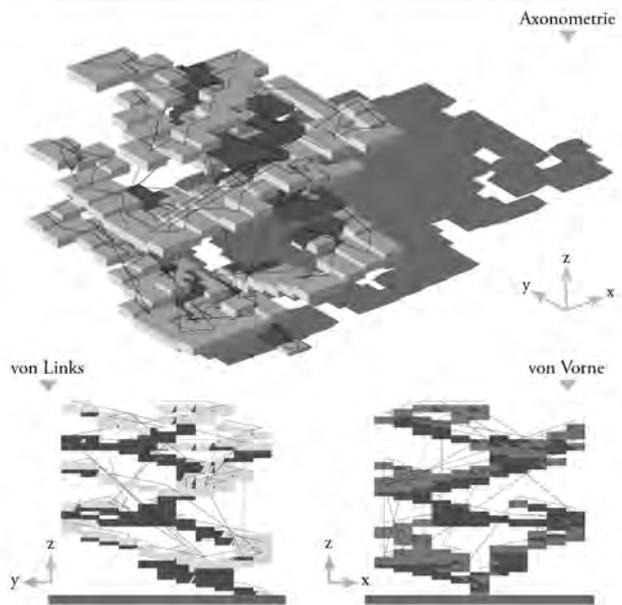
Generierungsexperiment 1.15 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 90
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 58
Podestzellen	: 10
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 7
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 42 und 0



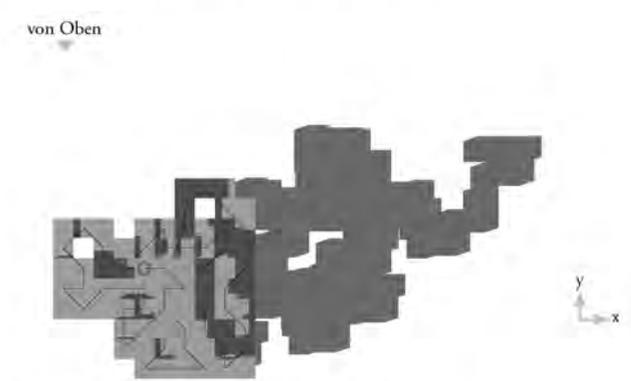
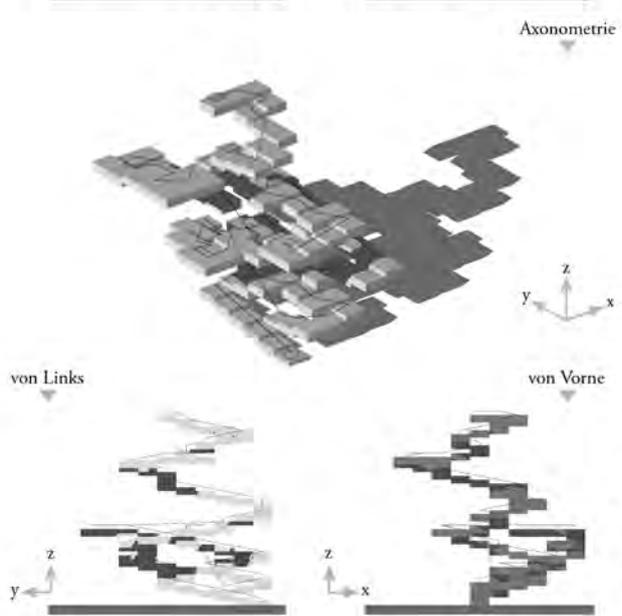
Generierungsexperiment 1.16 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 112
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 58
Podestzellen	: 16
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 10
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 46 und 4



Generierungsexperiment 1.17 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 241
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 50
Podestzellen	: 30
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 12
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 112 und 17



Generierungsexperiment 1.18 - Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 110
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 54
Podestzellen	: 14
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 3
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 55 und 3

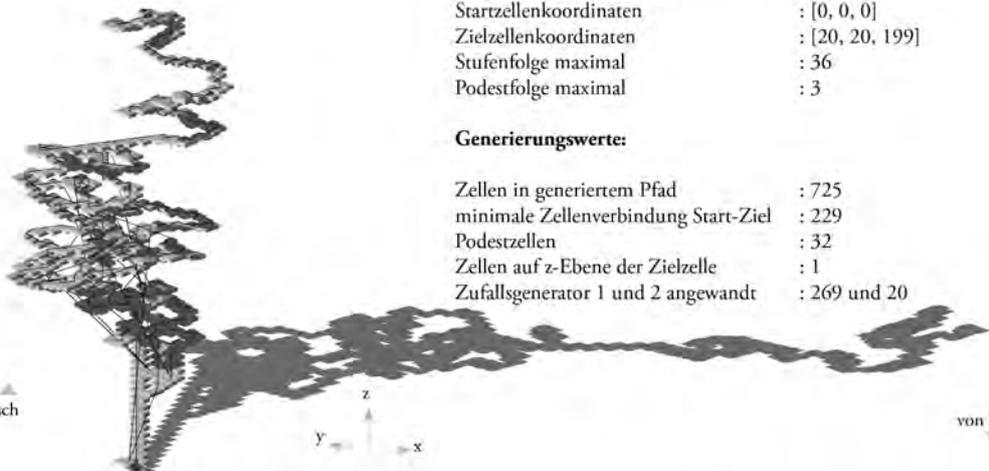
Experiment-Rahmenbedingungen 2.1:

Zellengröße	: 1m × 1m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 41, y: 41, z: 200
Startzellenkoordinaten	: [0, 0, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 199]
Stufenfolge maximal	: 36
Podestfolge maximal	: 3

Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 725
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 229
Podestzellen	: 32
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 1
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 269 und 20

Axonometrie mit chronologisch
erstellter Generierungslinie

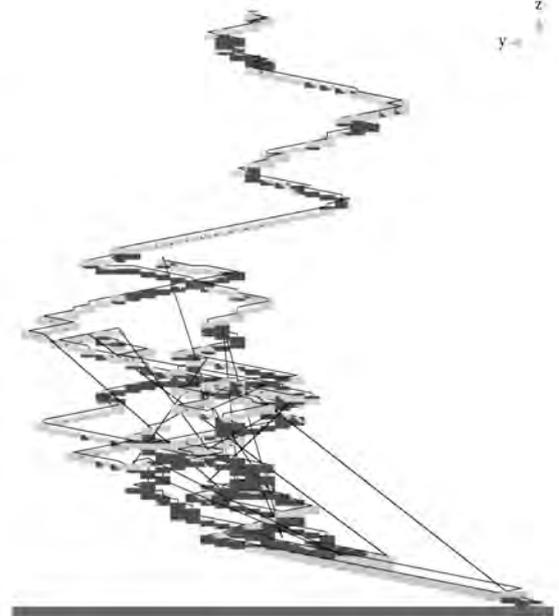


von Links

Axonometrie mit Balustraden und Säulen

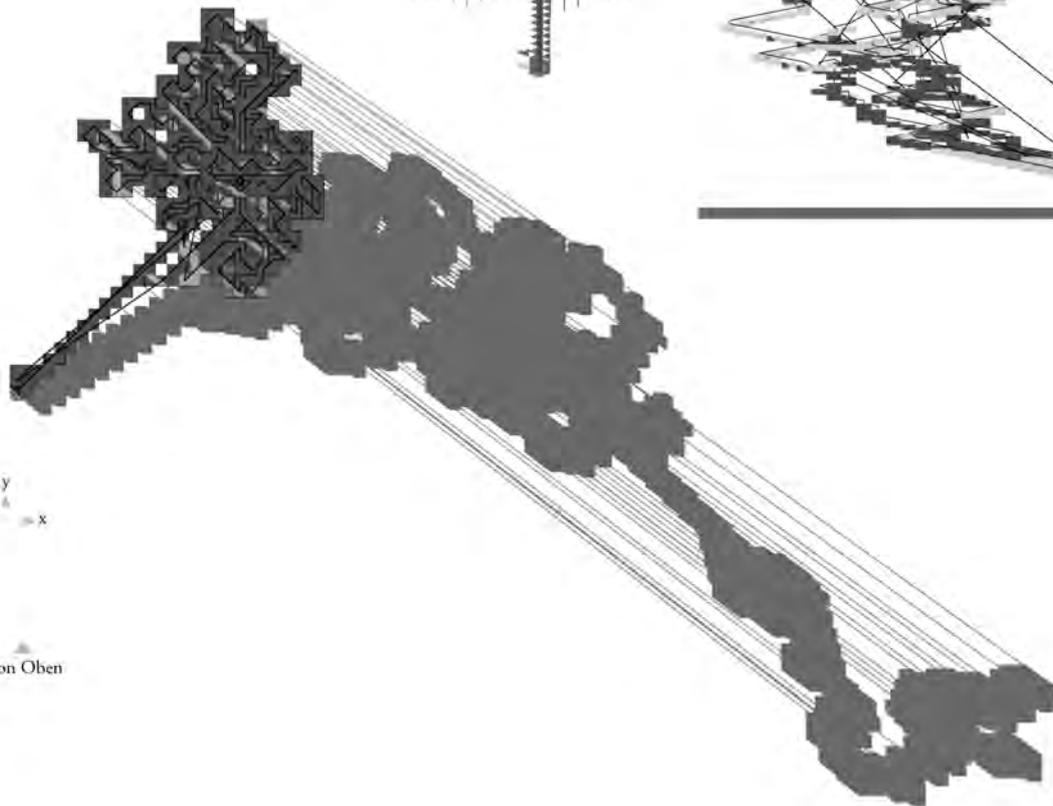


z
y



y
x

von Oben

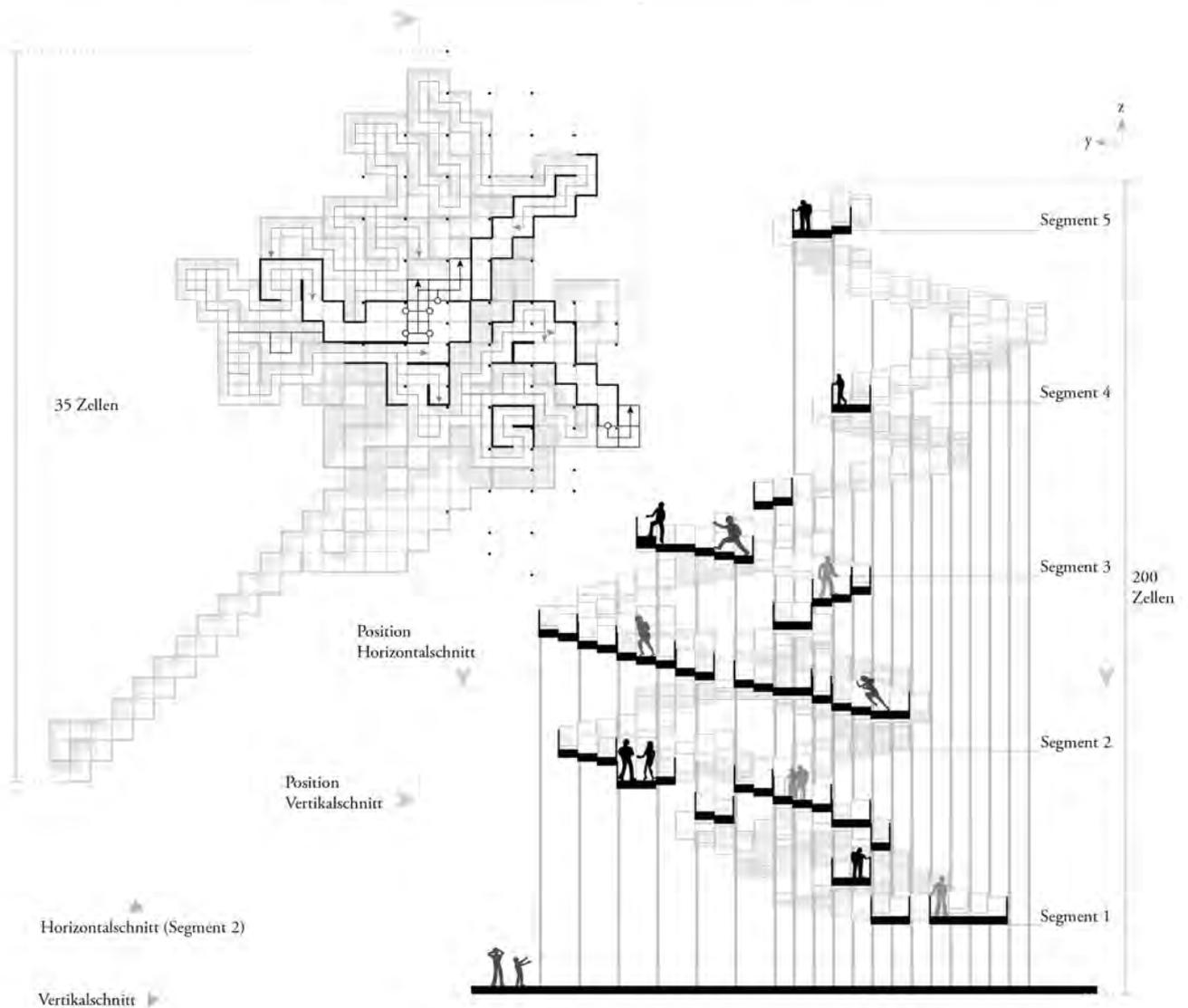


Generierungsexperiment 2.1

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum Str_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum Str_{ges}}{\sum V_{ges}} : \frac{U}{A} = F$
	ansteigend $\sum V_{an}$	Stufenanzahl $\sum Str_{an}$	absteigend $\sum V_{ab}$	Stufenanzahl $\sum Str_{ab}$						
5	2	14	2	58	10	4	1,0	2,5	18,0	$18,0 : 2,5 = 7,2$
4	1	58	1	68	10	4	2,0	2,5	63,0	$63,0 : 2,5 = 25,2$
3	2	68	4	140	18	8	1,3	2,3	34,7	$34,7 : 2,3 = 15,1$
2	5	140	9	243	34	21	1,5	1,6	27,4	$27,4 : 1,6 = 17,1$
1	5	243	4	144	32	14	1,5	2,3	43,0	$43,0 : 2,3 = 18,7$
Strukturwert =										83,3

28 Zellen



Experiment-Rahmenbedingungen 2.2:

Zellengröße	: 1m × 1m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 41, y: 41, z: 200
Startzellenkoordinaten	: [0, 0, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 199]
Stufenfolge maximal	: 36
Podestfolge maximal	: 10

Generierungswerte:

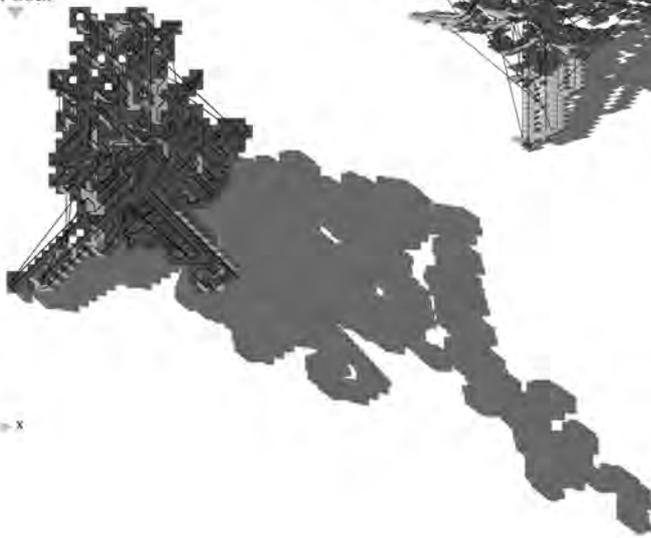
Zellen in generiertem Pfad	: 1602
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 311
Podestzellen	: 183
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 3
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 587 und 86



Axonometrie mit Balustraden und Säulen
Axonometrie mit chronologisch
erstellter Generierungslinie



von Oben



y
x

von Links



z
y

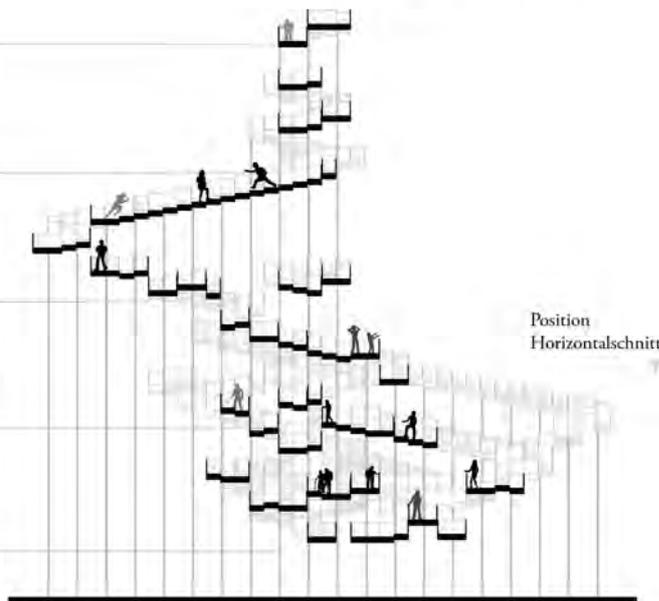
Segment 5

Segment 4

Segment 3

Segment 2

Segment 1



Vertikalschnitt

z
y

200 Zellen

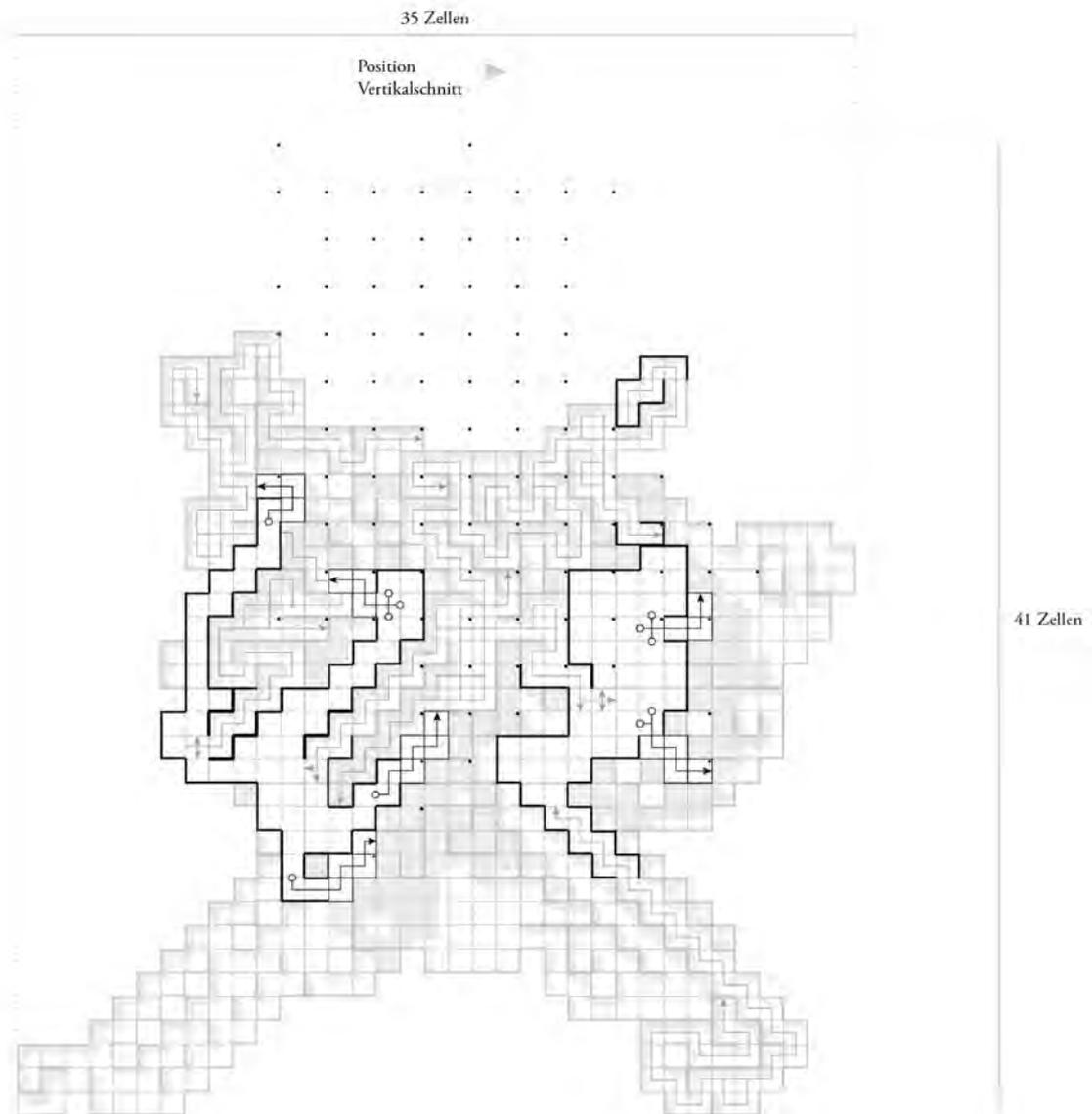
Position
Horizontalschnitt

Generierungsexperiment 2.2

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} : \frac{U}{A} = F$
	ansteigend	Stufenanzahl	absteigend	Stufenanzahl						
	$\sum V_{an}$	$\sum St_{an}$	$\sum V_{ab}$	$\sum St_{ab}$						
5	2	17	1	55	18	13	4,3	1,4	24,0	$24,0 : 1,4 = 17,1$
4	1	55	2	155	16	12	4,0	1,3	70,0	$70,0 : 1,3 = 53,8$
3	3	155	5	304	48	34	4,25	1,4	57,4	$57,4 : 1,4 = 41,0$
2	8	304	8	506	134	93	5,8	1,4	50,6	$50,6 : 1,4 = 36,1$
1	17	506	9	282	206	128	4,6	1,6	28,1	$28,1 : 1,6 = 17,6$
Strukturfunktionswert =										165,6

Horizontalschnitt (Segment 2)



Experiment-Rahmenbedingungen 2.3:

Zellengröße	: 1m × 1m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 41, y: 41, z: 200
Startzellenkoordinaten	: [0, 0, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 199]
Stufenfolge maximal	: 36
Podestfolge maximal	: 41

Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 2906
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 301
Podestzellen	: 656
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 2
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 1099 und 181



Axonometrie mit Balustraden und Säulen

Axonometrie mit chronologisch erstellter Generierungslinie

von Oben

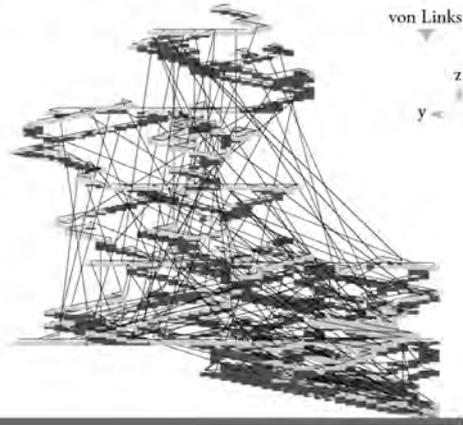


y
x



z
y
x

von Links



z
y

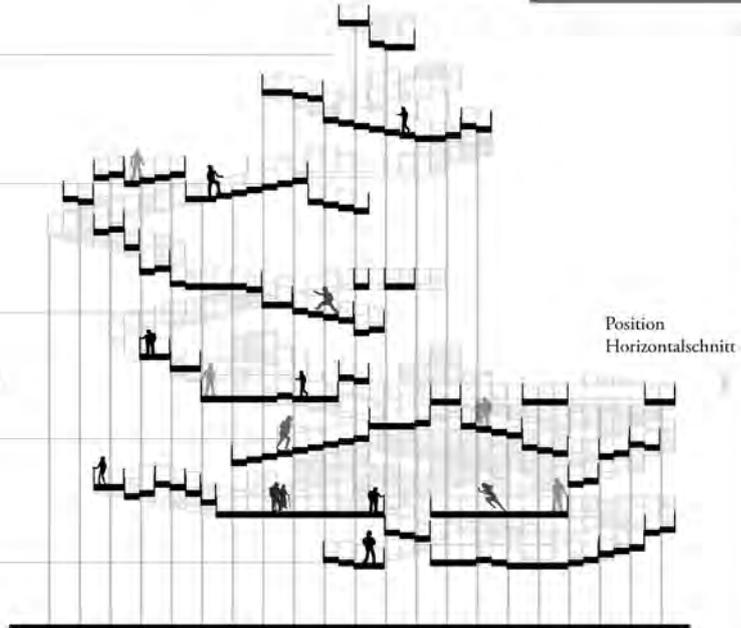
Segment 5

Segment 4

Segment 3

Segment 2

Segment 1



Vertikalschnitt

z
y

Position
Horizontalschnitt

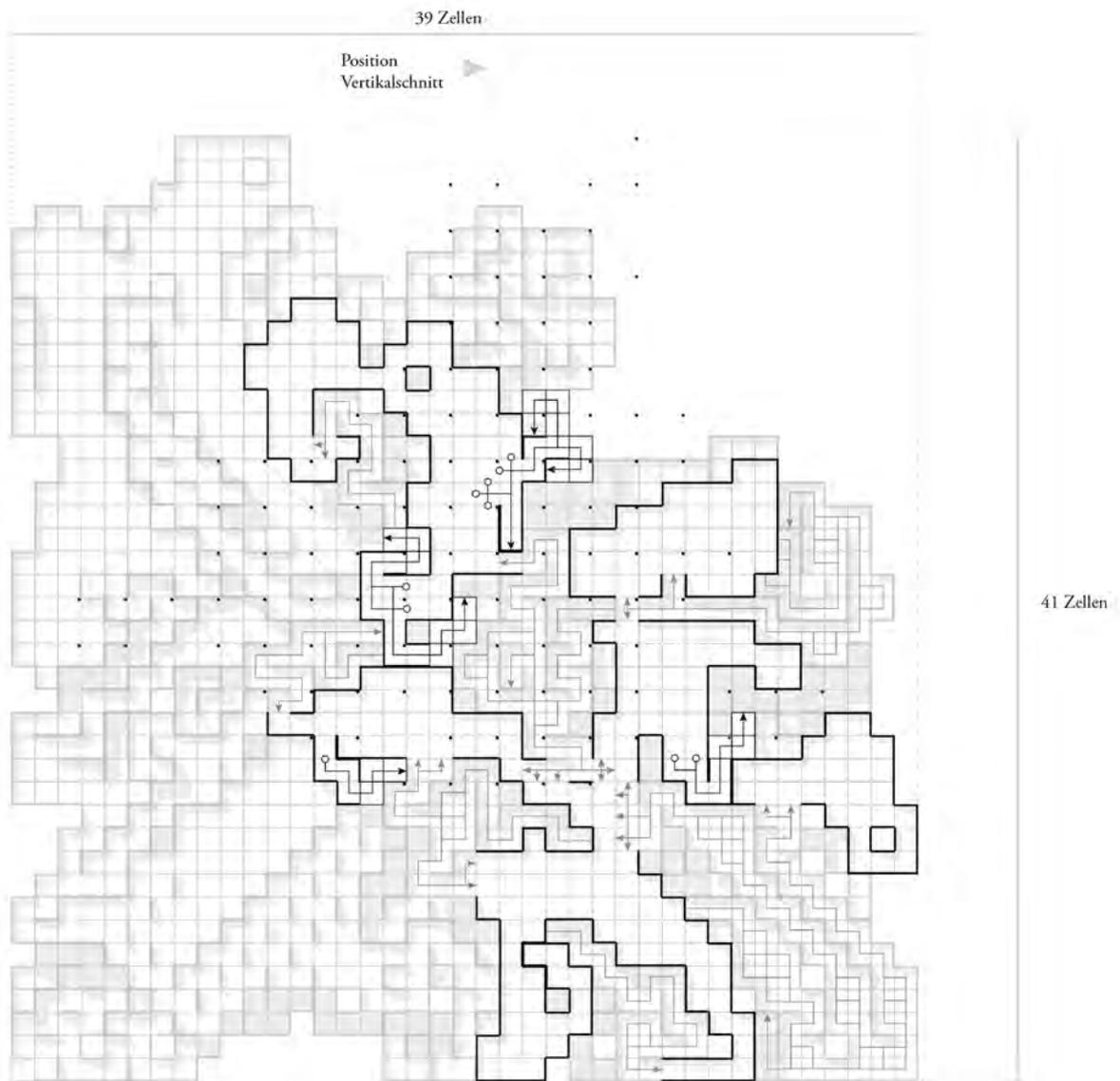
200 Zellen

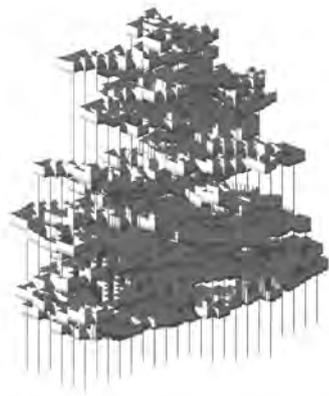
Generierungsexperiment 2.3

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} : \frac{U}{A} = F$
	ansteigend	Stufenanzahl	absteigend	Stufenanzahl						
	$\sum V_{an}$	$\sum St_{an}$	$\sum V_{ab}$	$\sum St_{ab}$						
5	1	21	3	167	64	84	21,0	0,8	47,0	$47,0 : 0,8 = 58,8$
4	7	167	8	217	100	90	6,0	1,1	25,6	$25,6 : 1,1 = 23,3$
3	3	217	7	236	128	114	11,4	1,1	45,3	$45,3 : 1,1 = 41,1$
2	7	236	21	729	300	268	9,6	1,1	34,5	$34,5 : 1,1 = 31,4$
1	20	729	20	535	370	445	11,1	0,8	31,6	$31,6 : 0,8 = 39,5$
Strukturfunktionswert =										194,1

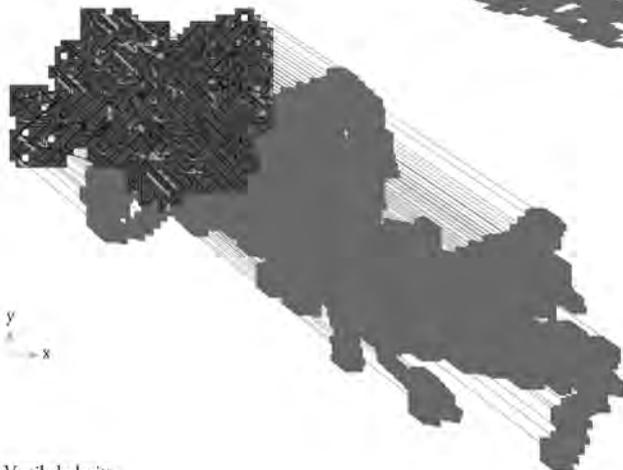
Horizontalschnitt (Segment 2)





Axonometrie mit Balustraden und Säulen
Axonometrie mit chronologisch
erstellter Generierungslinie

von Oben



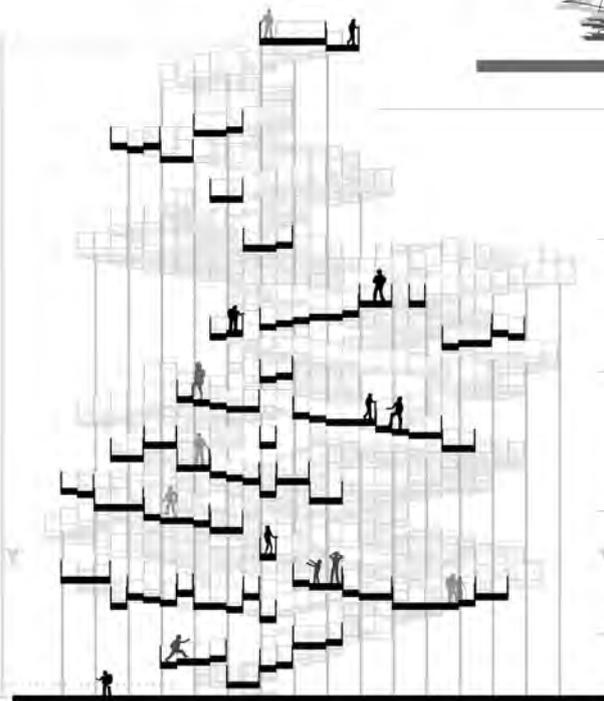
y
x

Vertikalschnitt

z
y

93
Segmente
(5 gewählt)

200
Zellen



Position
Horizontalschnitt

Segment 5

Segment 4

Segment 3

Segment 2

Segment 1

Experiment-Rahmenbedingungen 2.6:

Zellengröße	: 1m × 1m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 41, y: 41, z: 200
Startzellenkoordinaten	: [20, 20, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 199]
Stufenfolge maximal	: 3
Podestfolge maximal	: 3

Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 2735
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 338
Podestzellen	: 870
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 8
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 1133 und 134

z
y
x



von Links

z
y

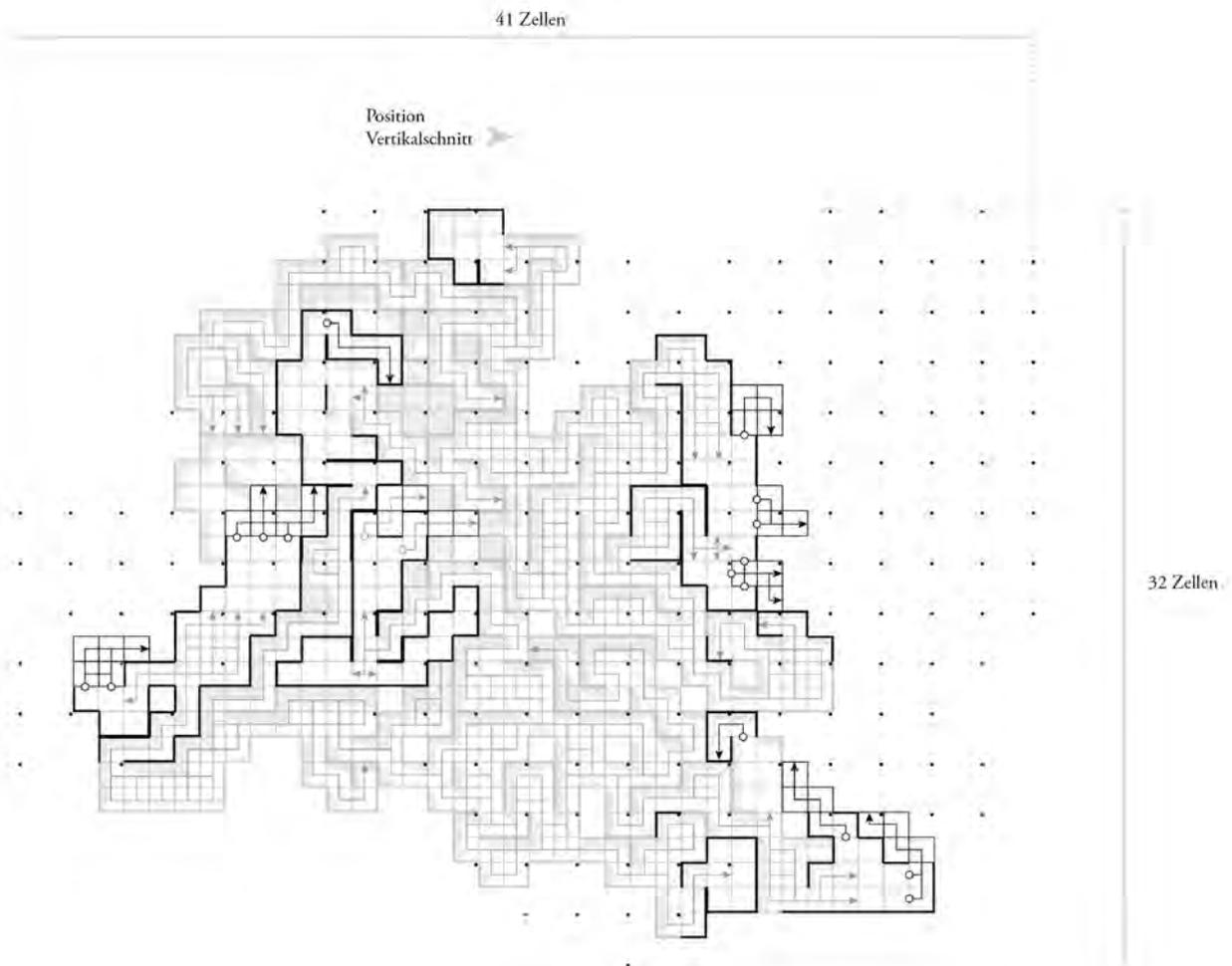


Generierungsexperiment 2.6

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} : \frac{U}{A} = F$
	ansteigend	Stufenanzahl	absteigend	Stufenanzahl						
	$\sum V_{an}$	$\sum St_{an}$	$\sum V_{ab}$	$\sum St_{ab}$						
5	2	45	4	214	12	5	0,8	2,4	43,2	$43,2 : 2,4 = 18,0$
4	9	214	18	533	32	14	0,5	2,2	27,7	$27,7 : 2,2 = 12,6$
3	10	533	6	594	52	21	1,3	2,5	70,4	$70,4 : 2,5 = 28,2$
2	27	594	37	1031	98	27	0,4	3,6	25,4	$25,4 : 3,6 = 7,1$
1	5	1031	11	194	52	21	1,3	2,4	76,6	$76,6 : 2,4 = 31,6$
Strukturfunktionswert =										97,5

Horizontalschnitt



Experiment-Rahmenbedingungen 2.7:

Zellengröße	: 1m × 1m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 41, y: 41, z: 200
Startzellenkoordinaten	: [20, 20, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 199]
Stufenfolge maximal	: 3
Podestfolge maximal	: 14

Generierungswerte:

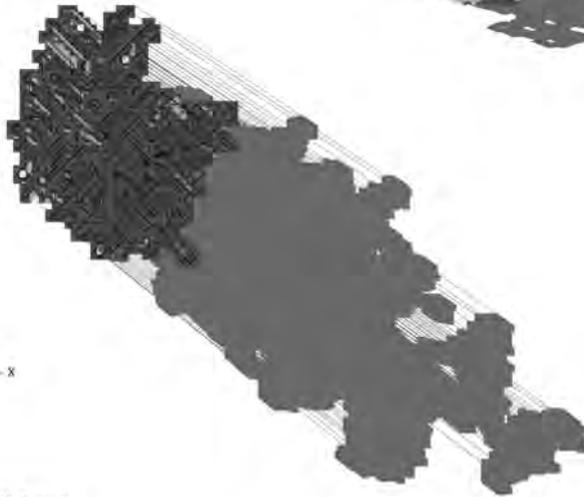
Zellen in generiertem Pfad	: 2879
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 317
Podestzellen	: 300
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 3
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 1195 und 127



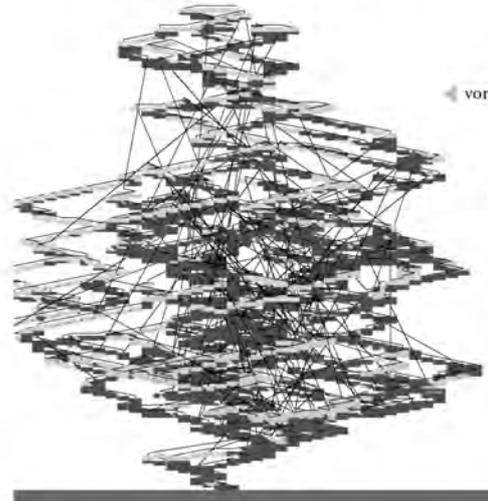
Axonometrie mit Balustraden und Säulen
Axonometrie mit chronologisch
erstellter Generierungslinie



von Oben



y
x

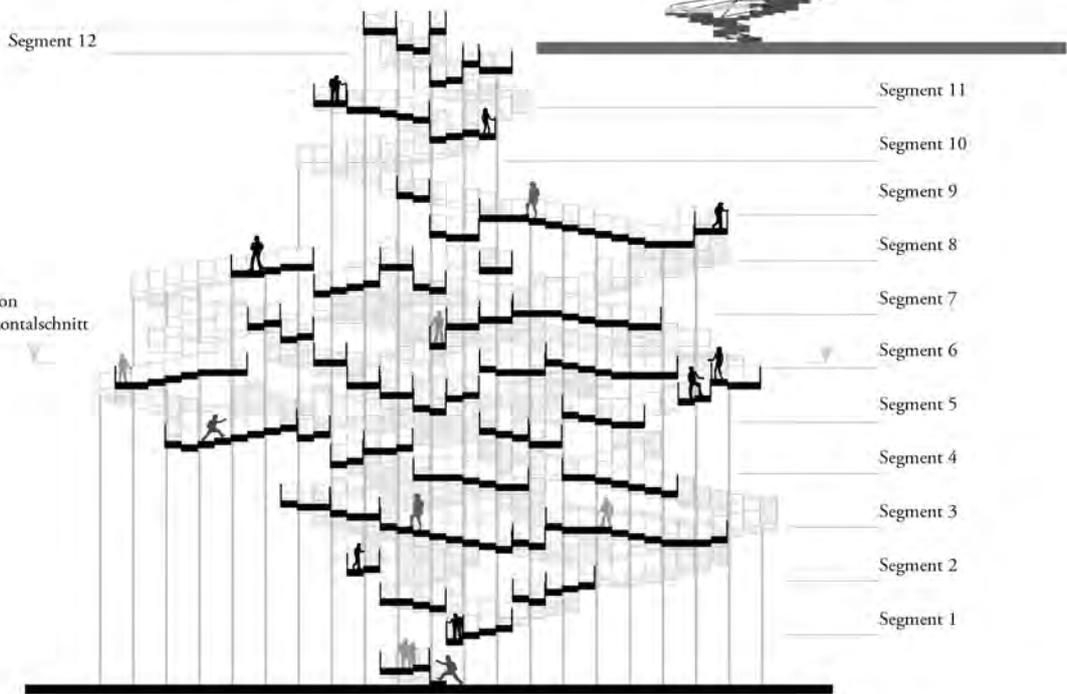


von Links

z
y

Vertikalschnitt

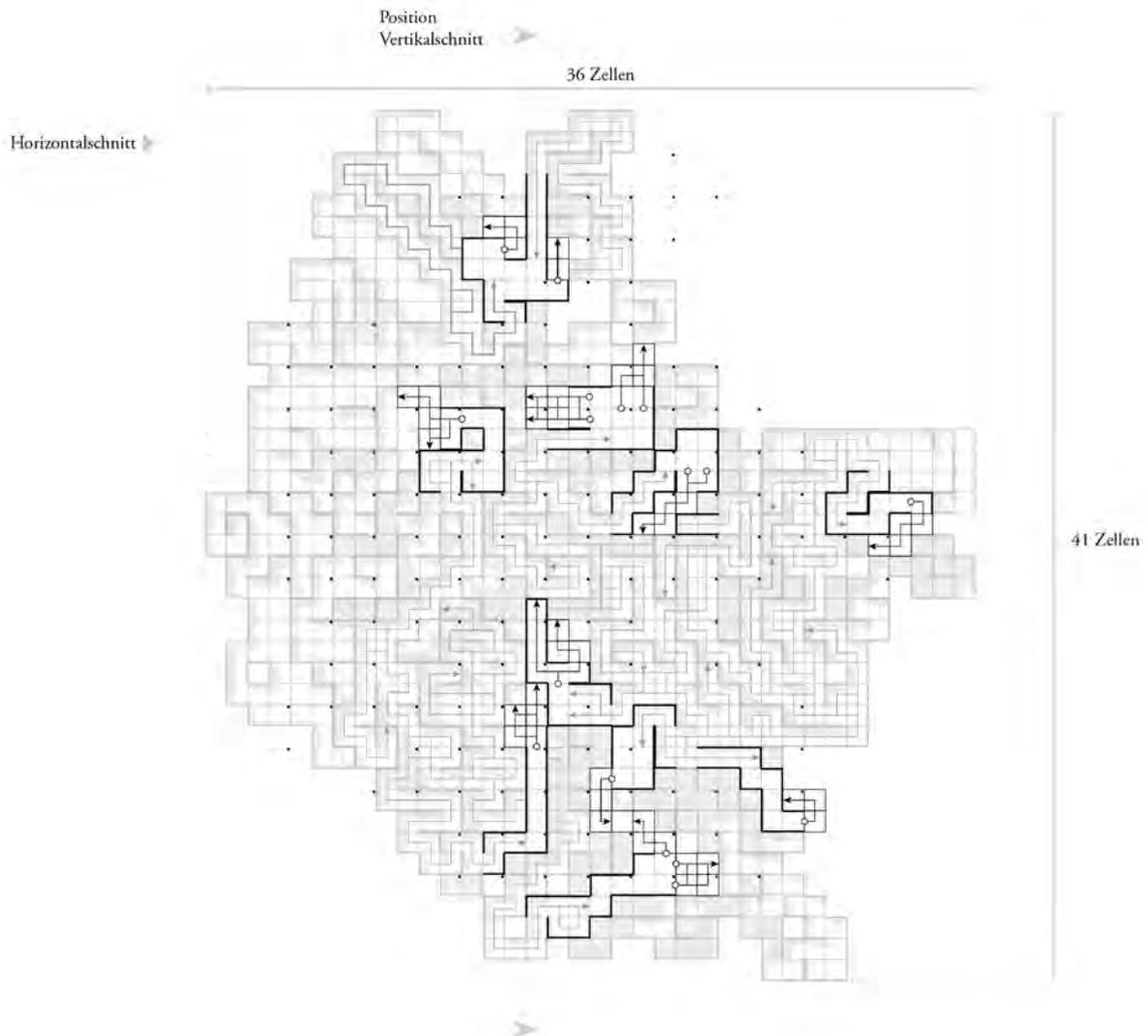
z
y

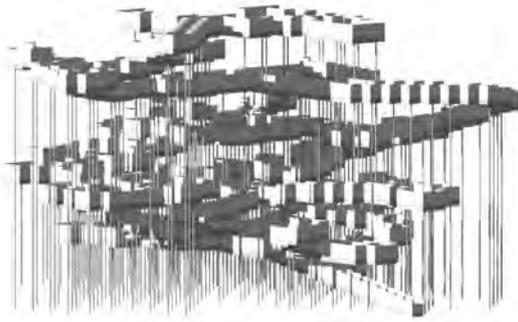


Generierungsexperiment 2.7

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} \cdot \frac{U}{A} = F$
	ansteigend	Zellenanzahl	absteigend	Zellenanzahl						
	$\sum V_{an}$	$\sum St_{an}$	$\sum V_{ab}$	$\sum St_{ab}$						
12	4	31	6	95	34	14	1,4	2,4	12,6	12,6 : 2,4 = 5,3
11	7	95	5	84	36	16	1,3	2,3	14,9	14,9 : 2,3 = 6,4
10	8	84	8	105	60	20	1,3	3,0	11,8	11,8 : 3,0 = 3,9
9	6	105	9	145	64	25	1,7	2,6	16,7	16,7 : 2,6 = 6,4
8	11	145	12	231	54	23	1,0	2,3	16,3	16,3 : 2,3 = 7,1
7	17	231	15	309	94	38	1,2	2,5	16,9	16,9 : 2,5 = 6,8
6	20	309	14	334	108	46	1,4	2,3	19,9	19,9 : 2,3 = 8,7
5	24	334	21	277	140	62	1,4	2,3	13,6	13,6 : 2,3 = 5,9
4	17	277	20	410	102	49	1,3	2,1	18,6	18,6 : 2,1 = 8,9
3	30	410	26	308	158	79	1,4	2,0	12,8	12,8 : 2,0 = 6,4
2	20	308	16	144	108	50	1,4	2,2	12,6	12,6 : 2,2 = 5,7
1	4	144	7	53	26	11	1,0	2,3	18,0	18,0 : 2,3 = 7,8
Struktur-funktionswert =										79,3





Axonometrie mit Balustraden und Säulen
 Axonometrie mit chronologisch erstellter Generierungslinie

Experiment-Rahmenbedingungen 3.1:

Zellengröße	: 1m × 1m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 40, y: 40, z: 100
Startzellenkoordinaten	: [20, 0, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 99]
Stufenfolge maximal	: 18
Podestfolge maximal	: 40

Generierungswerte:

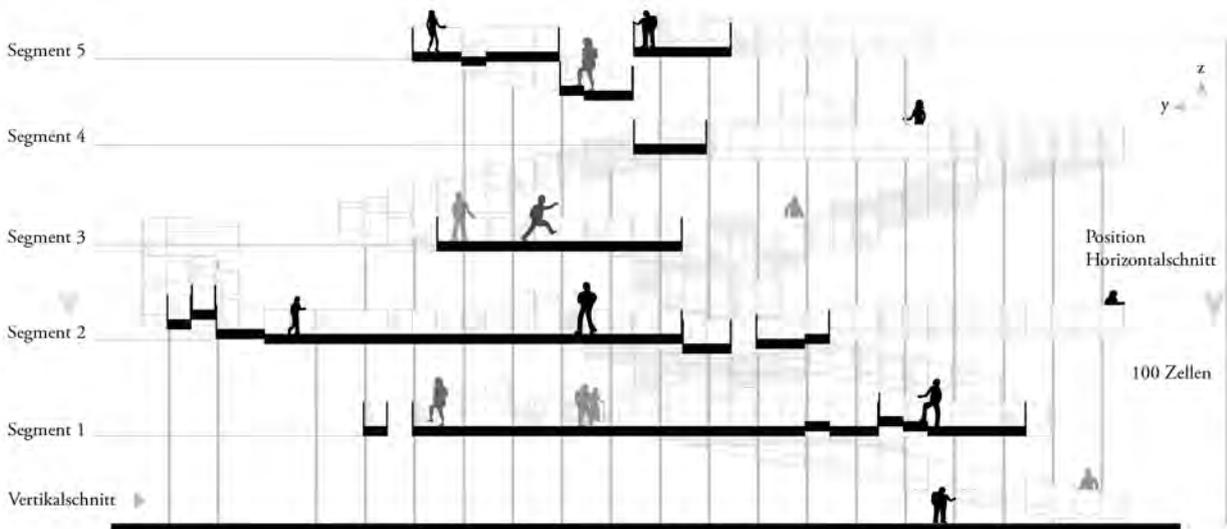
Zellen in generiertem Pfad	: 1192
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 235
Podestzellen	: 448
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 8
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 516 und 53



von Oben



von Links

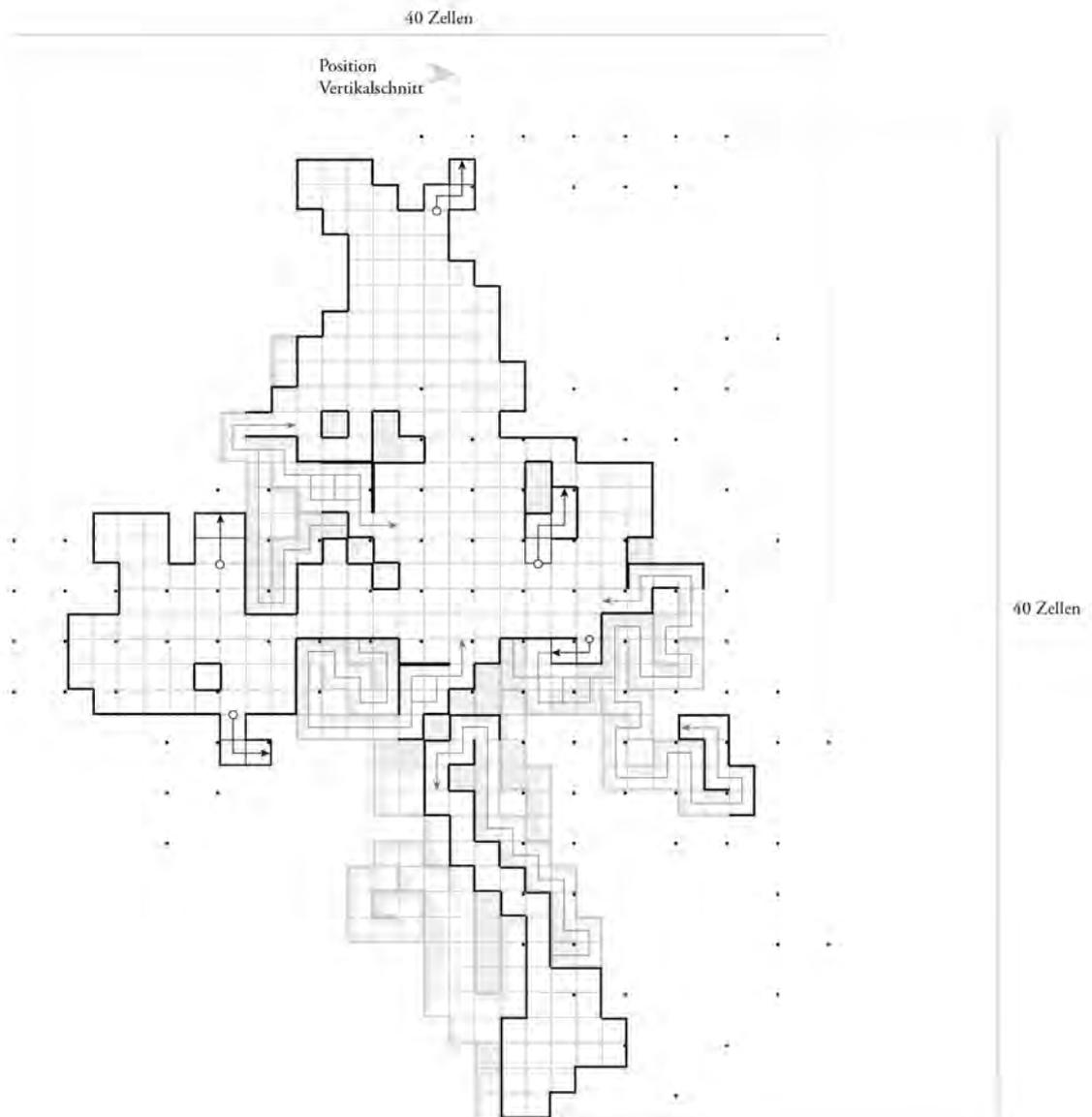


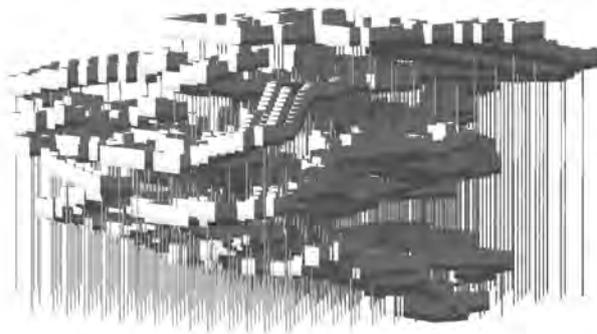
Generierungsexperiment 3.1

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} : \frac{U}{A} = F$
	ansteigend $\sum V_{an}$	Stufenanzahl $\sum St_{an}$	absteigend $\sum V_{ab}$	Stufenanzahl $\sum St_{ab}$						
5	2	2	2	98	116	75	18,8	1,5	25,0	$25,0 : 1,5 = 16,7$
4	6	98	3	71	114	134	14,9	0,8	18,8	$18,8 : 0,8 = 23,5$
3	5	71	7	129	122	105	8,8	1,2	16,7	$16,7 : 1,2 = 13,9$
2	7	129	10	165	204	230	13,5	0,9	17,3	$17,3 : 0,9 = 19,2$
1	10	165	2	31	130	137	11,4	0,9	16,3	$16,3 : 0,9 = 18,1$
Strukturfunktionswert =									149,7	

Horizontalschnitt (Segment 2)





Axonometrie mit Balustraden und Säulen
 Axonometrie mit chronologisch erstellter Generierungslinie

Experiment-Rahmenbedingungen 3.2:

Zellengröße	: 1m × 1m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 40, y: 40, z: 100
Startzellenkoordinaten	: [20, 0, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 99]
Stufenfolge maximal	: 18
Podestfolge maximal	: 40

Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 2422
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 170
Podestzellen	: 879
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 11
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 976 und 124



z
y x

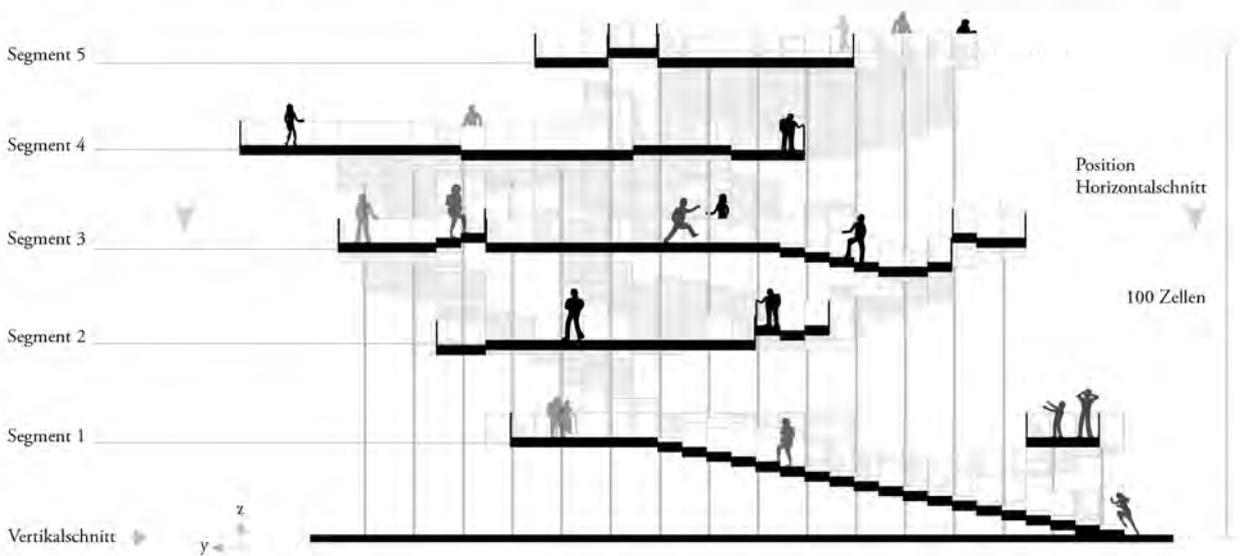
von Oben



y x

z
y x

von Links

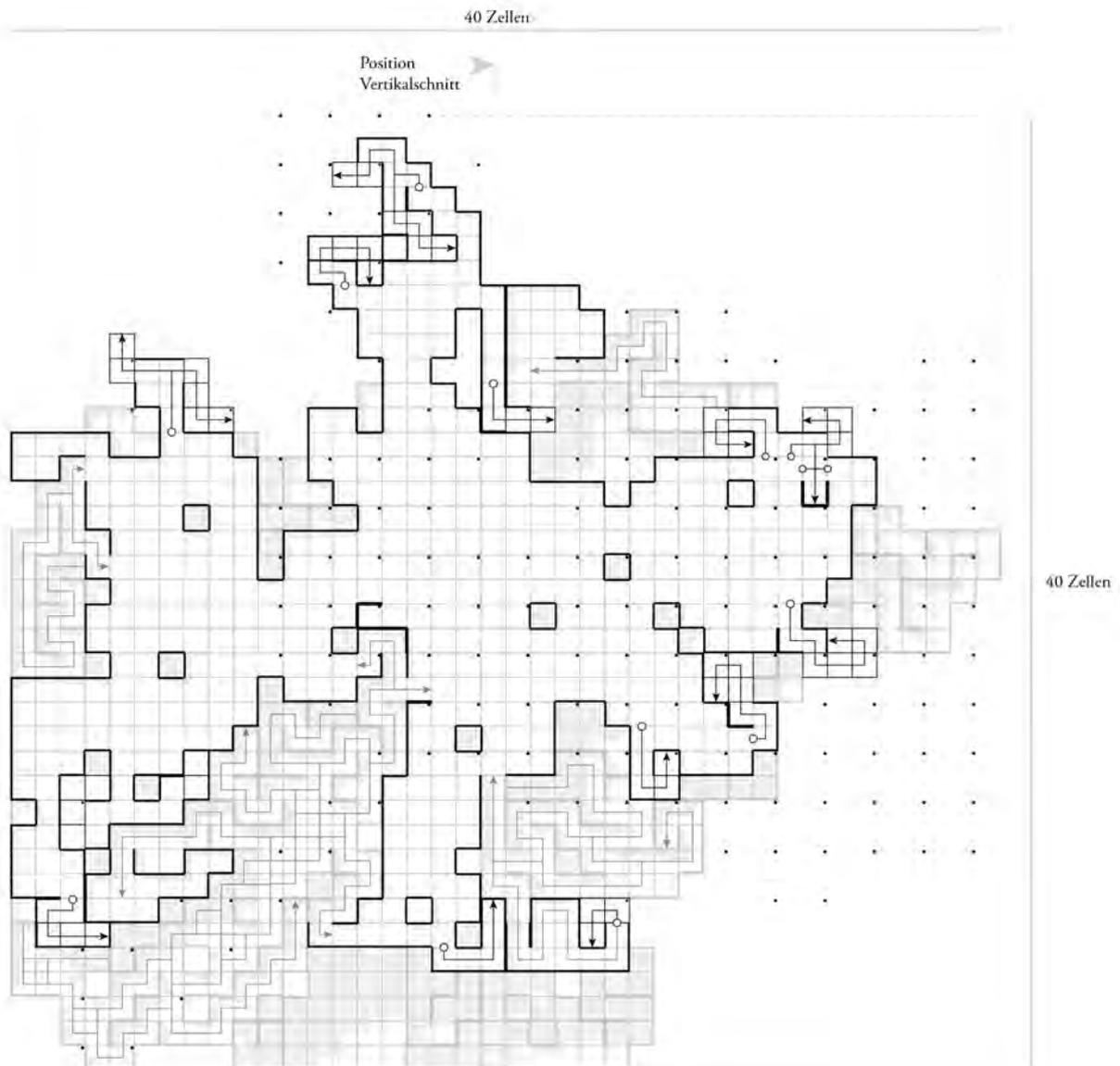


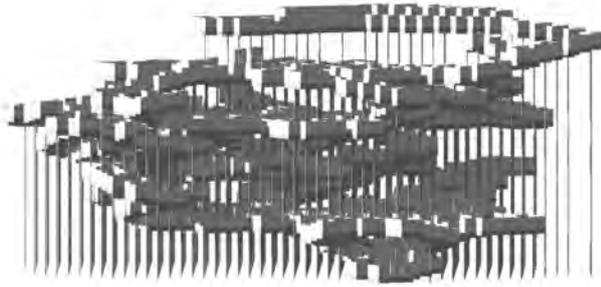
Generierungsexperiment 3.2

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} : \frac{U}{A} = F$
	ansteigend	Stufenanzahl	absteigend	Stufenanzahl						
	$\sum V_{an}$	$\sum St_{an}$	$\sum V_{ab}$	$\sum St_{ab}$						
5	1	1	6	6	108	148	21,1	0,7	1,0	$1,0 : 0,7 = 1,4$
4	30	167	22	307	248	233	4,5	1,1	9,1	$9,1 : 1,1 = 8,3$
3	22	307	21	267	340	436	19,0	0,8	25,0	$25,0 : 0,8 = 31,3$
2	21	267	15	144	206	274	16,1	0,8	24,2	$24,2 : 0,8 = 30,3$
1	15	144	9	137	226	270	27,0	0,8	28,1	$28,1 : 0,8 = 35,1$
Strukturfunktionswert =										106,4

Horizontalschnitt (Segment 3)





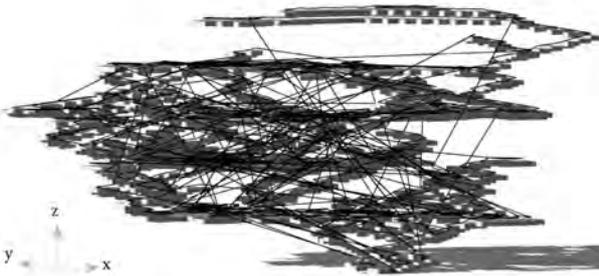
Axonometrie mit Balustraden und Säulen
 Axonometrie mit chronologisch erstellter Generierungslinie

Experiment-Rahmenbedingungen 3.3:

Zellengröße	: 1m x 1m x 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 40, y: 40, z: 100
Start zellenkoordinaten	: [20, 0, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [20, 20, 99]
Stufenfolge maximal	: 18
Podestfolge maximal	: 40

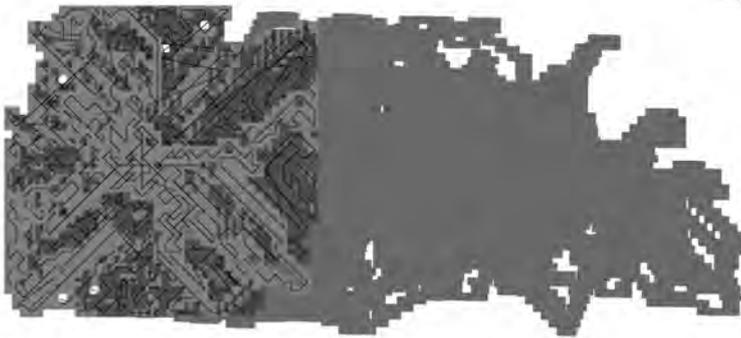
Generierungswerte:

Zellen in generiertem Pfad	: 2451
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 191
Podestzellen	: 883



z
y
x

von Oben



y
x



z von Links
y

Segment 5

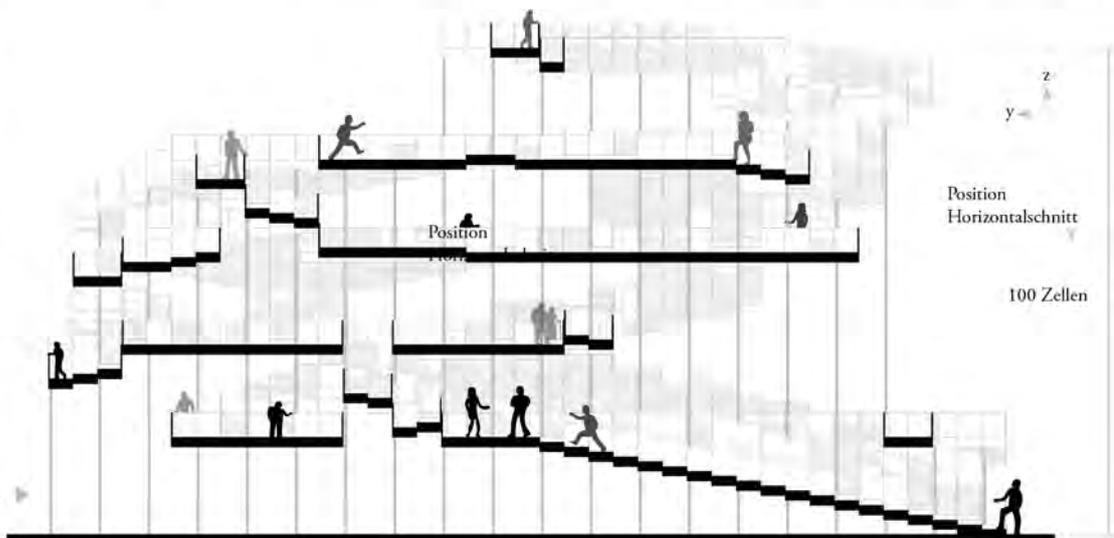
Segment 4

Segment 3

Segment 2

Segment 1

Vertikalschnitt



z
y

Position
 Horizontalschnitt

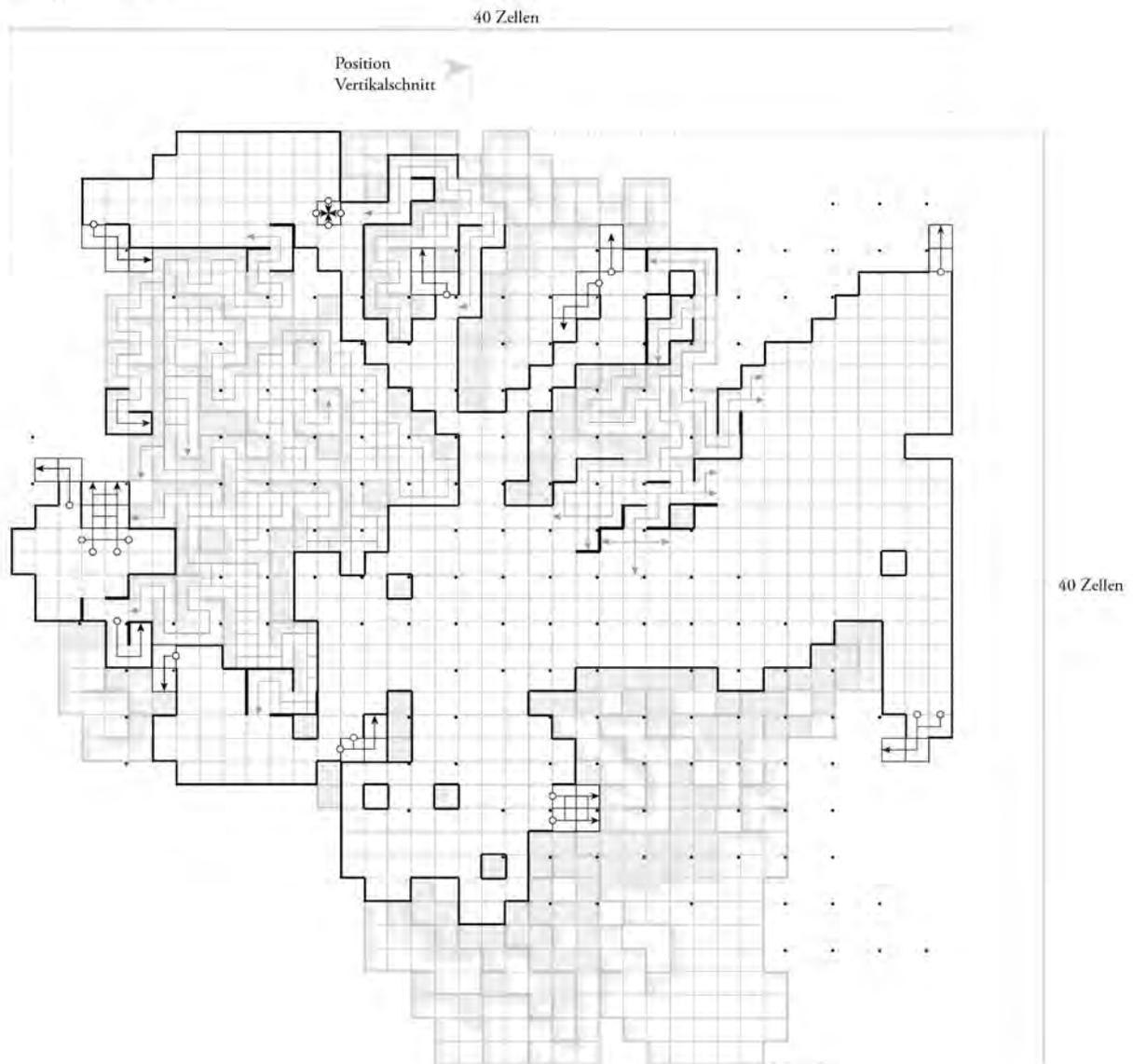
100 Zellen

Generierungsexperiment 3.3

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} \cdot \frac{U}{A} = F$
	ansteigend $\sum V_{an}$	Stufenanzahl $\sum St_{an}$	absteigend $\sum V_{ab}$	Stufenanzahl $\sum St_{ab}$						
5	3	3	2	57	82	53	10,6	1,5	11,8	$11,8 : 1,5 = 7,8$
4	7	57	21	292	256	299	10,6	0,9	12,5	$12,5 : 0,9 = 13,9$
3	17	292	20	305	310	481	13,4	0,6	16,1	$16,1 : 0,6 = 26,8$
2	27	305	9	264	222	250	6,9	0,9	15,8	$15,1 : 0,9 = 17,6$
1	33	264	15	110	192	306	6,4	0,6	7,8	$7,8 : 0,6 = 13,0$
Strukturfunktionswert =										79,1

Horizontalschnitt (Segment 3)



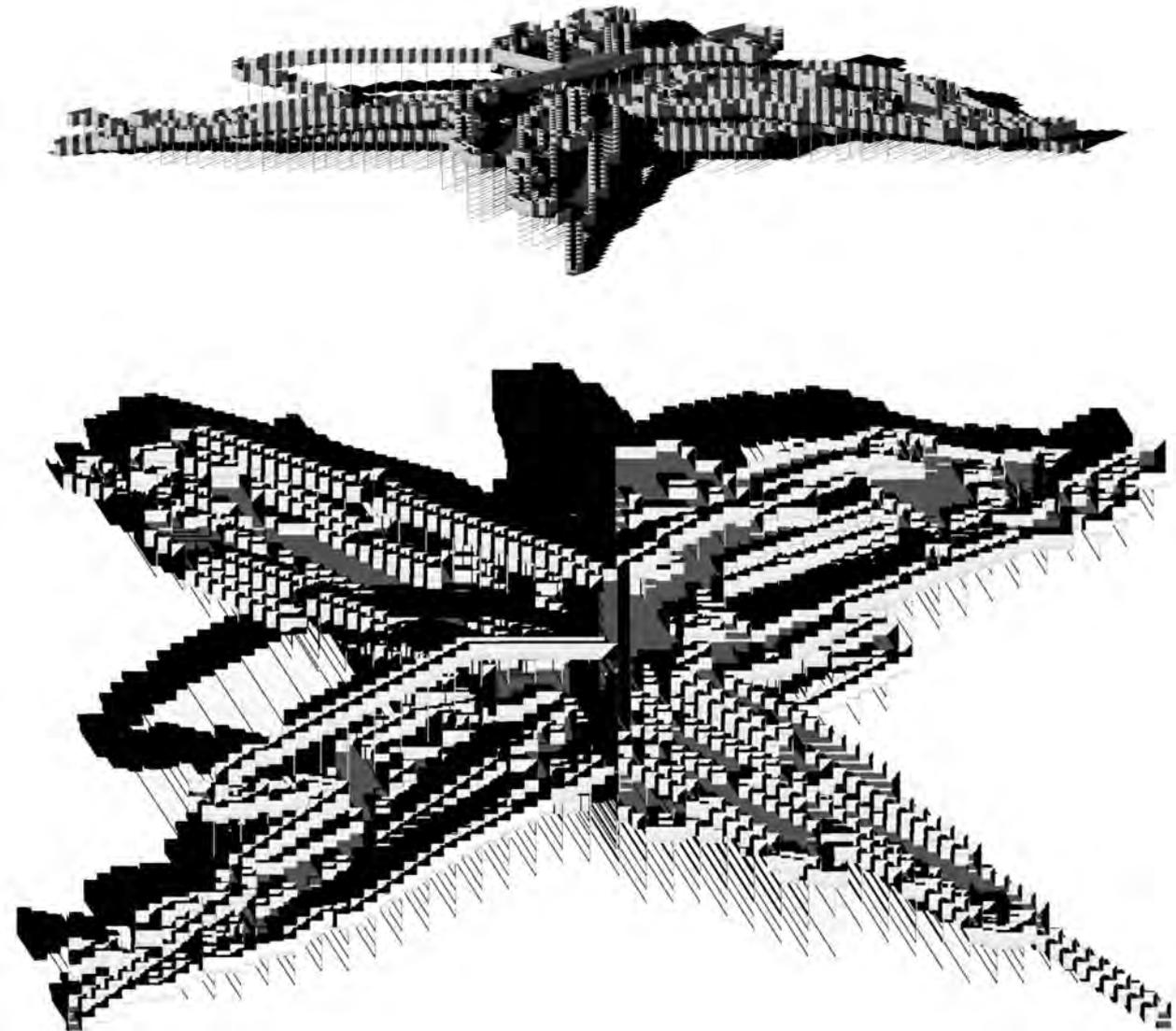
Rahmenbedingungen der 4 Experimente 3.5, 3.6, 3.7, 3.8:
 (gegen den Uhrzeigersinn verdreht an den Startzellen
 zusammengesetzt)

Zellengröße	: 1 m × 1 m × 0,4 m
mögliche Zellen pro Achse	: x: 41, y: 41, z: 46
Startzellenkoordinaten	: [0, 0, 0]
Zielzellenkoordinaten	: [40, 40, 45]
Stufenfolge maximal	: 14
Podestfolge maximal	: 41

Generierungswerte:
 (Addition der 4 Experimente)

Zellen in generierten Pfaden	: 3302
minimale Zellenverbindung Start-Ziel	: 191
Podestzellen	: 1342
Zellen auf z-Ebene der Zielzelle	: 183
Zufallsgenerator 1 und 2 angewandt	: 557 und 140

Axonometrien mit Balustraden und Säulen



Vertikalschnitt

z
y

Position
 Horizontalschnitt



Segment 2

Segment 1

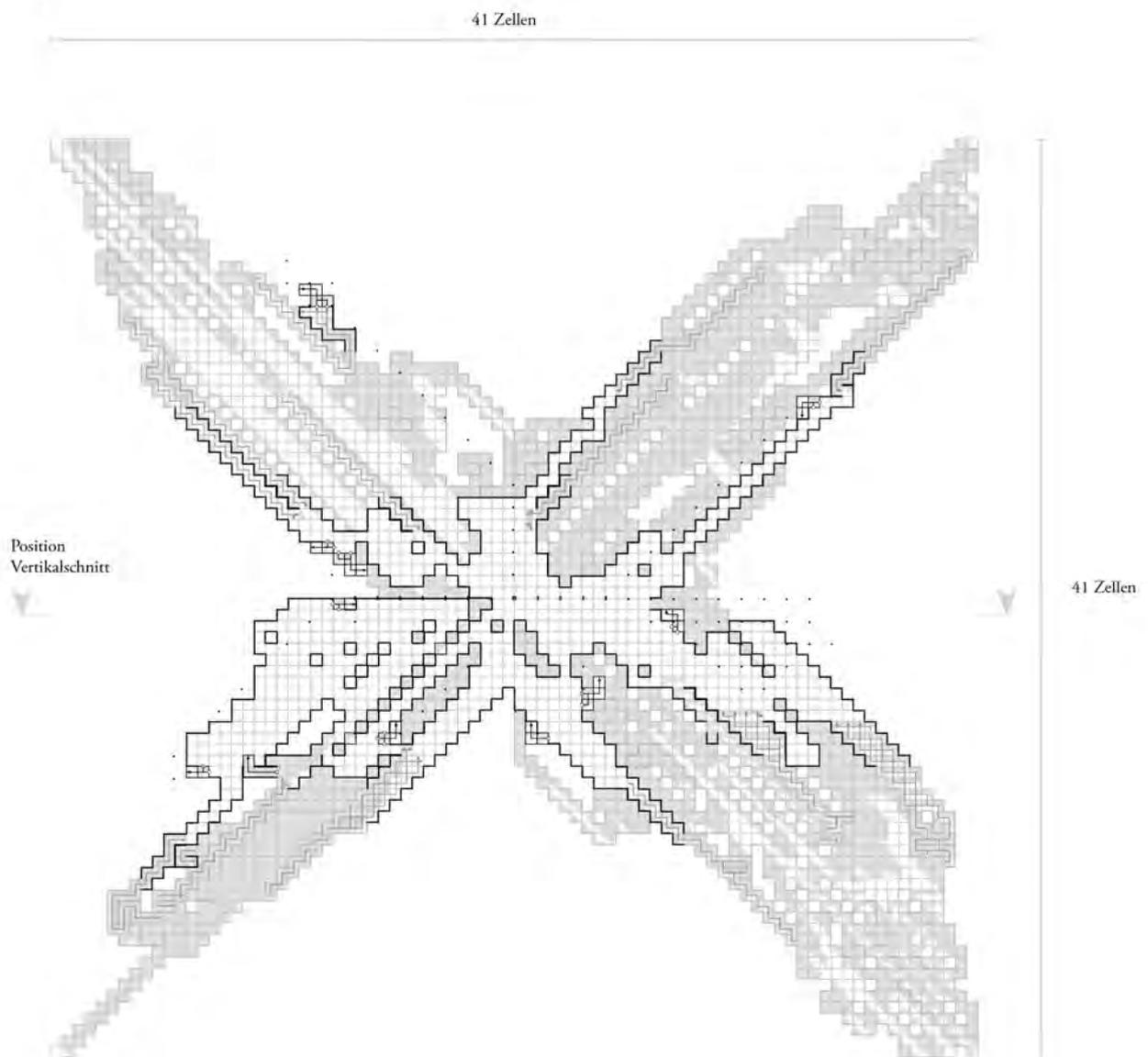
46 Zellen

Generierungsexperimente 3.5, 3.6, 3.7 und 3.8

Funktionalitätsparameter der betrachteten Struktur und seiner horizontalen Segmente:

Struktur-Segment	Verbindungen				Segment-Umfang U [Zellkanten]	Segment-Fläche A [Zellen]	Segmentanbindung $\frac{A}{\sum V_{ges}}$	Segmentflächenkompaktheit $\frac{U}{A}$	Verbindungsschwellenwert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}}$	Segment-Funktionswert $\frac{\sum St_{ges}}{\sum V_{ges}} : \frac{U}{A} = F$
	ansteigend	Stufenanzahl	absteigend	Stufenanzahl						
	$\sum V_{an}$	$\sum St_{an}$	$\sum V_{ab}$	$\sum St_{ab}$						
2	7	163	33	554	666	711	17,8	0,9	17,9	$17,9 : 0,9 = 19,9$
1	49	554	40	296	1482	1421	16,0	1,0	9,5	$9,5 : 1,0 = 9,5$
Struktur-funktionswert =										29,4

Horizontalschnitt (Segment 2)



Kapitel 7

Funktion im Vergleich

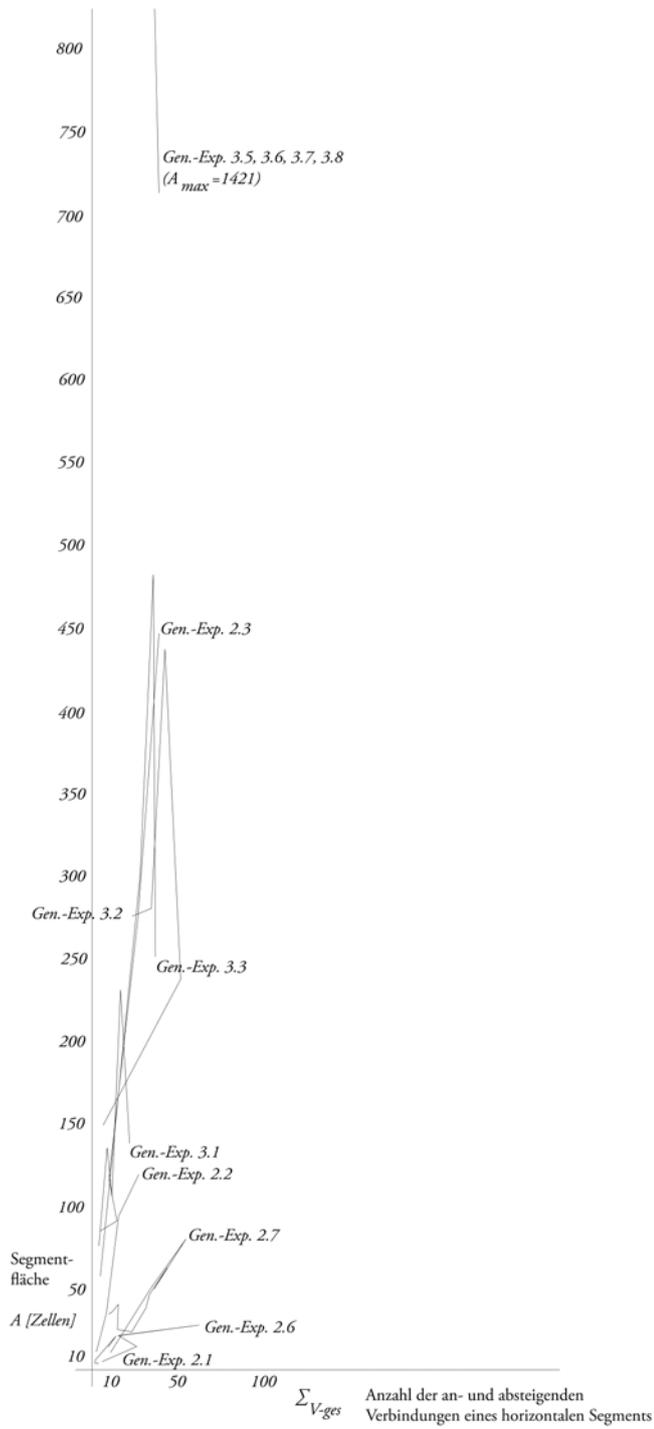


Abb. 34: Anbindung eines Segments infolge der durchschnittlichen Zellenanzahl pro Verbindung zu diesem Segment

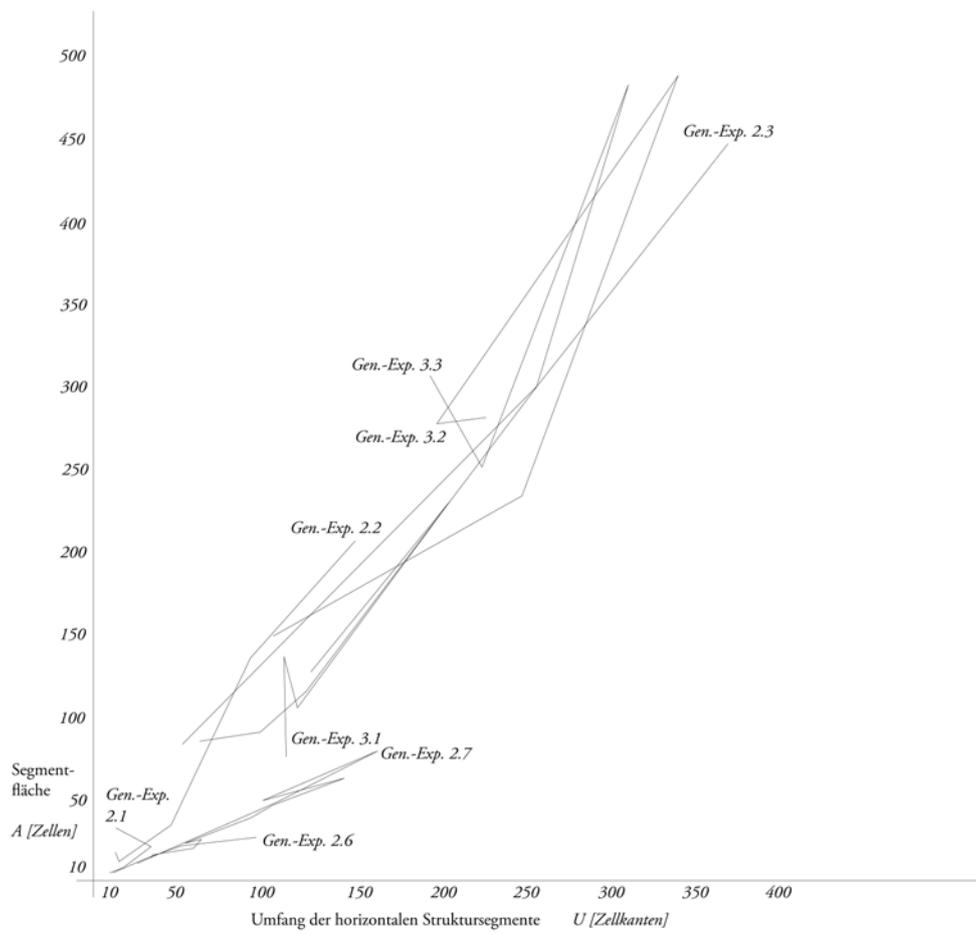


Abb. 35: Flächenkompaktheit aller horizontalen Struktursegmente

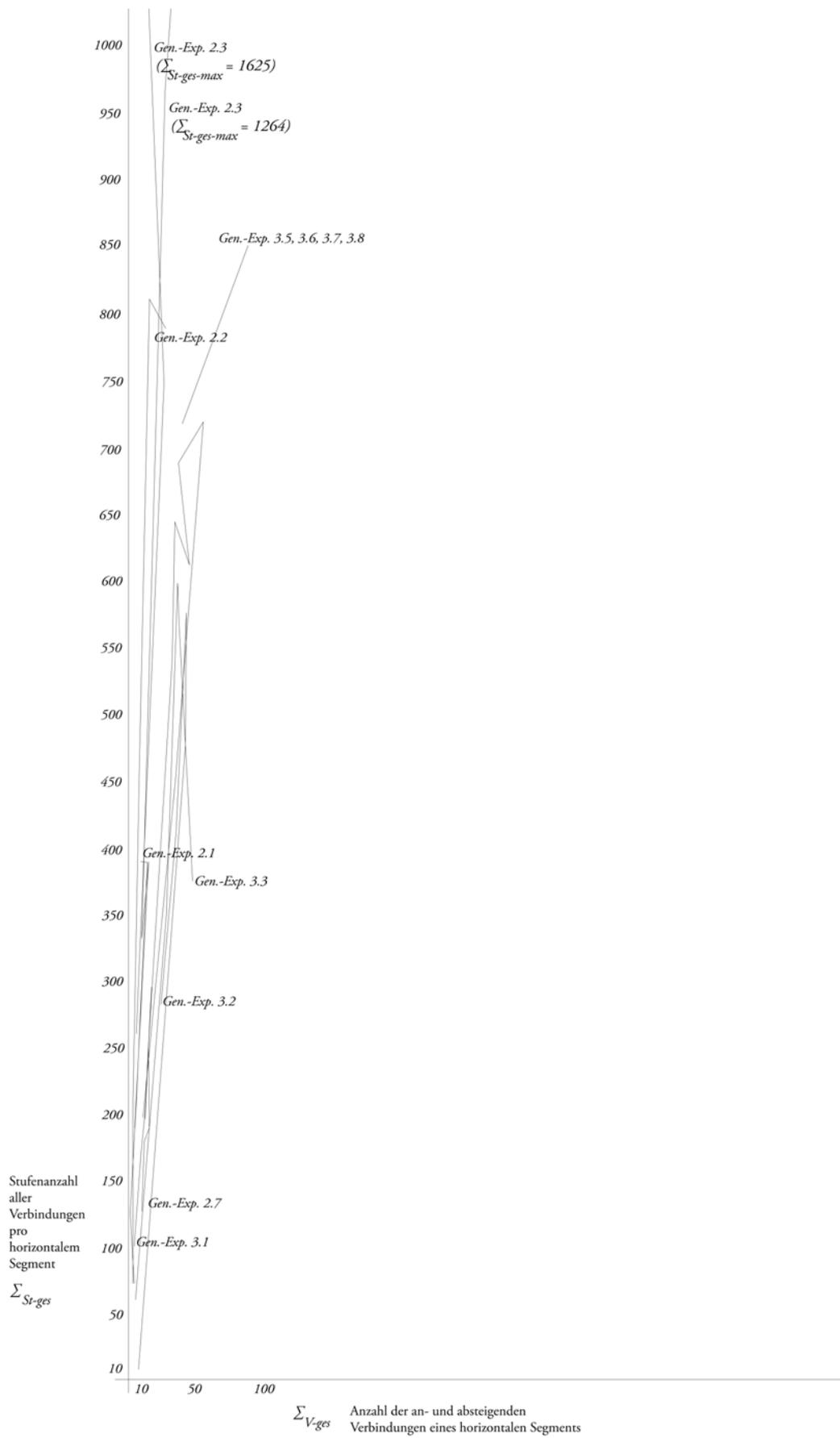


Abb. 36: Durchschnittliche Stufenzahl pro Verbindung eines Segments definiert Verbindungsschwellenwerte

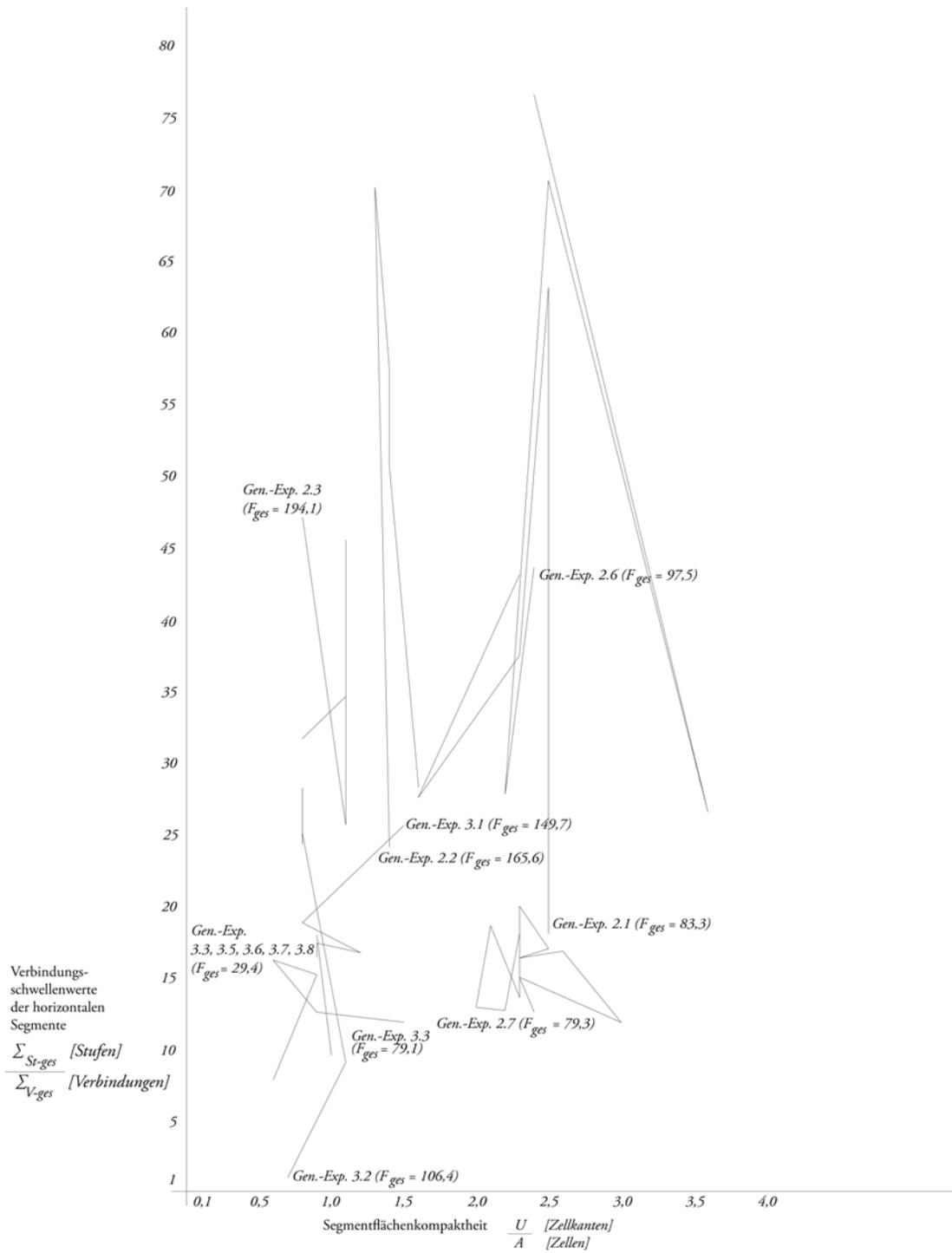


Abb. 37: Die Summe der Segmentfunktionswerte einer Struktur bildet ihren Funktionswert

Die vorangegangenen Diagramme zeigen die nach den Regeln des EAG 3 (Elementarrangierungs Generator 3) geschaffenen Raumverbindungen zwischen jeweils zwei Raumpunkten. Das Experimentkonglomerat 3.5 - 3.8 beinhaltet 4 Generierungen mit identischen Bedingungen, wobei die Funktionen der Strukturen als Gesamtes betrachtet wird.

Grundlegende Bestandteile der Funktionsbeschreibung von Verbindungs- und Stiegenstrukturen werden durch die in Kapitel 5 vorgeschlagenen Regeln der Methode zur Generierung von Verbindungsstrukturen geformt. Die zweite Ebene der Elemente der Strukturfunktionen setzt sich durch die benutzerdefinierten möglichen Zellenanzahlen pro Rasterachse, Koordinaten der Start- und Zielzelle, sowie die möglichen Stufen- und Podestzellenfolgen zusammen. Als Drittes bilden sich im Zuge der Generierung die im vorangegangenen Kapitel pro Experiment angegebenen Generierungswerte, welche wiederum als emergente Bestandteile der Funktionsbeschreibung gelten.

Das erste Diagramm dieses Kapitels zeigt die Anbindungswerte der betrachteten Segmente einer Struktur im Verbund mit den restlichen Segmenten. Je höher ein Wert auf der vertikalen Diagrammachse liegt, desto mehr Segmentfläche wird durch die Verbindungen des Segments erschlossen. Je weiter ein Diagrammpunkt auf der horizontalen Achse rechts sitzt, umso höher ist die Anzahl der strukturinternen Verbindungen eines Segments im Vergleich zu den anderen Segmenten - sowohl strukturintern als auch in Bezug auf andere Strukturen.

Im zweiten Diagramm sind die Struktursegmente durch Punkte, deren Position das Verhältnis von Segmentumfang zu Segmentfläche veranschaulichen, repräsentiert. Ist die Form eines Segments durch starke Verästelung charakterisierbar, dann befindet sich der Punkt auf der horizontalen Diagrammachse weit rechts. Weit oben sitzende Punkte vertreten hingegen große Segmentflächen in Hinblick auf den Segmentumfang. Als optimales Verhältnis gilt, wenn die Umfangszahl der Verdopplung der Flächenzahl entspricht.

Diagramm 3 stellt die Stufenanzahl aller Verbindungen eines Struktursegments punktuell dar. Im Verlauf der Linie, die die Segmentpunkte verbindet, erkennt man die Zu- und Abnahme der Stufenanzahl einer Struktur. Als Schwellen- oder Grenzwert wird eine überdurchschnittlich hohe Anzahl an Stufen pro Verbindung eines Segments angesehen. Demnach gilt eine hohe Anzahl an Stufen als Funktionsschwelle während das Maximum aller Schwellwerte eine Funktionsbarriere bildet. Damit halten Schwellen ein Stiegenystem im Funktionsfluss während Barrieren die Funktionalität zum Erliegen bringen.

Zuletzt thematisiert das vierte Diagramm das Verhältnis zwischen Segmentkompaktheit und Schwellenwertigkeit eines Segments, repräsentiert durch Punkte, im Detail. Im Ganzen lässt sich dieses Verhältnis für eine Struktur, welche sich durch Linien darstellt, betrachten. Die Überlagerung der Strukturlinien ermöglicht den Vergleich der Strukturen hinsichtlich Kompaktheit und Schwellenwert. Damit resultiert aus den Theorie- und Methodikbestandteilen der Funktionswert einer Stiegenstruktur.

Literaturverzeichnis

- [1] Alfred Tarski. *Einführung in die mathematische Logik*. A. Kirsch H. G. Steiner, Kassel, Bielefeld, 5 edition, 1977.
- [2] Douglas R. Hofstadter. *Gödel, Escher, Bach - ein Endloses Geflochtenes Band*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 2007.
- [3] Karl Reiselhuber und Peter Brandstätter. *Deponie Rautenweg*. MA 48, Wien, 2010.
<http://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/service/publikationen/pdf/deponie-rautenweg-de.pdf>.
- [4] Klaus Richter und Jan-Michael Rost. *Komplexe Systeme*. Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main, 2 edition, 2004.
- [5] Rolf Reiner. *Systeme als Programm*, chapter Selbst organisierende Systeme - eine Annäherung an die 'Natürlichen Konstruktionen'? J. Martina Schneider, Köln, 1989.
- [6] Helmut Spieker. *Systeme als Programm*, chapter Typen und Systeme - Über das Systemdenken in der Architektur. J. Martina Schneider, Köln, 1989.
- [7] Christine von Weizsäcker. *Systeme als Programm*, chapter Die Chance der Unvollkommenheit. Schneider, J. Martina, Köln, 1989.
- [8] Siegfried Gaß. *Systeme als Programm*, chapter Selbstbildungsprozesse - Betrachtungen zu Form und Entstehung natürlicher Konstruktionen. J. Martina Schneider, Köln, 1989.