

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).

DIPLOMARBEIT

L-Systeme in der Architektur

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

unter der Leitung von

Ass. Prof. Arch. Dipl.-Ing. Dr. techn.

Manfred Berthold

E253 - Institut für Architektur und Entwerfen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Architektur und Raumplanung

von

Julia Forster

Matr. Nr. 0226508

Hoferweg 4

A - 4400 St. Ulrich bei Steyr

www.starkstrom-architecture.com

Wien, am 28.5.2008

L-SYSTEME IN DER ARCHITEKTUR

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort

1. Einleitung
2. Graphische Modellierung mit L- Systemen
 - 2.1 Rewriting Systeme
 - 2.1.1 Edge Rewriting Systeme
 - 2.1.2 DOL-Systeme
 - 2.1.3 Kontextfreie L-Systeme
 - 2.2 Interpretationsmethoden
 - 2.2.1 Lineare Interpretation
 - 2.2.2 Bracketed L-Systems
 - 2.2.3 Interpretation mittels Turtle-Graphik
 - 2.3 Modellierung in 3d
3. Systemarten
 - 3.1 Deterministische L-Systeme
 - 3.2 Stochastische L-Systeme
 - 3.3 Kontext-sensitive L-Systeme
 - 3.4 Parametrische L-Systeme
 - 3.5 Wachstumsfunktionen
4. Externe Beeinflussung des Pflanzenwachstums
 - 4.1 Räumliche Beschränkung
 - 4.2 Interaktion Pflanze-Umgebung
5. Methoden zur realistischen Darstellung
 - 5.1 Texture Mapping auf einfache Objekte: „Billboards“
6. Anwendungen
 - 6.1 Realistische Darstellung der Umwelt in der Computergraphik
 - 6.2 Biologische Modelle
 - 6.3 Das Interferenzproblem

- 7. Möglichkeiten der Visualisierung
 - 7.1 Visualisierung durch „Mapping“
 - 7.1.1 Mapping auf Flächen
 - 7.1.2 Mapping von Objekten
 - 7.1.3 Derivative Formen
 - 7.2 Turtle Graphik und Modulare Systeme
 - 7.2.1 Deterministische L-Systeme
 - 7.2.1.1 Branching-Strukturen
 - 7.2.2 Stochastische L-Systeme
 - 7.3 Assoziativ parametrisiertes Modellieren
 - 7.3.1 Spiral Lattice
 - 7.3.2 Weaving

- 8. L-Systeme als Design Werkzeug in der Architektur
 - 8.1 Konstruktionsprinzip
 - 8.2 Programmierung
 - 8.2.1 Parametrisierte Darstellung
 - 8.2.1.1 Formelbezogen erzeugte Flächen
 - 8.2.2 Programmierung mittels Surface-Evaluierung
 - 8.3 Einflussfaktoren für die Begehbarkeit der generierten Hülle

- 9. Anwendungen des programmierten Systems
 - 9.1 Fassade
 - 9.2 Hüllkonstruktionen im Stadtgebiet
 - 9.2.1 Schwedenplatz
 - 9.2.2 Ottakring
 - 9.2.3 Innere Stadt
 - 9.2.4 Parasitäres Umschließen/ Flakturm

- 10. Entwurf
 - 10.1 Konzept
 - 10.1.1 Algorithmische Fachwerksplanung
 - 10.2 Flächengenerierung anhand der vorgegebenen funktionellen Parameter
 - 10.2.1 Funktionsdiagramm
 - 10.3 Statische Berechnung eines Systemausschnittes
 - 10.3.1 Lastaufstellung (ungünstigster Lastfall)
 - 10.3.2 Querschnittswahl und Material
 - 10.3.3 Maximale Spannungen in den Querschnitten
 - 10.3.4 Darstellung der Kräfteverläufe
 - 10.4 Detail
 - 10.4.1 Bodenaufbau
 - 10.4.2 Verbindung der Hauptträger
 - 10.4.3 Glashalterung auf den Trägern
 - 10.5 Aufbauten
 - 10.5.1 Bodenaufbau
 - 10.5.2 Dachaufbau
 - 10.6 Pläne
 - 10.7 Renderings

Danksagung

Abbildungsverzeichnis

Literaturverzeichnis

Ergänzende Literatur

CD- ROM als Beilage: Beispielscript als Plugin, Abbildungen, Planbeilagen

VORWORT

Ziel meiner Diplomarbeit ist es die Funktionsweisen der Programmierung auf ihre architektonische Nutzbarkeit hin zu prüfen und die darin verborgenen Möglichkeiten der Entwurfsunterstützung herauszufiltern. Der Computer sollte dabei unterstützendes Werkzeug bleiben und eine möglichst freie Entwurfsgestaltung sicherstellen. Nicht zuletzt wegen seiner gängigen Verwendung zur Simulation von natürlichem Wachstum, erwies sich der L-System Algorithmus als interessantes Forschungsobjekt.

1. EINLEITUNG

Seit Jahrhunderten ließen sich Architekten bzw. ihre Architektur durch die Formen und Vielfalt der Natur beeinflussen.

Ihr Design sowie ihre Strukturen, Proportionen, Farben, Muster und Texturen wurden vorerst empirisch wahrgenommen. Erst in den letzten Jahrzehnten wurde begonnen, die zu Grunde liegende Logik der Form, durch mathematische Strukturen erfassbar zu machen.

1968 wurde von dem ungarischen theoretischen Biologen Aristid Lindenmayer, als Grundlage einer axiomatischen Theorie biologischer Entwicklung ein mathematischer Formalismus vorgeschlagen. Diese Theorie ist als L-Systeme bekannt.

Das wesentliche Prinzip von L-Systemen besteht in der sukzessiven Ersetzung von Einzelteilen eines einfachen Objektes mittels sogenannter Produktionsregeln.

Durch die Implementierung von Programmiersprachen in CAD Applikationen können heute algorithmische Prozesse direkt graphisch umgesetzt werden.

In jüngerer Zeit fanden L-Systeme Anwendung in der Computergraphik bei der Erzeugung von Fraktalen und in der realitätsnahen Modellierung von Pflanzen.



Abb. 1.01
Aristid Lindenmayer 1925-1989

2. GRAPHISCHE MODELLIERUNG MIT L-SYSTEMEN

2.1 REWRITING SYSTEME

Rewriting Systeme sind eine Technik um komplexe Objekte, durch sukzessives Ersetzen von Teilobjekten, welchen eine Reihe von Ersetzungs- und Produktionsregeln zugewiesen sind, zu definieren.

Das klassische Beispiel, für ein solches graphisches Element ist die „Koch'sche Schneeflocke“, entwickelt 1905 von dem schwedischen Mathematiker Helge von Koch. Es werden offene Polygonzüge rekursiv ersetzt.

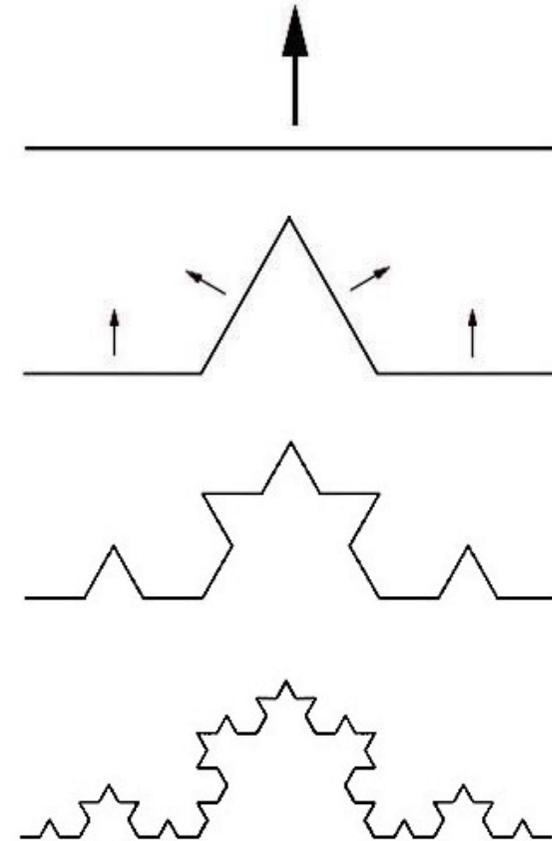


Abb. 2.1.01

2.1.1 EDGE REWRITING SYSTEME

Auch die Drachenkurve kann durch ein Lindenmeyersystem dargestellt werden.

Zur vereinfachten Darstellung einer Drachenkurve wird eine Codierung mit den Symbolen R und L verwendet. Das Zeichnen der Drachenkurve geschieht ähnlich wie bei der Turtle-Grafik: R bedeutet eine 90°-Drehung nach rechts und L eine 90°-Drehung nach links. Man beginnt mit einer Linie nach oben. Danach wird nach jedem Symbol eine Linie in die aktuelle Richtung gezeichnet. Es gibt also in jeder Drachenkurve eine Linie mehr als Symbole. Mittels dieser Codierung lässt sich algorithmisch eine Drachenkurve konstruieren.¹⁾

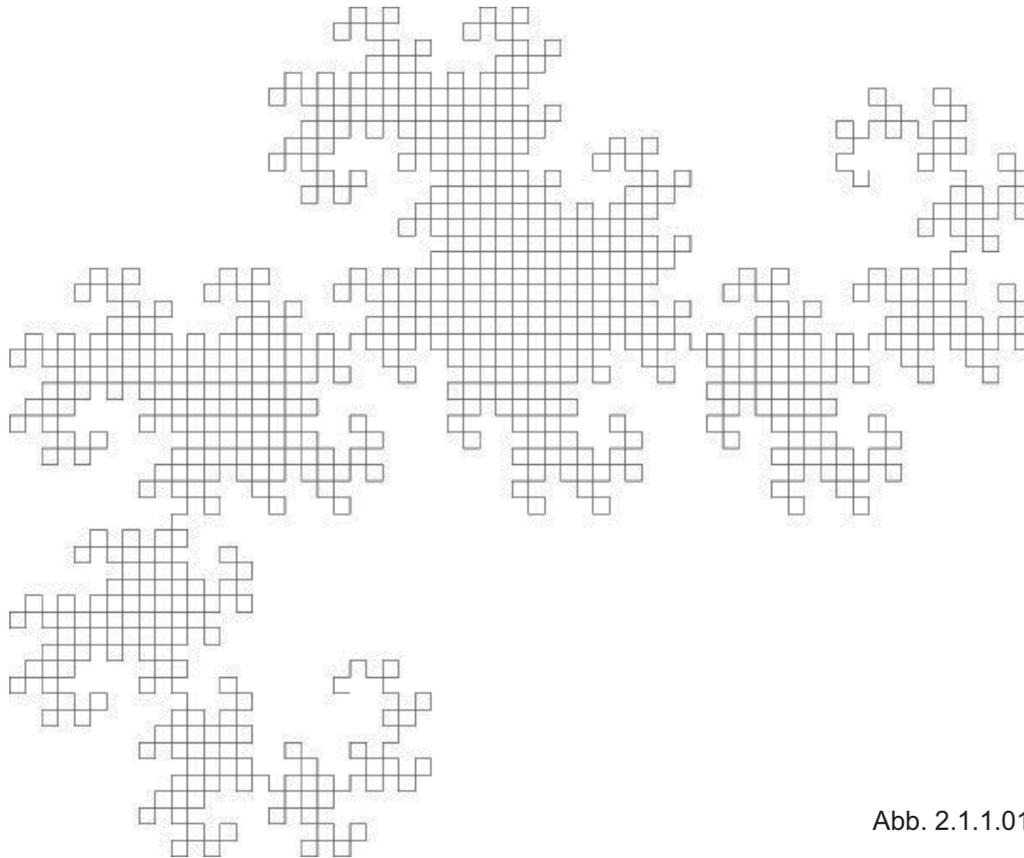


Abb. 2.1.1.01

¹⁾ <http://de.wikipedia.org/wiki/Drachenkurve>

2.1.2 DOL-SYSTEME

DOL – Systeme sind deterministisch und kontextfreie L-Systeme, die durch Strings (Wörter) gebildet werden. Jeder String besteht aus einer Reihe von Buchstaben an welche Ersetzungsregeln geknüpft sind. Ein „A“ wird so zum Beispiel durch ein „ABA“ und ein „B“ durch ein „AC“ ersetzt. Während das „C“ ein „C“ bleibt. Als Start wird ein String eingelesen der als Axiom bezeichnet wird. Die daraus resultierenden Ableitungen werden jeweils simultan durchgeführt.

An diese Buchstaben können in Folge Zusatzinformationen, wie zum Beispiel Richtungen oder Wertigkeiten, geknüpft werden.

Ein „A“ stellt so etwa ein gerades Segment, ein „B“ eine Verästelung in 2 neue Richtungen und ein „C“ die Schnittstelle für 3 neue Zweige.

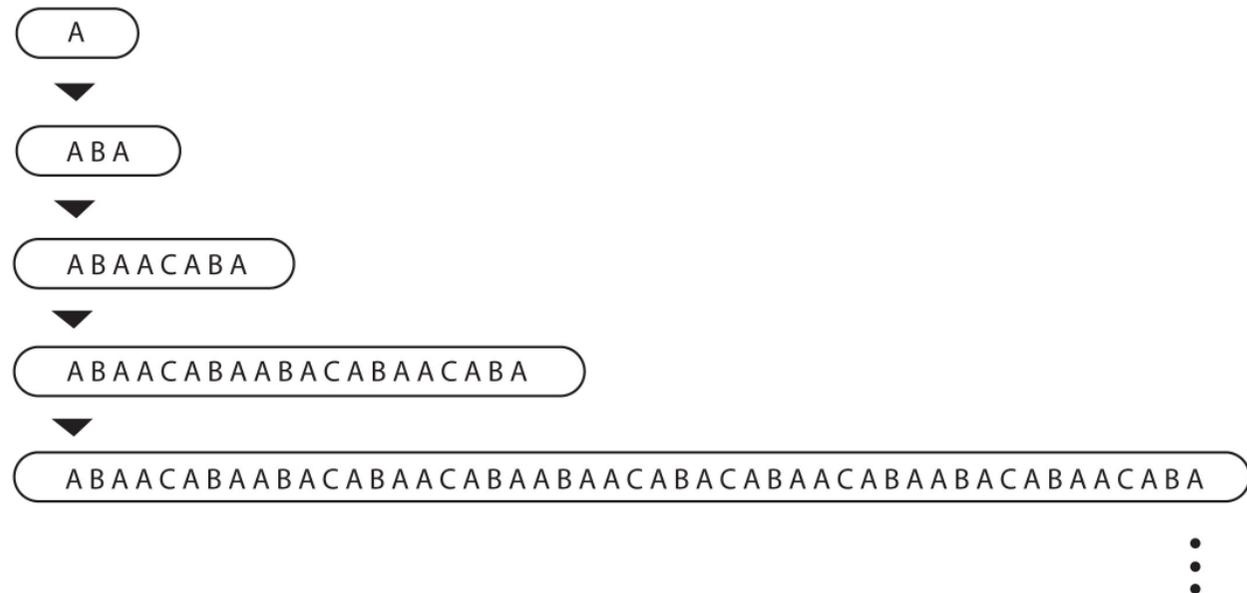


Abb. 2.1.2.01

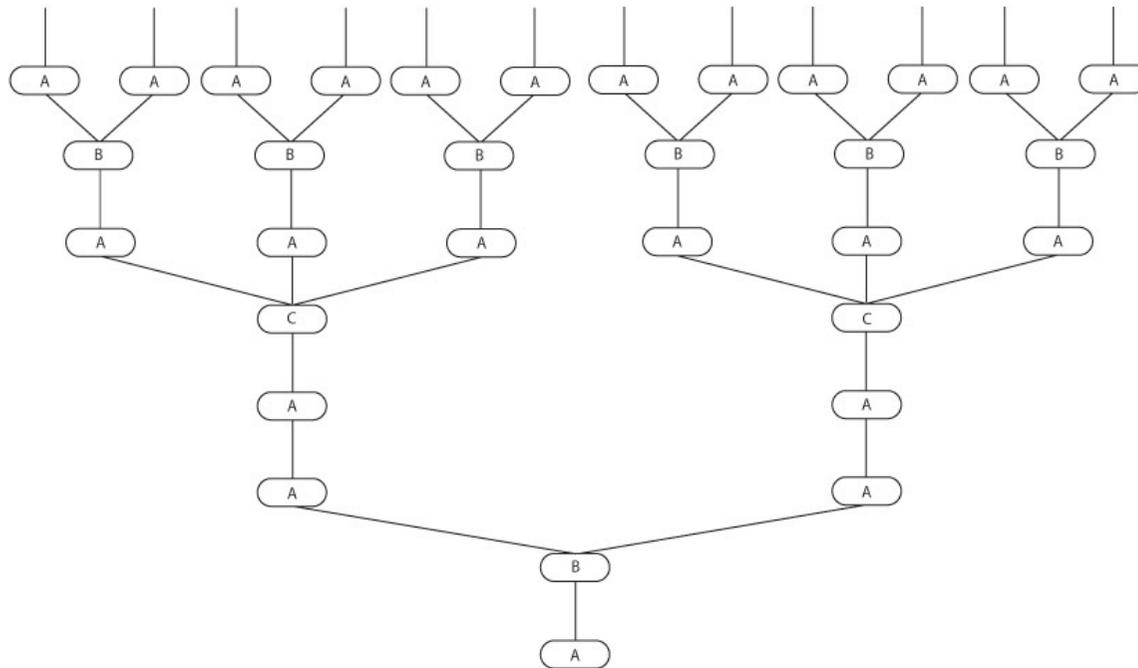


Abb. 2.1.2.02
Verzweigung der Branching Struktur

Die Zeichen der Zeichenkette sind ohne vordefinierte Bedeutung. Theoretisch relevant ist allein die Syntax ihrer Verknüpfung. Sie definiert die generative selbstähnliche Struktur. Die semantische Interpretation der Zeichen ist alleine eine Interpretationsleistung eines menschlichen Lesers. Im Prinzip ist auch eine visuelle Interpretation (die animiert werden kann) etwa zur automatischen Synthese von pflanzlichen Wachstumsstrukturen möglich.²⁾

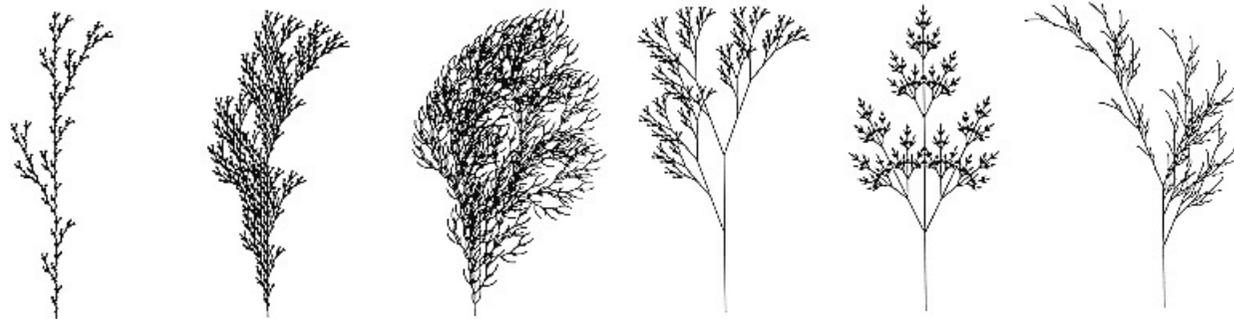


Abb. 2.1.2.03

²⁾ <http://www.paul-koop.de/lsytembsp.htm>

2.1.3 KONTEXTFREIE L-SYSTEME

Um ein L-System zu realisieren, wird eine Tiefe n festgelegt und ein Ersetzungsschritt endlich oft wiederholt. Im Ersetzungsschritt wird das aktuelle Wort w Zeichen für Zeichen abgearbeitet und jedes Zeichen durch das neue, in den Ersetzungsregeln festgelegte, Wort ersetzt.

Kontext-freie L-Systeme (auch 0L-Systeme genannt) enthalten Produktionen p , die auf ein Anfangswort w (auch Axiom genannt) n -mal angewendet werden. Die Produktionen ordnen dabei maximal einem Zeichen, ohne Beachtung des Kontextes, ein Wort zu. Wird für ein Zeichen keine Regel angegeben, wird im Allgemeinen die Identität als triviale Ersetzung des Zeichens durch sich selbst angenommen.³⁾

2.2 INTERPRETATIONSMETHODEN

2.2.1 LINEARE INTERPRETATION

Die wohl einfachste biologische Interpretationsweise ist, jeden Buchstaben als Zelle eines Organismus zu interpretieren. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Algen darstellen. Hier symbolisieren die Buchstaben den Zellstatus (Größe und Teilbereitschaft der Zelle) und legen die Polarität der Zelle fest, das heißt auf welcher Seite der Zelle eine Tochterzelle entsteht.⁴⁾

³⁾ <http://de.wikipedia.org/wiki/Lindenmayer-System>

⁴⁾ <http://klimek.box4.net/files/lindenmayer.pdf>

2.2.2 BRACKETED L-SYSTEMS

Da viele Organismen nicht mit einer linearen Aneinanderreihung von Zellen dargestellt werden können, benötigt man eine Erweiterung der Interpretation. Man führt dazu entsprechende Verzweigungssymbole ein, die in das Alphabet aufgenommen werden.

Eine solche Entwicklung kann wie folgt beschrieben werden:

- w : A_r 
 - p1 : A_r → A_lB_r 
 - p2 : A_l → B_lA_r 
 - p3 : B_r → A_r 
 - p4 : B_l → A_l 
- A_r
 A_lB_r
 B_lA_rA_r
 A_lA_lB_rA_lB_r
 B_lA_rB_lA_rA_rB_lA_rA_r

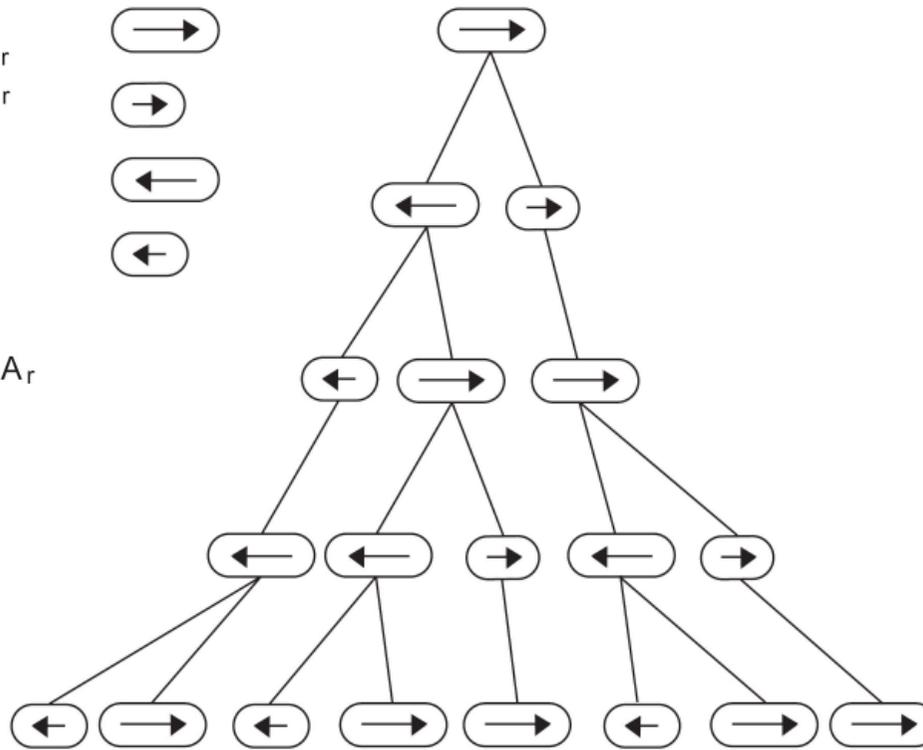


Abb. 2.2.2.01

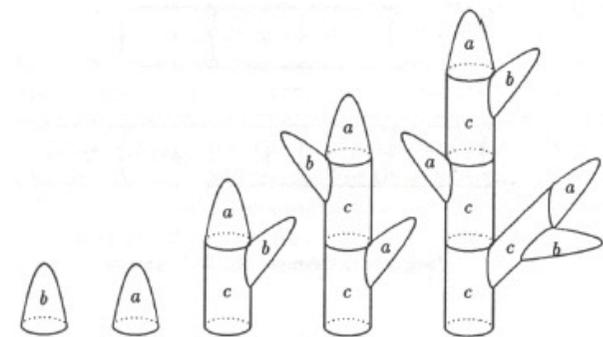


Abb. 2.2.2.02

2.3 MODELLIERUNG IN 3D

Die Turtlemodellierung kann auf 3 Dimensionen ausgeweitet werden, indem die Orientierung durch 3 Vektoren X, Y, Z ausgeführt wird. Diese Vektoren haben eine Einheitslänge, und sind lotrecht zu dem jeweils anderen. Sie erfüllen $X \times Y = Z$.

Ihre Orientierung wird durch eine 3x3 Matrix beschrieben. Die Rotation um den Winkel α .⁵⁾

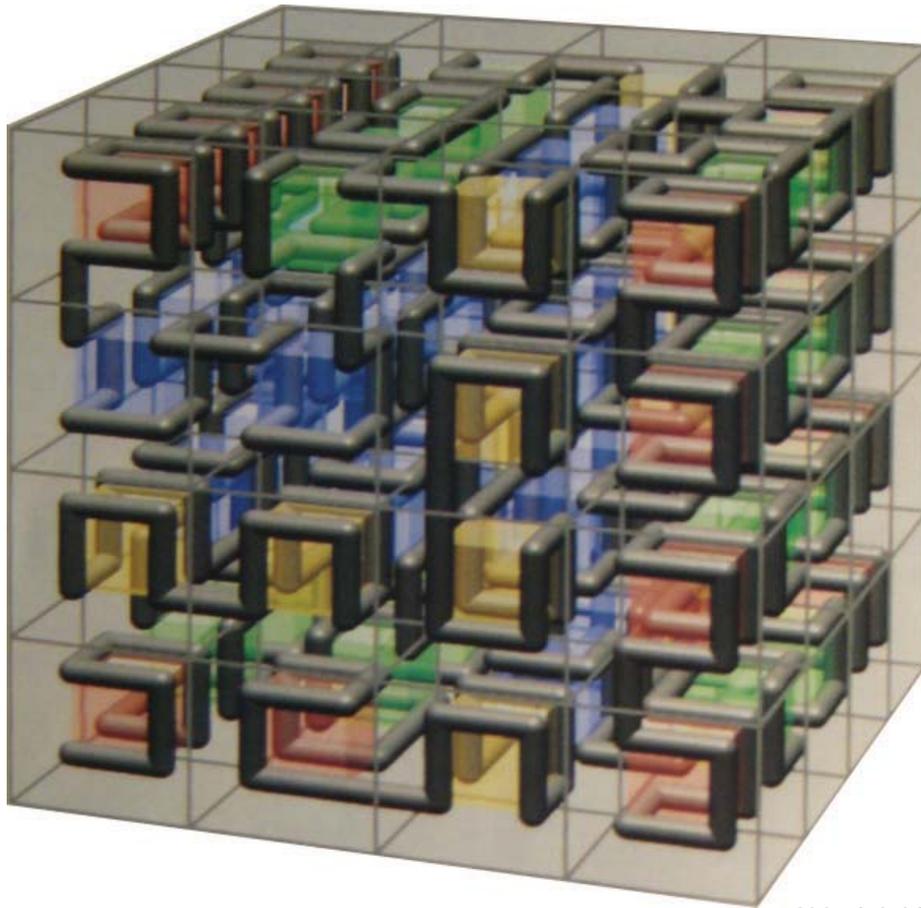


Abb. 2.3.02

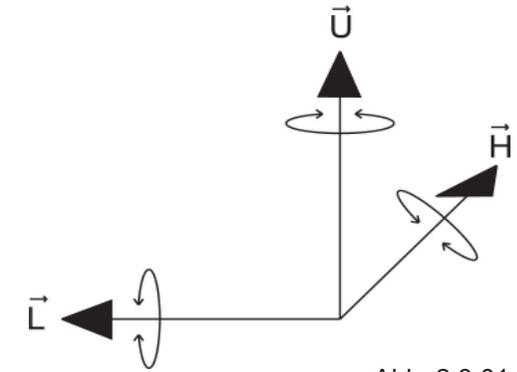


Abb. 2.3.01

$$R_U(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_L(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

$$R_H(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

⁵⁾Przemyslaw Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer, The Algorithmic Beauty of Plants, Springer Verlag, New York 1990, ISBN 0-387-97297-8

3. SYSTEMARTEN

3.1 DETERMINISTISCHE L-SYSTEME

Bei deterministischen L-Systemen sind alle betrachteten Variablen eindeutig bestimmt. Bei gleichen Ausgangswerten wird ein Simulationsmodell somit stets die gleichen Ergebnisse liefern.

3.2 STOCHASTISCHE L-SYSTEME

Im Gegensatz zu den deterministischen Systemen, werden bei stochastischen Simulationsmodellen nicht alle Variablen als eindeutig bestimmbar, sondern als zufällig modelliert. Variationen können durch die Änderung der Turtleinterpretation oder des L-Systems oder beidem erzeugt werden.

Mathematische Definition nach Yokomori, Eichhorst und Savitch :

Ein stochastisches L-System ist ein geordnetes Quadrupel $G\pi = (V, \omega, P, \pi)$. Das Alphabet V , das Axiom ω und eine bestimmte Anzahl von Produktionsregeln P , definiert durch ein OL-System.

Die Funktion $\pi : P \rightarrow (0,1]$, "probability distribution" genannt, ändert die Produktionsregeln in "production probabilities". Es wird angenommen, dass für jeden Buchstaben a aus V , die Summe aller Möglichkeiten von jeder Produktion mit dem Vorgänger a , 1 ergibt.⁶⁾

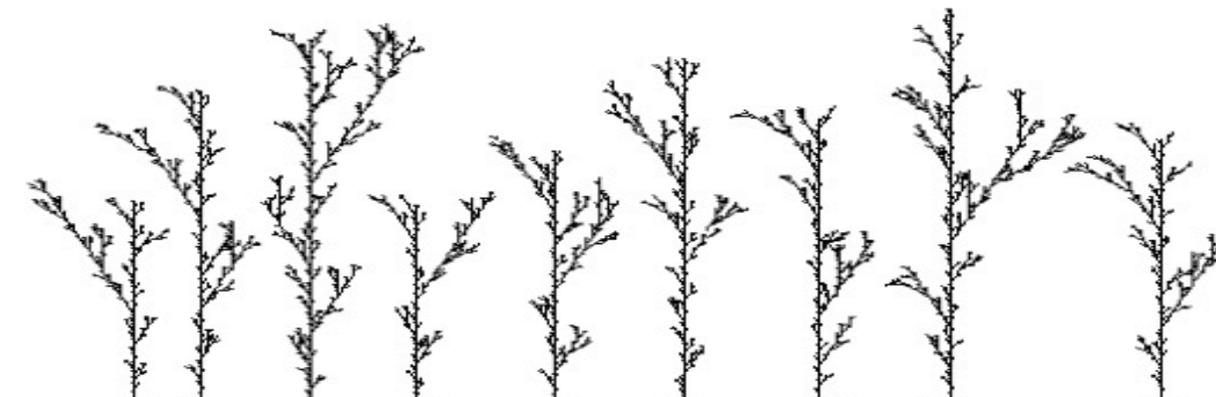
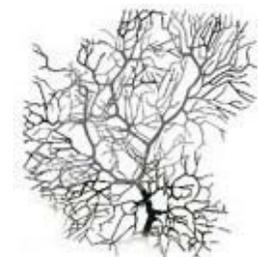
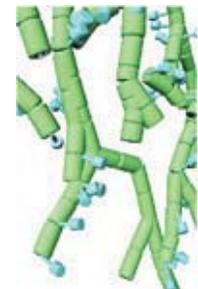
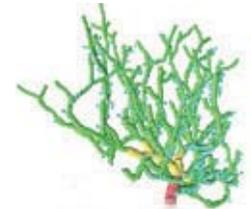
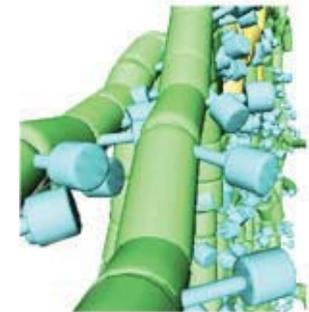


Abb. 3.2.01

Abb. 3.2.02-05

3.3 KONTEXT-SENSITIVE L-SYSTEME

Im Unterschied zu kontext-freien L-Systemen werden bei den Produktionen auch die Zeichen oder Zeichenfolgen vor oder nach dem zu ersetzenden Zeichen betrachtet. Dabei werden die Kontextbedingungen üblicherweise so notiert, dass der linke Kontext durch $<$ vom zu ersetzenden Zeichen abgetrennt wird, und der rechte Kontext entsprechend durch $>$.⁷⁾

Beispiel : Zeichensatz = { a, b }; Produktionen = { $b < a \rightarrow b$, $b > b \rightarrow a$ }; $\omega = \{baaa\}$

(Ist also links von a ein b, wird das a durch b ersetzt. Analog wird ein b zu a, wenn rechts davon ein b steht.)

$n=0 \rightarrow baaa$

$n=1 \rightarrow abaa$

$n=2 \rightarrow aaba$

etc.

3.4 PARAMETRISCHE L-SYSTEME

Im Rahmen der parametrischen L-Systeme werden zusätzlich zu einzelnen Zeichen auch den Zeichen zugeordnete Ziffern betrachtet. Diese Parameter lassen sich nicht nur explizit in den Produktionsregeln verändern, sondern man kann auch konditionale Produktionen erstellen, die nur greifen, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind, ähnlich den kontext-sensitiven L-Systemen. Beispiel: Sei $F(l)$ ein Ast der Länge l . Die Produktionen $F(l) : l < 10 \rightarrow f(l+1)$ und $F(l) : l \geq 10 \rightarrow F(i+1)F(1)$ lassen den Ast nun wachsen und ab einer bestimmten Länge ($l=10$) neue Äste entstehen.⁷⁾

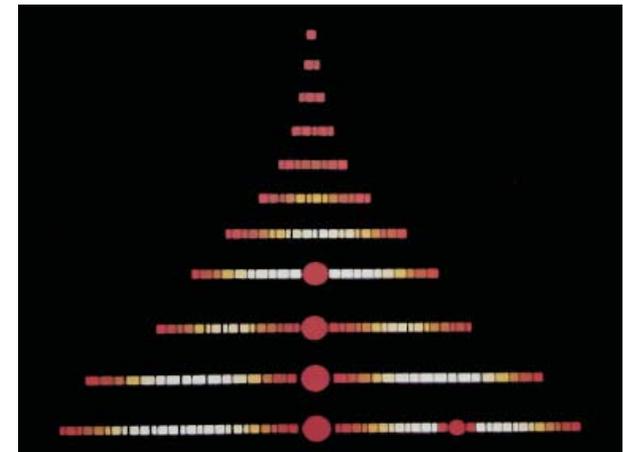


Abb. 3.4.01

⁷⁾ <http://de.wikipedia.org/wiki/L-Systeme>

3.5 WACHSTUMSFUNKTIONEN

Die Wachstumsfunktion eines deterministischen (oder stochastischen) L-Systems ist die erwartete Wortlänge des n -ten generierten Wortes. Da es für das Wachstum unerheblich ist, in welcher Reihenfolge die Buchstaben in einem Wort vorkommen, reicht es, sich nur die Anzahl jedes Buchstaben in einem Wort zu merken. Diese wird mit Hilfe eines Vektors, dem Parikh Vektor, dargestellt. Die Wachstumsmatrix des L-Systems speichert nun in jeder Reihe für einen Buchstaben die Anzahl der nach der Ersetzung aus diesem Buchstaben entstehenden Buchstaben. Dies bezeichnen wir mit dem konstanten 1-Vektor.

Die Eigenschaften von Wachstumsfunktionen: Die Wachstumsfunktion eines propagierenden L Systems ist monoton steigend. Ist die Wachstumsfunktion an einer Stelle 0, so ist sie an allen folgenden Stellen ebenfalls 0. Hat man die Wachstumsmatrix einer Wachstumsfunktion berechnet, so kann man die Wachstumsfunktion auch explizit berechnen.⁸⁾

Die Definition einer direkten Ableitung eines DOL-Systems impliziert :

$$[\underline{a}_1^k \quad \underline{a}_2^k \quad \dots \quad \underline{a}_m^k] \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mm} \end{bmatrix} = [\underline{a}_1^{k+1} \quad \underline{a}_2^{k+1} \quad \dots \quad \underline{a}_m^{k+1}]$$

Diese Matrix ist bei der Analyse von Wachstumsfunktionen sehr nützlich.

Als Beispiel dient hier das L-System Anabaena Catenula : $\mathbf{W} : a$

$$p_1 : a \longrightarrow ab$$

$$p_2 : b \longrightarrow a$$

Wie häufig die Buchstaben a und b in fortlaufend abgeleiteten Worten vorkommen, kann so ermittelt werden :

$$[\underline{a}^k \quad \underline{b}^k] \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = [\underline{a}^{k+1} \quad \underline{b}^{k+1}]$$

oder : $\underline{a}^{k+1} = \underline{a}^k + \underline{b}^k = \underline{a}^k + \underline{a}^{k-1}$

⁸⁾<http://klimek.box4.net/files/lindenmayer.pdf>

4. EXTERNE BEEINFLUSSUNG DES PFLANZENWACHSTUMS

In der Natur spielen nicht nur interne und externe Faktoren einzeln eine Rolle, ausschlaggebend ist vielmehr eine Kombination aus beiden.

4.1 RÄUMLICHE BESCHRÄNKUNGEN

Umgebungssensitive L-Systeme sind ein Versuch, interne und externe Mechanismen in einem Modell zu kombinieren. Es wird dabei angenommen, daß die Entwicklung des Systems in einem Raum stattfindet, der durch ein Skalar- oder Vektorfeld charakterisiert wird. Die Pflanze, oder Teile davon, testen dabei Punkte des Feldes während ihres Wachstums und werden von den Werten des Feldes beeinflusst.⁹⁾

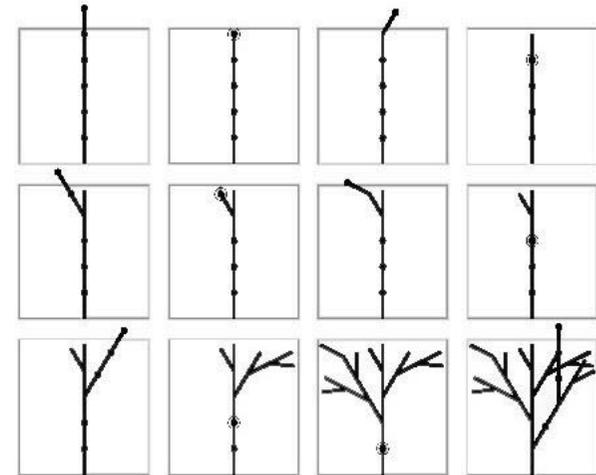


Abb. 4.1.01

⁹⁾Przemyslaw Prusinkiewicz, Mark James, and Radomir Mech. Synthetic topiary. Proceedings of SIGGRAPH 94 (Orlando, Florida, July 24-29, 1994). In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1994, ACM SIGGRAPH

4.2 INTERAKTION PFLANZE-UMGEBUNG

In der Natur sind die Mechanismen zwischen der Pflanze und ihrer Umgebung komplizierter. Die Pflanze und ihre Umgebung beeinflussen sich gegenseitig. Um diesen bidirektionalen Informationsaustausch zwischen Pflanzen und ihrer Umgebung zu modellieren, werden offene L-Systeme (open L-Systems) verwendet.

Es wird dabei angenommen, dass die Entwicklung des Systems in einem Raum stattfindet, der durch ein Skalar- oder Vektorfeld charakterisiert wird. Die Pflanze testet dabei Punkte des Feldes bei ihrem Wachstum und wird von Werten an bestimmten Punkten beeinflusst. Im Unterschied zu umgebungs-sensitiven L-Systemen kann die Pflanze außerdem Werte an Punkte des sie umgebenden Feldes senden und so die Umgebung beeinflussen. Bei offenen L-Systemen wird dieser Prozess dadurch simuliert, dass die Umgebung Nachrichten an das L-System senden kann und umgekehrt.

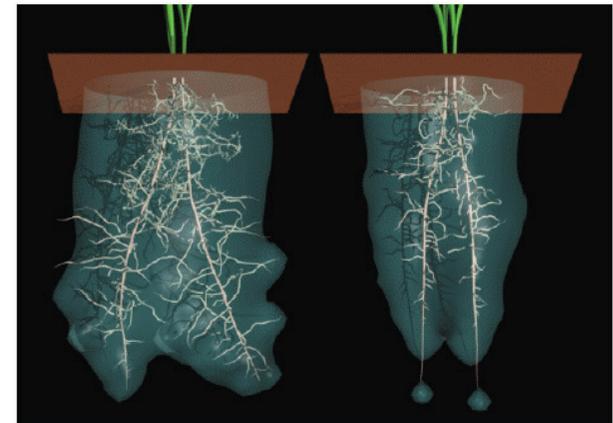


Abb. 4.2.01

Eine weitere Anwendung ist die Simulation der Konkurrenz von Pflanzen um Licht. In dem dargestellten Beispiel kämpfen zwei genetisch identische Bäume um Licht. Anhäufungen von Blättern werfen Schatten auf weiter unten liegende Zweige. Eine Zweigspitze, die sich im Schatten befindet, erzeugt keine neuen Zweige mehr. Ein vorhandener Zweig, dessen Blätter nicht genug Licht erhalten sterben ab und werden vom Baum fallengelassen. Auf diese Art und Weise kontrolliert die Konkurrenz um Licht die Dichte der Baumkronen.¹⁰⁾

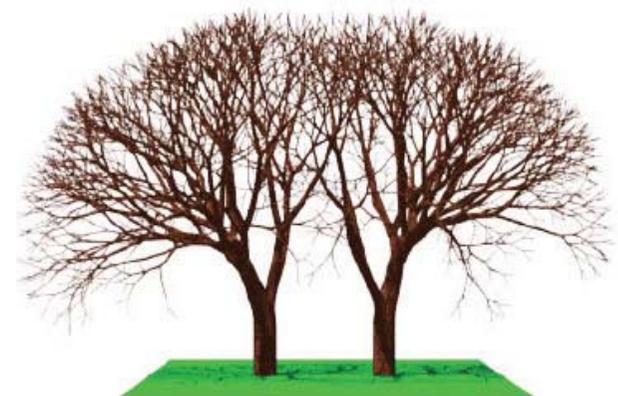


Abb. 4.2.02

¹⁰⁾ Radomir Mech and Przemyslaw Prusinkiewicz. Visual Models of Plants Interacting with Their Environment. Proceedings of SIGGRAPH 96 (New Orleans, Louisiana, August 4-9, 1996). In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1996, ACM SIGGRAPH

5. METHODEN ZUR REALISTISCHEN DARSTELLUNG

5.1 TEXTURE MAPPING AUF EINFACHE OBJEKTE: „BILLBOARDS“

Meist auf ein Rechteck, bestehend aus zwei Dreiecken, projizierte Texturen werden als „Billboard texture Maps“ bezeichnet. Der Hintergrund der Pflanzentextur wird dabei transparent dargestellt (siehe Abbildung 1-2 und 1-3) und immer zur Blickrichtung hin ausgerichtet. Mit Billboard Texturen dargestellte Pflanzen sind keine echten Modelle der jeweiligen Pflanze, sondern nur das in die 3. Dimension projizierte zweidimensionale Abbild. Bei dieser Art der Darstellung ergibt sich, wenn die Abweichung von der aufgenommenen Blickrichtung der Pflanzentextur zu groß ist, eine perspektivische Verzerrung. Aus zu großer Nähe betrachtet erscheint das Bild auch nicht realistisch. Daher wird das Billboard Texture Mapping Verfahren vor allem bei einer großen Anzahl von Pflanzen bei geringer Auflösung verwendet.¹¹⁾

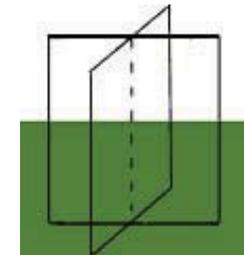


Abb. 5.1.01

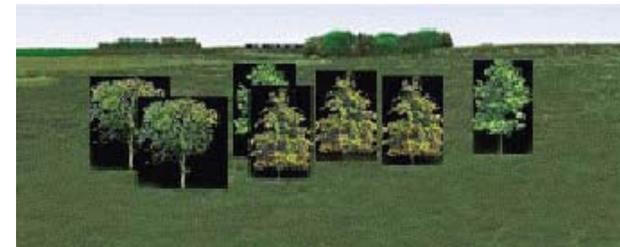


Abb. 5.1.02



Abb. 5.1.03

¹¹⁾ Bettina Geier, Karin Egger, Andreas Muhar. Integrierte 3D-Visualisierungs-Systeme für die Landschaftsplanung: Konzepte und Marktrealität. In Corp 2001

6. ANWENDUNGEN

6.1 REALISTISCHE DARSTELLUNG DER UMWELT IN DER COMPUTERGRAPHIK

Ein offensichtliches Anwendungsgebiet von L-Systemen ist die Darstellung der Umwelt in Filmen und Simulationen. In Kombination mit anderen Techniken, die für die Oberflächengestaltung, Beleuchtung und die Darstellung nicht pflanzlicher Bestandteile der Szene dienen, liefern L-Systeme überzeugende Ergebnisse.

Realistische, mit ihrer Umgebung interagierende, Pflanzenmodelle bilden aber auch eine objektive Entscheidungsgrundlage in der Landschaftsplanung und -gestaltung. Vor allem die Option, die Entwicklung von Pflanzen über einen bestimmten Zeitraum hinweg simulieren zu können, ermöglicht eine bessere Planbarkeit, als mit statischen, von der Erfahrung des Gestalters abhängigen, Modellen.¹²⁾

6.2 Biologische Modelle

L-Systeme können dazu dienen die Richtigkeit biologischer Modelle zu überprüfen. In der Natur nicht direkt beeinflussbare Parameter können gelenkt und die Ergebnisse in einer kontrollierbaren Umgebung ohne störende Einflüsse simuliert werden. Durch die Möglichkeit, biologische Zustände und Abläufe zeitlich zu manipulieren, können Ergebnisse schneller betrachtet werden.

6.3 Das Interferenzproblem

Unter dem Interferenzproblem versteht man die Schwierigkeit, zu einer Pflanze das passende L-System zu finden und dazu realistische Parameter und Produktionen zu bestimmen, um ein biologisch exaktes Modell zu erhalten. Es existieren Methoden und Algorithmen die diesen Prozess vereinfachen können, diese sind jedoch zu unflexibel, um in allen Fällen angewendet werden zu können. Man muss also das richtige L-System meist weiterhin durch Versuch und Irrtum bestimmen.¹³⁾



Abb. 6.1.01

¹²⁾ Oliver Deussen, Pat Hanrahan, Bernd Lintermann, Radomir Mech, Matt Pharr, and Przemyslaw Prusinkiewicz. Realistic modeling and rendering of plant ecosystems. Proceedings of SIGGRAPH 98 (Orlando, Florida, July 19-24, 1998). In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1998, ACM SIGGRAPH

¹³⁾ <http://medien.informatik.uni-ulm.de/lehre/courses/ss02/Computergrafik/FlorianBreier.pdf>

7. MÖGLICHKEITEN DER VISUALISIERUNG

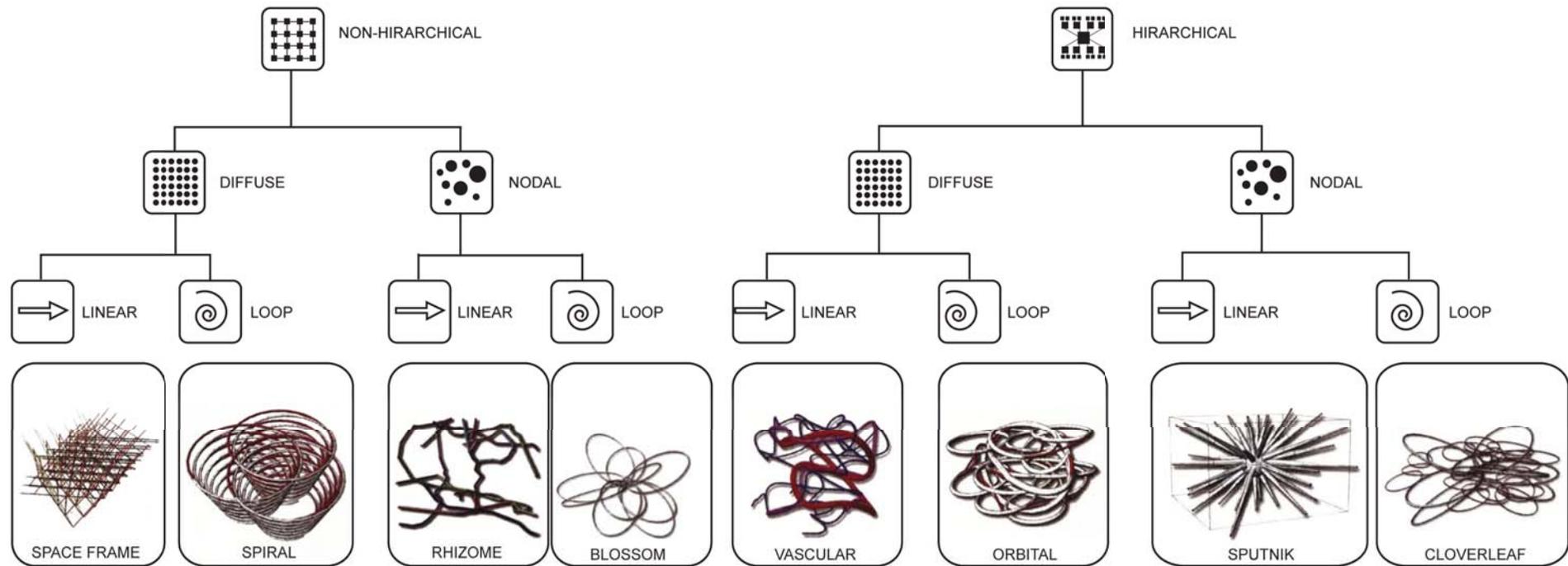


Abb. 7.01

7.1 VISUALISIERUNG DURCH MAPPING

Die individuell generierten Charaktere der L-System-Strings werden auf Objekte aufgetragen. Dieser Prozess zeigt die produzierbaren Muster von rekursiven Anwendungen von algorithmischen Rewriting Prozessen.

7.1.1 MAPPING AUF FLÄCHEN

Die Buchstaben der Strings werden auf ein Flächenraster aufgetragen und nach bestimmten vordefinierten Wertigkeiten im Raum verschoben.

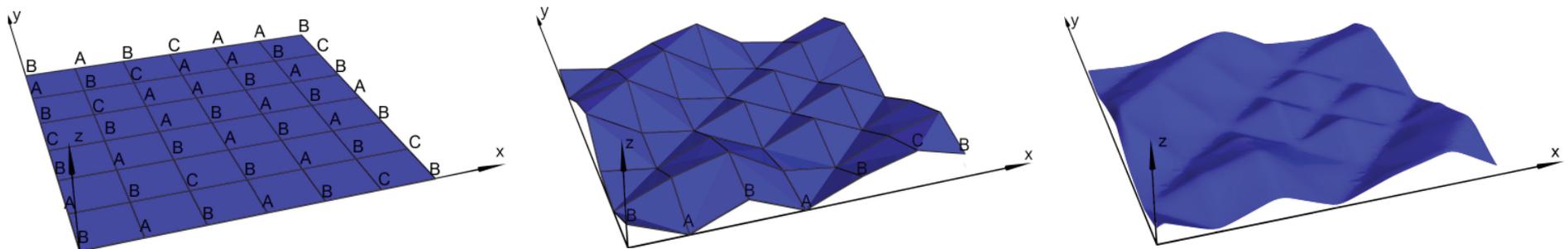


Abb. 7.1.1.01

7.1.2 MAPPING VON OBJEKTEN

Buchstaben oder Buchstabencluster nehmen auf ganze Objekte Einfluss, in Bezug auf deren Orientierung, Skalierung oder Rotation im Raum.

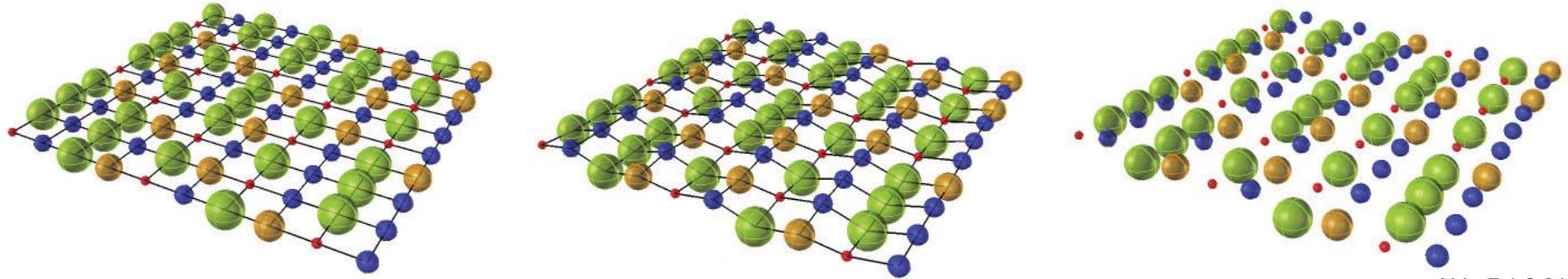


Abb. 7.1.2.01

7.1.3 DERIVATIVE FORMEN

Geometrien werden durch das Auftragen von Strings, welche selbst durch einen früheren generativen Entwicklungsprozess entstanden sind, entwickelt.

Die Graphen und Geometrien, die durch String-Mapping-Darstellungen entstehen, können den Ausgangspunkt für weitere generative Formprozesse bilden.

Bei diesem Beispiel wurden Punkte durch den Algorithmus in ansteigender Höhe generiert, durch Kurven verbunden und durch die entstandenen Kurven eine Fläche gelegt.

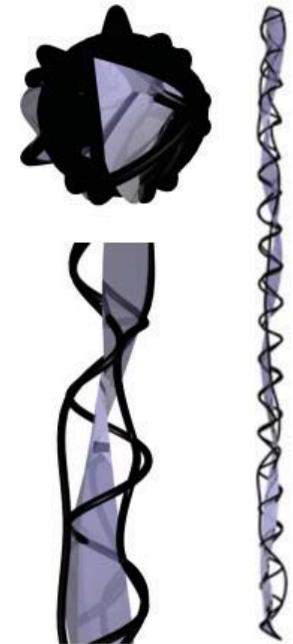


Abb. 7.1.3.01

7.2 TURTLE GRAPHIK UND MODULARE SYSTEME

7.2.1 DETERMINISTISCHE L-SYSTEME

Den einzelnen Buchstaben eines Strings werden Eigenschaften wie "Bewegung nach rechts" oder "Bewegung nach oben" sowie "setze an den Wendepunkt einen Würfel" usw. zugewiesen.

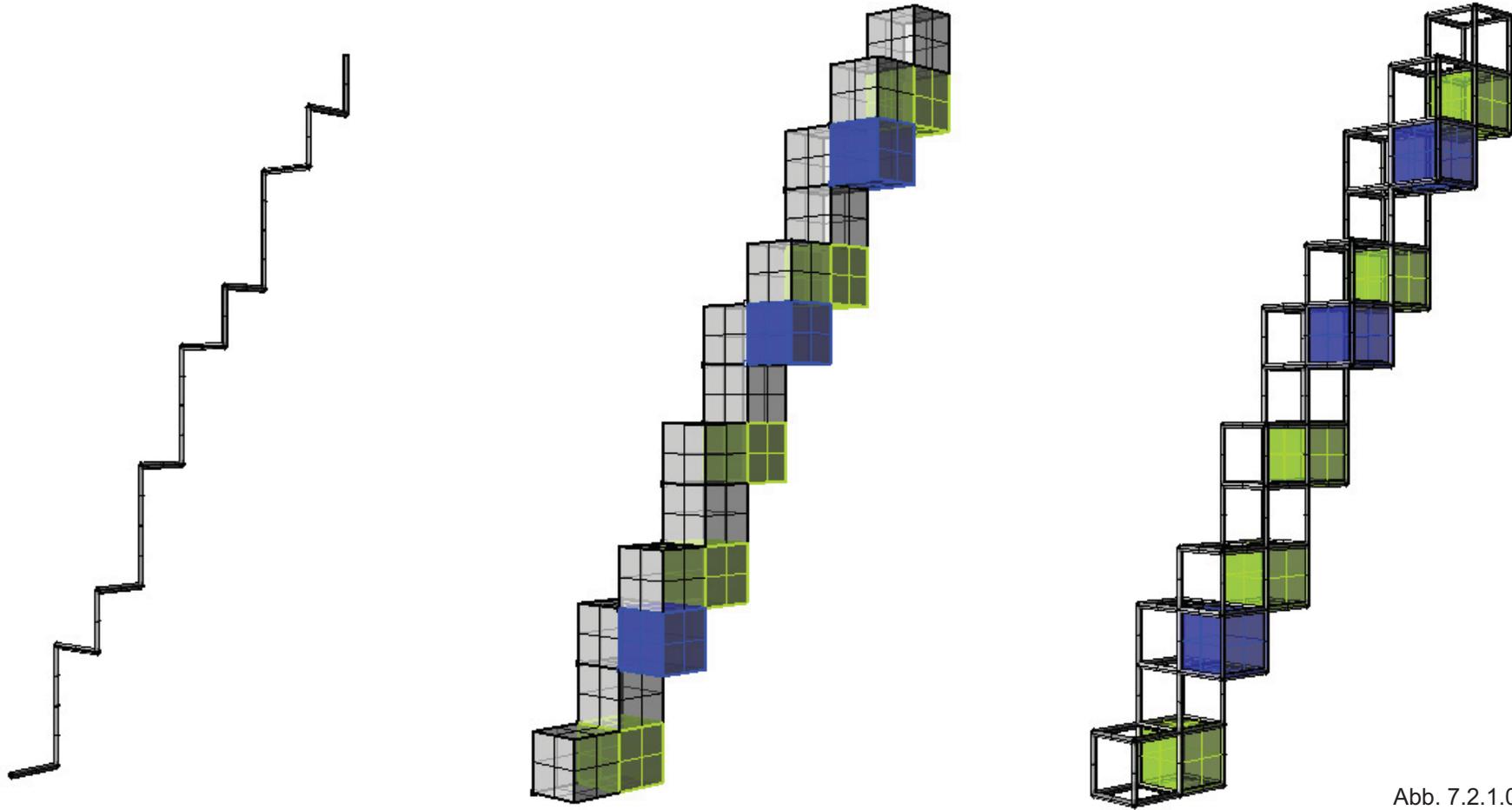


Abb. 7.2.1.01

7.2.1.1 TURTLE VARIANTE IN VERBINDUNG MIT BRANCHING STRUKTUREN

Die Befehle eines Turtle können durch Punkte, die gespeichert werden sollen und an denen an einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden soll, erweitert werden. Es können beliebig viele Punkte gespeichert werden und in einer Art "first-in" - "last-out" Liste organisiert sein. Durch diese Logik können unendlich verschieden viele Level von Verzweigungen gemacht werden. Komplexe Strukturen können mit nur einer Stringgeneration geschaffen werden.

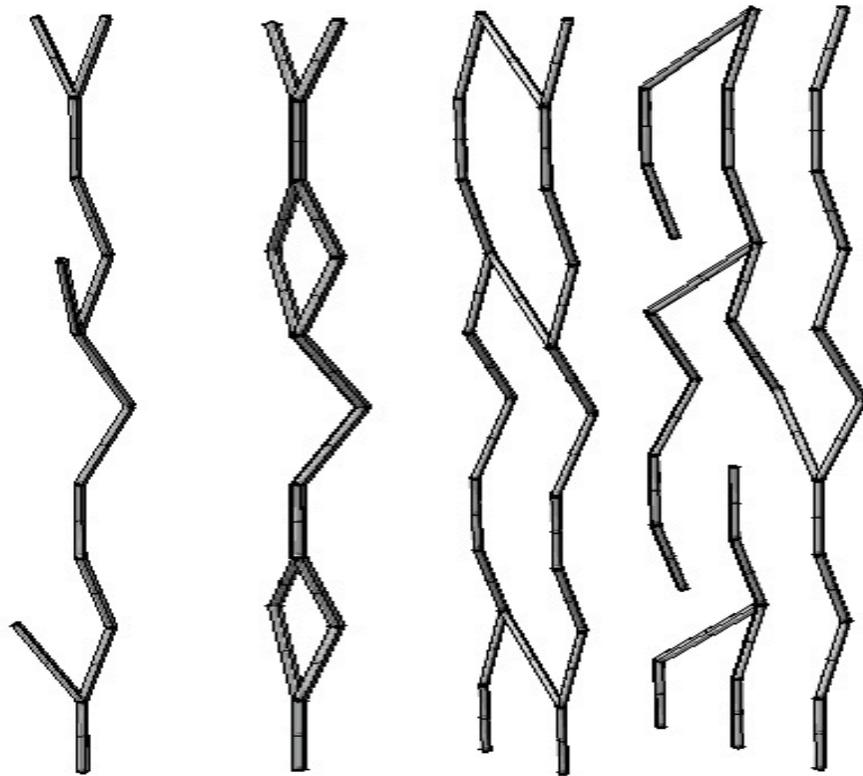


Abb. 7.2.1.1.01

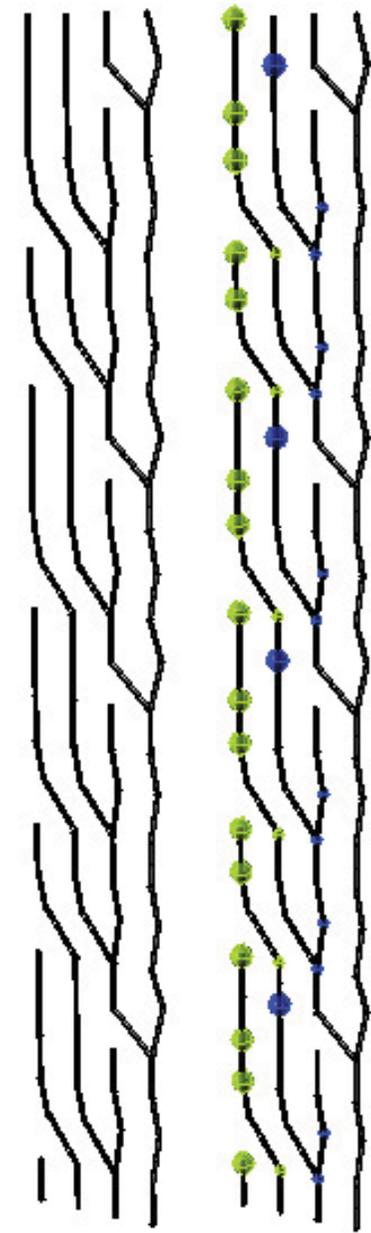


Abb. 7.2.1.1.02

Branching-Strukturen in der Ebene

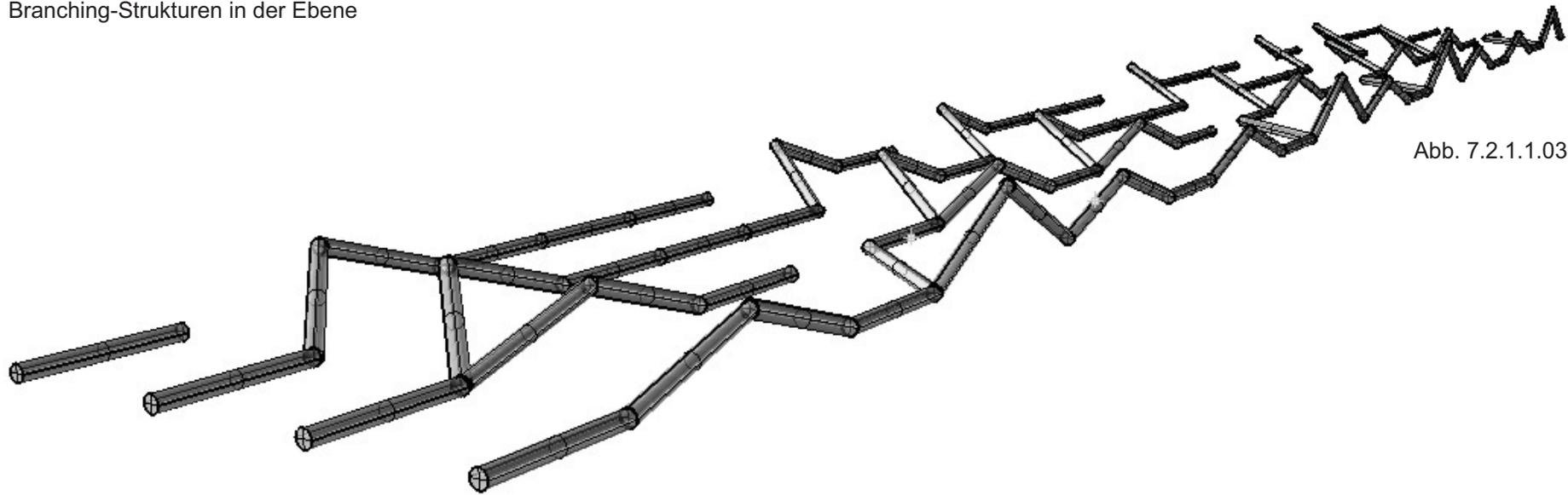


Abb. 7.2.1.1.03

Durch die Aneinanderreihung solcher Branching-Strukturen können Skelette für Gebäude entstehen. Der strenge orthogonale Raster erlaubt es, die Funktionseinheiten als Boxen durchzuführen.

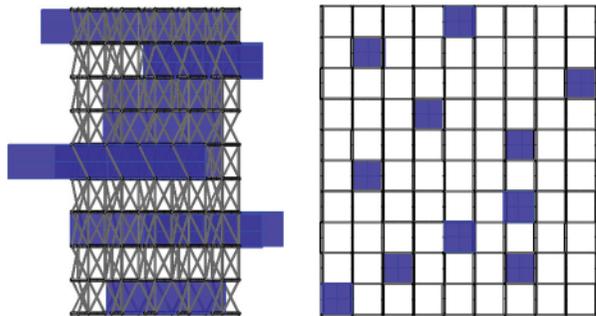


Abb. 7.2.1.1.04

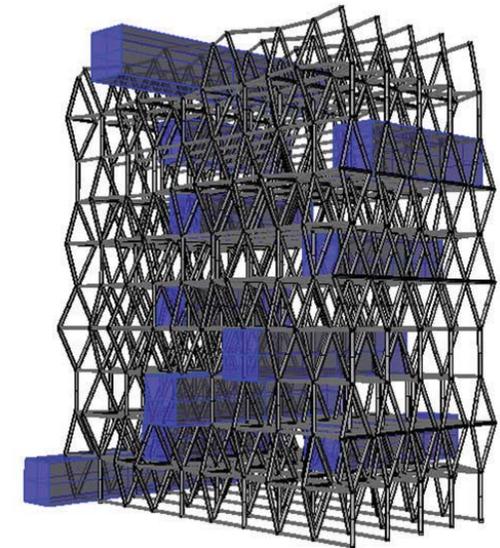


Abb. 7.2.1.1.05

7.2.2 STOCHASTISCHE L_SYSTEME

Durch ein zeitabhängiges oder grenzenbedingtes Verändern der Richtung oder durch das Verändern der Variablen können Figuren entstehen. Dabei kann jeder Buchstabe des Strings für eine Funktion stehen, oder ein Erschließungsweg durch ein bestehendes Raumlabyrinth generiert werden.

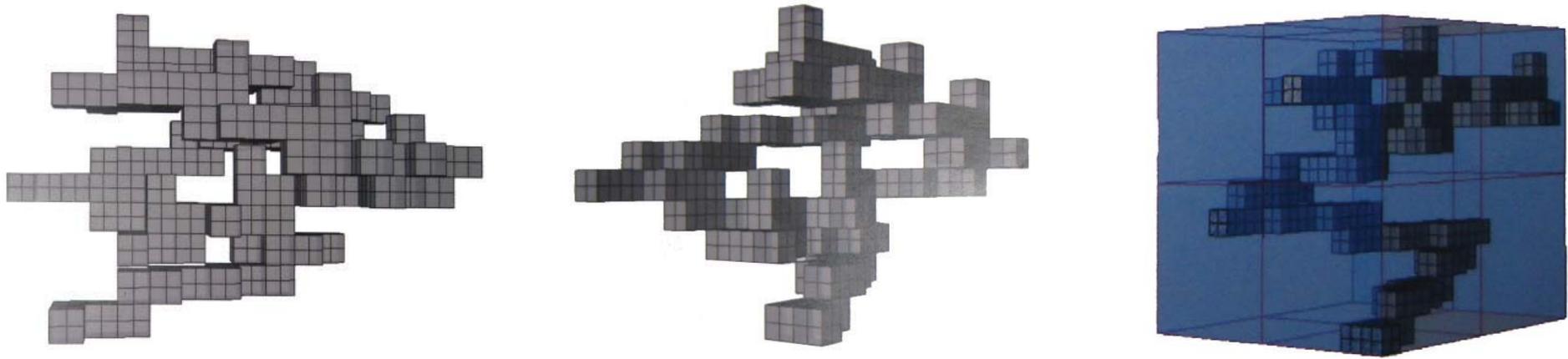


Abb. 7.2.2.01

7.3 ASSOZIATIV PARAMETRISIERTES MODELLIEREN

Der Lindenmayer-Algorithmus kann auch als Grundalgorithmus für geometrische Formen angewandt werden. In diesem Zusammenhang wird er jedoch nicht als sich selbst darstellend, sondern als eine Schrittabfolge fungieren. Er läuft parallel zu vorgegebenen mathematischen Funktionen und kann im dreidimensionalen Raum betrachtet Richtungen, Grössen und Funktionen interaktiv beeinflussen.

Für die experimentelle Formfindung oder zur Erzeugung organisch eindrucksvoller Objekte werden, vorallem die Spiraling, die Helix oder das Verweben von mehreren Kurven verwendet. Die daraus resultierenden Ergebnisse bieten nicht nur einfach begreifbare Strukturen, sie sind auch für Umsetzung und Organisation in späteren Designschritten (Planung, Modellbau, Umsetzung) von Vorteil. Durch die mathematisch exakte Beschreibung können Grössen oder Gestalt leicht wiederberechnet bzw. wiedergegeben werden.

7.3.1 SPIRAL LATTICE

Eine Serie von Punkten wird auf konzentrischen Kreisen, mit konstant abweichenden Winkeln, zueinander aufgetragen. Die Spirale Lattice ist als eine formale Vorausschauung zu verstehen. Es ist eine schier unendliche Anzahl von spiral und sub-spiral Konfigurationen möglich.



Abb. 7.3.1.01

7.3.2 WEAVING

Beim Weaving (gewebte Strukturen) wird die Verbindung von zwei schwachen Systemen, in ein reziprokes Muster verstanden. Die Systeme unterstützen sich gegenseitig. Korb, Netz, Seil und Textil Design zeigen schier unendlich viele verschiedene Variationen des Prinzipes auf. Das Überraschende bei einer gewebten Konstruktion ist, dass sie schwerer aufzulösen, als zu weben ist.



Abb. 7.3.2.01

Abb. 7.3.2.02

8. L-SYSTEME ALS DESIGN WERKZEUG IN DER ARCHITEKTUR

8.1 KONSTRUKTIONSPRINZIP

Die Konstruktion ist ein Raumfachwerk. Die Fachwerksknoten werden durch die Lindenmayer-Abfolge vorgegeben und durch die Oberfläche, auf der sie angewandt sind, richtungsmäßig beeinflusst. Die dadurch entstehende, an ein Raster gebundene, Ebene wird darauhin in jedem zweiten Punkt unterspannt. In einem zweiten Aussteifungsschritt werden auch die bisher noch nicht unterspannten Knoten dem zuvor beschriebenen Verfahren unterzogen.

In seiner Gesamtheit steift sich das System durch die zweite Raumachse aus.

Durch den Algorithmus kann vorausgesetzt werden, dass ein Punkt mit einer aufgetragenen Höhe "A", in keiner Richtung von einem weiteren Punkt mit der Höhe "A" umgeben wird. Das gesamte Tragwerk kann auf diese Weise in Dreiecke aufgeteilt werden. Auch die Oberfläche wird so trianguliert.

Die Zwischenräume der gesamten Konstruktion werden, unabhängig von der angewandten, geometrischen Form, durch Tetraeder beschrieben.

Die Ausbildung der einzelnen Knoten ist gelenkig, um jede Kombination der Verbindungen so einfach wie möglich zu gestalten und das Einleiten von Biegemomenten in die einzelnen Fachwerkstäbe zu verhindern. Auch die Fertigung ist so stark vereinfacht.

In weiterer Folge ist ein Mechanismus angedacht, der die Oberfläche je nach Bedarf und Funktion verändern kann.

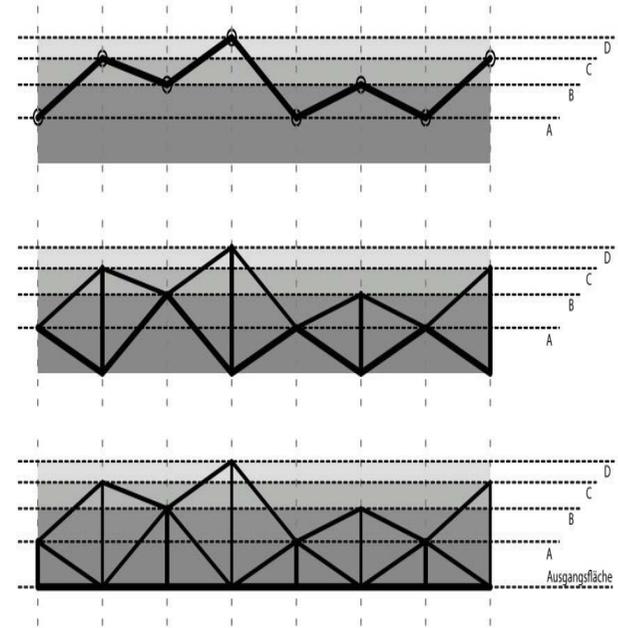


Abb. 8.1.01

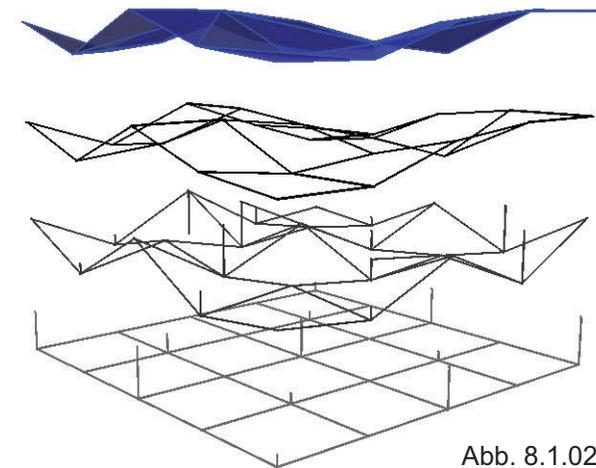
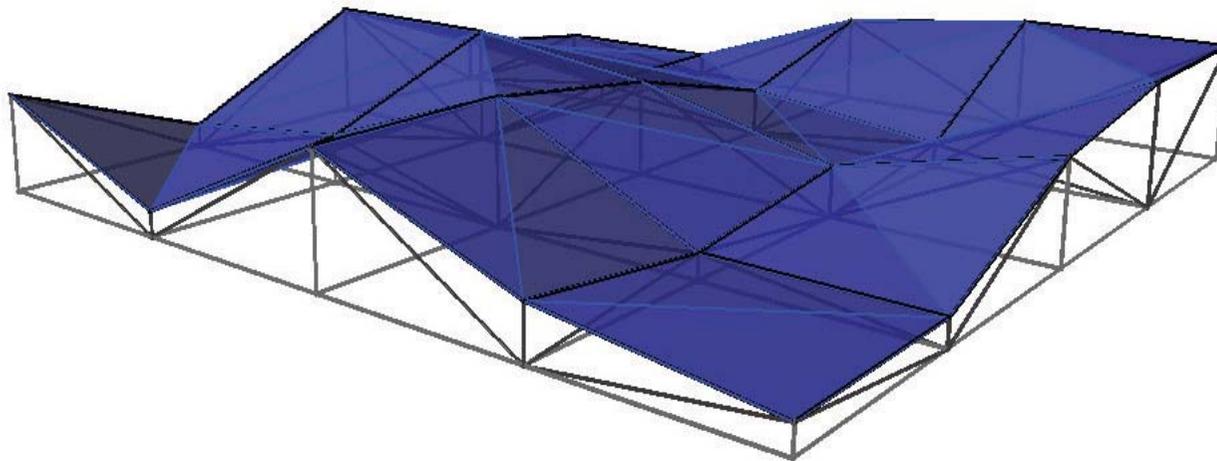


Abb. 8.1.02

8.2 PROGRAMMIERUNG

Die Lindenmayer-Abfolge ist ein Einsetzungsalgorithmus. In dem dargestellten Code werden die einzelnen Elemente, für welche üblicherweise Buchstaben verwendet werden, als Zahlen formuliert.

Es folgt die mathematische Ersetzung von 1 durch 2-1-4-3, 2 durch 1-4, usw..

In der Variablen "aba" wird der jeweilige Ersetzungsschritt angegeben. Für den dargestellten Code, wird somit 6 mal der Ersetzungsprozess durchlaufen und dieser dann in das Ergebnis eingelesen. Diese Zeichen werden in einen Array A(x) gespeichert und ihr jeweiliger Wert ist für jeden Punkt der Fläche in einem Durchlaufschritt ablesbar.

Die Ersetzungsregeln sind frei wählbar. Um den Wiederholungsprozess und die Selbstähnlichkeit zu verringern sind möglichst komplexe Einsetzungsparameter zu treffen.

Die gesamte Wortlänge wird in der Variablen "strl" ermittelt und kann vorweg abgerufen werden, um sicherzustellen, das genügend "Buchstaben" für das zu erzeugende Muster vorhanden sind.

In dem Codebeispiel werden 4 Variablen (A,B,C,D) angeführt, die folgende Ersetzungsregeln folgen:

Startwort = BCDA

A > BADC
 B > AD
 C > AB
 D > AC

```

nl =0, strl=0, estrl=0, aba=6

A(1)=2
A(2)=3  'Startwort A = 1,B = 2 ,C = 3,D = 4
A(3)=4  'Hier wird das "Startwort" einge
A(4)=1  lesen.
'Startpunkt der Zeitnehmung.
For nl = 1 To aba Step 1  "'aba"...Abbildungs-
  x = 1  schrittanzahl.
  Do While A(x) <> 0
    xs = 1
    strl = 2
    Do While A(xs) <> 0
      strl=strl+1  'Wortlänge "strl"
      xs=xs+1  wird ermittelt
    Loop
    If A(x) = 1 Then
      For l=x To strl
        A(strl-l+x+3) = A(strl-l+x)
      Next
      A(x)=2  'A wird durch BADC
      A(x+1)=1  ersetzt
      A(x+2)=4
      A(x+3)=3
      x=x+3
    Else If A(x) = 2 Then
      For k=x To strl Step 1
        A(strl-k+x+1)=A(strl-k+x)
      Next
      A(x)=1  'B wird durch AD
      A(x+1)=4  ersetzt
      x=x+1
    Else If A(x) = 3 Then
      For m=x To strl Step 1
        A(strl-m+x+1)=A(strl-m+x)
      Next
      A(x)=1  'C wird durch AB
      A(x+1)=2  ersetzt
      x=x+1
    Else If A(x) = 4 Then
      For m=x To strl Step 1
        A(strl-m+x+1)=A(strl-m+x)
      Next
      A(x)=1  'D wird durch AC
      A(x+1)=3  ersetzt
      x=x+1
    End If
  End If
  End If
  End If
  End If
  x=x+1
Loop  'Eigentliche Abbildung beendet.
Next  "'aba" Abbildungsschritte beendet.
'Ausgabe der Lindenmeyerzeichenfolge.
'Ausgabe der endgültigen Zeichenanzahl.

```

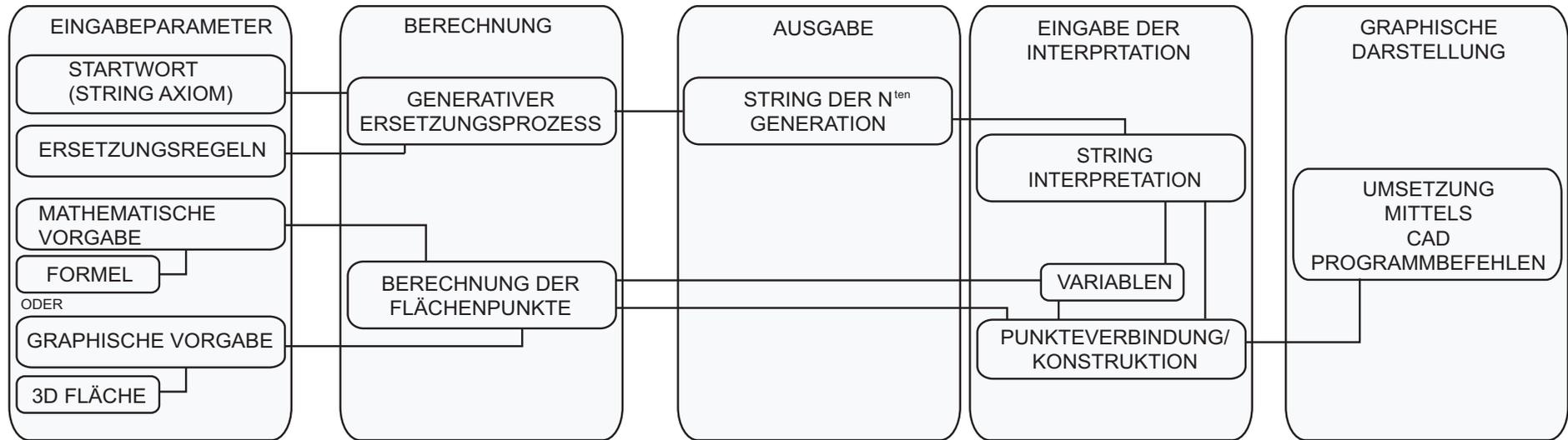


Abb. 8.2.01

FUNKTION VERWENDUNG BALANCE UNSTETIGKEIT ORIENTIERUNG GEOMETRIE AUFTEILUNG

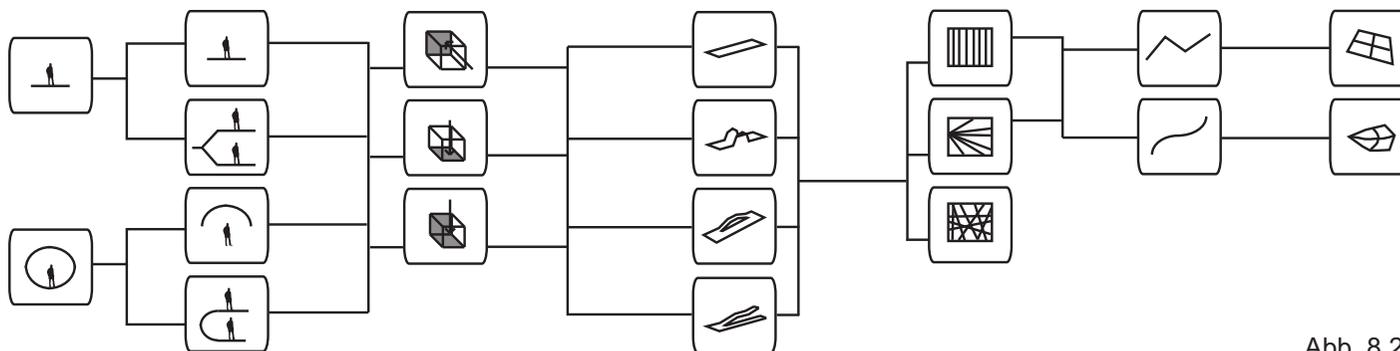


Abb. 8.2.02

8.2.1 PARAMETRISIERTE DARSTELLUNG

Für die Programmierung einer geometrischen Form in einem 3D Programm, gibt es die Möglichkeit der Parameterdarstellung. Dies kann einerseits durch die Berechnung der Punkte mittels Formelangabe und andererseits durch die Evaluierung der Punkte auf einer vorgegebenen Fläche erfolgen.

Unter einer Parameterdarstellung (auch Parametrisierung, Parametrierung) einer Kurve versteht man in der Mathematik eine Darstellung, bei der die Punkte der Kurve über einen einzigen Parameter abgelaufen werden können, im Gegensatz zur impliziten Beschreibung durch eine Gleichung.¹⁴⁾

Jeder Punkt wird durch seine Koordinaten genau bestimmt. Diese sind durch eine Formel definiert. Es kann angegeben werden in welchem Abstand zu einem Bezugsraster die einzelnen Punkte aufgebaut werden.

Auf die gewünschte zu erzeugende geometrische Fläche wird der Lindenmayeralgorithmus zu jeder Koordinate als Vektor oder als Höhe addiert.

Der Ausgangspunkt ist ein Punkt P_m (m =Mitte) von dem die umgebenden Punkte entlang von Richtungsvektoren betrachtet werden. Um die konstruktiven Kriterien zu erfüllen und die gewünschte Struktur zu erhalten, müssen alle benachbarten Punkte des Ausgangspunktes berechnet werden.

Mit ein und derselben Stringabfolge können je nach Eingabe der abzutragenden Höhe oder durch die Änderung der Feldgröße, unterschiedliche Oberflächen erzeugt werden.

¹⁴⁾ <http://de.wikipedia.org/wiki/Parameterdarstellung>

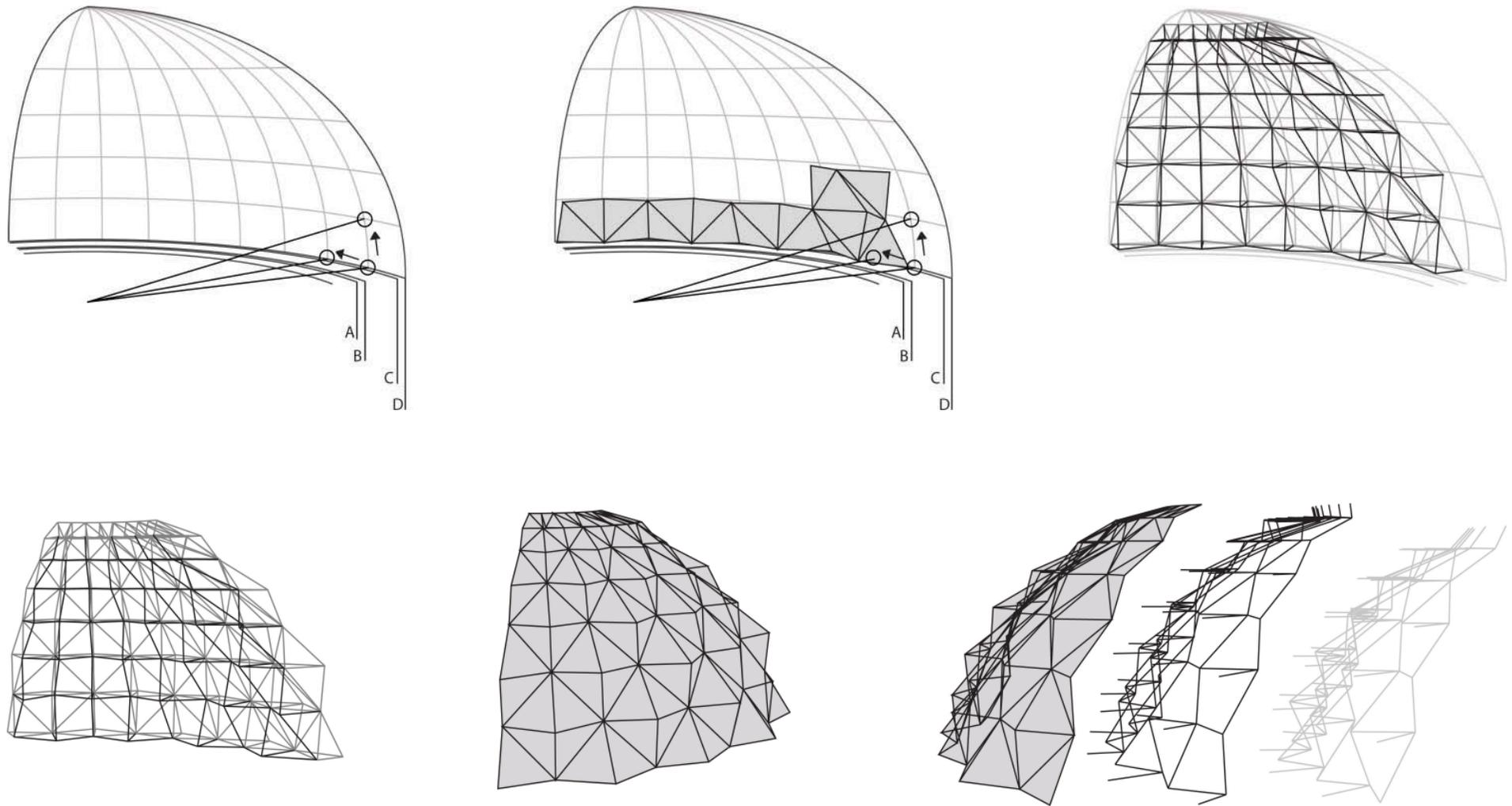
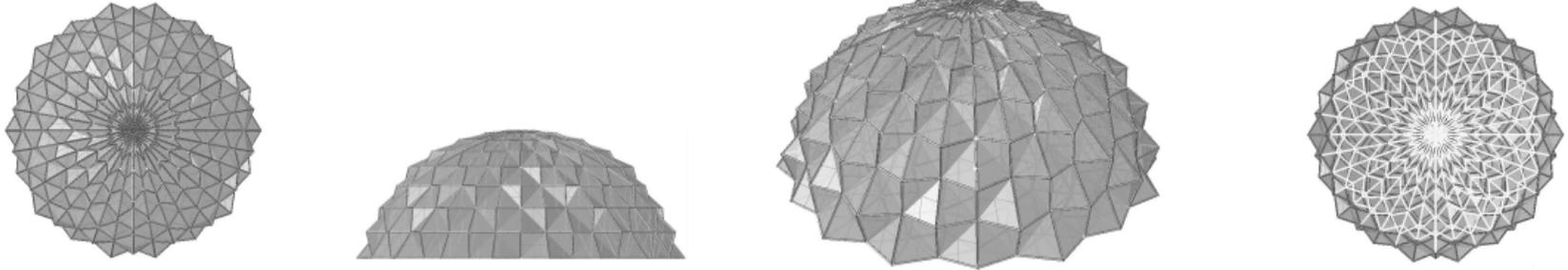


Abb. 8.2.1.01

8.2.1.1 FORMELBEZOGEN ERZEUGTE FLÄCHEN

$$X = R * \sin(o) * \sin(p), Y = R * \sin(o) * \sin(p), Z = R * \cos(o)$$



$$X = R * \sin(o) + RN * \cos(p), Y = R * \cos(o) + RN * \sin(p), Z = R * o$$



$$X = R * \sin(o) + RN * \cos(p), Y = R * \cos(o) + RN * \sin(p), Z = R * o + RN * p$$

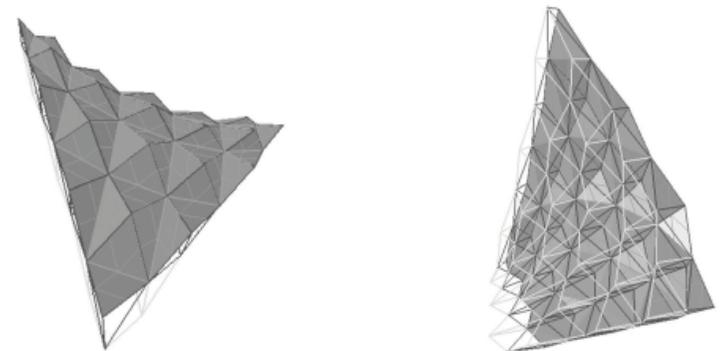


Abb. 8.2.1.1.01

Die Abbildungen zeigen eine mittels Sinus und Cosinuskurve gestaltete Fläche. Die dazu verwendeten Formeln sind durch 3 Variablen steuerbar und können mit nur einer Stringvariante unzählige, verschiedene Oberflächen erzeugen.

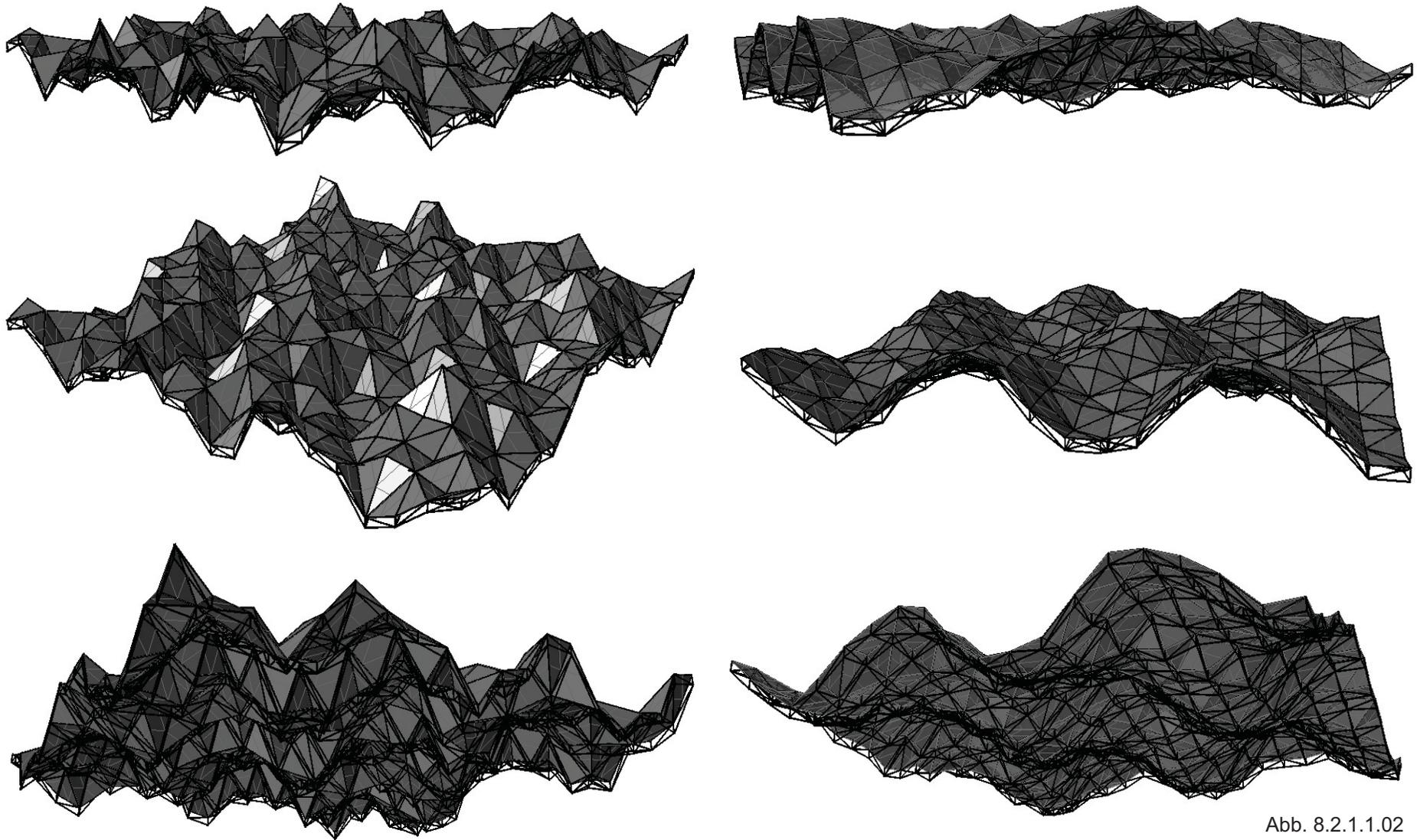


Abb. 8.2.1.1.02

Gespigelter Algorithmus:

Die Unterspannung wird nicht um einen fixen Wert abgetragen, sondern ebenfalls in den Algorithmus integriert.

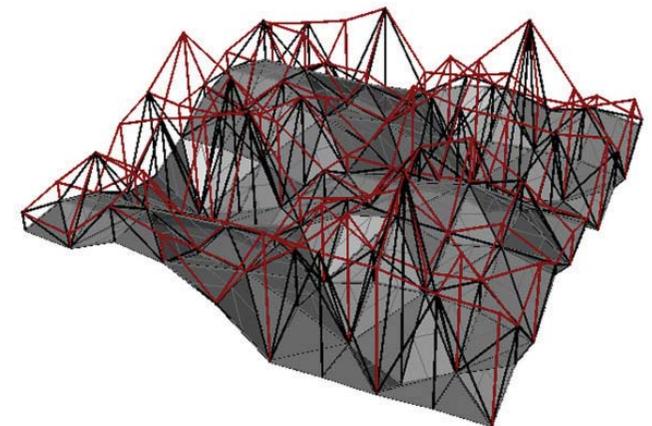
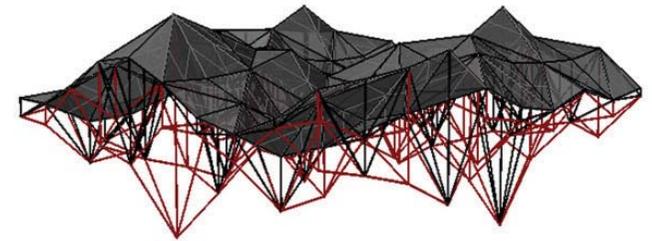
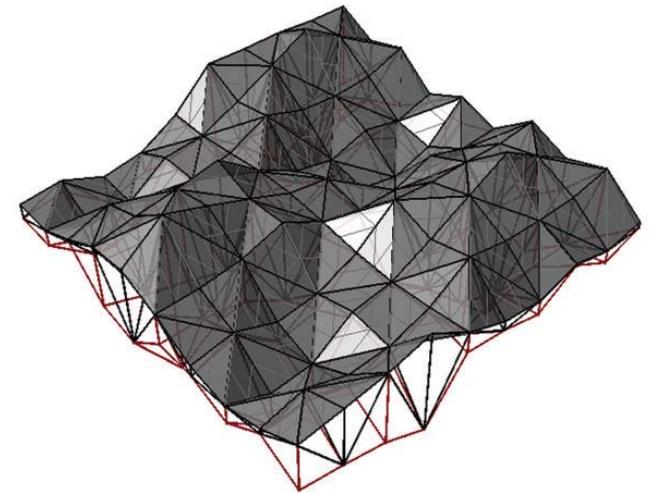
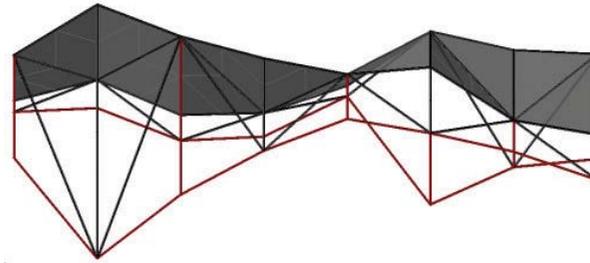


Abb. 8.2.1.1.03

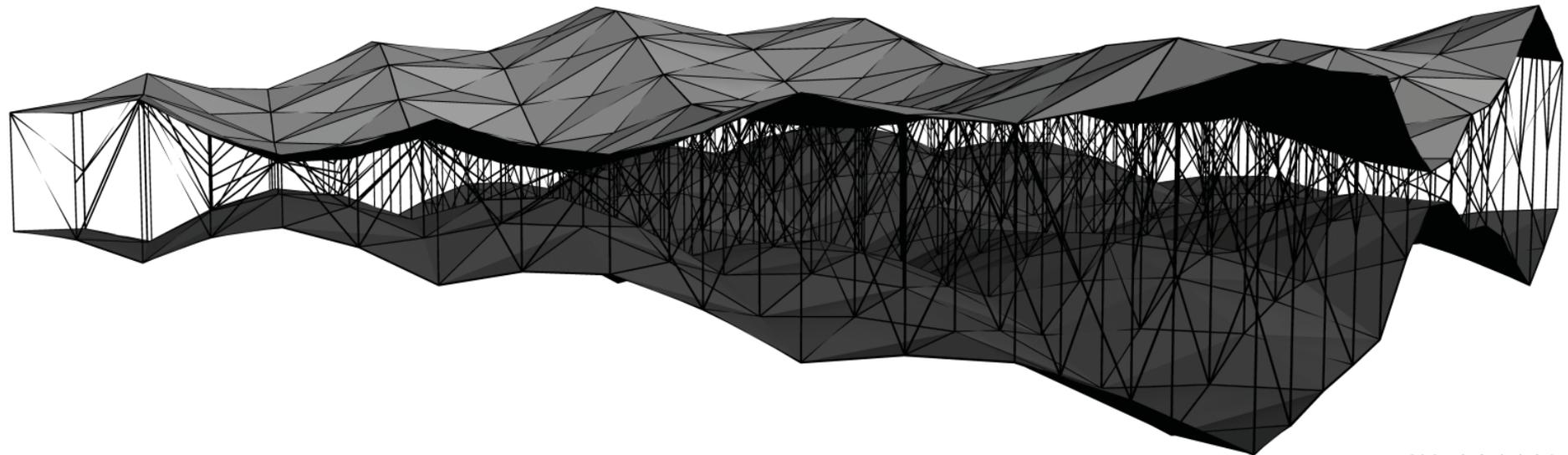
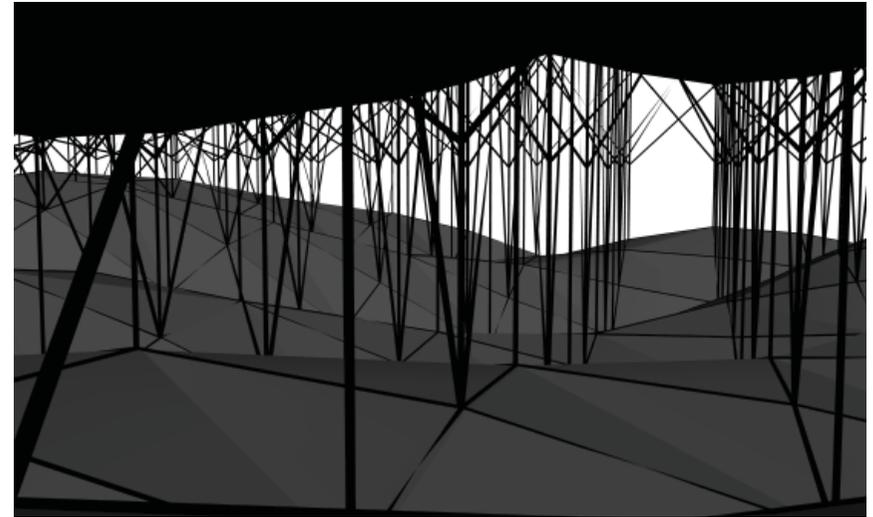
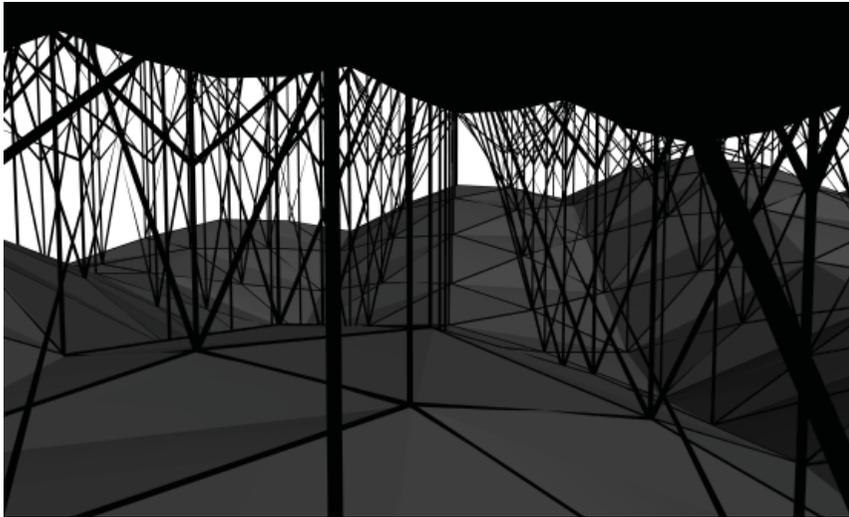


Abb. 8.2.1.1.04

8.2.2 PROGRAMMIERUNG MITTELS SURFACE_EVALUIERUNG

Eine "Surface Domain" ist die Richtung in die die einzelnen Punkte auf der Fläche berechnet werden sollen. Diese Variante bietet dem Benutzer den Vorteil der freien Flächenmodellierung, entsprechend der eigenen Vorstellung und der zu überbauenden Struktur (städtebauliche Einbindung, Bebauungsvorschriften, etc.).

Im Gegensatz zur rein mathematischen Bestimmung mittels Formeln, wird der Prozess direkt auf eine Fläche angewendet. Dabei wird die Fläche durch die beiden Vektoren \vec{u} und \vec{v} aufgespannt, sie werden deshalb auch als Spannvektoren bezeichnet. Die Richtungsvektoren ergeben ein affines Koordinatensystem. Ein Punkt Q der Ebene kann erreicht werden, indem man vom Koordinatenursprung aus zunächst Vektor \vec{r}_0 durchläuft und dann λ mal Vektor \vec{u} und μ mal Vektor \vec{v} multipliziert.

Im abgebildeten Beispiel ist $\lambda = 2$ und $\mu = 3$:
$$\vec{r}_Q = \vec{r}_0 + 2 \cdot \vec{u} + 3 \cdot \vec{v}$$

Der Punkt Q hat hier die affinen Koordinaten (2|3).

Jeder Punkt der Fläche kann auch mit kartesischen Koordinaten angegeben werden.

Hierzu werden \vec{r}_0 , der Ausgangspunkt, sowie \vec{u} und \vec{v} , die Richtungsvektoren, in die oben angeführte Formel eingesetzt.¹⁵⁾

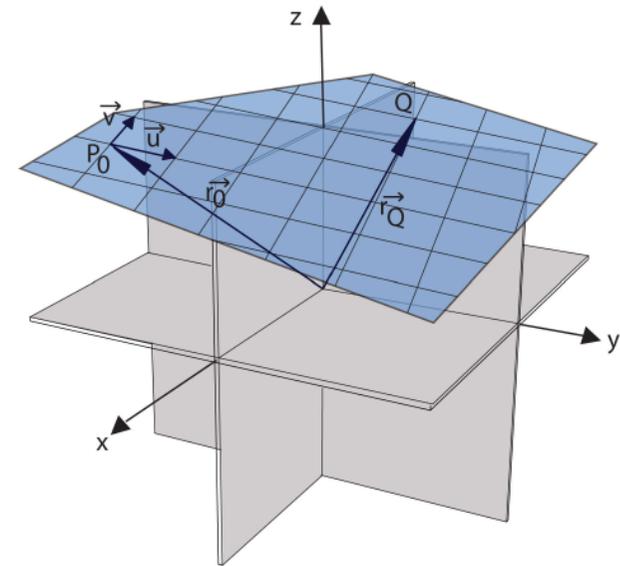


Abb. 8.2.2.01

¹⁵⁾ <http://de.wikipedia.org/wiki/Parameterdarstellung>

Bei den dargestellten Abbildungen wird eine Fläche um vorgegebene Werte versetzt. Für jeden String - Charakter entsteht so eine zugewiesene Höhe.

Im ersten Schritt werden die Rasterpunkte auf den einzelnen Flächen evaluiert. Daraufhin wird der Algorithmuswert eingelesen und mit dem Rasterpunkt der zugehörigen Fläche verbunden.

Die Reihenfolge der zu verbindenden Punkte ist statisch vorgegeben und bildet das konstruktive Gerüst, des generierten Resultats.

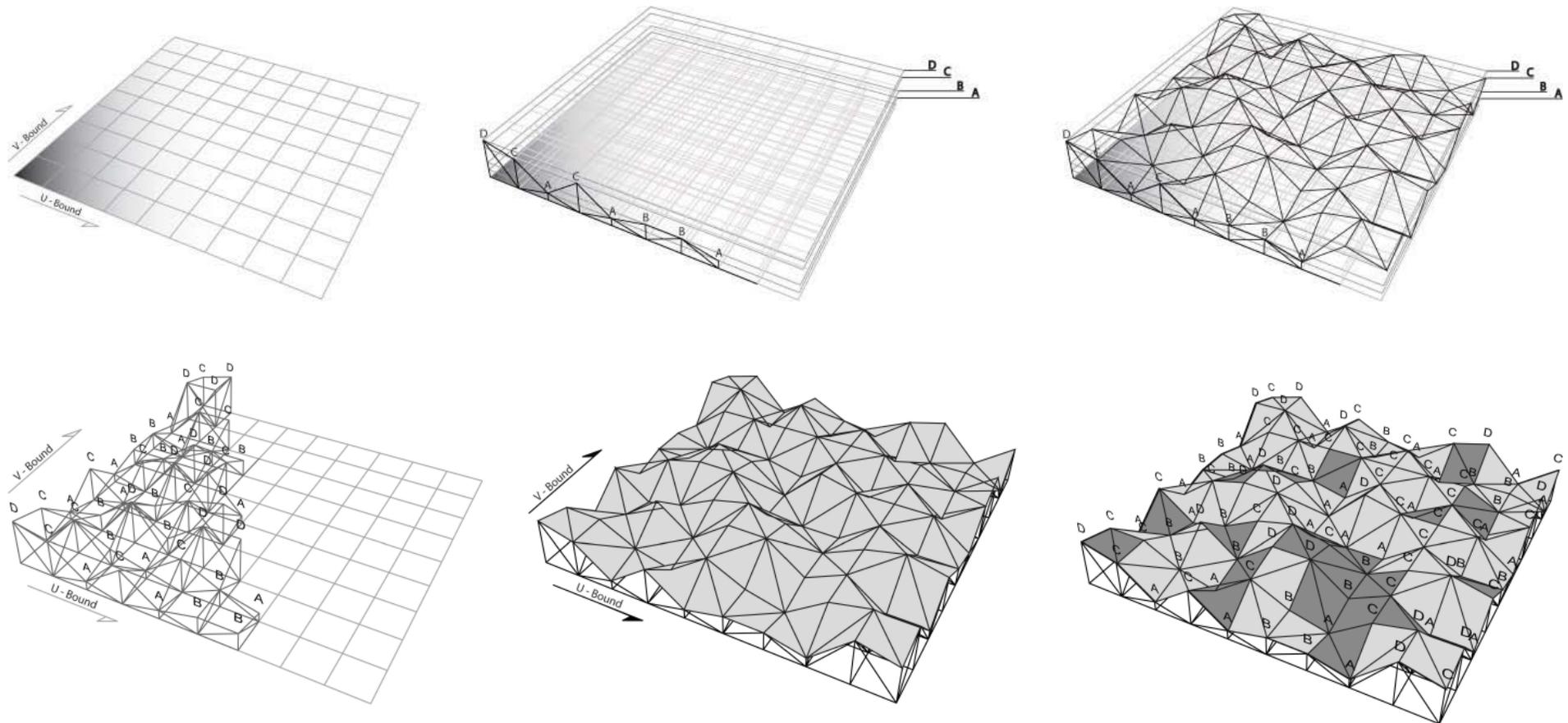


Abb. 8.2.2.02

Grundlegend kann das Versetzen der Fläche mit zwei Varianten geschehen, welche zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Einerseits kann die Ausgangsfläche in Richtung einer Bezugsachse kopiert werden, dadurch orientieren sich die Vektoren parallel zu der Bezugsachse. Die zweite Möglichkeit besteht darin die Grundfläche in Richtung ihrer Flächennormalen zu versetzen. Dadurch ergeben sich auf allen Ebenen unterschiedliche Größen der Bezugsraster. In weiterer Folge sind die Vektoren in Richtung der Flächennormalen orientiert.

Für statische und konstruktive Überlegungen erweist sich das Versetzen der Ausgangsfläche längs der Flächennormalen als zielführender. Das Fachwerk wird auf diese Weise symmetrischer, und die eingeleiteten Kräfte besser und gleichmässiger verteilt. Auch die konstruktiven Anschlüsse sind bei stumpfen Winkeln einfacher zu lösen.

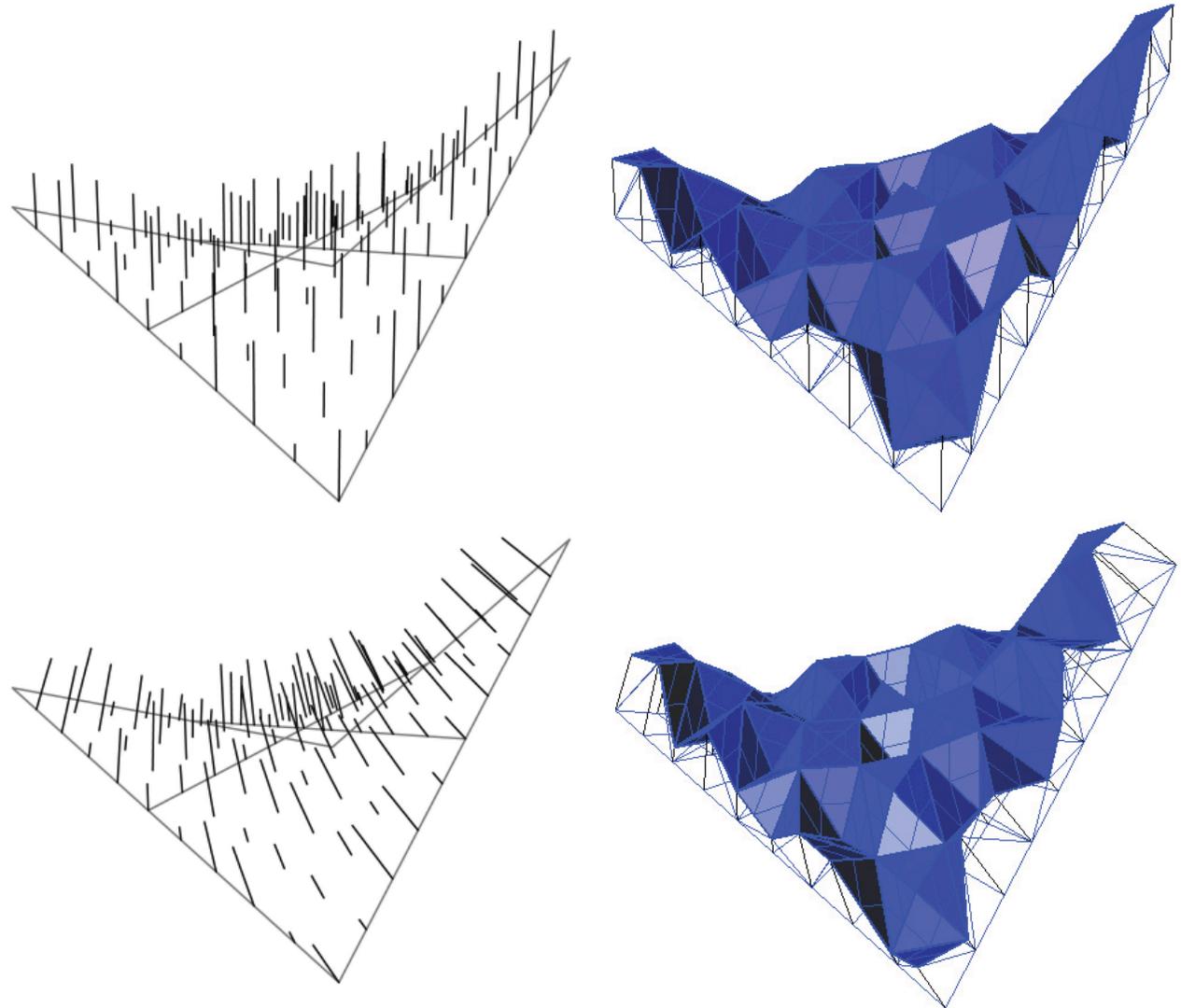


Abb. 8.2.2.03

8.3 EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE BEGEHBARKEIT DER GENERIERTEN HÜLLE

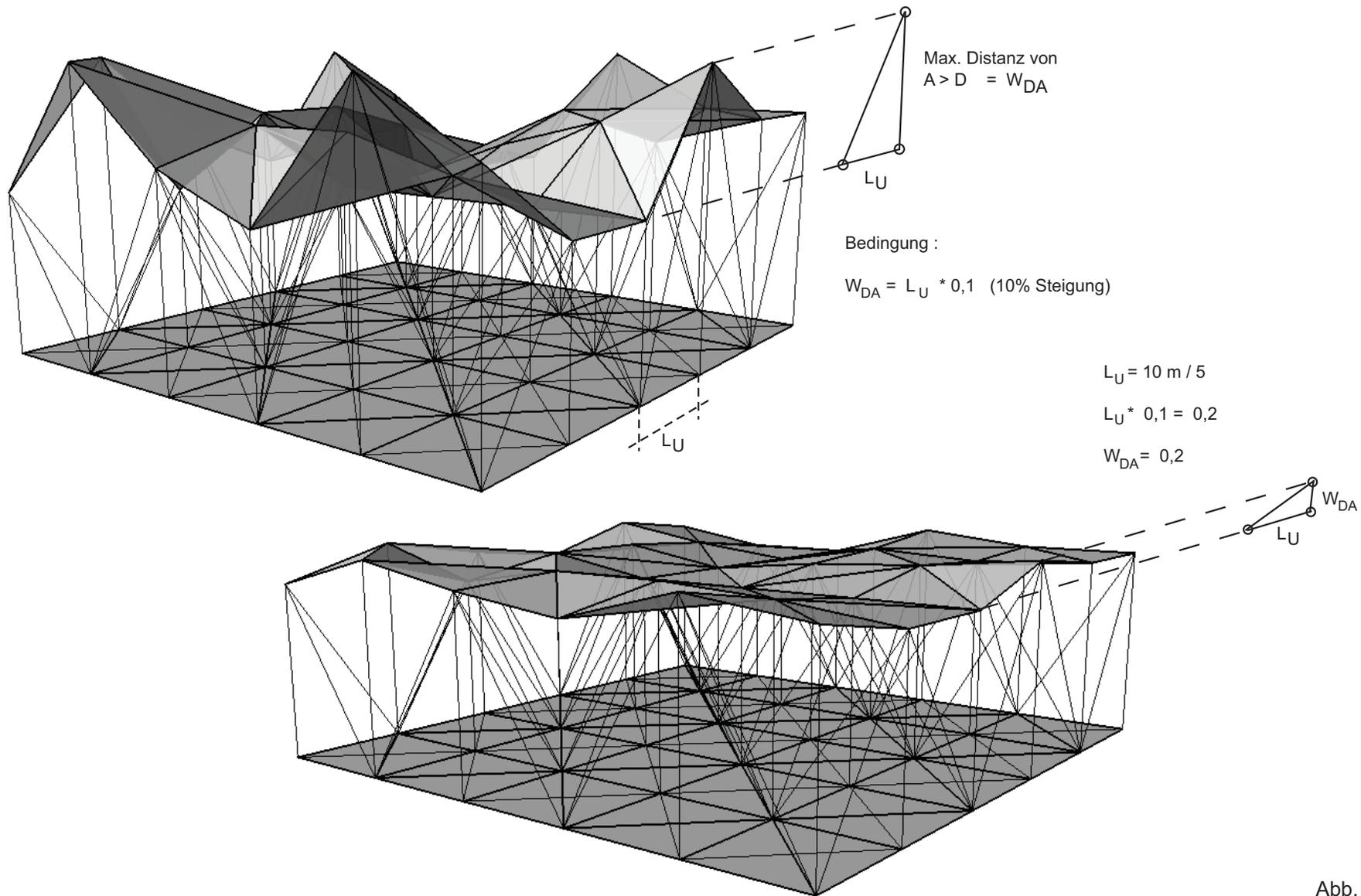


Abb. 8.3.01

9. ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN DES PROGRAMMIERTEN SYSTEMS

9.1 FASSADENGESTALTUNG

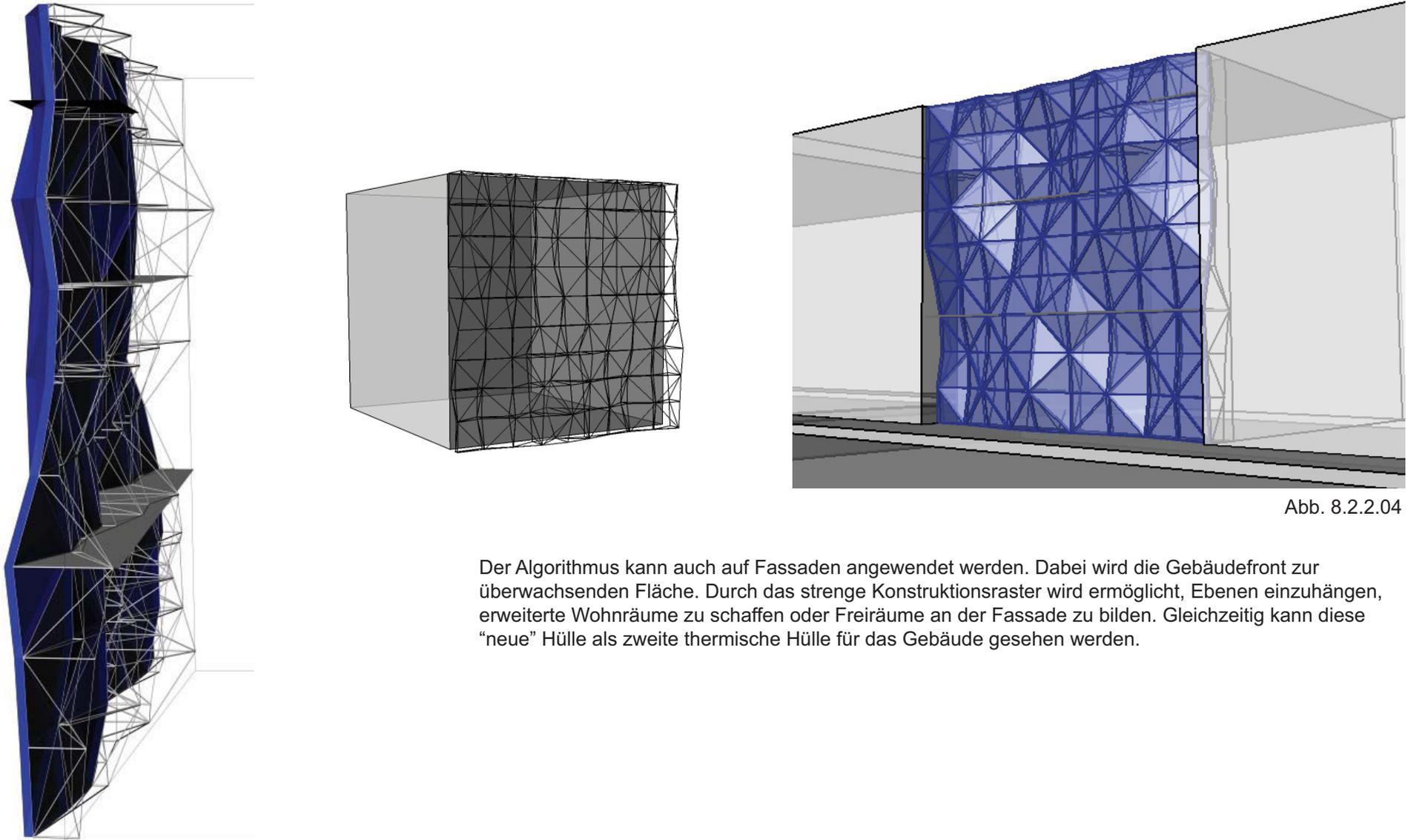


Abb. 8.2.2.04

Der Algorithmus kann auch auf Fassaden angewendet werden. Dabei wird die Gebäudefront zur überwachsenden Fläche. Durch das strenge Konstruktionsraster wird ermöglicht, Ebenen einzuhängen, erweiterte Wohnräume zu schaffen oder Freiräume an der Fassade zu bilden. Gleichzeitig kann diese "neue" Hülle als zweite thermische Hülle für das Gebäude gesehen werden.

9.2 HÜLLENKONSTRUKTIONEN IM STADTGEBIET



Abb. 9.2.01

9.2.1 SCHWEDENPLATZ

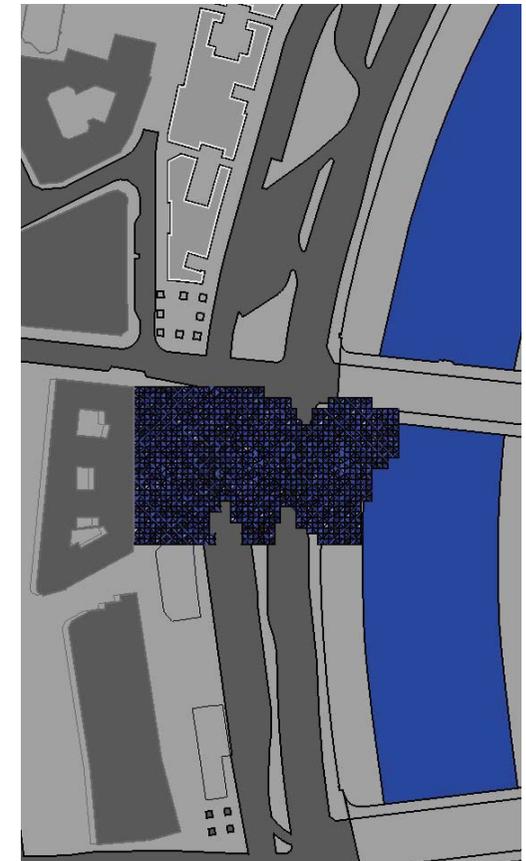
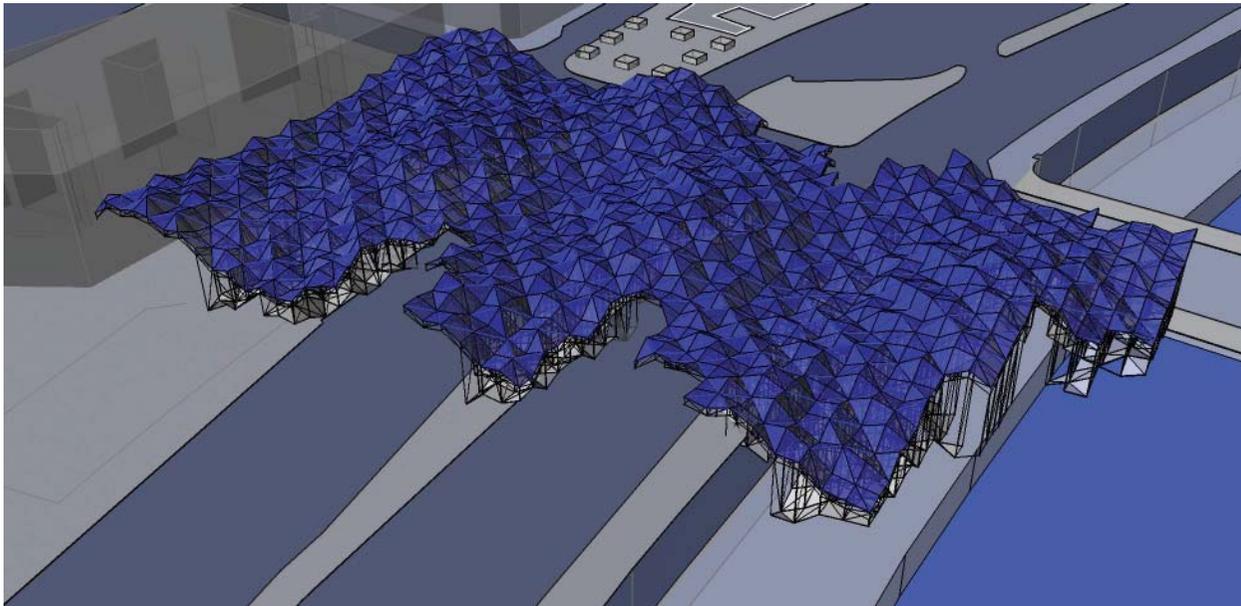


Abb. 9.2.1.02

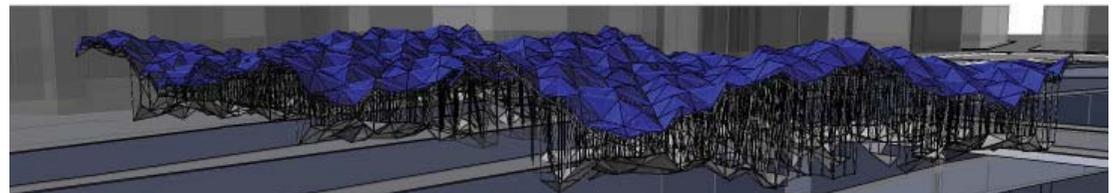
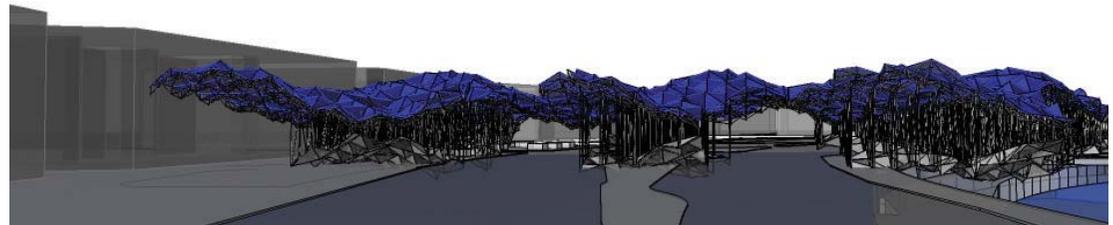
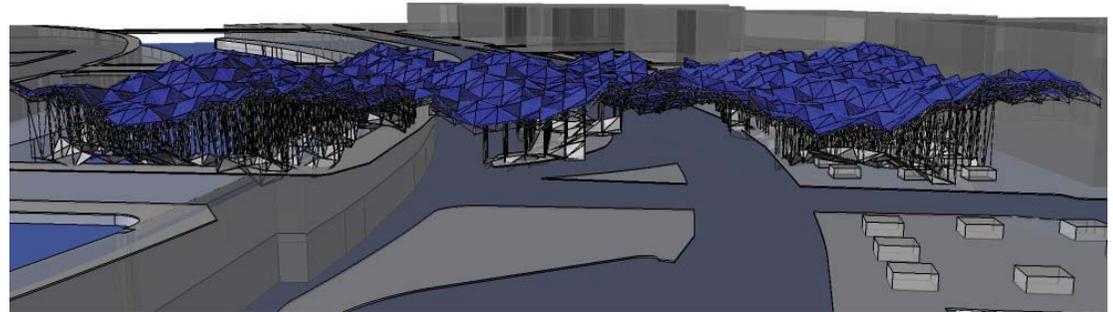
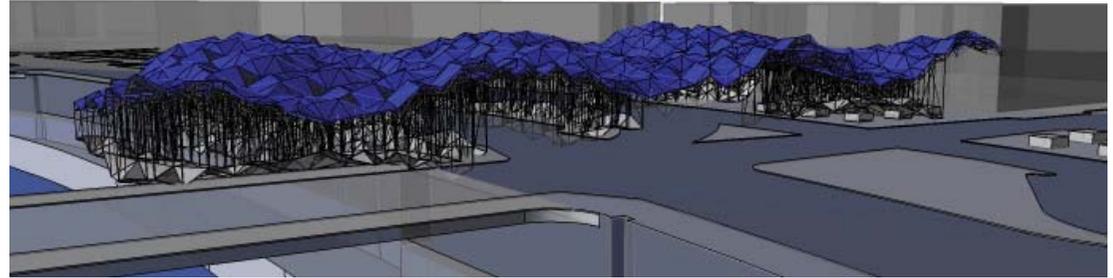


Abb. 9.2.1.03

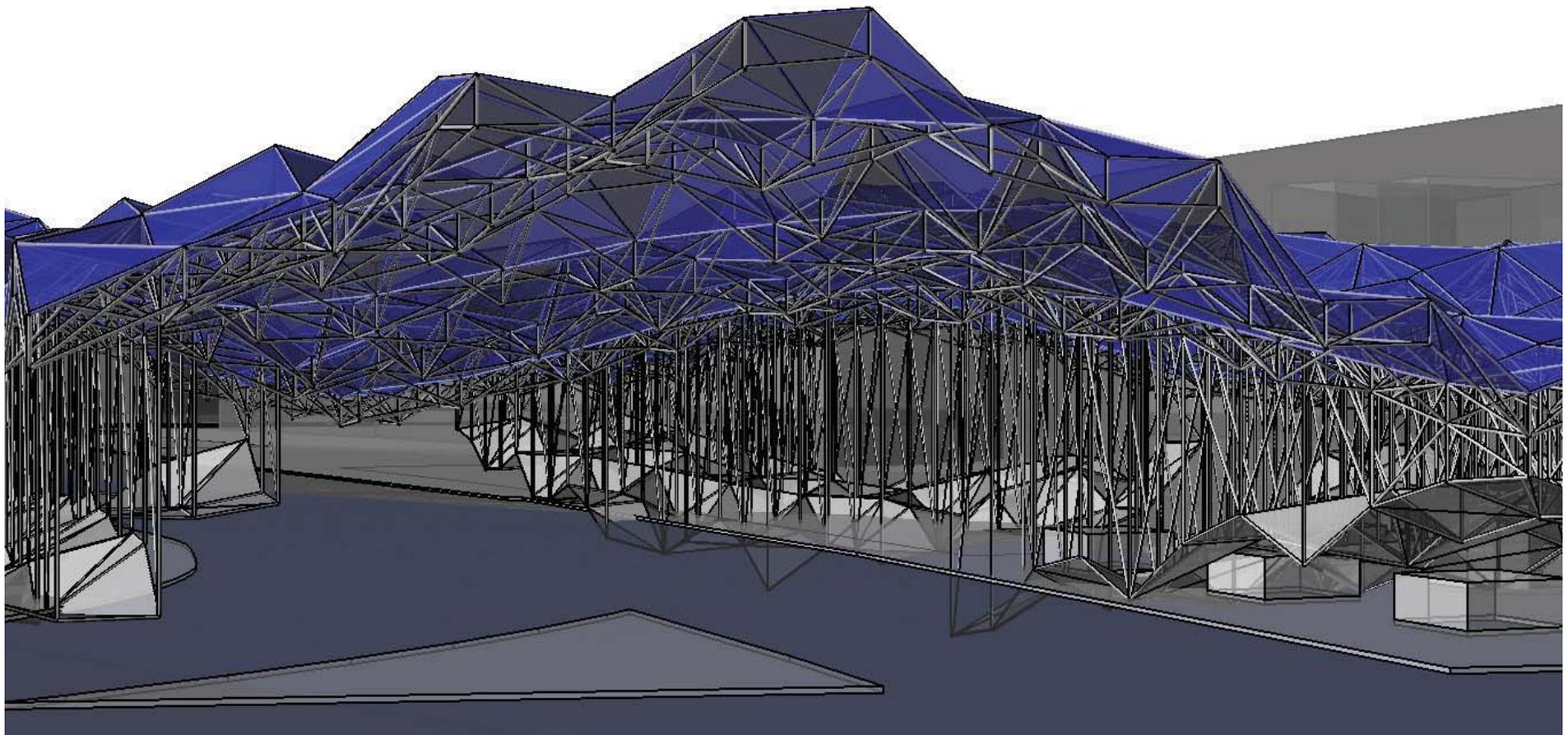


Abb. 9.2.1.04

9.2.2 OTTAKRING

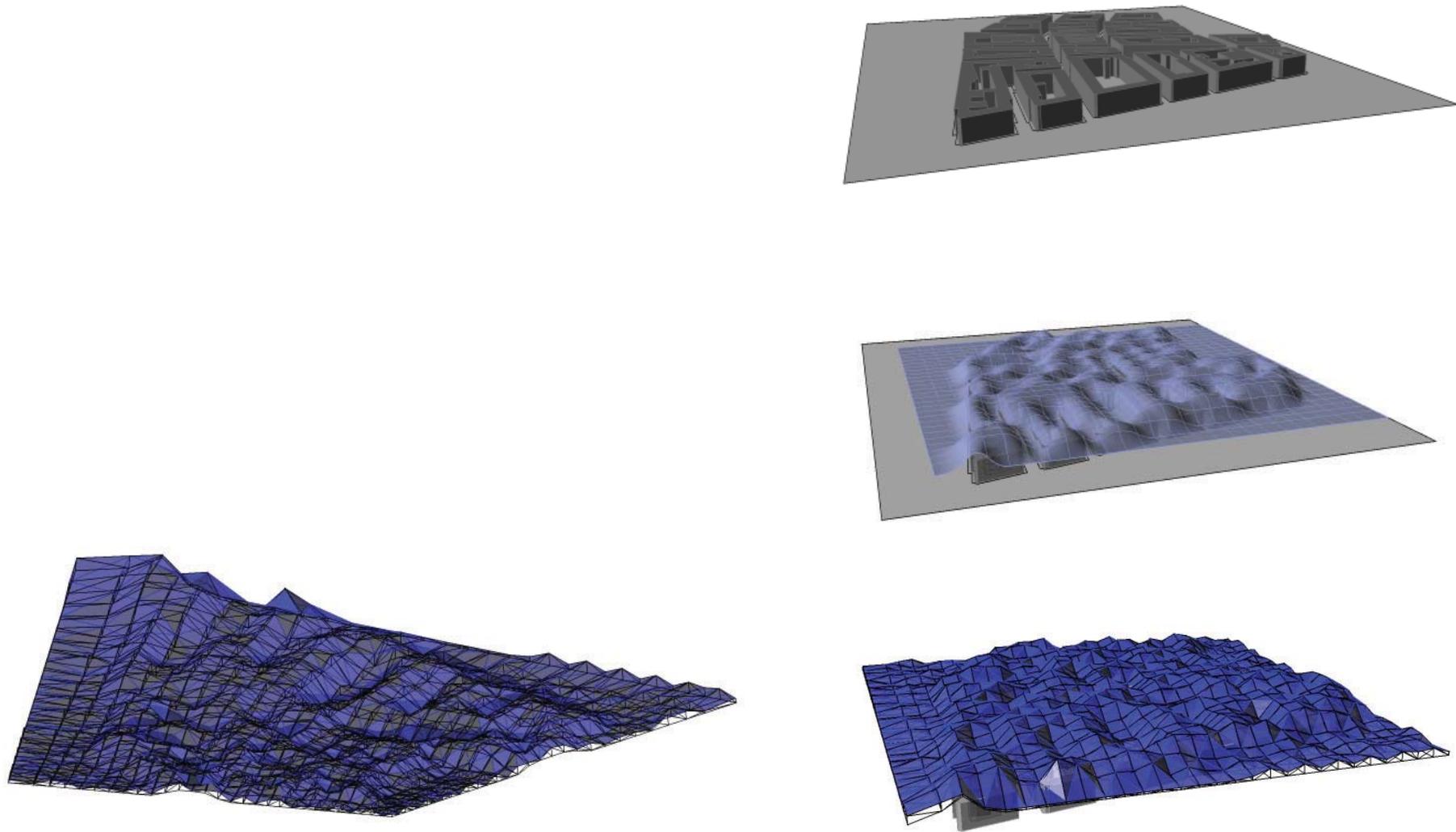


Abb. 9.2.2.01

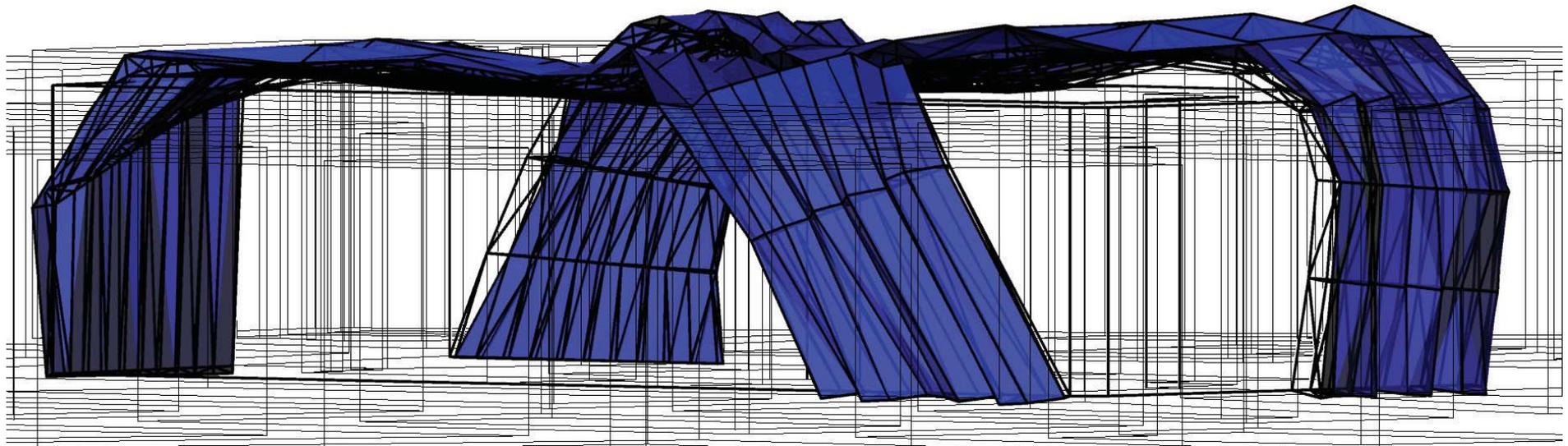
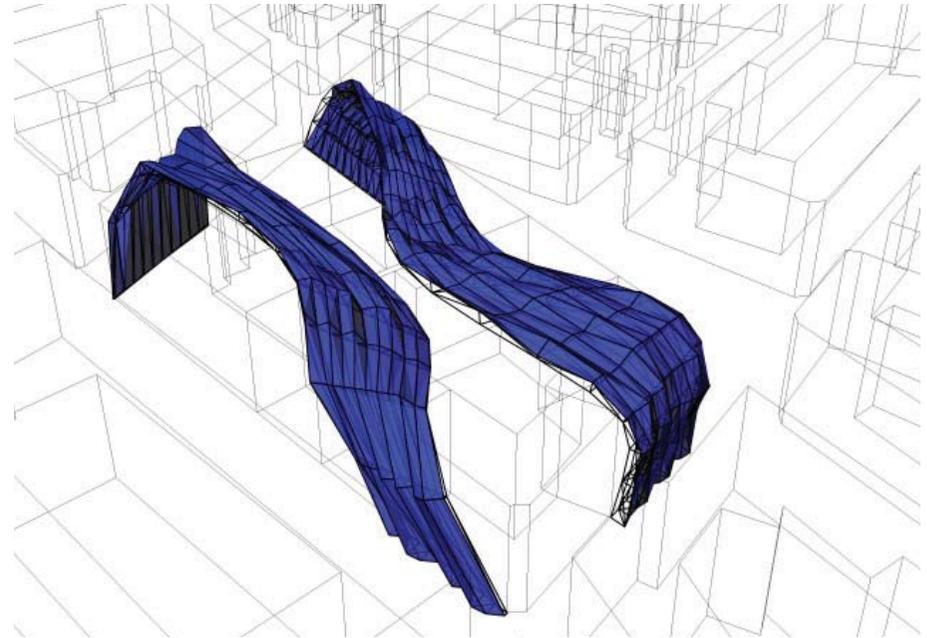


Abb. 9.2.2.02

9.2.3 INNERE STADT

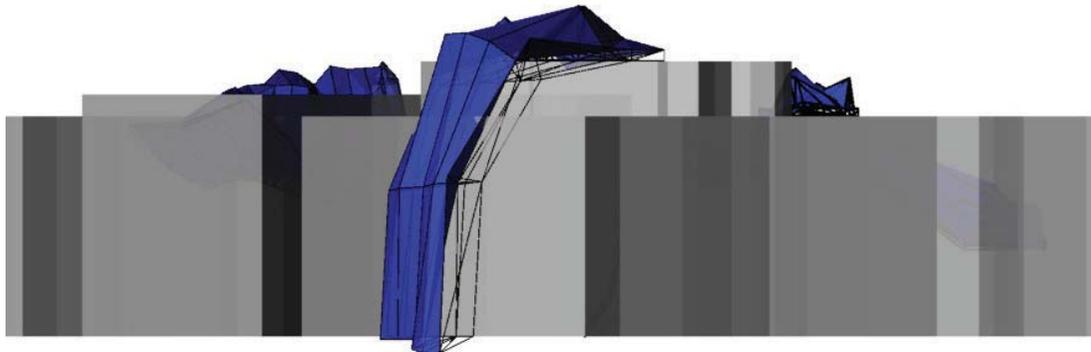
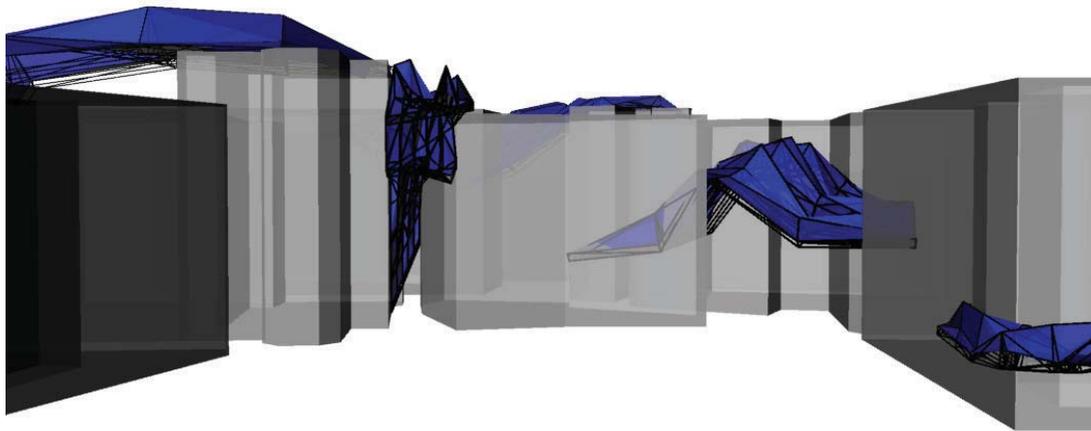


Abb. 9.2.3.01

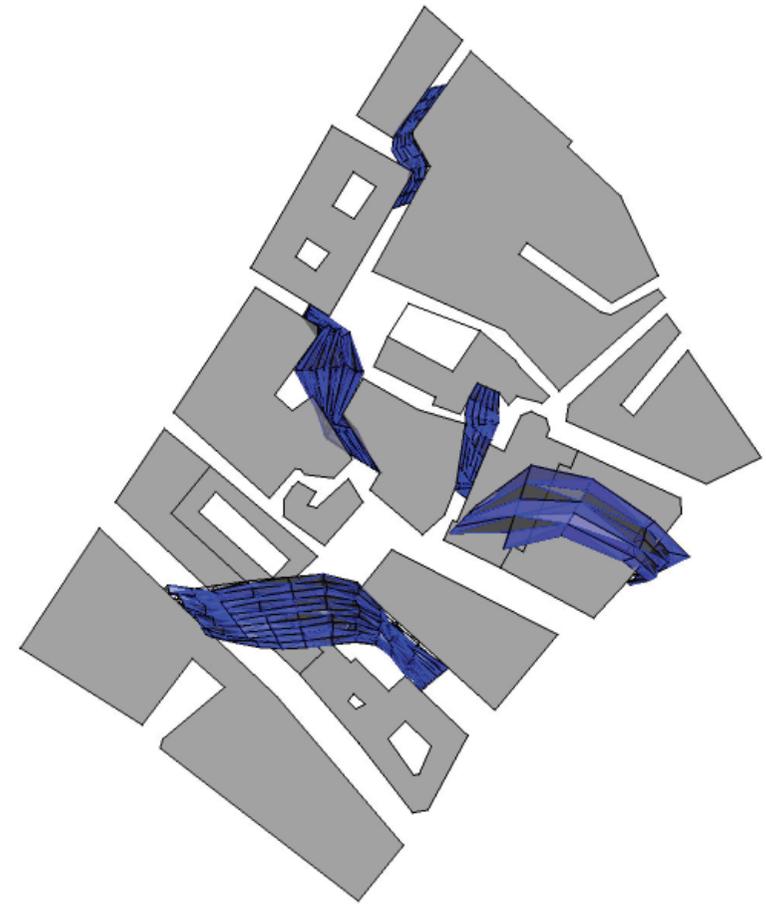


Abb. 9.2.3.02

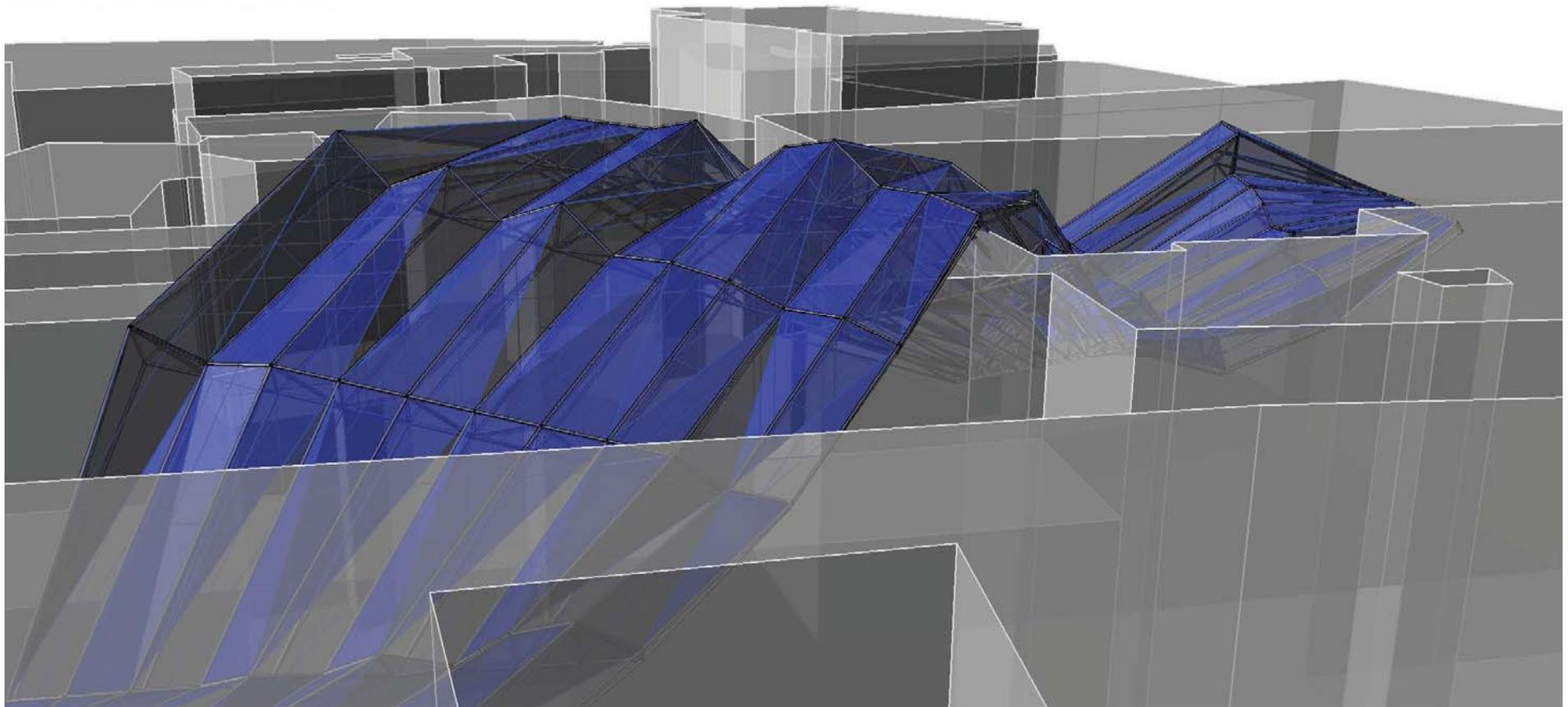


Abb. 9.2.3.03

9.2.4 PARASITÄRES UMSCHLIESSEN / FLAKTURM

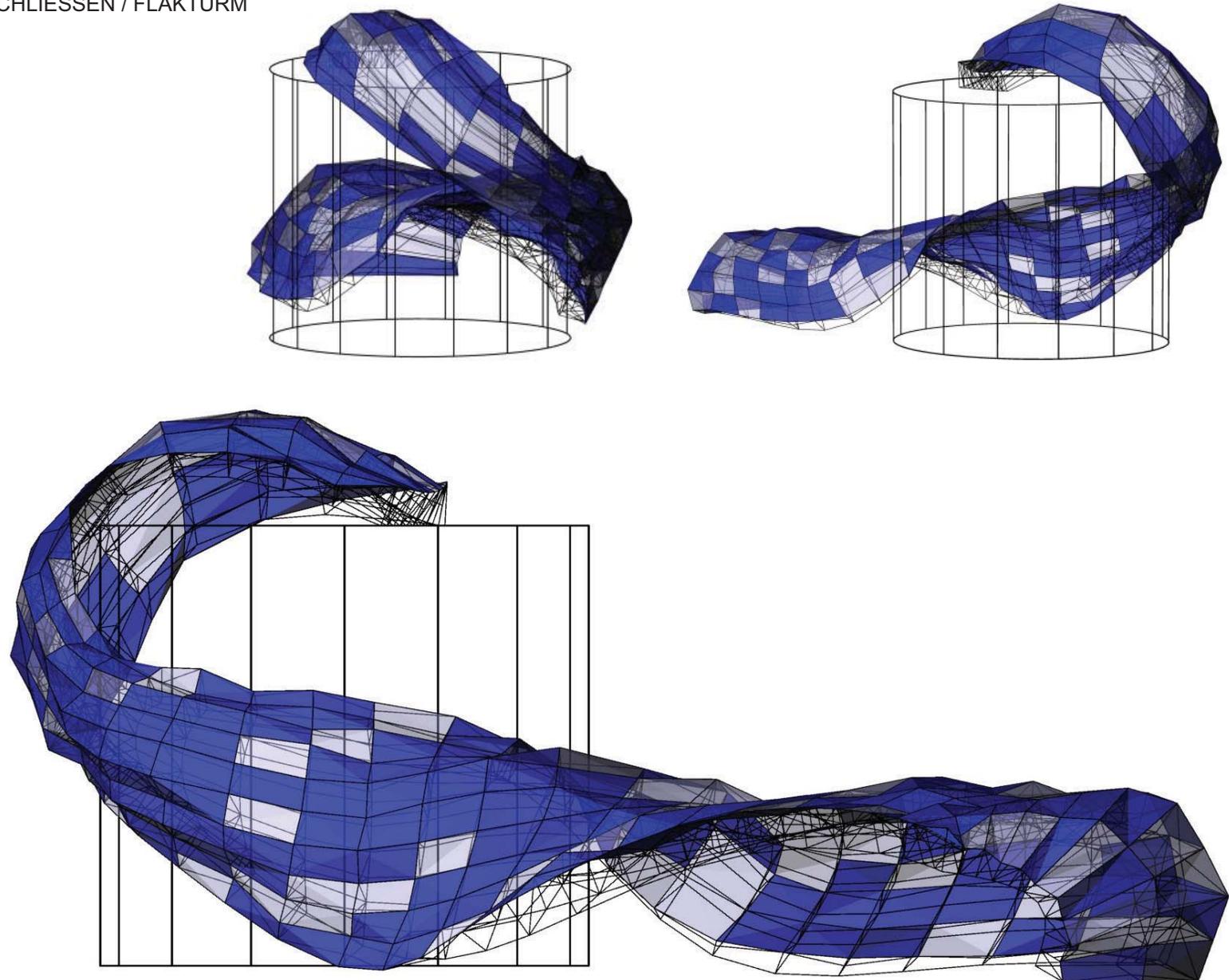


Abb. 9.2.4.01

10. ENTWURF

10.1 KONZEPT

Das automatisierte Bearbeiten und Verändern von Oberflächen findet nicht nur in der Lösung ästhetischer Probleme ihre Anwendung, sondern bildet auch die Grundlage, um die dynamischen Qualitäten eines vorgegebenen Systems zu erforschen.

Die Lindenmayerfolge gibt verschiedene, benutzerdefinierbare Eigenschaftsparameter vor, die je nach Situation und gewünschtem Ergebnis angepasst werden können.

In diesem Projekt wird der Algorithmus mittels "String-mapping" auf Oberflächen, als ein Hilfsmittel für den kreativen Prozess genutzt, und nach statischen Kriterien aufgetragen.

Um gezielt das Erscheinungsbild des Entwurfs zu steuern, ist es notwendig die Einflussfaktoren der Eingabeparameter abschätzen zu können. Als Grundlage ist eine umfassende Analyse der geometrischen und algorithmischen Zusammenhänge erforderlich.

Im Gegensatz zum üblichen Entwurfsprozess, dem vorwiegend punktuelle Eingriffe zu Grunde liegen, nimmt eine Parameteränderung des Algorithmus gleichwertigen Einfluss auf das gesamte System.

In der formalen Gestaltung kann so ein homogenes Gesamtbild generiert werden. Diesem Prinzip folgt auch die fraktale Selbstähnlichkeit, wie sie dem Lindenmayersystem zu Grunde liegt.

10.1.1 ALGORITHMISCHE FACHWERKSPLANUNG

Wegen ihrer Komplexität, ließen sich größere Raumfachwerke bisher nur in aufgezwungener, formaler Starrheit realisieren. Die Leichtigkeit des Tragsystems scheint einem unflexiblen Entwurfsprozess zum Opfer gefallen zu sein. Trotz der geometrischen Komplexität war es mir wichtig, eine möglichst freie Gestaltung durch Programmierung zu erreichen. Durch den mathematischen Rechenprozess werden zudem Planungsfehler minimiert, da sämtliche Rechenschleifen reflexiv funktionieren.

10.2 FLÄCHENGENERIERUNG ANHAND DER VORGEgebenEN FUNKTIONELLEN PARAMETER



Abb. 10.2.01

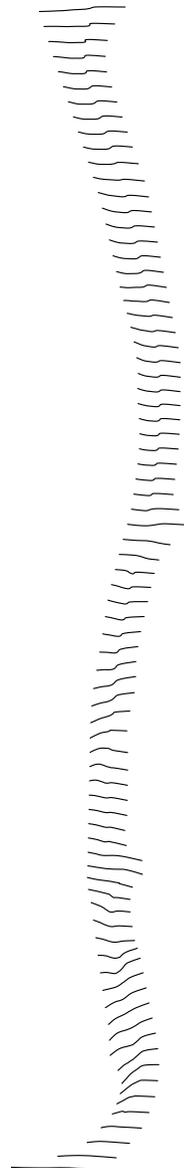
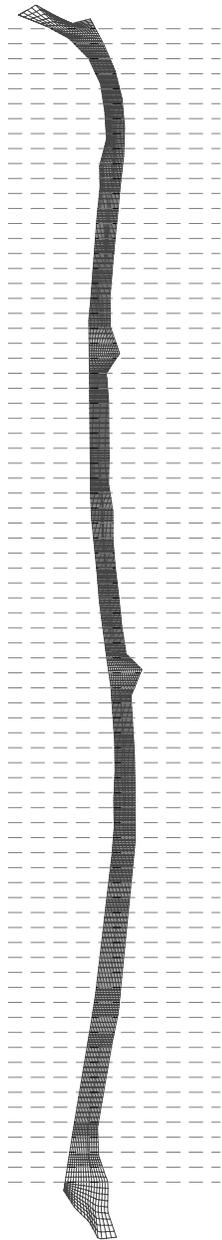


Abb. 10.2.02

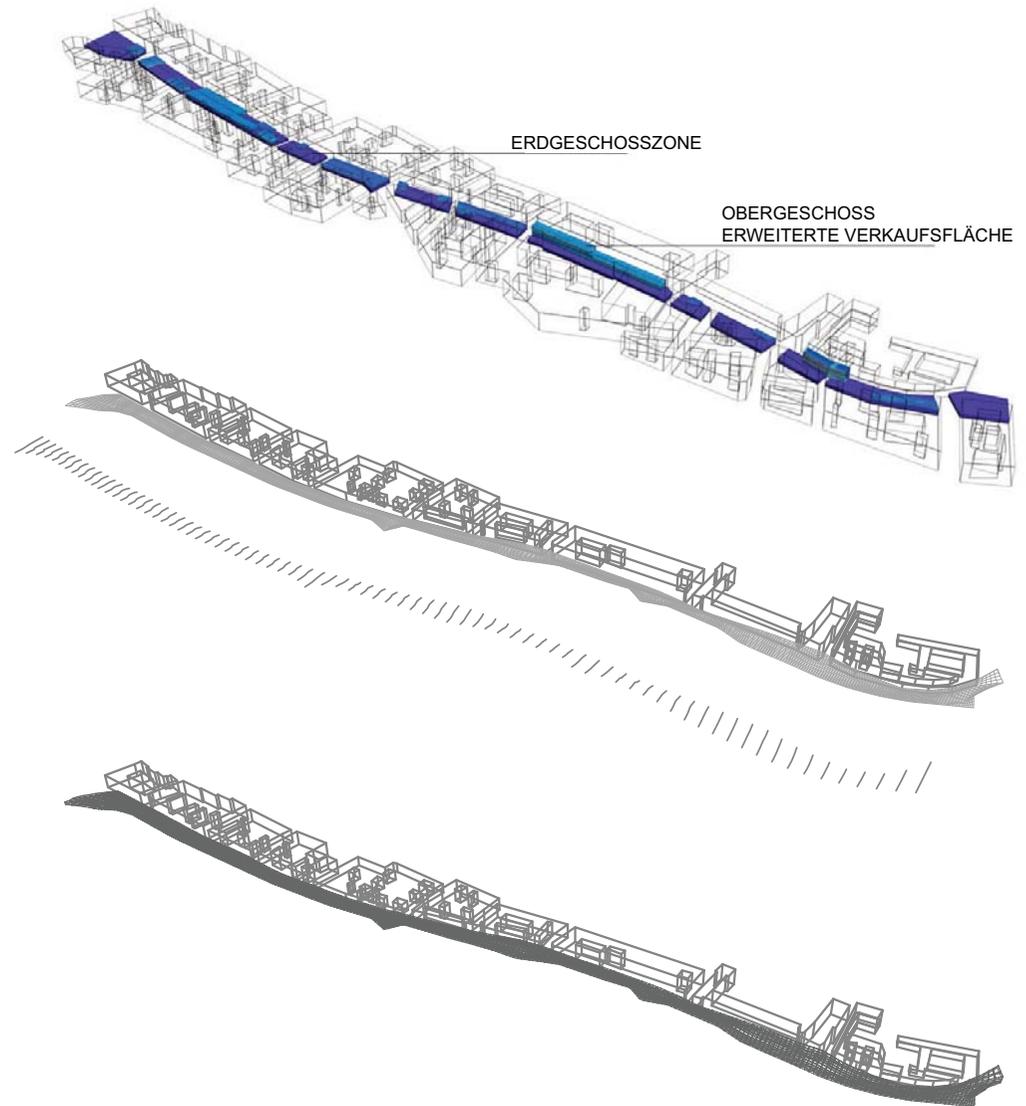


Abb. 10.2.03

10.2.1 FUNKTIONSDIAGRAMM

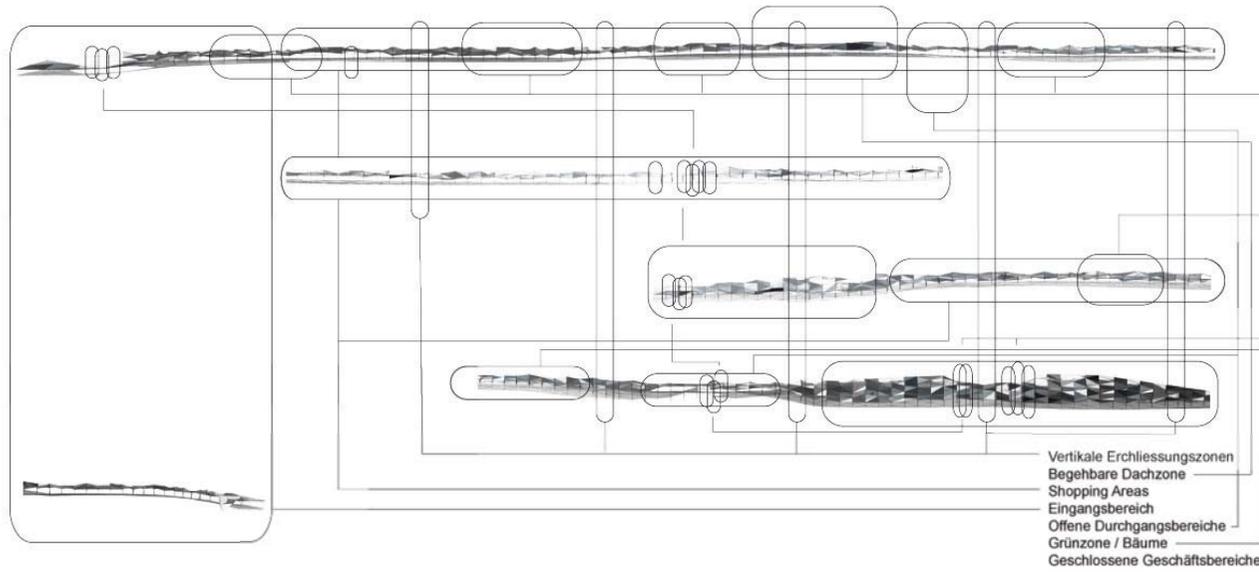


Abb. 10.2.1.01

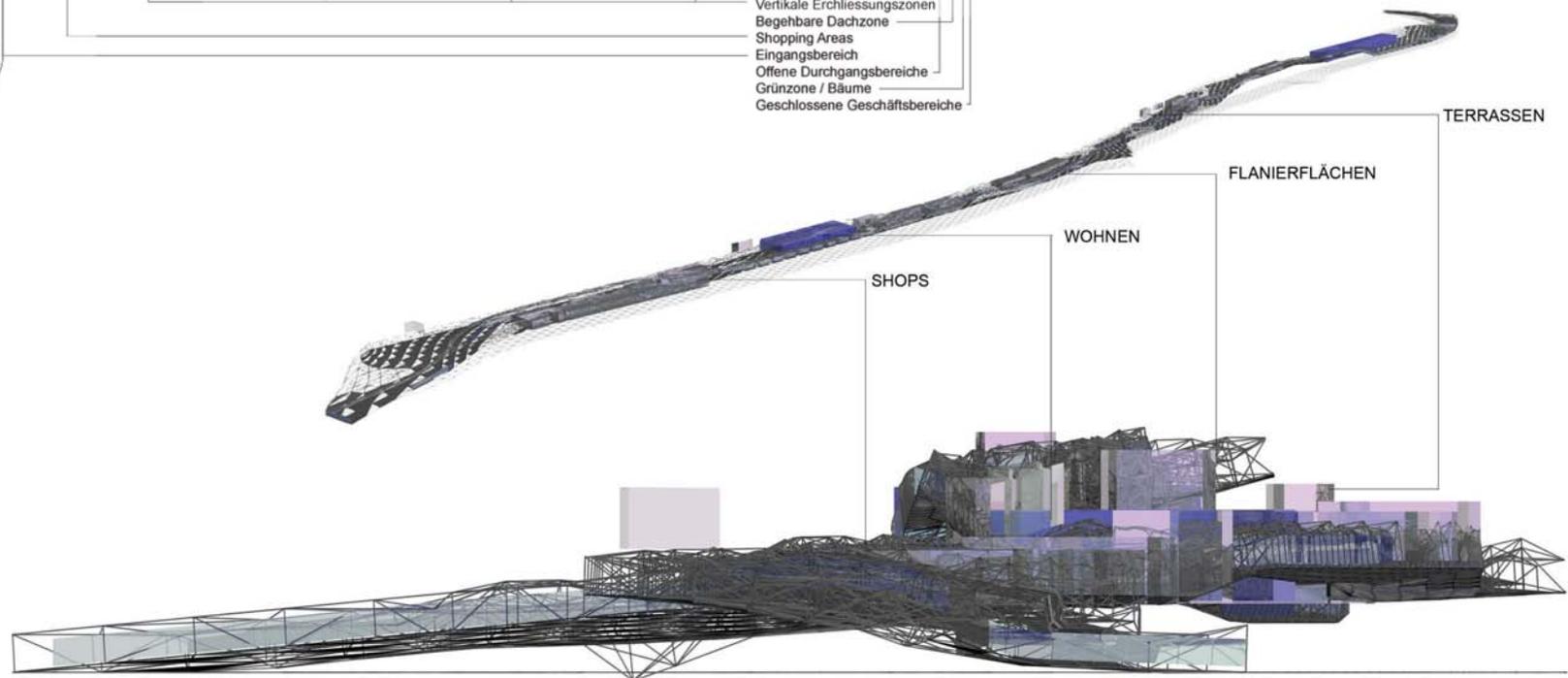


Abb. 10.2.1.02

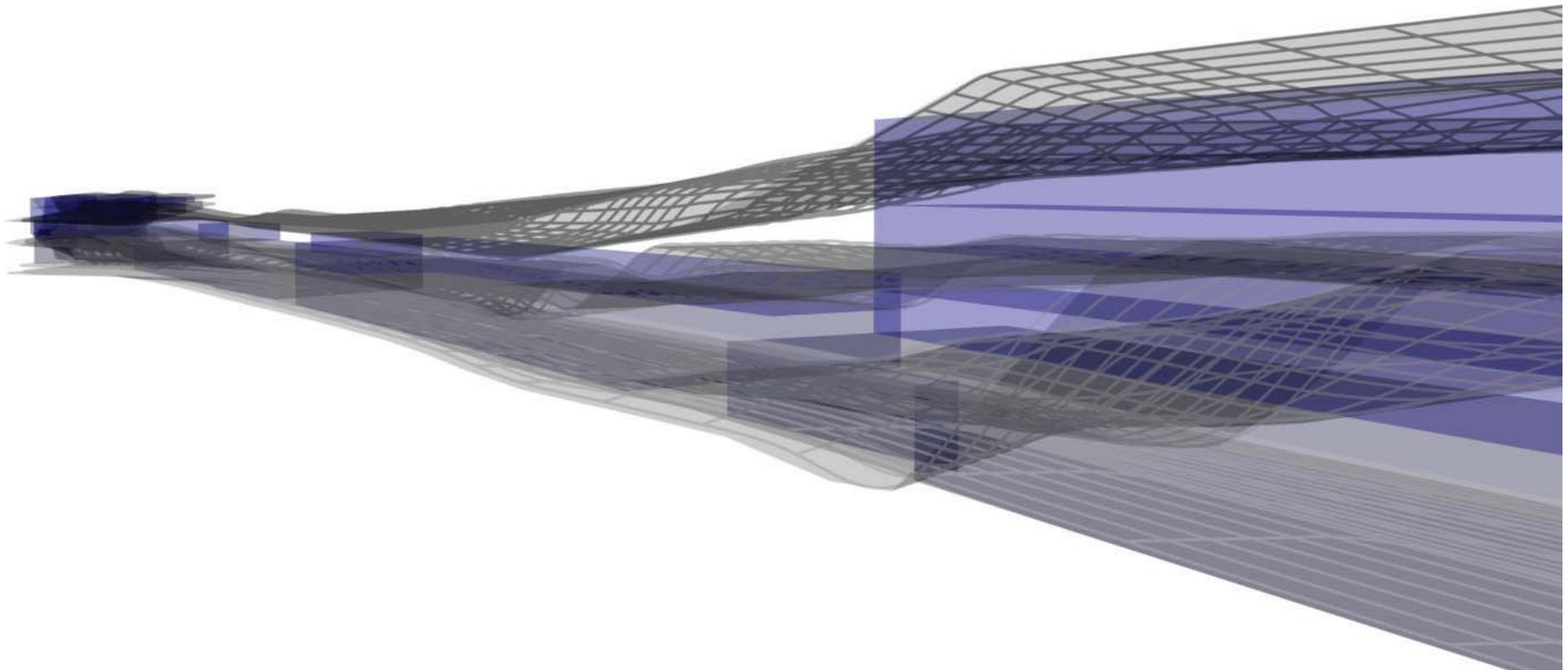


Abb. 10.2.1.03

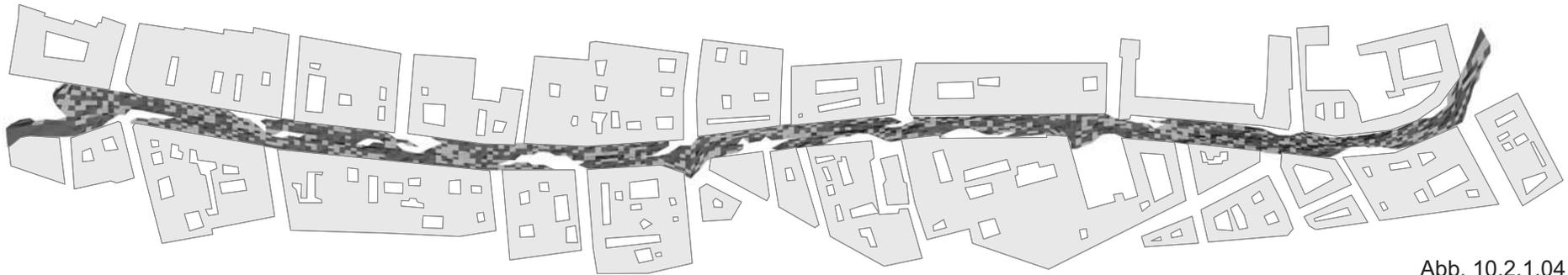


Abb. 10.2.1.04

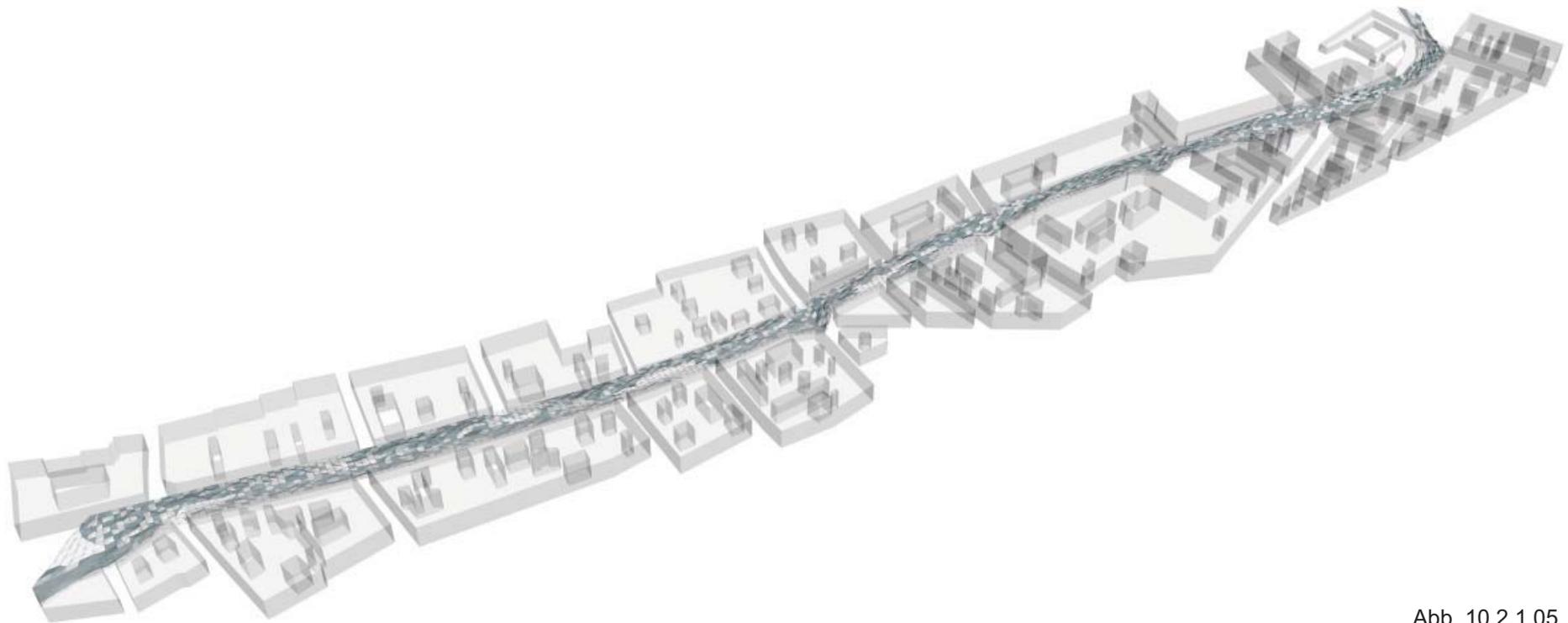


Abb. 10.2.1.05

10.3 STATISCHE BERECHNUNG EINES SYSTEMAUSSCHNITTES

10.3.1 LASTAUFSTELLUNG (UNGÜNSTIGSTER LASTFALL)

Lastfälle	Beschreibung	KN/m ²	KN/m ²
Nutzlast	Verkaufsgebäude		4
Eigenlast	Fußbodenaufbau		0,52
	Riffelblech 1,5 mm	0,12	
	Gitterrost	0,15	
	Trapezblech	0,195	
	Fassade Rynobond (prefa)	0,055	
GESAMT			4,52

KNOTENLASTBERECHNUNG:

	l	b	A
Lasteinflußfläche (ungünstigster Fall)	3,05	3,05	9,30
	A	KN/m ²	KN
Knotenlast	9,3	4,52	42,0

Kontrolle Dachlasten:

Eigenlast	Dachaufbau <i>Iso-Verglasung (Innen VSG außen ESG)</i>		0,45
Schneelast	ÖNorm B4013		0,75
Nutzlast (-Schneelast)	Verkaufsgebäude	4 - 0,75	3,25
GESAMT			4,45

WINDLASTBERECHNUNG

$$\text{Windkraft } W = C * S * Q$$

$$\text{Winddruck (>30°) } W_d = 1,0 * 1,0 * 0,49 = 0,49 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Windsog (<20°) } W_s = -1,2 * 1,0 * 0,49 = -0,588 \text{ KN/m}^2$$

C = C_{pe} - C_{pi} (für Dächer)

Q = Staudruck

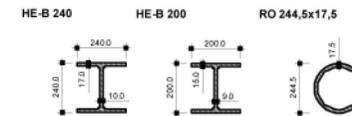
S = Größenfaktor

Abb. 10.3.1.01

10.3.2 QUERSCHNITTSWAHL UND MATERIAL

QUERSCHNITTE

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I_T A	I_2 A ₂	I_3 [mm ⁴] A ₃ [mm ²]
2	1	RO 244,5x17,5	160770000. 12480.0	80862800.	80862800.
3	1	HE-B 240	1030000. 10600.0	112600000.	39200000.
4	1	HE-B 200	595000. 7810.0	57000000.	20000000.



MATERIALIEN

Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [N/mm ²]	Schubmodul [N/mm ²]	Sp. Gewicht [N/mm ³]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Stahl	2.100E+05	8.100E+04	7.850E-05	1.200E-05

GRENZSPANNUNGEN

Mat.-Nr.	Material-Bezeichnung	Material-Norm, Kriterium	Grenzspannungen [kN/cm ²]		
			Sigma	Tau	Sigma-v
1	Stahl	DIN 18800 t ≤ 40 mm	21.82	12.6	21.82

Lokales Stabachsensystem

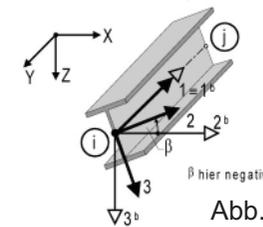
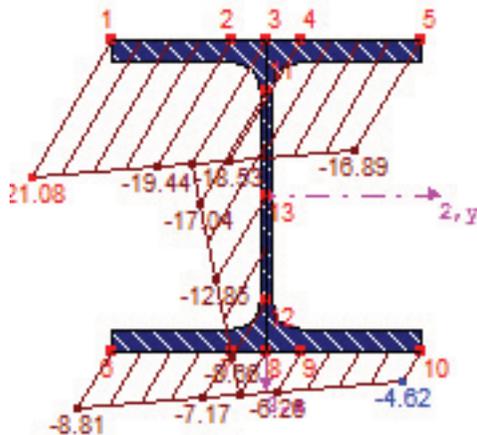


Abb. 10.3.2.01

10.3.3 MAXIMALE SPANNUNGEN IN DEN QUERSCHNITTEN ¹⁶⁾

Spannungsart	Stab-Nr.	x-Stelle [m]	S-Punkt Nr.	LF Nr.	Spannung [kN/cm ²]		Ausnutzung
					vorh	grenz	
Querschnitt Nr. 2 - RO 244,5x17,5							
Sigma gesamt	75	0.000	21	LF1	9.24	21.82	0.42
Tau gesamt	75	2.800	30	LF1	-0.61	12.60	0.05
Sigma-v	75	0.000	21	LF1	9.24	21.82	0.42
Querschnitt Nr. 3 - HE-B 240							
Sigma gesamt	303	0.000	1	LF1	-21.08	21.82	0.97
Tau gesamt	303	2.250	13	LF1	-2.02	12.60	0.16
Sigma-v	303	0.000	1	LF1	21.08	21.82	0.97
Querschnitt Nr. 4 - HE-B 200							
Sigma gesamt	76	4.310	1	LF1	-18.85	21.82	0.86
Tau gesamt	517	5.390	13	LF1	-0.23	12.60	0.02
Sigma-v	76	4.310	1	LF1	18.85	21.82	0.86

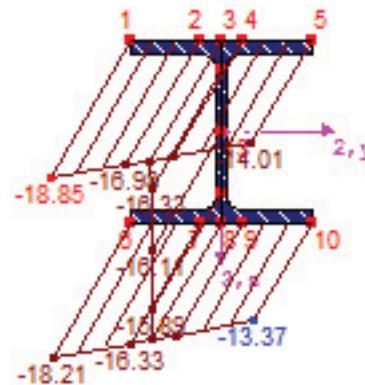
HE-B 240
Sigma gesamt
Stab Nr. 303, x = 0.000 [m]



Max = -4.62 [kN/cm²] (10)
Min = -21.08 [kN/cm²] (1)

Abb. 10.3.3.01

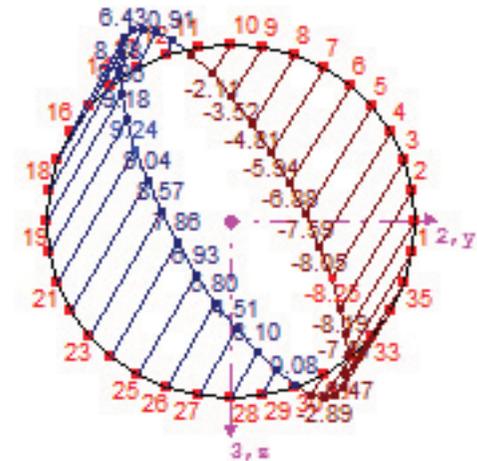
HE-B 200
Sigma gesamt
Stab Nr. 76, x = 4.310 [m]



Max = -13.37 [kN/cm²] (10)
Min = -18.85 [kN/cm²] (1)

Abb. 10.3.3.02

RO 244,5x17,5
Sigma gesamt
Stab Nr. 75, x = 0.000 [m]



Max = 9.24 [kN/cm²] (21)
Min = -8.25 [kN/cm²] (3)

Abb. 10.3.3.03

¹⁶⁾ Die Berechnungen wurden am Institut für Architekturwissenschaften durchgeführt. <http://www.dlubal.de/>

10.3.4 DARSTELLUNG DER KRÄFTEVERLÄUFE

LF 1 - Eigengewicht
Auflagerreaktionen

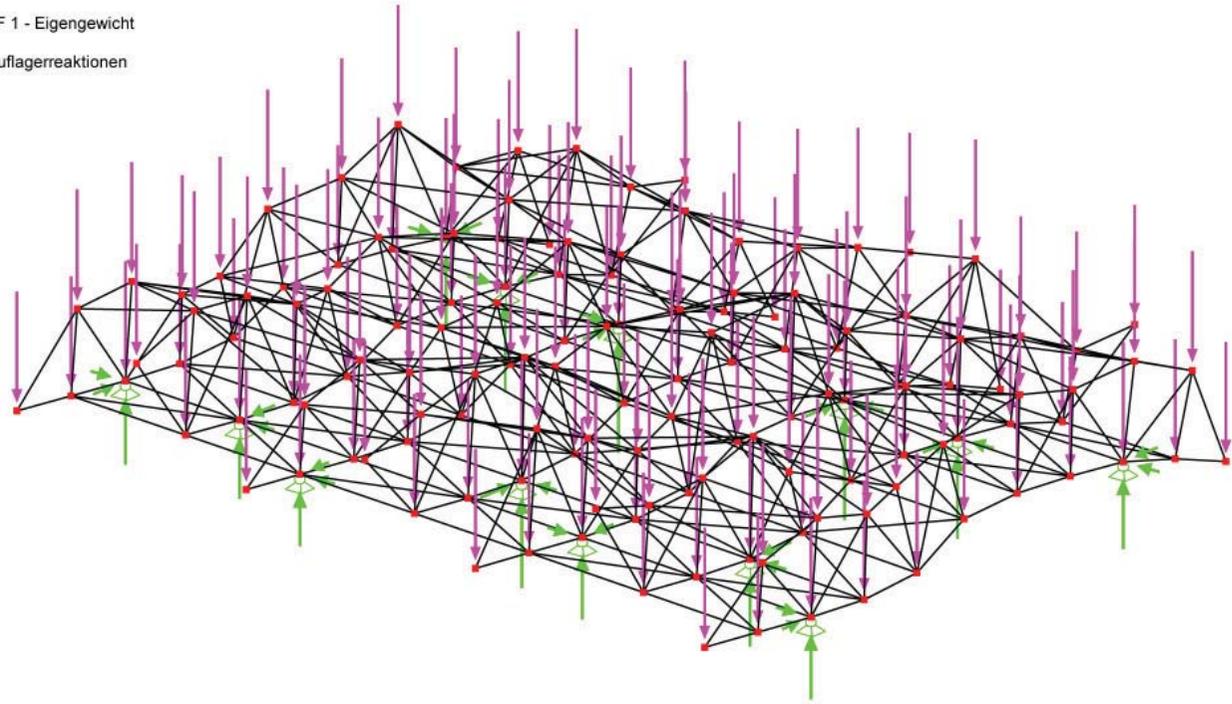
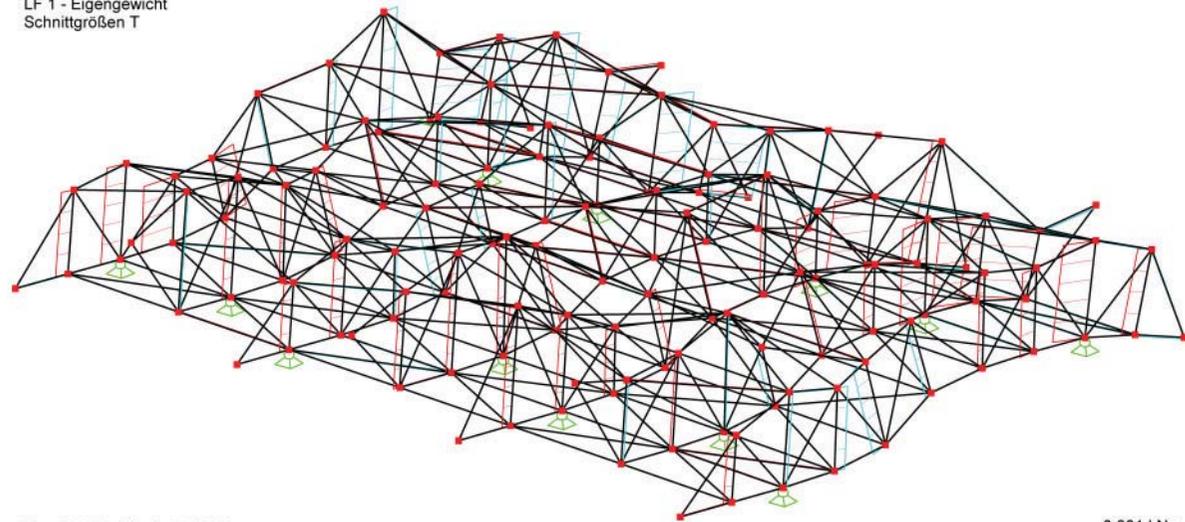


Abb. 10.3.4.01

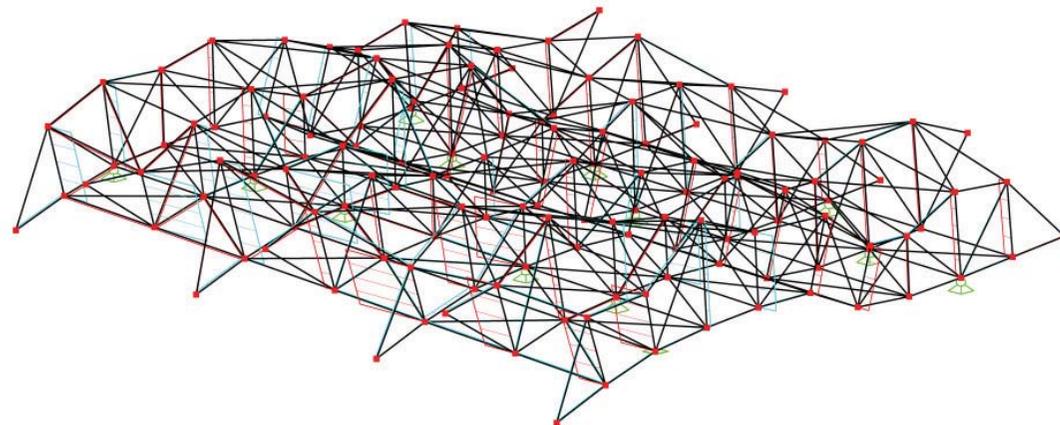
LF 1 - Eigengewicht
Schnittgrößen T



Max T: 1.08, Min T: -1.36 kNm

0.981 kNm

LF 1 - Eigengewicht
Schnittgrößen Q-2



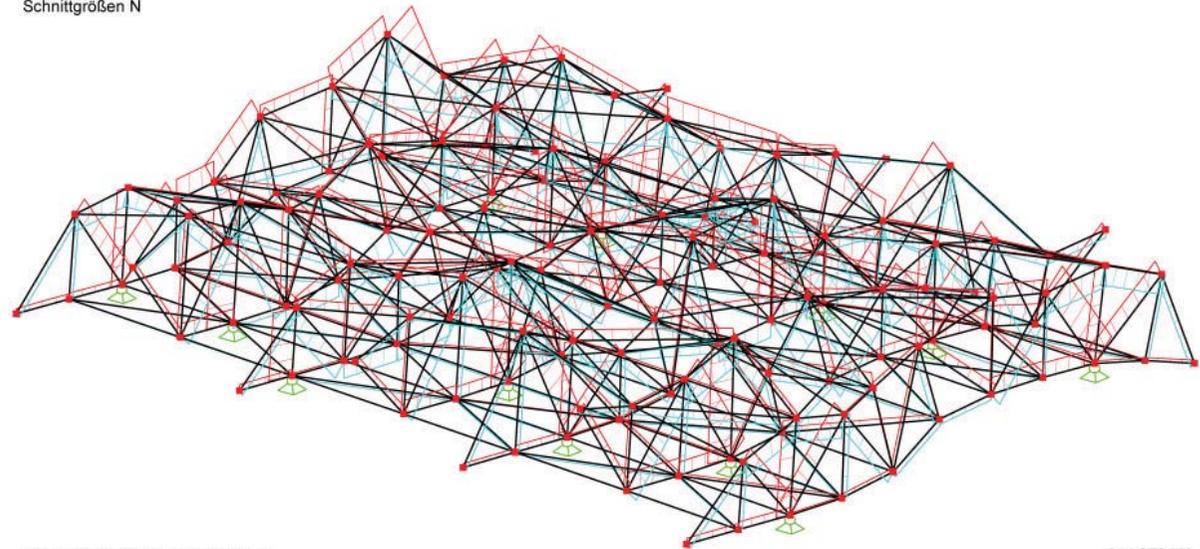
Isometrie

Max Q-2: 20.43, Min Q-2: -21.48 kN

15.432 kN

Abb. 10.3.4.02 - 10.3.4.03

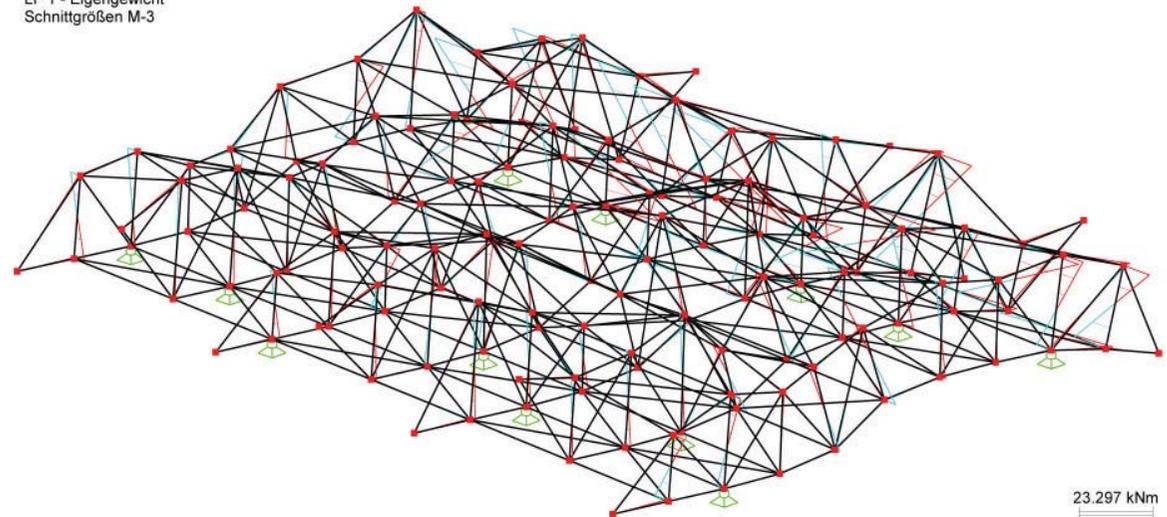
LF 1 - Eigengewicht
Schnittgrößen N



Max N: 646.19, Min N: -892.80 kN

644.273 kN

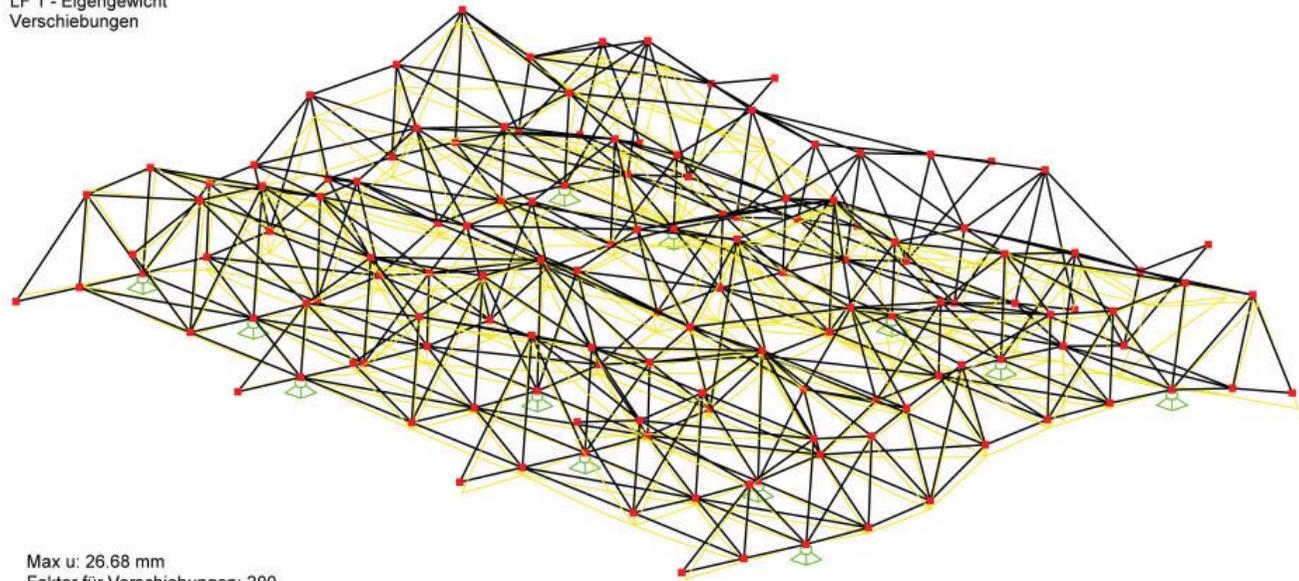
LF 1 - Eigengewicht
Schnittgrößen M-3



23.297 kNm

Abb. 10.3.4.04 -10.3.4.05

LF 1 - Eigengewicht
Verschiebungen



Max u: 26.68 mm
Faktor für Verschiebungen: 200

Abb. 10.3.4.06

10.4 KNOTENDETAILS

10.4.1 BODENAUFBAU

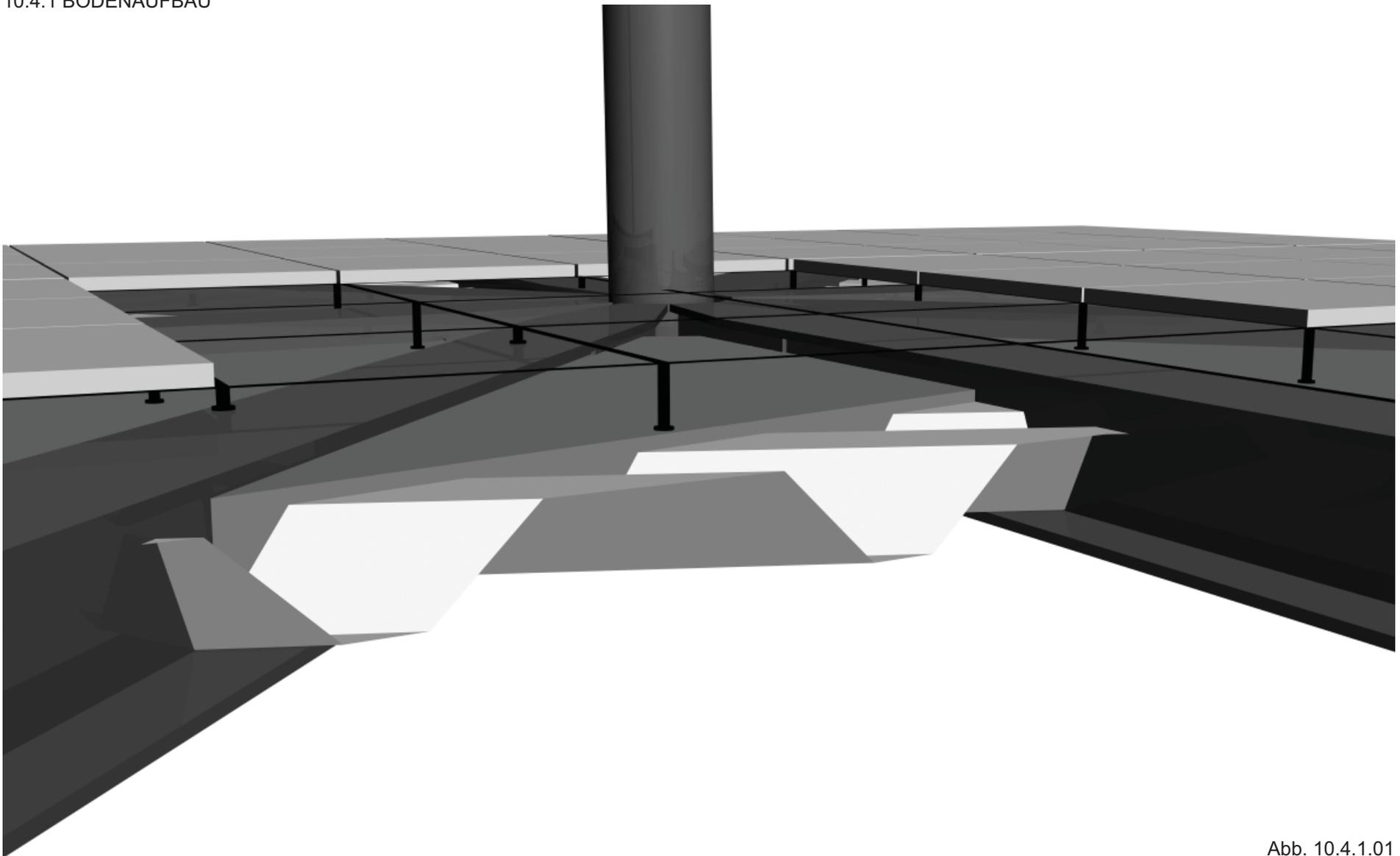


Abb. 10.4.1.01

10.4.2 VERBINDUNG DER HAUPTTRÄGER

Die senkrechten Stäbe sind als Rundquerschnitte gewählt. An sie sind Laschen angeschweißt die die verbindenden Elemente zu den Trägern bilden. In diese Laschen wird der Steg der HEB Träger eingeschoben und gelenkig verbunden. Für eine steife Ausführung sorgen, nach der Einrichtung in die genaue Position, Schussnägel.

Diagonale Aussteifungen sind etwas geringer dimensioniert als die Träger von Boden und Decke. Sie werden mit Kopfplatten auf den Obergurt aufgeschraubt.

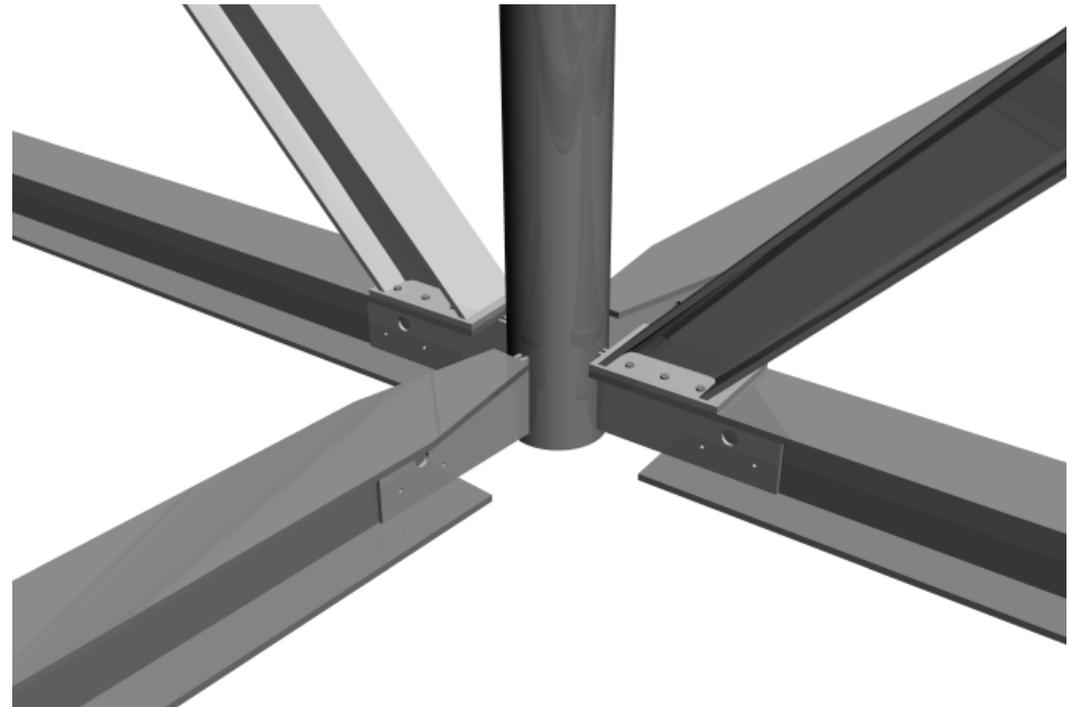


Abb. 10.4.2.01

10.4.3 GLASHALTERUNG AUF DEN TRÄGERN

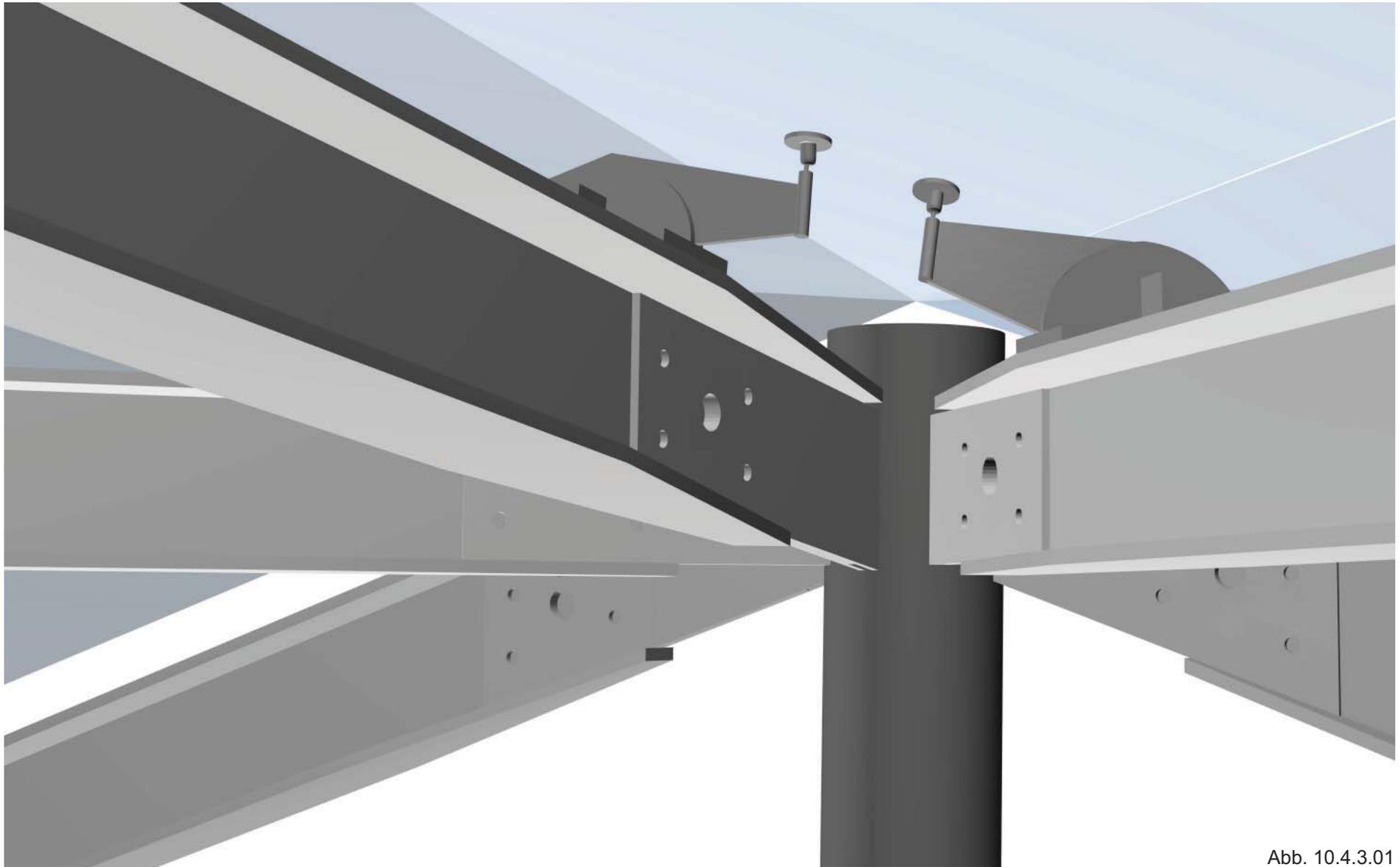


Abb. 10.4.3.01

10.5 AUFBAUTEN

10.5.1 BODENAUFBAU

Riffelblech	3,50 mm
Gitterrost	28,50 mm
Ständerbodensystem	~100,00 mm
Wärmedämmung (weich)	100,00 mm
Stahlbeton/Überdeckung	+40,00 mm
HEB 240 (Obergurt)	17,00 mm
Trapezblech	137,00 mm
Aluminiumplatte	5,00 mm
HEB 240 (Untergurt)	17,00 mm

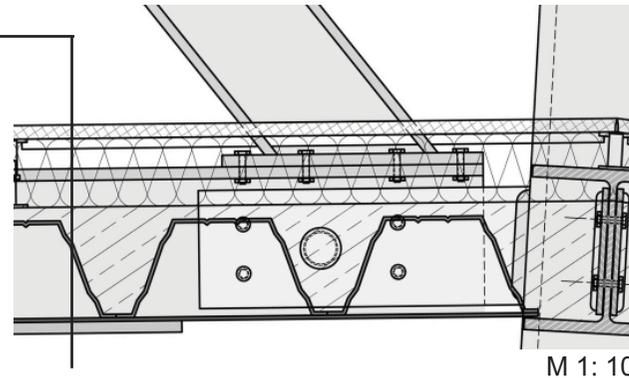


Abb. 10.5.1.01

10.5.2 DACHAUFBAU

ISO Verglasung (innen VSG, außen ESG)	2 x 6,00 mm
Punkthalterung mit Kugelgelenk	~100,00 mm
HEB 240 (Obergurt)	17,00 mm
Lasche	164,00 mm
HEB 240 (Untergurt)	17,00 mm

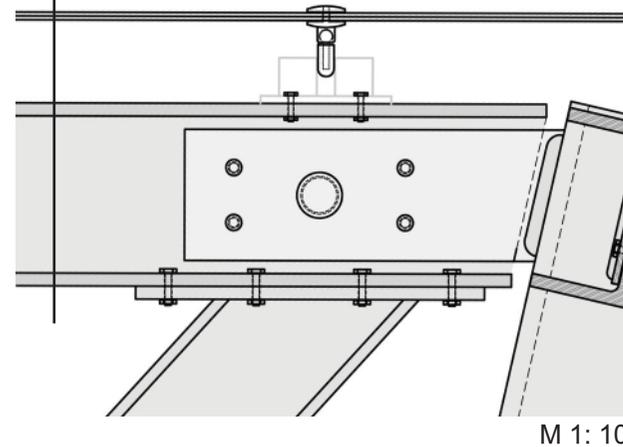
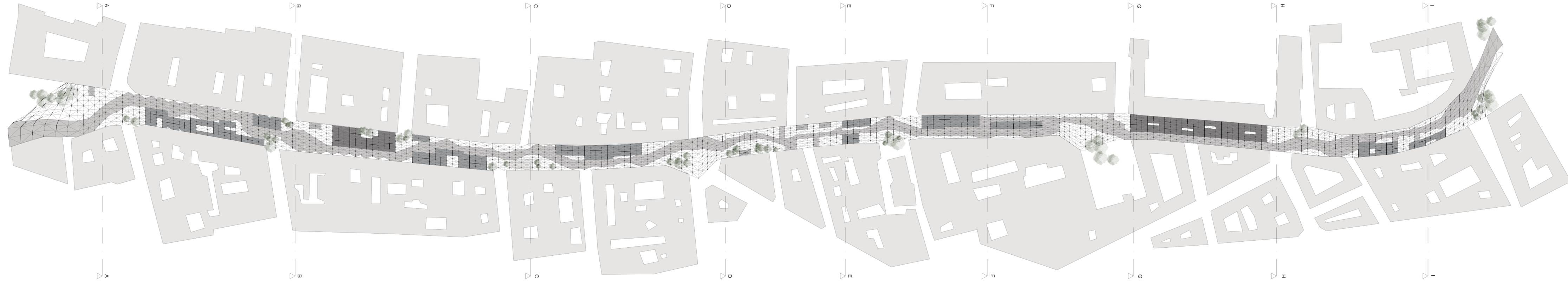
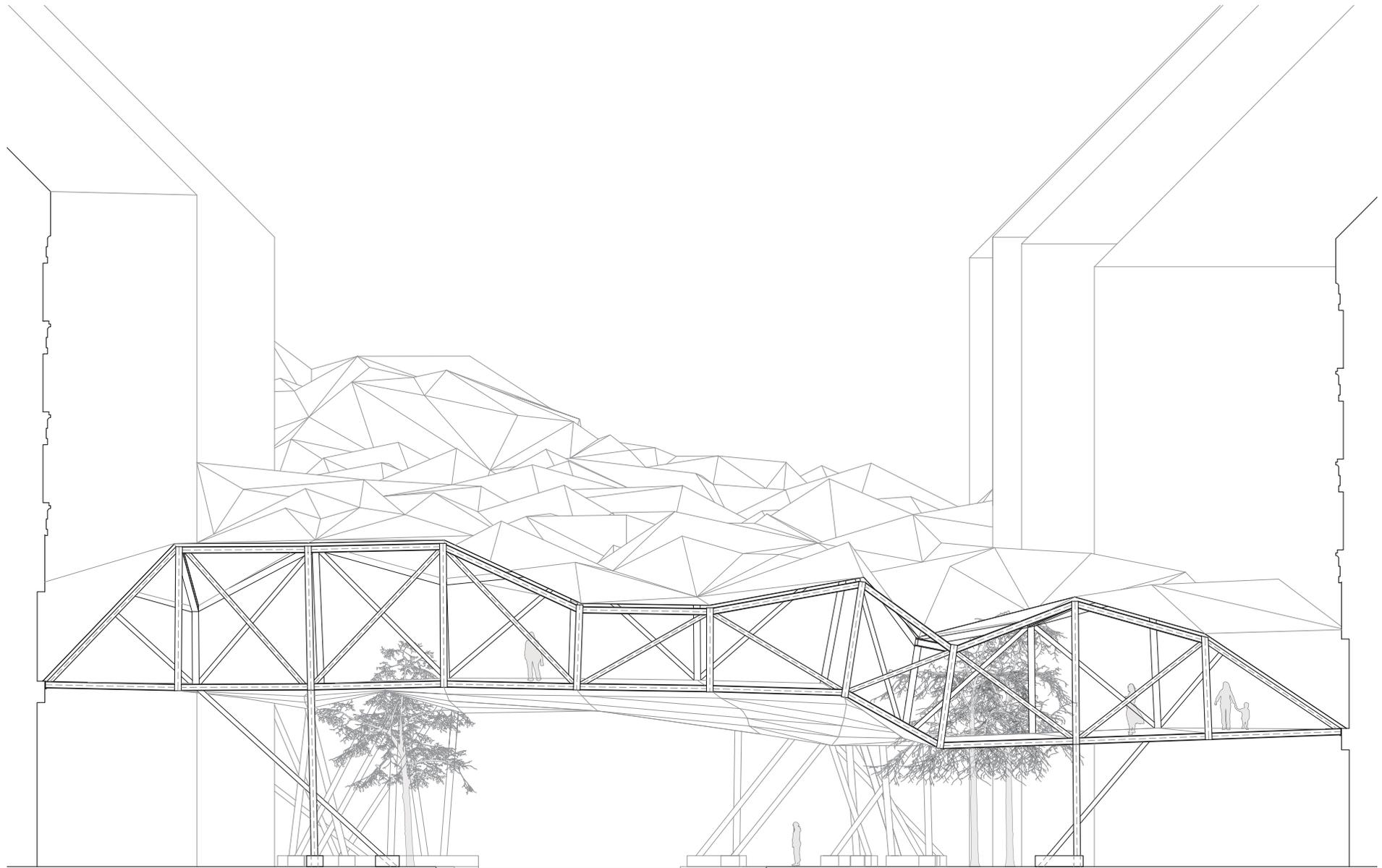


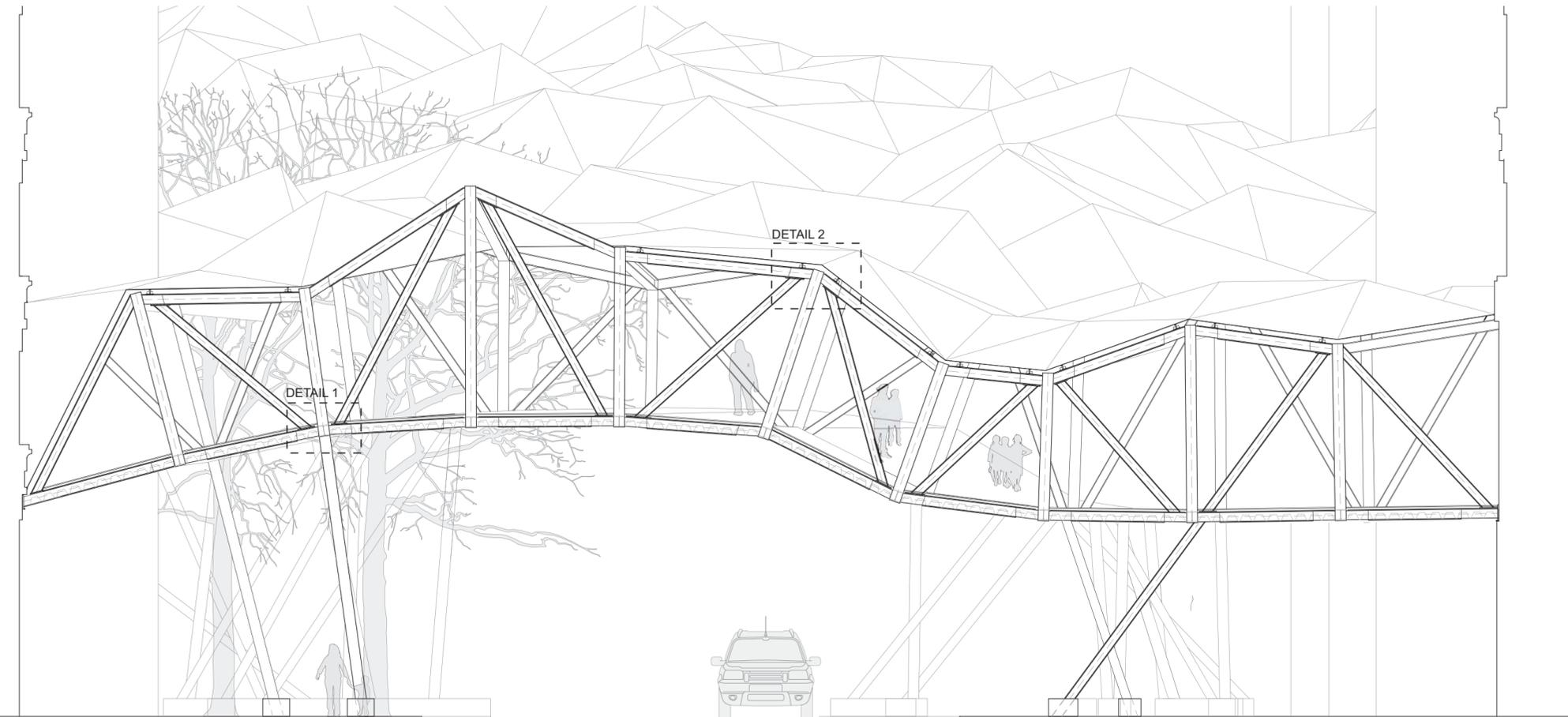
Abb. 10.5.1.02

10.6 PLÄNE

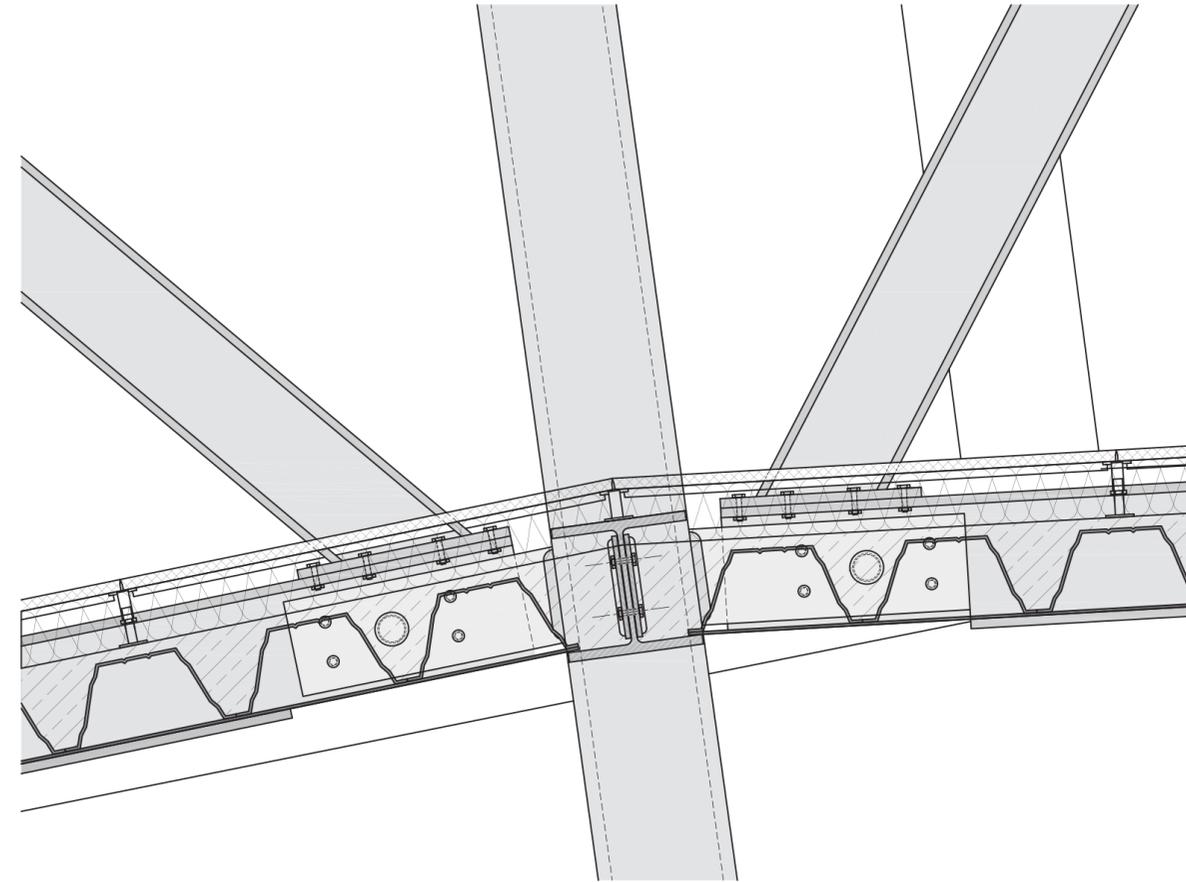




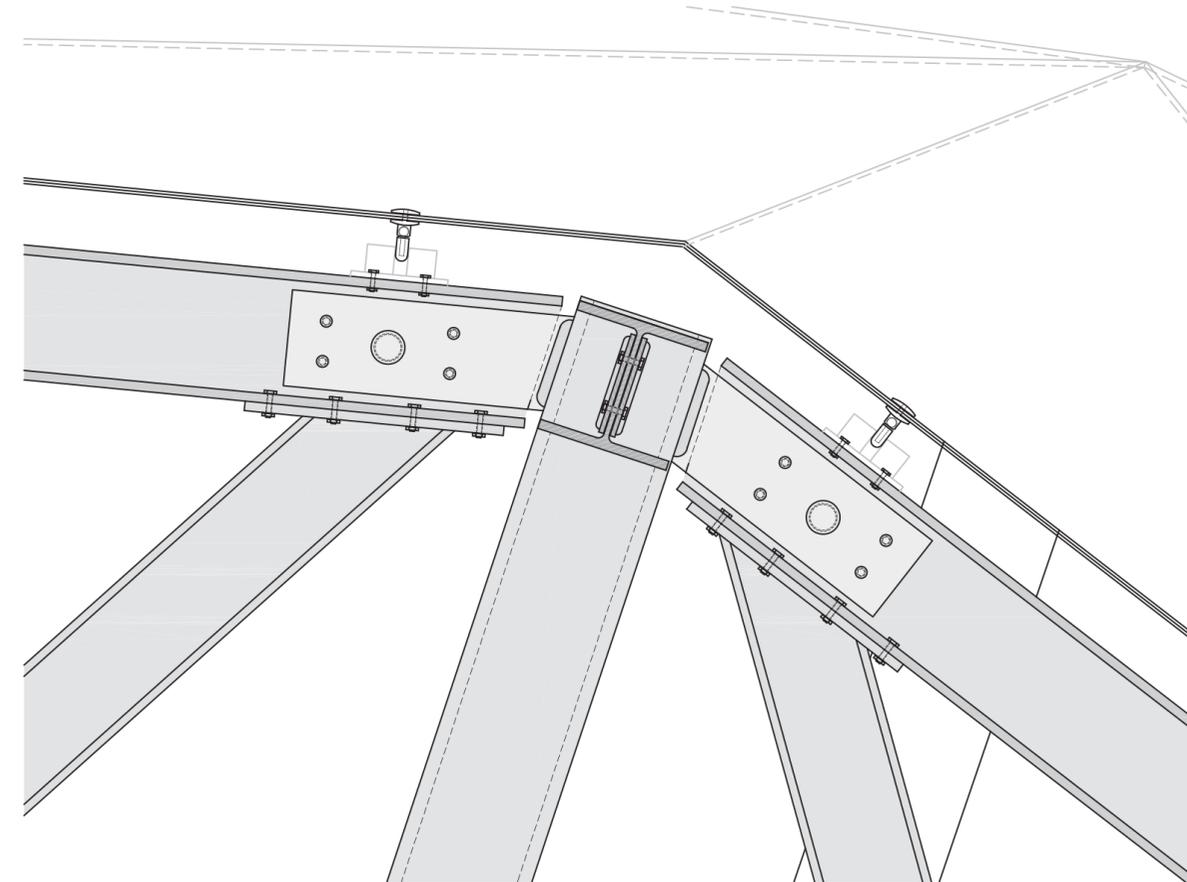
SCHNITT A-A M 1:200



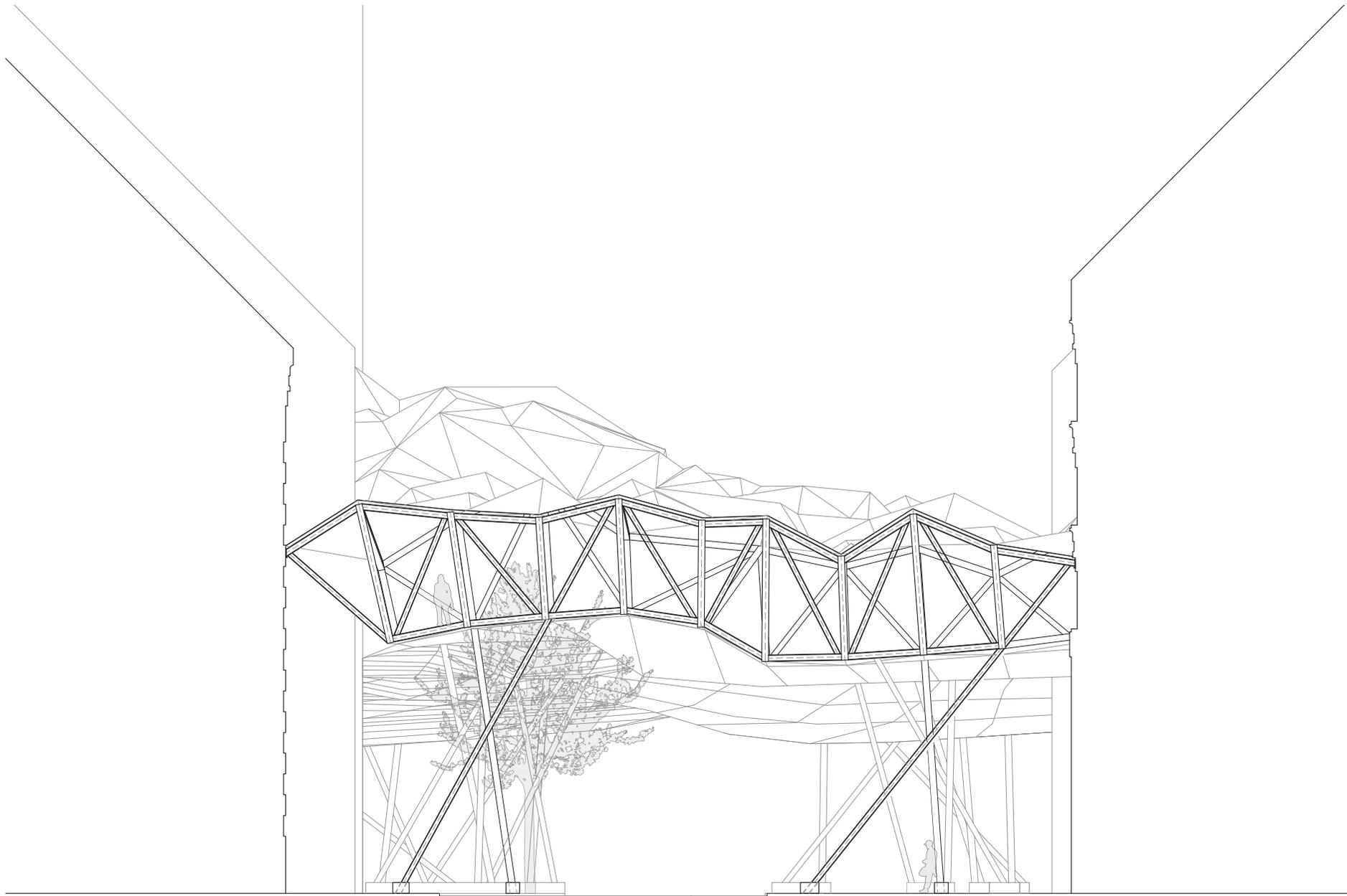
SCHNITT B-B M 1 : 100



Detail 1 M 1:10



Detail 2 M 1:10



SCHNITT C-C M 1:200



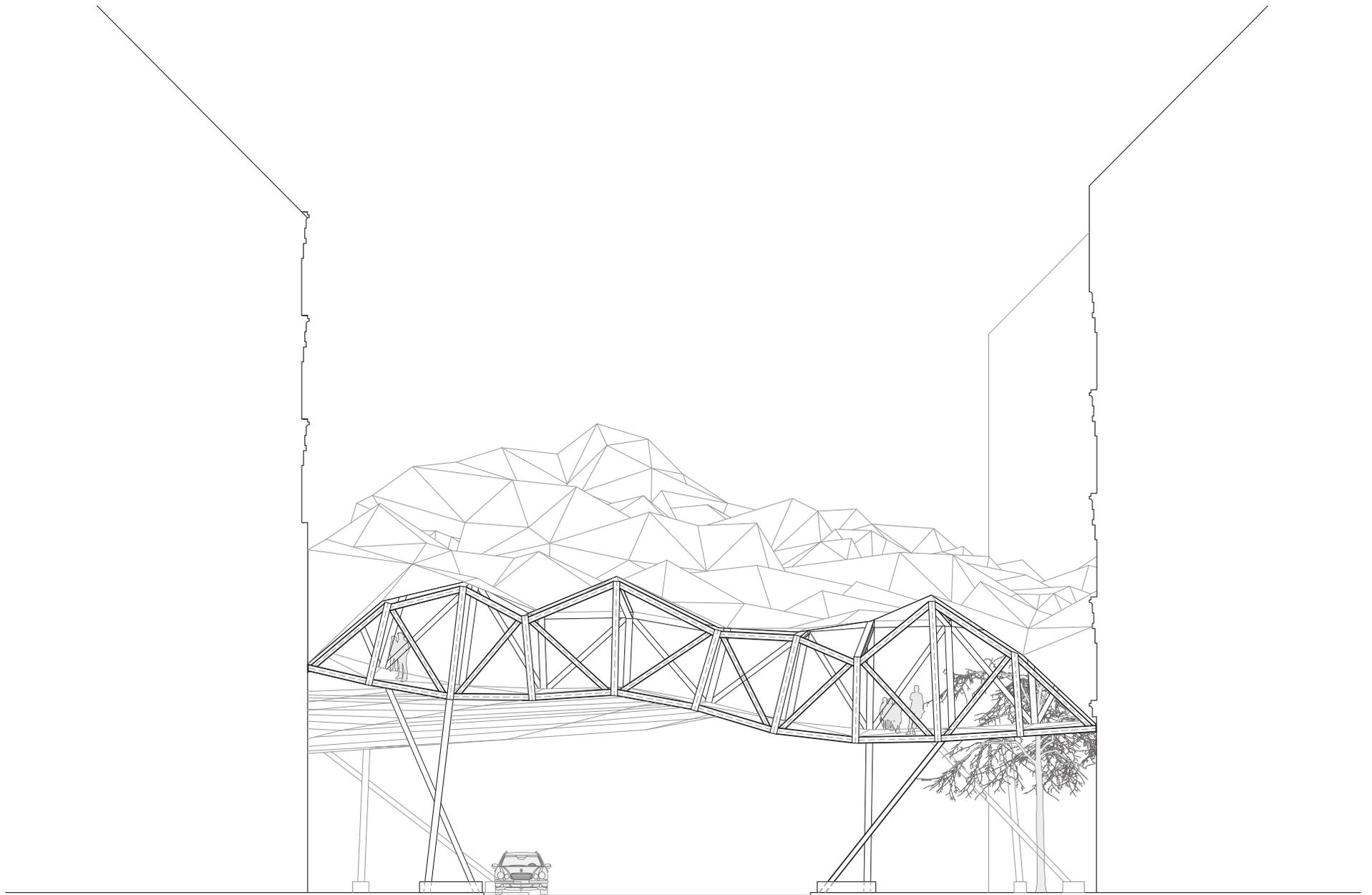
SCHNITT D-D M 1:200



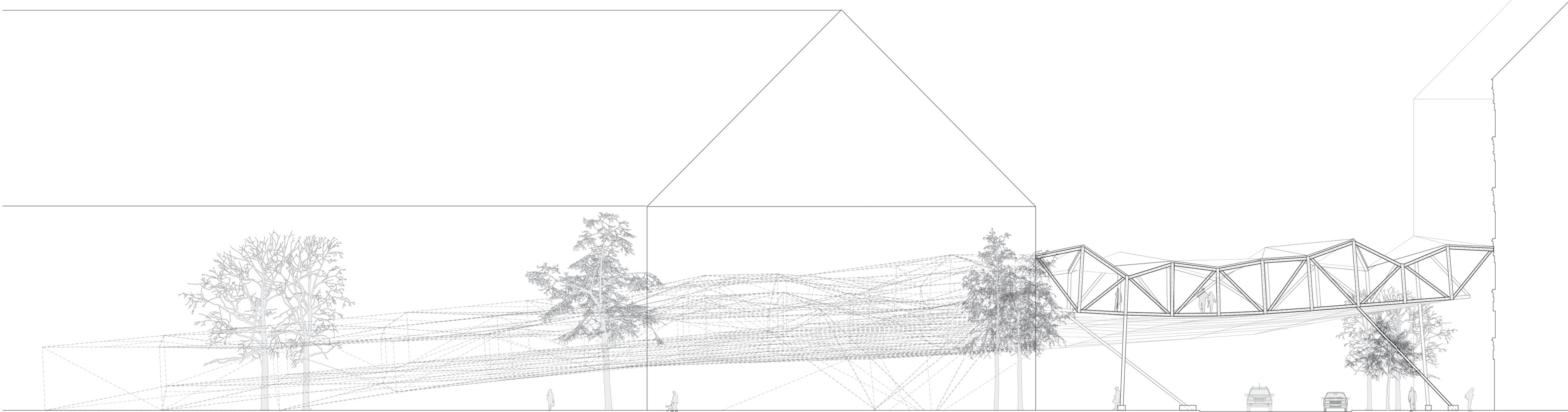
SCHNITT E-E M 1:200



SCHNITT F-F M 1:200



SCHNITT G-G M 1:200



SCHNITT H-H M 1:200



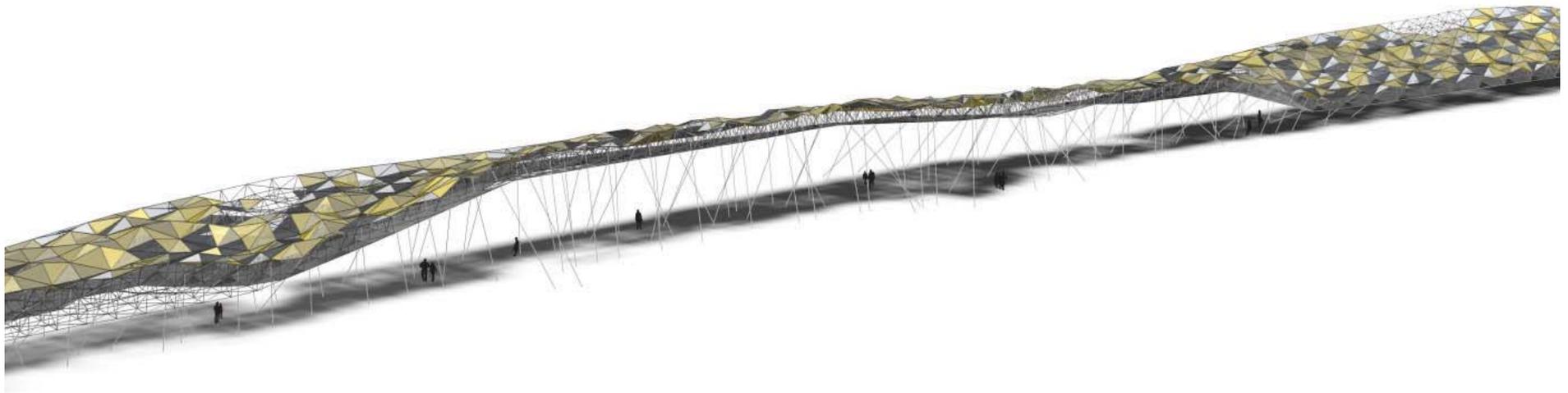
SCHNITT I-I

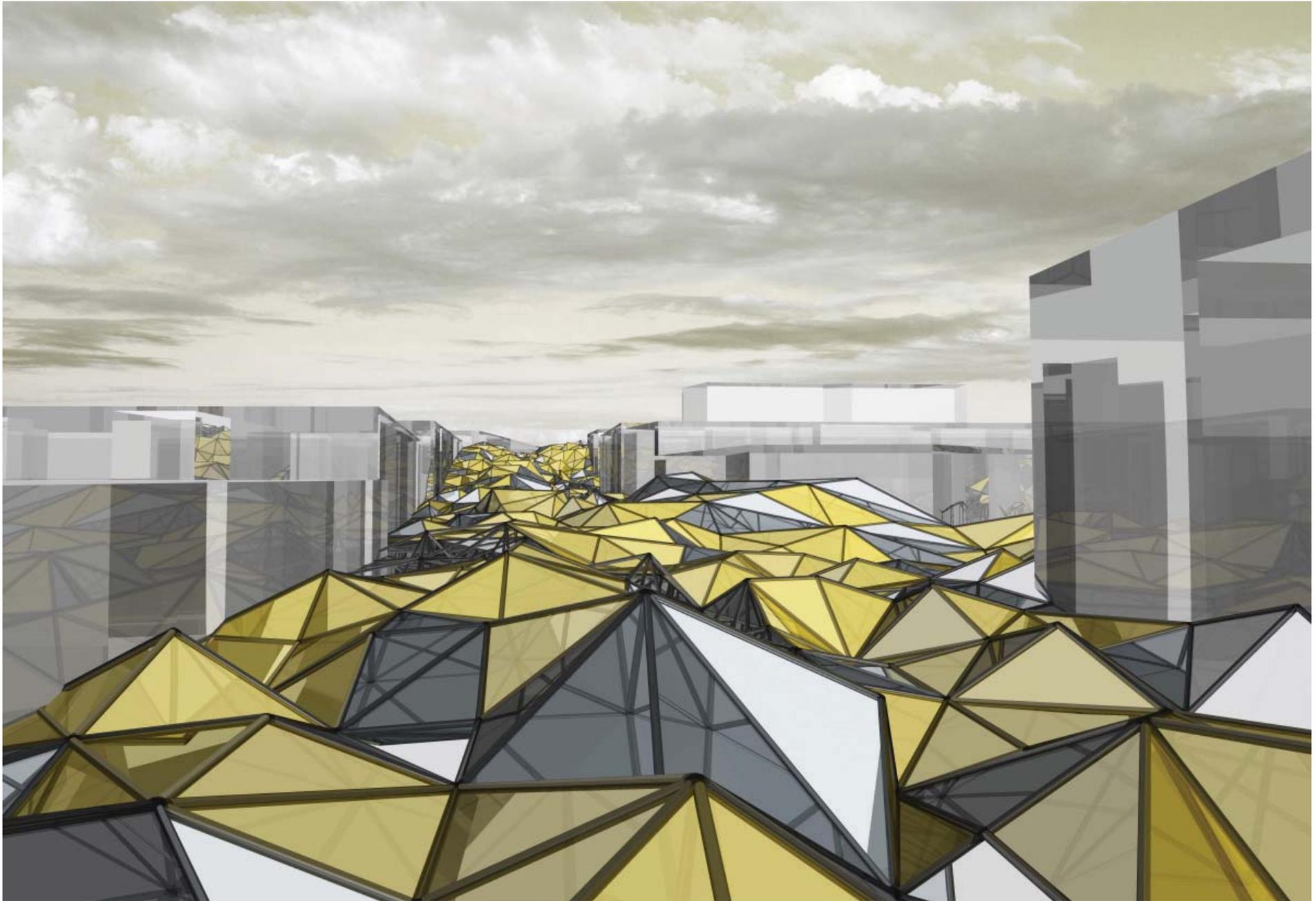
M 1: 2000

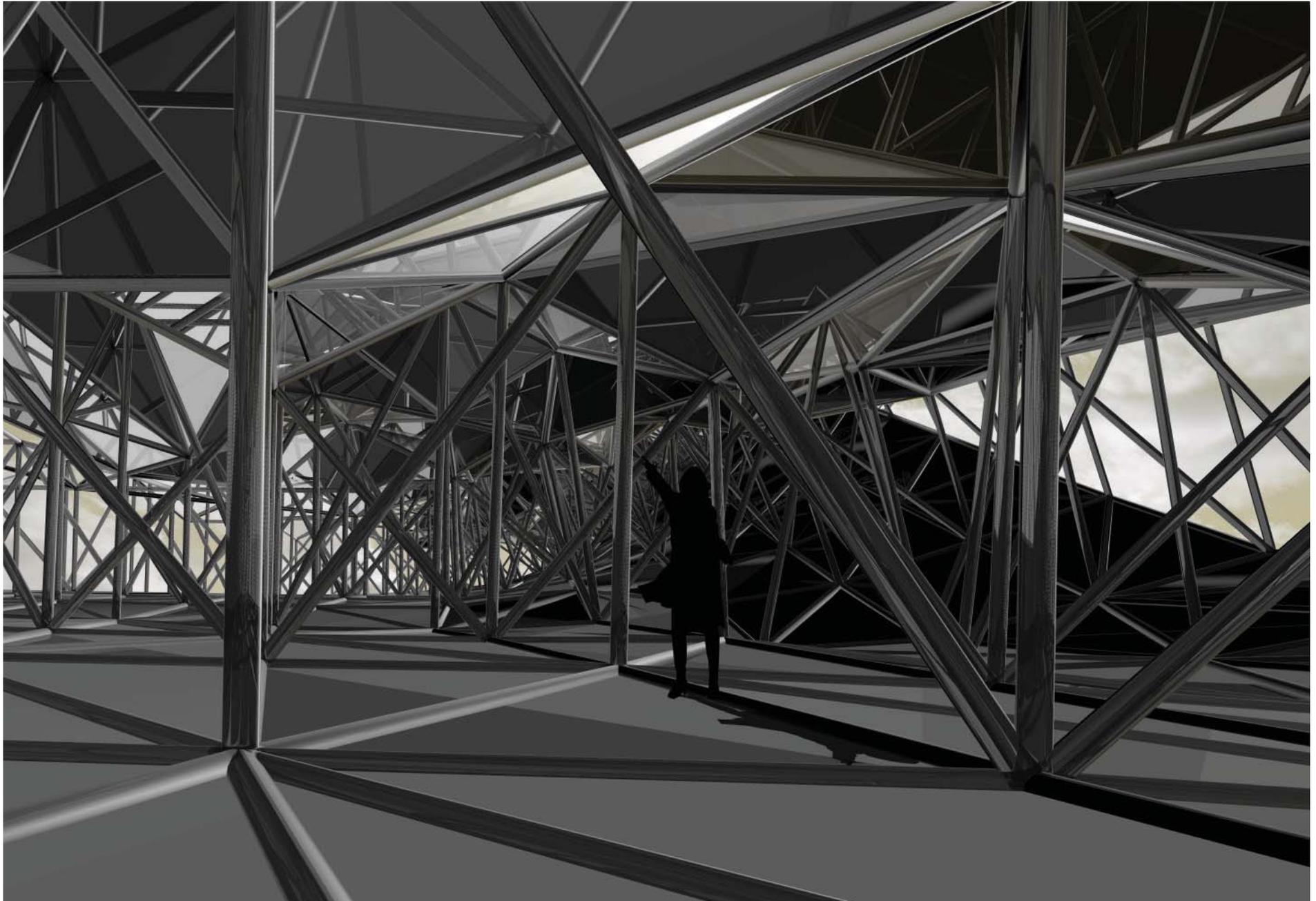


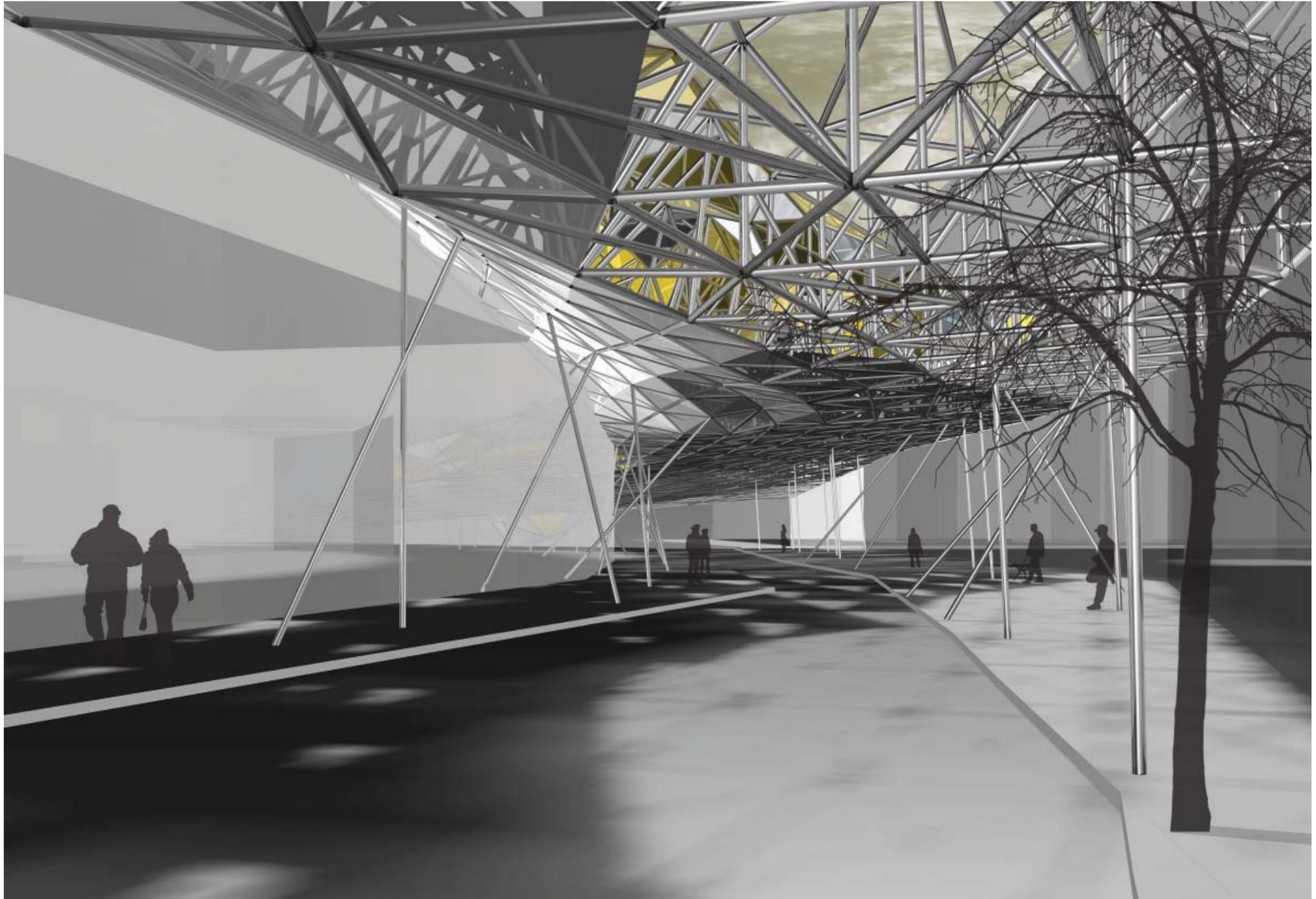
SCHNITT I-I M 1: 200

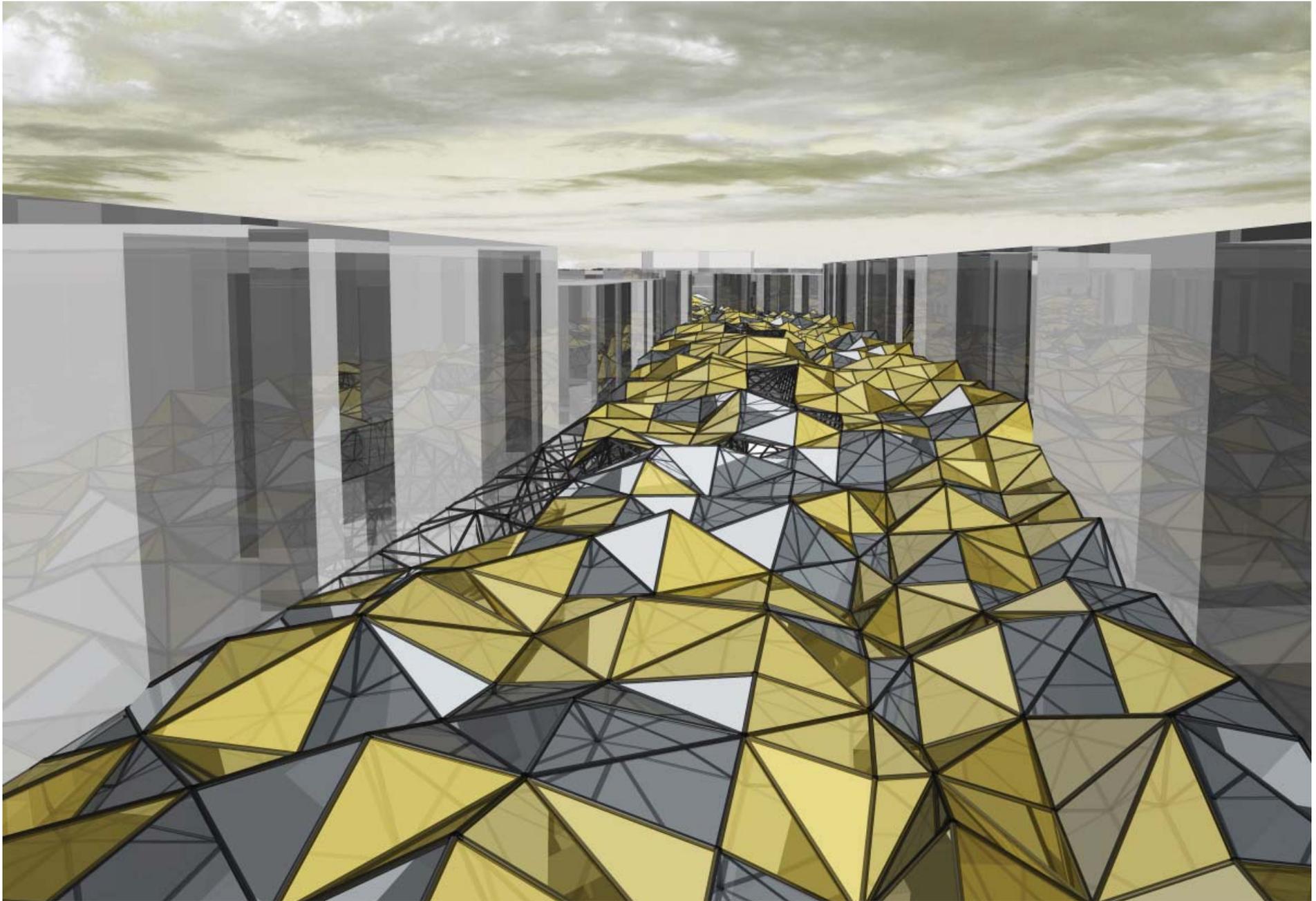
10.7 RENDERINGS

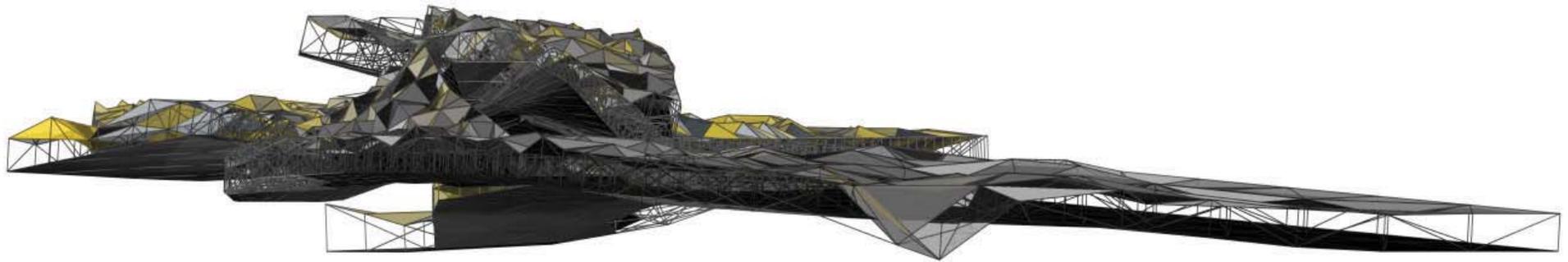












DANKSAGUNG

Danke zu sagen, ist mir ein großes Anliegen, denn viele liebe Menschen waren mir in der Zeit meines Studiums, ausgesprochen hilfreich.

Mein spezieller Dank gilt meinem betreuenden Professor DI Manfred Berthold, der mich mit seinen wertvollen Anregungen und Tipps unterstützte und für meine Fragen stets ein entgegenkommender Ansprechpartner war.

Ganz besonderer Dank gilt auch meinen Eltern Silvia, Manfred und Alfred, für ihre Geduld und Unterstützung während meiner gesamten Ausbildungszeit.

Meiner Familie und meinen Freunden, die mir verziehen, dass ich einen Großteil meiner Zeit mit meinen Büchern und meinem Computer verbrachte, gilt ebenfalls mein Dank. Ohne ihre aktive Unterstützung bei der Erledigung vieler notwendiger Dinge und ohne ihre ermutigenden, kraftspendenden Worte wäre die Absolvierung meines Studiums nicht so bereichernd gewesen.

Besonders möchte ich hier Hansi, Helmut, Iki, Jeggo, Joe und Lisa erwähnen, die konstruktive Kritik und Ideen in diese Arbeit einbrachten.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.01	Portraitbild Aristid Lindenmayer 1925-1989 (a)
Abb. 2.1.01	„Koch'sche Schneeflocke“ (b)
Abb. 2.1.1.01	System Drachenkurve (c)
Abb. 2.1.2.01	Beispiel DOL – System
Abb. 2.1.2.02	Verzweigung der Branching Struktur
Abb. 2.1.2.03	Pflanzliche Wachstumsstrukturen (d)
Abb. 2.2.2.01	Systematische Beschreibung von einfach verzweigten Strukturen
Abb. 2.2.2.02	Einfach verzweigte Strukturen (e)
Abb. 2.2.3.01	Turtle Graphik
Abb. 2.3.01	Orientierung im Raum mittels einer 3x3 Matrix
Abb. 2.3.02	3 dimensionale Turtlemodellierung (d)
Abb. 3.2.01	Stochastisches L-System (d)
Abb. 3.2.02-05	Stochastisches L-System bei Pflanzen (f)
Abb. 3.4.01	Entwicklung eines Anabeana Catenula mit Heterozysten (d)
Abb. 4.1.01	Umgebungssensitive L-Systeme (g)
Abb. 4.2.01	Interaktion Pflanze-Umgebung charakterisiert durch ein Skalar- oder Vektorfeld (g)
Abb. 4.2.02	Kampf zweier genetisch identischer Bäume um Licht (g)
Abb. 5.1.01	Billboard Texture Map (h)
Abb. 5.1.02-03	Transparente Darstellung des Hintergrunds der Pflanzentextur (i)
Abb. 6.1.01	Realistische Darstellung der Umwelt in Simulationen (j)
Abb. 7.01	Diagramm der Visualisierungsmöglichkeiten (k)
Abb. 7.1.1.01	Mapping auf Flächen
Abb. 7.1.2.01	Einflussnahme von Buchstabencluster auf Objekte
Abb. 7.1.3.01	Darstellung Derivative Form
Abb. 7.2.1.01	Deterministische L-Systeme
Abb. 7.3.2.01	Darstellung von Spiralfiguren (l)
Abb. 7.3.2.02	Veranschaulichung des Weaving-Prinzips (l)
Abb. 8.1.01	Konstruktionsprinzip durch L-System 2D
Abb. 8.1.02	Extrudierte Axonometrische Darstellung der Konstruktionsebenen
Abb. 8.2.01	Diagrammatische Darstellung des Programmierablaufes
Abb. 8.2.02	Diagrammatische Darstellung des Einsatzes von Flächen
Abb. 8.2.1.01	Darstellung der Konstruktion auf einer Kugel mittels Formelangabe
Abb. 8.2.1.1.01	Formvarianten mittels Formeldefinition
Abb. 8.2.1.1.02	Formvariante mittels Sinus und Kosinus
Abb. 8.2.1.1.03	Darstellung der Konstruktion mit gespiegeltem Algorithmus
Abb. 8.2.1.1.04	Einsatz als begehbares Raumfachwerk

Abb. 8.2.2.01	Axonometrische Darstellung der Spannvektoren einer Fläche
Abb. 8.2.2.02	Aufbau auf einer Eben mittels Surface-Evaluierung
Abb. 8.2.2.03	Unterscheidung zwischen Verschiebung und Versetzung einer HP-Fläche
Abb. 8.2.2.04	Anwendung auf eine Fassade
Abb. 8.3.01	Graphische Darstellung des Einflussfaktors der max. Steigung
Abb. 9.2.01	Stadtplan
Abb. 9.2.1.02	Anwendungsbeispiel Schwedenplatz
Abb. 9.2.1.03	Ansichten Anwendungsbeispiel Schwedenplatz
Abb. 9.2.1.04	Innenansicht Anwendungsbeispiel Schwedenplatz
Abb. 9.2.2.01	Anwendungsbeispiel Ottakring, Darstellung des Aufbaus
Abb. 9.2.2.02	Parasiten auf einem Gebäudeblock in Ottakring
Abb. 9.2.3.01	Anwendungsbeispiel Innere Stadt
Abb. 9.2.3.02	Lagplan einer möglichen "Innenstadtbewachung"
Abb. 9.2.3.03	Ausschnitt Anwendungsbeispiel Innere Stadt
Abb. 9.2.4.01	Parasitäres Anhaften an einen Zylinder
Abb. 10.2.01	Schematische Darstellung der Flächengenerierung
Abb. 10.2.02	Entwicklung der Fläche
Abb. 10.2.03	Reflexion mit den Funktionen
Abb. 10.2.1.01	Funktionsdiagramm
Abb. 10.2.1.02	Funktionsschemata
Abb. 10.2.1.03	Flächenüberlagerung in der Perspektive
Abb. 10.2.1.04	Lageplan
Abb. 10.2.1.05	Perspektivische Ansicht
Abb. 10.3.1.01	Tabellarische Lastaufstellung
Abb. 10.3.2.01	Trägerquerschnitte
Abb. 10.3.3.01	Maximalspannung des HE-B 240
Abb. 10.3.3.02	Maximalspannung des HE-B 200
Abb. 10.3.3.03	Maximalspannung des RO 244,5 x 17,5
Abb. 10.3.4.01	Auflagerreaktionen
Abb. 10.3.4.02	Schnittgrößen: Torsion
Abb. 10.3.4.03	Schnittgrößen: Querkräfte
Abb. 10.3.4.04	Schnittgrößen: Normalkräfte
Abb. 10.3.4.05	Schnittgrößen: Momente
Abb. 10.3.4.06	Verschiebungen von Knoten und Stäben
Abb. 10.4.1.01	3D Detail Bodenaufbau
Abb. 10.4.2.01	3D Detail Trägeranschluss
Abb. 10.4.3.01	3D Detail Glashalterung
Abb. 10.5.1.01	Detailausschnitt Bodenaufbau
Abb. 10.5.1.02	Detailausschnitt Dachaufbau

LITERATURVERZEICHNIS

Przemyslaw Prusinkiewicz, Aristid Lindenmayer, *The Algorithmic Beauty of Plants*, Springer Verlag, New York 1990, ISBN 0-387-97297-8 (d)

Przemyslaw Prusinkiewicz, Mark James, and Radomir Mech. Synthetic topiary. Proceedings of SIGGRAPH 94 (Orlando, Florida, July 24-29, 1994). In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1994*, ACM SIGGRAPH

Radomir Mech and Przemyslaw Prusinkiewicz. Visual Models of Plants Interacting with Their Environment. Proceedings of SIGGRAPH 96 (New Orleans, Louisiana, August 4-9, 1996). In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1996*, ACM SIGGRAPH (g)

Oliver Deussen, Pat Hanrahan, Bernd Lintermann, Radomir Mech, Matt Pharr, and Przemyslaw Prusinkiewicz. Realistic modeling and rendering of plant ecosystems. Proceedings of SIGGRAPH 98 (Orlando, Florida, July 19-24, 1998). In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, 1998*, ACM SIGGRAPH (j)

Bettina Geier, Karin Egger, Andreas Muhar. Integrierte 3D-Visualisierungs-Systeme für die Landschaftsplanung: Konzepte und Marktrealität. In *Corp 2001* (i)

Benjamin Aranda, Chris Lasch, Tooling, *Pamphlet Architecture 27*, Princeton Architectural Press, New York, 2005, ISBN 1-56898-547-9 (l)

MVRDV, UWM. *Skycar City, ACTAR Barcelona - New York*, 2007, ISBN 88-208041-6-6 (k)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Parameterdarstellung>

<http://medien.informatik.uni-ulm.de/lehre/courses/ss02/Computergrafik/FlorianBreier.pdf>

<http://de.wikipedia.org/wiki/L-Systeme>

<http://www.dlupal.de/>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Drachenkurve_\(c\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Drachenkurve_(c))

<http://www.paul-koop.de/lssystembsp.htm>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lindenmayer-System>

http://home.wtal.de/schwebin/lsys/einf_lsys.htm

http://de.wikipedia.org/wiki/Kochsche_Schneeflocke (b)

<http://krasnow.gmu.edu/cn3/TNA> (f)

http://home.wtal.de/schwebin/lsys/einf_lsys.htm (a)

<http://www.vterrain.org/Plants/modelling.html> (h)

<http://klimek.box4.net/files/lindenmayer.pdf> (e)

<http://www.generatorx.no/>

<http://workshop.evolutionzone.com/category/watzwork/>

ERGÄNZENDE LITERATUR

Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock, Techniques and Technologies in Morphogenetic Design, Architectural Design, Wiley-Academy, London, 2006, ISBN 0-470-01529-2

Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock, Emergence: Morphogenetic Design Strategies, Architectural Design, Wiley-Academy, London, 2004, ISBN 0-470-86688-8

Kostas Terzidis, Algorithmic Architecture, Architectural Press, Oxford, 2006, ISBN 978-0-7506-6725-8

Kostas Terzidis, Expressive Form, Spon, London, 2003, ISBN 0-415-31743-6

