

Diplomarbeit

Von der Entwurfsstudie zum BIM-Modell

Algorithmus-gestützte Transformation digitaler Volumenstudien
am Beispiel eines Architekturwettbewerbes

Johannes Frank

2025



architektur +
raumplanung

DIPLOMARBEIT

Von der Entwurfsstudie zum BIM-Modell

Algorithmus-gestützte Transformation digitaler Volumenstudien
am Beispiel eines Architekturwettbewerbes

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs eingereicht an der TU-Wien,
Fakultät für Architektur und Raumplanung von

Johannes Frank, BSc.
12143765

Betreuer: **Ao.Univ.Prof. Dipl.-Arch. Dr.phil. Georg Suter**

Institut: Institut für Architekturwissenschaften
Forschungsbereich: Digitale Architektur und Raumplanung
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, am 17.03.2025



Zusammenfassung

Planungsprozesse in Architekturwettbewerben sind iterativ und finden innerhalb eines kurzen Zeitraums statt. Die manuelle Erstellung von Darstellungen und Plänen zur Beurteilung von Entwurfsvarianten stellt insbesondere bei wiederkehrenden Änderungen einen hohen Arbeitsaufwand dar. Dies gilt auch für die Erstellung von BIM-Modellen und die Ableitung wettbewerbsspezifischer Darstellungsformen. Diese Arbeit untersucht einen algorithmus-gestützten Workflow zur automatisierten Erstellung eines bauteil-basierten BIM-Modells für den Einsatz in Architekturwettbewerben. Ziel ist es, durch die Verkettung einer Geometric Design Software (Rhino/Grasshopper) mit einer BIM Authoring Software (Archicad) wiederkehrende manuelle Arbeitsschritte vom Entwurf bis zur Erstellung von Plangrafiken zu automatisieren. Der Workflow wird am Beispiel von drei Beiträgen für einen durchgeführten Wettbewerb evaluiert. Die Studie kommt zum Schluss, dass der Workflow für den Einsatz bei Architekturwettbewerben für Entwurfsstudien mit unterschiedlichen geometrischen Anforderungen zuverlässig funktioniert. Die Nachteile inkludieren benötigtes Vorwissen auf fortgeschrittenem Niveau, um das Potenzial des Workflows voll ausschöpfen zu können.

Abstract

Planning processes in architectural competitions are iterative and take place within a short period of time. The manual creation of drawings and plans to assess design alternatives represents a high workload, especially in the case of recurring changes. This also applies to the creation of BIM models and the derivation of drawings for competition entries. This work examines an algorithm-supported workflow for the automated creation of a component-based BIM model for use in architectural competitions. The aim is to automate recurring manual steps from design to the creation of drawings by linking a geometric design software (Rhino/Grasshopper) with a BIM authoring software (Archicad). The workflow is evaluated using the example of three entries for a competition. The study concludes that the workflow works reliably for use in architectural competitions for design studies with different geometric requirements. Prior knowledge at an advanced level is required in order to fully exploit the potential of the workflow.

Keywords

Entwurf, Building Information Modeling, Computergestütztes geometrisches Design, Visuelle Programmiersprache, Algorithmus-gestütztes BIM

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Abstract	5
Keywords	5
1 Einführung	8
1.1 Motivation und Problemstellung	8
1.2 Forschungsfrage	8
1.3 Übersicht	9
2 Digitale Planungstools	10
2.1 Geometric Design Software – Rhino3D	10
2.2 Parametric Modeling Software - Grasshopper	10
2.3 BIM Authoring Software - Archicad	13
2.4 Verknüpfung durch Realtime-API-Bridge - Grasshopper-Archicad Live Connection	17
3 Planungswettbewerbe	19
3.1 Grundprinzipien des Wettbewerbs	21
3.2 Prozess eines Wettbewerbes	23
3.3 Geforderte Abgabeleistungen	26
3.4 Abschluss Wettbewerb	27
3.5 Einsatz von BIM im Wettbewerb	30
4 Methodik	33

5	Transformation digitaler Volumenstudien in bauteil-basierte Modelle	35
5.1	Parameter-Katalog	35
5.2	Kernfunktionen des Algorithmus	38
6	Fallstudie Wettbewerb Wien Museum Neu	51
6.1	Geforderte Abgabeleistungen	52
6.2	Ausgewählte Entwürfe	53
6.3	Einrichtung der Projektdatei	57
6.4	Erzeugung der Entwurfsstudien	58
6.5	Erstellung des Bestandsgebäudes	59
6.6	Anwendung auf ersten Entwurf	64
6.7	Validierung durch zweiten Entwurf	72
6.8	Validierung durch dritten Entwurf	78
7	Evaluation	84
7.1	Resultate	84
7.2	Diskussion	90
8	Ausblick	92
	Literaturverzeichnis	94
	Abbildungsverzeichnis	97
	Anhang	100

1 Einführung

1.1 Motivation und Problemstellung

In Planungswettbewerben gilt es nach einem schlüssigen Konzept einen aussagekräftigen Entwurf zu entwickeln und diesen überzeugend auf den Wettbewerbsplakaten darzustellen. Die Entwicklung eines Entwurfs geschieht in einem iterativen Prozess, der mit Volumenstudien beginnt und mit ausgearbeiteten Plänen endet. Zur Darstellung und Beurteilung jedes Entwurfsstandes wird dazu ein Plansatz erzeugt, dessen Erstellung einen hohen, sich wiederholenden Arbeitsaufwand erfordert. Die Nutzung eines bauteil-basierten Modells nach der Methode des Building Information Modeling (BIM) kann helfen, diesen Aufwand zu reduzieren, da Dokumente und Pläne automatisch aus dem digitalen Modell abgeleitet werden können. Dennoch erfolgt die Erzeugung des bauteil-basierten Modells händisch, wodurch jede Änderung der Entwurfsidee aktiv eingepflegt werden muss.

Ausgehend davon wird untersucht, wie ein parametrischer Arbeitsablauf in der Wettbewerbsplanung eingesetzt werden kann, bei dem sich wiederholende, manuelle Arbeitsschritte zur Erzeugung des bauteil-basierten Modells durch Algorithmen automatisiert werden können. Ziel dessen ist es, den Arbeitsaufwand für die Erstellung der geforderten Abgabeleistungen innerhalb der kurzen zeitlichen Bearbeitungsphase eines Wettbewerbs zu reduzieren.

Die Untersuchung analysiert die algorithmus-gestützte Erstellung bauteil-basierter Modelle, bei der in einer Geometric Design Software erstellte digitale Volumenstudien über eine Realtime-API-Bridge in eine BIM Authoring Software übertragen werden. Anhand eines durchgeführten Wettbewerbs wird diese Werkzeugkette erarbeitet.

1.2 Forschungsfrage

Die Forschungsfrage baut auf den vorher beschriebenen Ansätzen auf und lautet:

Wie kann eine digitale Entwurfsstudie mit Volumenkörpern mittels eines Algorithmus in ein digitales, bauteil-basiertes Modell überführt werden?

Unter diese Frage gliedern sich weitere, in der Arbeit zu untersuchende Themen. Dazu zählen die Fragen, welche unterschiedlichen Geometriearten transformiert werden können, welcher Detaillierungsgrad im bauteil-basierten BIM-Modell erzeugt werden kann, sowie Fragen zur Komplexität und Benutzerfreundlichkeit des untersuchten Arbeitsablaufs.

1.3 Übersicht

Die Arbeit gliedert sich in fünf Teile und beginnt mit einer Einführung in digitale Planungstools. Hierbei werden die Unterschiede zwischen Geometric Design Software (Rhino/Grasshopper) und BIM Authoring Software (Archicad) hervorgehoben und der Ansatz erörtert, diese zu einer Werkzeugkette zu verbinden. Weiterhin wird die Anwendung von Building Information Modeling im Wettbewerb dargestellt.

Anschließend werden Planungswettbewerbe hinsichtlich ihrer Grundprinzipien, des Ablaufs, der geforderten Abgabeleistungen und des Wettbewerbsabschlusses erläutert.

Im dritten Teil der Arbeit wird zunächst die Methodik der Untersuchung beschrieben, bevor der Arbeitsablauf zur Transformation von Entwurfsstudien über die benötigten Kernfunktionen entwickelt und dargestellt wird.

Der vierte Teil widmet sich der praktischen Anwendung dieses Arbeitsablaufs anhand der Fallstudie des Wettbewerbs zur Erweiterung des Wien Museums am Karlsplatz. Drei ausgewählte Entwürfe werden vorgestellt, wobei der Arbeitsablauf zunächst auf den ersten angewendet und zur Validierung anschließend auf die beiden weiteren Entwürfe übertragen wird.

Abschließend wird der entwickelte Arbeitsablauf hinsichtlich seiner Anwendbarkeit untersucht sowie Stärken und Schwächen zusammengefasst.

2 Digitale Planungstools

Die Beantwortung der Forschungsfrage wird anhand eines Arbeitsablaufs erarbeitet, in dem die Anwendung verschiedener Softwares untersucht wird. Diese Softwares werden im Folgenden vorgestellt.

2.1 Geometric Design Software – Rhino3D

Die Modellierungssoftware Rhinoceros, kurz Rhino3D, ist eine von Robert McNeel & Associates entwickelte Geometric Design Software mit einem Schwerpunkt in 3D-Freiformmodellierung. Sie unterstützt Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS)-Kurven, NURBS-Flächen, Flächenverbände, SubD-Geometrien, Punktwolken sowie Polygonnetze und bietet Funktionen zur Erstellung, Bearbeitung, Analyse, Dokumentation, Visualisierung und Konvertierung von 3D-Modellen (Robert McNeel & Associates, 2025a).

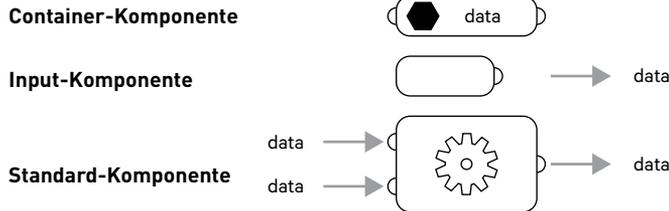
Aufgrund dieses Funktionsumfangs findet Rhino3D unter anderem im Schiffsbau, im Produktdesign und der Architektur Anwendung. Die Software zeichnet sich durch präzise Geometrieerzeugung sowie Kompatibilität mit gängigen Dateiformaten wie z. B. DWG, DXF, OBJ, STL, SVG aus. Zudem ist sie über zahlreiche Plug-ins und textbasierte Programmiersprachen wie C#, RhinoScript und Python erweiterbar.

Mit Rhino3D lassen sich hochdetaillierte Geometrien modellieren, deren inhärente Informationen jedoch auf die reine Geometrieerzeugung beschränkt sind und keine zusätzlichen Attribute enthalten. Da diese Geometric Design Software nicht auf einem parametrischen Ansatz basiert, führt das manuelle Modellieren zu langsamen Iterationszyklen. Allerdings verfügt sie über eine Erweiterung, die den Funktionsumfang um parametrisches Modellieren ergänzt.

2.2 Parametric Modeling Software - Grasshopper

„Grasshopper ist ein in Rhino eingebundener grafischer Algorithmeneditor“ (Robert McNeel & Associates, 2025a). Er arbeitet parallel zu der 3D-Modellierungssoftware und ermöglicht es Entwickler:innen und Designer:innen ohne Vorkenntnisse von Programmiersprachen „Algorithmen zur Formerzeugung entwickeln, ohne Code schreiben zu müssen“ (ebd.). Mit Visual Programming werden im grafischen Algorithmeneditor komplexe Anweisungen in einzelne, miteinander verbundene Operationen zerlegt, die sequenziell verarbeitet werden, wobei auch parallele Abläufe möglich sind. Zur Erstellung dieser Anweisungen bietet Grasshopper eine Reihe von Komponenten an, die im Folgenden näher erläutert werden. Tedeschi & Wirz (2014, S. 40) beschreiben die drei vorhandenen Arten von Komponenten:

Abb.01: Arten von Komponenten



Container-Komponenten beinhalten Daten wie aus Rhino3D referenzierte Geometrien (z. B. Punkte, Volumenkörper, Kurven oder Flächen), numerischen Domains oder Vektoren.

Input-Komponenten stellen nutzerdefinierte Eingabewerte bereit wie Zahlen, Booleans, Farben oder Text. Diese werden in parametrischen Modellen als abhängige Variablen (engl. „dependent variables“) bezeichnet, da sie durch die Nutzer:innen definiert werden müssen, bevor sie als Eingabedaten, der Input, für Berechnungen oder Transformationen dienen.

Standard-Komponenten führen Operationen wie mathematische Berechnungen, geometrische Transformationen (z. B. Verschieben, Rotieren, Spiegeln oder Extrudieren) oder Datenmanipulationen an den Eingabedaten aus.

In der grafischen Oberfläche werden die Komponenten durch Nodes repräsentiert, deren Funktion visuell ablesbar dargestellt wird und deren Name sich aus der Funktion ergibt. Wie in Abbildung 02 dargestellt, erwartet eine Standard-Komponente definierte Eingabedaten, die verarbeitet werden, um Ausgabedaten, den Output, zu erzeugen.

Abb.02: Node einer Standard-Komponente

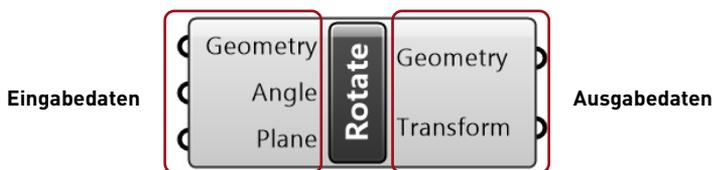
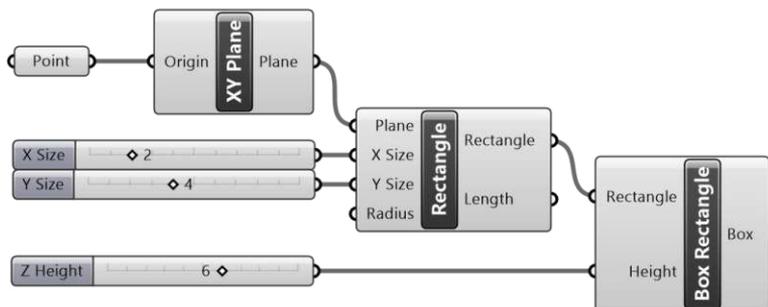


Abb.03: Algorithmus aus verbundenen Nodes

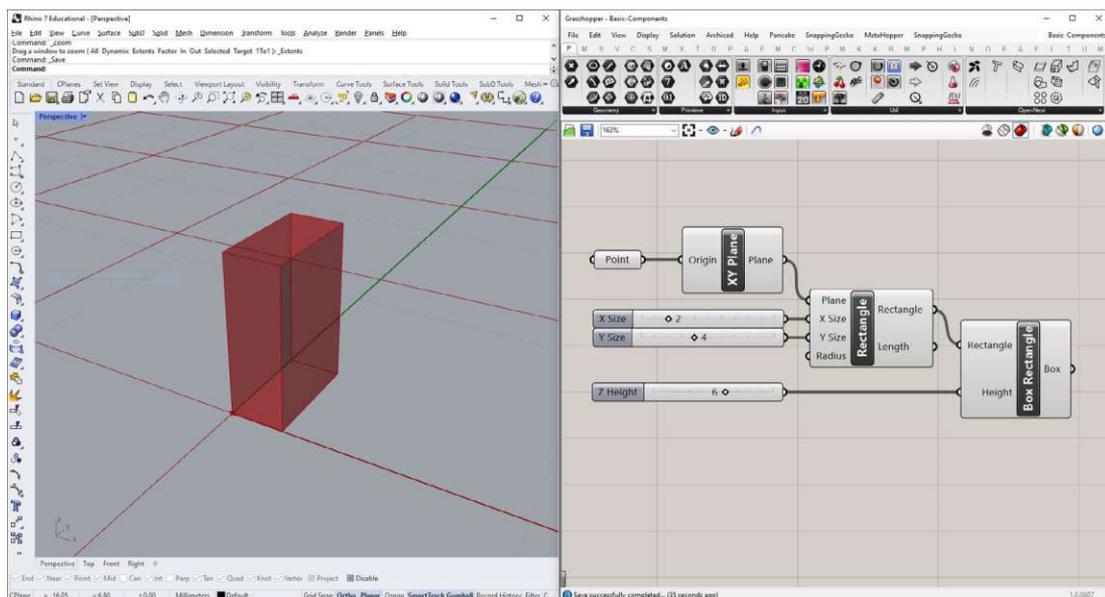


In der Aneinanderreihung von Nodes kann der Output einer Node als Input der folgenden Node verwendet werden, sodass Operationen aufeinander aufbauen (Abb. 03). Diese als „wired-connection“ dargestellten Verbindungen verdeutlichen visuell den Datenfluss durch den Algorithmus.

Die Algorithmen werden in Grasshopper über das Platzieren der Nodes auf dem Arbeitsuntergrund, dem „Canvas“ erstellt (Abb. 04, rechts), auf dem sie per Drag & Drop oder gezielter Suche platziert werden (Tedeschi and Wirz, 2014). Durch anschließendes Verbinden der Nodes miteinander können komplexe Funktionsabfolgen geschaffen werden. Wie zuvor beschrieben, arbeitet Grasshopper parallel zu Rhino3D (Abb. 04). Dies hat zur Folge, dass nach Tedeschi & Wirz (2014, S. 24) die erstellten Algorithmen zwei Outputs generieren. Sowohl der Algorithmus selbst ist Produkt seiner Erstellung als auch der Output, den dieser generiert. Handelt es sich dabei um zwei- oder dreidimensionale Geometrien, werden diese in den Ansichtsfenstern von Rhino3D dargestellt.

Im Gegensatz zu textbasierten Programmiersprachen, in denen eine Änderung von Parametern nur nach erneuter Ausführung eines Algorithmus wirksam wird, führen Änderungen an den Eingangsparametern in Grasshopper unmittelbar zu Änderungen des Ergebnisses. Dies führt zu schnellen Iterationszyklen und der Möglichkeit, eine Vielzahl von Varianten zu generieren. Wie bei Rhino3D sind die den Geometrien inhärenten Informationen auf die reine Geometrieerzeugung beschränkt und enthalten keine Attribute, sodass das Level Of Detail als gering bezeichnet werden kann.

Abb. 04: Rhino3D & Grasshopper-Fenster



2.3 BIM Authoring Software - Archicad

Mit einer BIM Authoring Software werden digitale, bauteil-basierte Gebäudemodelle nach der Methode des Building Information Modeling (BIM) erstellt. Zunächst wird die Methode erläutert und im Anschluss die verwendete Software beschrieben.

Definition von Building Information Modeling

„BIM ist eine Methode, die vielfältige Aspekte rund um das Planen, Bauen und Betreiben einer Architektur verbindet und auf der Idee einer durchgängigen Nutzung digitaler Gebäudedatenmodelle über den gesamten Lebenszyklus eines Bauprojekts basiert.“

Hemmerling & Bähre, 2020, S. 19

Diese Definition besagt, dass es sich bei BIM um eine Methode handelt, nicht aber um eine bestimmte Software oder ein digitales Werkzeug. Es beschreibt eine Herangehensweise, die nicht nur den Entwurfs- und Planungsprozess, sondern darüber hinaus auch den Betrieb von Gebäuden, demnach den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes abdeckt. Im Mittelpunkt der BIM-Methode steht die digitale, dreidimensionale Repräsentation eines Gebäudes, das Gebäudedatenmodell (engl. „Building Information Model“). Nach Hemmerling & Bähre (2020) ist es der zentrale Datensatz „auf den alle Projektbeteiligte zugreifen, um ihre Beiträge einzupflegen und untereinander zu koordinieren“. Das digitale Gebäudedatenmodell ist aus Bauteilen zusammengesetzt, die über Parameter definiert werden. Den Bauteilen können außerdem weitere Daten als Attribute angehängt werden, durch die das Gebäudedatenmodell zu Analysezwecken ausgewertet werden kann.

Objekt-basiertes parametrisches Modellieren

Die Erstellung der Bauteile eines BIM-Modells geschieht in BIM Authoring Softwares durch objekt-basiertes parametrisches Modellieren. Jedes Bauteil wird, wie im vorherigen Abschnitt angedeutet, durch eine Reihe von Parameter definiert, deren Änderung unmittelbare Auswirkungen auf das Bauteil hat. Parametrisch werden nicht nur Lage und Form, sondern auch die Attribute des Bauteils gesteuert (Sacks et al., 2018, S. 621). Dabei haben nicht alle Parameter die gleiche Auswirkungsreichweite. Während manche nur eine Instanz eines Bauteils verändern, gibt es andere, die sich innerhalb eines BIM-Modells auf alle Bauteile auswirken. Diese globalen Parameter sind bei BIM-Modellen im architektonischen Umfeld beispielsweise die Geschosshöhen, auf die sich mehrere Bauteile wie Wände, Stützen

sowie Decken, Fußböden, aber auch Türen und Fenster beziehen. Die globalen Parameter sollten zu Beginn definiert werden, damit nachfolgende Bauteile darauf basieren können. Beim Einrichten eines BIM-Modells muss zu Beginn entschieden werden, welcher Detaillierungsgrad notwendig ist, denn von diesem hängt die Menge an notwendigen, zu definierenden Parametern ab.

Detaillierungsgrade eines BIM-Modells

Der notwendige Detaillierungsgrad eines BIM-Modells zu einem bestimmten Zeitpunkt der Modellentwicklung lässt sich aus der benötigten Informationsmenge herleiten. Diese Informationsbedarfstiefe, als Level Of Information Need (LOIN) bezeichnet, ist bei der Einrichtung eines Modells zu definieren, denn sie soll die Bedürfnisse der Auftraggeber:in hinsichtlich geometrischer und alphanumerischer Informationen erfüllen (Eichler et al., 2024, S. 33). Die beiden Komponenten, aus denen das LOIN besteht, sind das Level Of Geometry (LOG) für die geometrischen Anforderungen und das Level Of Information (LOI) für alphanumerische Anforderungen. Auch wenn das LOIN für jedes Modell definiert werden sollte, wird der Reifegrad eines BIM-Modells als Level Of Development (LOD) oder auch Level Of Detail bezeichnet (Hemmerling and Bähre, 2020). Nach Eichler et al. (2024) ist dieser Begriff zwar veraltet, dennoch stellen die sechs Stufen des LOD den ansteigenden Ausarbeitungsgrad anschaulich dar. Daher verwendet die folgende Übersicht weiterhin den Begriff LOD und übernimmt die Beschreibungen nach Hemmerling & Bähre (2020, S. 56f).

LOD 100 Konzept

Das Element ist sehr einfach durch ein Symbol oder einen generischen Platzhalter dargestellt. Einige wesentliche, für die konzeptionelle Vorplanungsphase notwendige Eigenschaften werden ebenfalls definiert.

LOD 200 Vorentwurf

Das Element wird mit seiner ungefähren Position und Geometrie zusammen mit den wichtigsten Eigenschaften, insbesondere den Kosteninformationen, dargestellt.

LOD 300 Entwurf / Genehmigungsplanung

Das Element wird mit seiner genauen Position und Geometrie auf der Ebene, auf der das Element platziert worden ist, dargestellt. Kosten, Mengen und weitere Eigenschaften wie Material können je nach Projektvereinbarung ergänzt sein.

LOD 400 Ausführungsplanung

Das Element enthält alle geometrischen und alphanumerischen Informationen, die notwendig sind, um dieses zu produzieren, zu liefern, zu montieren oder zu ändern.

LOD 500 Werkplanung

Das Element repräsentiert das reale Bauteil hinsichtlich Position, Geometrie und sämtlicher Eigenschaften, die für Betrieb, Wartung, Austausch und Recycling relevant sind.

LOG 600 Facility Management

Ein Bauteil könnte als Datenobjekt zukünftig weitere, heute noch nicht definierte Informationen aufnehmen.

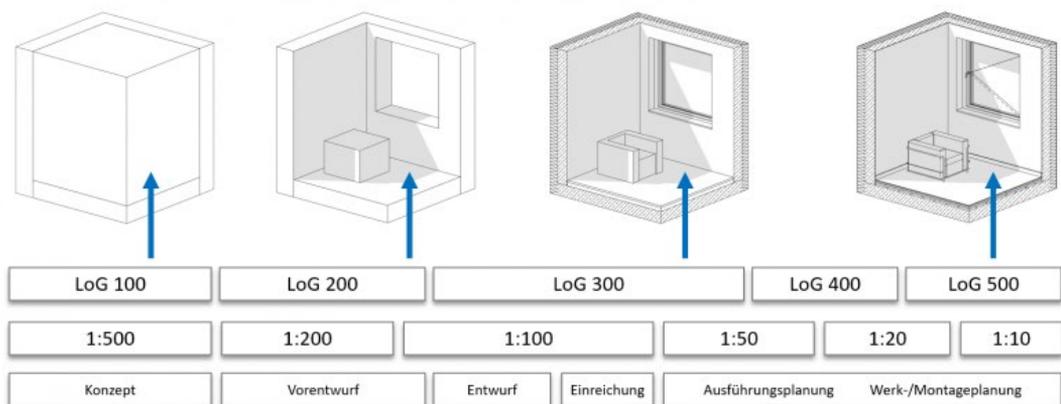


Abb. 05: Level of Geometry, BIMpedia

Abbildung 05 zeigt Beispiele für unterschiedliche Level Of Geometry (LOG) und setzt sie in Zusammenhang mit vergleichbaren architektonischen Planungsmaßstäben. Da BIM-Modelle im Maßstab 1:1 modelliert werden, gibt es keine Abstraktion, wie sie beim Erstellen von 2D-Zeichnungen notwendig ist. Die Level Of Development (LOD) sind daher eine Übertragung dieser Abstraktion in das digitale Planen. Mit den beschriebenen Stufen kann der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes beschrieben werden. Zu Beginn des Zyklus steht der Entwurf eines Gebäudes, in dem für den Architekturwettbewerb das LOD 100 und LOD 200 in Betracht kommen.

Im Wettbewerb steht die Konzeptfindung vor der detaillierten Ausarbeitung, daher sind Modelle in einfachem Detaillierungsgrad ausreichend, um Entwurfsentscheidungen treffen zu können. Für städtebauliche Studien sowie einfache Volumenstudien ist das LOD 100 angemessen, für Studien eines Gebäudeentwurfs werden mit dem LOD 200 Daten bereitgestellt, mit denen der Entwurf neben einer Beurteilung der ästhetischen Qualitäten zu Analyse Zwecken quantitativ ausgewertet werden kann.

Selbst ein einfaches BIM-Modell besteht aus einer Vielzahl an objektbasierten Bauteilen, die, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, über ihre jeweiligen Parameter definiert sind. Zur Modellierung eines Bauteils müssen die Parameter zunächst mit Werten versehen werden.

Eingabe der Parameter

Laut Robert Aish (2013) werden BIM-Modelle händisch erstellt. Dazu können alle Bauteildefinitionen alphanumerisch im IFC-Format, dem textbasierten Austauschformat für BIM-Modelle, eingegeben werden. Auch wenn dies möglich ist, fehlt dabei der optische Bezug zu den erstellten Bauteilen. Daher verwenden BIM Authoring Softwares anwenderbezogene Benutzeroberflächen, in denen die Bauteildefinition über Ansichtsfenster und Eingabemasken geschieht. Das Ansichtsfenster dient dabei der Lokalisation des Bauteils und die Eingabemaske zur Definition von Parametern und Attributen.

Archicad

In dieser Arbeit kommt Archicad, die BIM Authoring Software des ungarischen Herstellers Graphisoft, zum Einsatz. Die Anwendung zeichnet sich durch eine anwenderfreundliche Oberfläche aus, die sich an den Bedürfnissen von Architekt:innen orientiert und sowohl 2D- als auch 3D-Arbeiten ermöglicht. Mit der integrierten Möglichkeit zur Dokumentation des BIM-Modells lassen sich unterschiedliche Darstellungen wie Grundrisse, Schnitte oder Ansichten aus diesem automatisiert ableiten. Darüber hinaus kann das BIM-Modell nach quantitativen Aspekten wie Mengen und Kosten analysiert werden. Auf der BIM-Methode basierend weisen die erzeugten Bauteile eine deutlich höhere Informationstiefe auf als die zuvor beschriebenen Geometrien der Geometric Design Software und der Parametric Modeling Software.

Die Dauer der Einarbeitung einer Änderung liegt zwischen den Werten dieser beiden Softwares: Sie ist aufgrund globaler Parameter und vordefinierten Bauteilen geringer als in der Geometric Design Software, jedoch höher als in der Parametric Modeling Software, da Änderungen für verschiedene Bauteile händisch eingegeben werden müssen.

2.4 Verknüpfung durch Realtime-API-Bridge - Grasshopper-Archicad Live Connection

Die Grasshopper-Archicad Live Connection ist eine von Graphisoft entwickelte Erweiterung, die in Archicad und Grasshopper als Add-on installiert wird und mit einer Programmierschnittstelle (engl. API) eine unmittelbare, bidirektionale Verbindung zwischen beiden Softwares herstellt (Abb. 06). Sie ermöglicht es, die in Grasshopper durch Algorithmen erstellten Outputs nach Archicad zu überführen, ohne Dateien austauschen zu müssen. In der BIM Authoring Software werden die Geometriedefinitionen automatisch in native BIM-Elemente übersetzt (Abb. 07). Änderungen in Algorithmen in Grasshopper und an globalen Parametern in Archicad werden durch die bidirektionale Verbindung zwischen den beiden Softwares in Echtzeit synchronisiert.

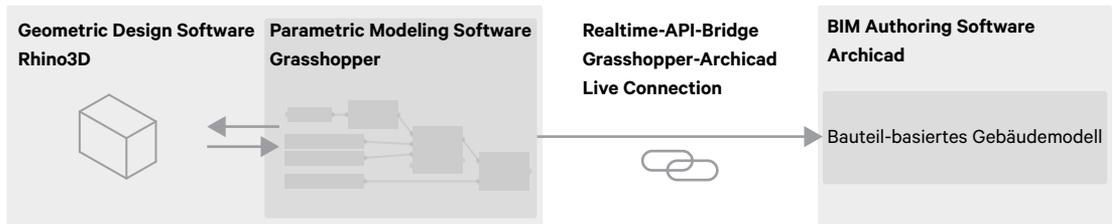


Abb. 06: Schema der
Softwareverknüpfung

Abb. 07: Aktive
Realtime-API-Bridge

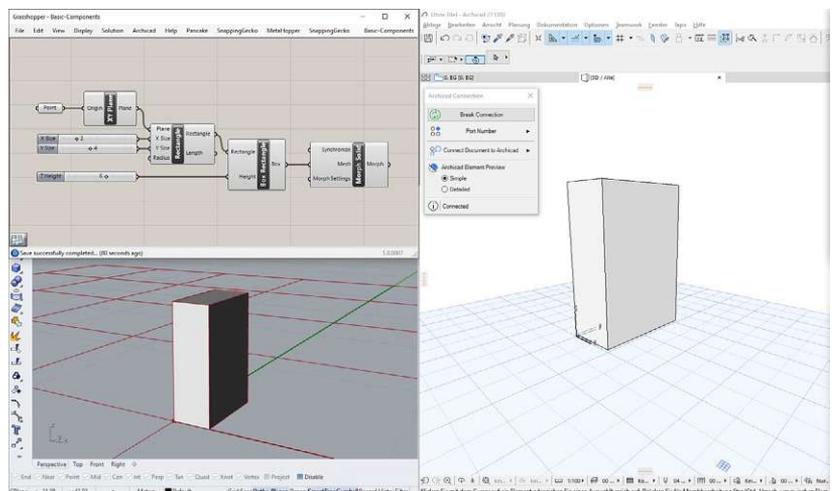




Abb. 08: Funktionen im Live Connection Tab

Die in Grasshopper zur Verfügung stehenden Funktionen werden durch das Add-on um eine Reihe weiterer Funktionen ergänzt (Abb. 08).

Mit Input-Nodes lassen sich Eigenschaften aus Archicad referenzieren, mit Design-Nodes Bauteile erstellen und mit Document-Nodes 2D-Grafikelemente generieren.

Mit Setting-Nodes, die für jede Design-Node vorhanden sind, lassen sich die Eigenschaften des zu erstellenden Bauteils definieren. Durch den bidirektionalen Datenfluss können auch Daten aus Archicad nach Grasshopper übertragen werden.

Mit den Parameters-Nodes können Elemente in Archicad angewählt werden, die mit den Deconstruct- und Extrude-Settings-Nodes auf ihre Eigenschaften analysiert werden.

Die Absicht dieser Arbeit ist es, durch das Nutzen der Grasshopper-Archicad Live Connection die Einschränkungen der manuellen Modellerstellung zu überwinden und Algorithmen als Entwurfswerkzeug bauteil-basierter Modelle nutzbar zu machen. Die Flexibilität und kurzen Iterationszyklen des Parametric Modeling werden mit der hohen Informationsdichte des bauteil-basierten Modellierens kombiniert.

Ein allgemeingültiger Begriff für diesen Prozess existiert nicht, Aish (2013) bezeichnet ihn als „Parametric BIM“. Feist (2016) nennt diesen Ansatz in ihrer Masterthesis „Algorithmic-based Building Information Modeling“ (A-BIM) und Humppei & Österlund (2016) in ihrem Artikel „Algorithm-Aided Building Information Modeling“ (AAB). Die Ansätze in den Arbeiten verbindet, dass die Nutzung von Algorithmen in der Formfindung eines Entwurfes und der sich anschließenden Erstellung von BIM-Modellen liegt. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Prozess genutzt, um die Erstellung von dynamisch anpassbaren bauteil-basierten Modellen zu unterstützen und die über die automatisierte Ableitung von Darstellungen in die frühe Entwurfsphase integriert werden können.

3 Planungswettbewerbe

Nach Hossbach et al. (2024) sind „Planungswettbewerbe [...] eine hervorragende, seit Jahrzehnten anerkannte und weltweit bewährte Methode zur Entscheidung über die Gestaltung von Projekten und zur Auswahl der Planungsteams.“ Sie betrifft neben der Architektur weitere Planungsdisziplinen wie beispielsweise Hochbau, Städtebau, Außenraumgestaltung und Freianlagen sowie Ingenieurbauten oder Ausstellungsgestaltung.

Die Methode des Planungswettbewerbes ist jedoch keine Erfindung der letzten Jahrzehnte, sondern eine lang bewährte Praxis, deren zeitlicher Ursprung nicht definiert werden kann.

Geschichte des Architekturwettbewerbs

„Wann und wo genau der erste Bauwettbewerb stattfand, lässt sich aufgrund der schwierigen Quellenlage nicht ermitteln“ schreibt Barkhofen (2016). Bekannt dagegen ist, dass Architekturwettbewerbe in der Baupraxis seit dem 15. Jahrhunderts eine bedeutende Rolle spielen. 1402 wurde in Florenz ein Wettbewerb für die Bronzetüren der Kathedrale Santa Maria del Fiore ausgeschrieben, an dem sich Filippo Brunelleschi erfolglos beteiligt. Sieben Jahre später, 1419, wurde zur Errichtung einer Kuppel über der unvollendeten Vierung der Kathedrale – eine Technik für die Errichtung der Kuppel war bislang nicht gefunden worden, ein weiterer Wettbewerb ausgeschrieben. Brunelleschi bewarb sich erneut, setzte sich durch und erhielt als Preisträger den Auftrag zur Errichtung der Konstruktion.

Haagsma & Haan (1988) bezeichnen den Wettbewerb als den scheinbar idealen Weg, „die richtige Wahl für ein Projekt zu treffen, zumal sich mit der Zahl der Einsendungen die Chance für ein positives Ergebnis erhöht.“ Und Hossbach et al. (2024) ergänzt, dass „durch Wettbewerbe [...] die Qualität von Städtebau, Hochbauten, Freiräumen und Ingenieurleistungen nachhaltig verbessert“ wird.

Mit dem rasanten wirtschaftlichen Wachstum ausgehend von der industriellen Revolution des 18. Jahrhunderts, stiegen der Bedarf an Bauten und infolgedessen die Anzahl an Architekturwettbewerben. Bis ins 19. Jahrhundert gab es für ihre Durchführung kaum Regularien, was zu Streitigkeiten und Skandalen führte (Franke & Kümmerle, 2006, S. 31). Erst Mitte des 19. Jahrhunderts erarbeiteten international verschiedene Gremien Regeln für Architekturwettbewerbe.

Akzeptanz des Wettbewerbswesens

In einer Umfrage unter den selbstständigen Mitgliedern aller Disziplinen der Bundesarchitektenkammer (2023) in Deutschland gaben 76 % der Befragten an, im Jahr zuvor an keinem Wettbewerb teilgenommen zu haben. Weiter kam die Umfrage zu dem Ergebnis, dass größere Büros deutlich häufiger an Wettbewerben teilnehmen als kleine. Im Gegensatz zu 80 % der Büros mit mehr als 25 Beschäftigten, nahmen nur 8 % der Ein-Personen-Büros teil. Die prozentuale Teilnahme nimmt mit sinkender Bürogröße ab.

Das Verhältnis von Aufwand und Erfolgschancen bei Architekturwettbewerben wird im Durchschnitt von 92 % der Selbstständigen als unausgewogen empfunden. Die Bürogröße hat hierbei einen deutlichen Einfluss: Besonders kleine Büros mit weniger als 10 Beschäftigten teilen diese Einschätzung (93 %). Auch Inhaber:innen größerer Büros sehen dies überwiegend so, wenn auch seltener (10 bis 25 Beschäftigte: 87 %, mehr als 25 Beschäftigte: 76 %).

Auf die Frage, ob sie in Zukunft an Wettbewerben teilnehmen werden, entscheidet die Betrachtung, ob das Büro im Vorjahr an einem Wettbewerb teilgenommen hat. Hat ein Büro dies getan, ist die Absicht wieder an Wettbewerben teilzunehmen höher – und das bei allen Bürogrößen und allen Disziplinen der Bundesarchitektenkammer.

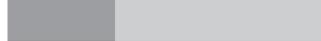
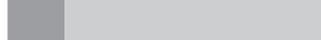
Umfrage der Bundesarchitektenkammer Deutschland, 2023

Basis: Alle selbstständig tätigen Kammermitglieder

Teilnahme an Wettbewerben

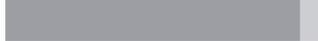
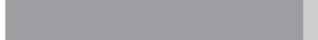


Mindest eine Wettbewerbsteilnahme
Keine Wettbewerbsteilnahme



Mindest eine Wettbewerbsteilnahme
Keine Wettbewerbsteilnahme

Verhältnis von Aufwand und Erfolgsaussichten Nach Bürogröße:



Nicht Angemessen
Angemessen

Abb.09: Umfrageergebnis zur Wettbewerbsteilnahme, Bundesarchitektenkammer Deutschland, 2023

3.1 Grundprinzipien des Wettbewerbs

Hossbach et al. (2024b, S. 47) schreibt, dass trotz der Vielfalt an international unterschiedlichen Regelwerken alle in ihren Grundprinzipien identisch sind und nennt folgende Aufzählung:

1. Gleichbehandlung aller Teilnehmenden im Wettbewerb
2. Eindeutige Aufgabenstellung
3. Bewertung aller Wettbewerbsbeiträge ausschließlich nach klaren, vordefinierten und nichtdiskriminierenden Kriterien
4. Bewertung aller Wettbewerbsbeiträge durch ein unabhängiges, kompetentes Preisgericht
5. Anonymität der Wettbewerbsbeiträge
6. Angemessenes Preis-Leistungs-Verhältnis
7. Zusage, den Gewinner im Anschluss mit weiteren Planungsleistungen zu beauftragen („Auftragsversprechen“)
8. Veröffentlichung der Ergebnisse

Neben der EU-Vergaberichtlinie, die das rechtliche Gerüst für die Vergabe öffentlicher Aufträge innerhalb der EU bildet, gelten weiterhin länderspezifische rechtliche Rahmen. In Österreich beschreiben einerseits das Bundesvergabegesetz (BVerG 2018) und der Wettbewerbsstandard Architektur der Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten (2022) Wettbewerbe genauer. Das BVerG 2018 legt dabei zwei Arten und drei Durchführungsweisen fest.

Arten des Wettbewerbs

Zunächst unterscheidet das Gesetz zwischen Ideen- und Realisierungswettbewerb. Bei ersterem, der sich auf die Gebiete der Raumplanung, Stadtplanung, der Architektur sowie das Bauwesen bezieht, soll für die öffentliche Auftraggeberin ein Plan oder eine Planung geschaffen werden, die diese über ein Preisgericht und dessen vergleichende Beurteilung auswählt. Der Realisierungswettbewerb baut auf dem Ideenwettbewerb auf, da darin der Auswahl eines Plans oder einer Planung ein Verhandlungsverfahren zur Vergabe der Beauftragung anhängt. Das BVerG unterscheidet weiterhin drei Arten der Durchführung von Wettbewerben:

Offene, nicht-offene und geladene Wettbewerbe

Bei offenen Wettbewerben gibt es keine Beschränkung der Anzahl an Unternehmen und Personen, die Wettbewerbsarbeiten vorlegen dürfen. Bei nicht-offenen Wettbewerben dürfen sich zunächst alle Unternehmen und Personen um die Wettbewerbsteilnahme bewerben, aber nur eine Auswahl geeigneter Wettbewerbsteilnehmer wird um Vorlage von Wettbewerbsarbeiten gebeten. Bei geladenen Wettbewerben wird von vornherein nur „eine beschränkte Anzahl von geeigneten Wettbewerbsteilnehmern unmittelbar zur Vorlage von Wettbewerbsarbeiten aufgefordert“ (Bundesvergabegesetz, 2018, § 32 Ziffer 7).

Zu den in Deutschland gleichen Verfahrensarten hat sich 2011 der Bund Deutscher Architektinnen und Architekten positioniert. Er fordert eine gesetzliche Verpflichtung für die öffentliche Ausloberin, grundsätzlich offene Architektenwettbewerbe durchzuführen. Dabei führt er als Argument an, dass der offene Wettbewerb aufgrund der Befürchtung der öffentlichen Verwaltung gegenüber einer größeren Anzahl an Teilnehmer:innen und dem damit verbundenen Aufwand durch einen vorgeschalteten Teilnahmewettbewerb reglementiert wird. Außerdem schreibt der BDA weiter, „Für den Wettbewerb der Ideen wird auf diese Weise das kreative Potenzial junger Architekturbüros ohne umfangreiche Referenzliste und von jenen Architekten ausgeschlossen, die nicht allein auf eine Bauaufgabe spezialisiert sind. [...] Für junge Büros sind Wettbewerbe häufig die einzige Möglichkeit, ihr Können unter Beweis zu stellen, Aufträge zu bekommen und ihr Büro zu etablieren.“ Diese Forderungen haben sich jedoch nicht durchgesetzt, sodass die zuvor genannten Verfahren weiter zur Anwendung kommen.

Leistungen im Wettbewerb

Die zu erbringenden Planungsleistungen haben Lechner & Hofstadler (2023) in ihrem Werk „Leistungsmodelle.Vergütungsmodelle“ („LM.VM“) dargestellt. Der Abschnitt „Leistungsmodell Objektplanung – Architektur“ (LM.OA) beschreibt dabei den Umfang aller Leistungen, die innerhalb eines gesamten Planungsprozesses entstehen können. Leistungen, die im Rahmen eines Wettbewerbs erbracht werden sollen, gehören zur Leistungsphase (LPH) 02 – Vorentwurfsplanung. Als Bestandteil dieser Phase nennen sie folgende Leistungen:

„Erarbeiten des Vorentwurfs, Untersuchen, Darstellen und Bewerten von Varianten nach gleichen Anforderungen, Planungen im Maßstab nach Art und Größe des Objekts, idR. 1:200, exemplarische Details“

Entlohnung des Aufwands

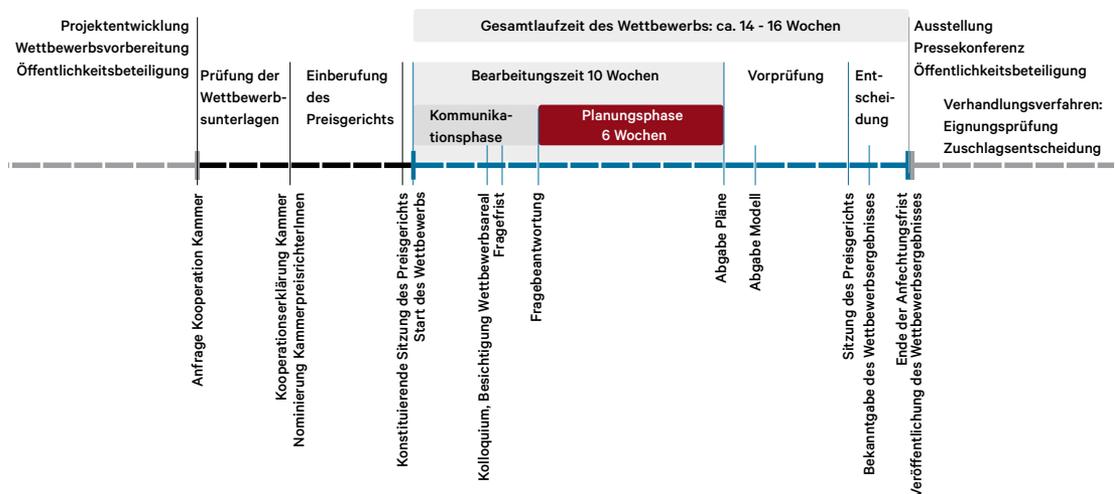
Für Österreich gibt der Wettbewerbsstandard Architektur sowohl für die Höhe der Preise als auch die der Aufwandsentschädigungen Richtwerte an. Darin legt die Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten (2022) Mindestpreisgeldsummen bei offenen Wettbewerben und Mindestaufwandsentschädigungen bei geladenen Wettbewerben fest (§ 10.4), jedoch keine allgemeine Aufwandsentschädigung für die Teilnahme aller Parteien nicht-prämierter Projekte. Im Vorwort schreiben die Verfasser:innen: „Planerinnen und Planer gehen allein schon mit der Teilnahme an einem Architekturwettbewerb immens in Vorleistung, obwohl die Chance auf den Gewinn oft gering ist.“ Vor diesem Hintergrund sind Planerinnen und Planer bemüht, den Arbeitsaufwand einer Wettbewerbsteilnahme gering zu halten, ohne dass die Qualität der Einreichung darunter leidet. Es wird versucht, mit geringem Aufwand ein starkes Konzept zu erarbeiten und dies verständlich sowie überzeugend darzustellen.

3.2 Prozess eines Wettbewerbes

Schematischer Ablauf eines Realisierungswettbewerbes

Die Abläufe der verschiedenen möglichen Arten und Durchführungsweisen werden im Wettbewerbsstandard Architektur (kurz: WSA, 2022) definiert. Exemplarisch wird im Folgenden der Ablauf eines offenen Realisierungswettbewerbes dargestellt (Abb. 10).

Abb. 10: Übersichtsgrafik offener und geladener Wettbewerbe, In Anlehnung an WSA (2022)



Für einen zu vergebenden Auftrag reichen mehrere Teilnehmende ein Konzept in Form eines Gestaltungsvorschlags bei der Ausloberin ein. Nach der Vorprüfung bewertet eine zuvor bestimmte Jury die Vorschläge und kürt eine:n Gewinner:in. An den Wettbewerb schließen sich Verhandlungen an, in denen Bauherrin und Architekturbüro genauer über die Ausführung des Projekts beraten. Abschließend kommt es zu einer Beauftragung des Büros mit der Ausführung des Entwurfs.

Entwerfen als iterativer Prozess

Lechner & Hofstadler (2023) nennen in den beschriebenen Leistungen im Wettbewerb das Darstellen und Bewerten von Varianten. Hierbei müssen für die Bewertung einer Entwurfsidee zunächst mehrere Varianten erstellt werden, die anschließend evaluiert werden. Horst W.J. Rittel (2013) beschreibt Planungsprozesse als eine alternierende Folge von zwei Elementartätigkeiten: der Erzeugung von Varietät und der Reduktion von Varietät. Er hält dabei fest, dass der Prozess ein schrittweises Herantasten an das Problem darstellt und sich „mit zunehmender Kenntnis und Konkretisierung des Problems [...] auch die Richtung der Problemlösung ab[zeichnet]“ (ebd., S. 77). Er benennt weiterhin eine Reihe von Stilen oder Strategien, nach denen der Prozess abläuft:

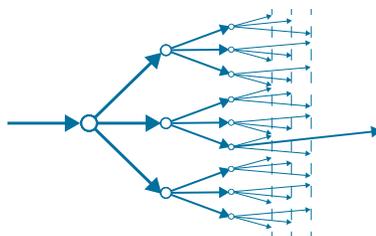


01 „Routinier“

02 „Scanning Process“



03 „Alternativenbildung“



04 „Mehrstufige Alternativenentwicklung“

Abb. 11: Vier Strategien des Entwurfsprozesses, In Anlehnung an Rittel (2013)

01 „Routinier“

Ein:e erfahrene:r Planer:in verrichtet, basierend auf ihrer/seiner Erfahrung die Aufgabe, ohne Probleme zuzulassen.

02 „Scanning Process“

Ein Problem wird mit der erstbesten Idee zu lösen versucht. Führt diese Lösung nicht zum gewünschten Ergebnis, oder verhindert es andere Lösungen, kehrt man an den Ausgangspunkt zurück und versucht eine andere Lösungsmöglichkeit. Das Abtasten der Lösungsmöglichkeiten wird als „scanning process“ bezeichnet.

03 „Alternativenbildung“

Wird ein Problem erkannt, werden zunächst mehrere alternative Lösungsmöglichkeiten entwickelt (Erzeugung von Varietät). „Mit Hilfe eines Bewertungsfilters, der alle relevanten Aspekte einschließt, die für die Problemlösung von Bedeutung sind, wird die Varietät der Lösungsmöglichkeiten so weit reduziert, bis (hoffentlich) eine und nur eine Lösung, d. h. die « beste » Lösung, ermittelt ist“ (Rittel et al., 2013, S. 75).

04 „Mehrstufige Alternativenentwicklung“

In dieser Strategie wird mit einer hohen Varietätserzeugung gearbeitet. Für jede der Alternativen werden mögliche Folgealternativen ermittelt und dies über mehrere Stufen hinweg. Durch eine Reihe von Bewertungsfilttern wird die Reduktion der Varietäten gleichzeitig durchgeführt.

Weiterhin nennt Rittel (2013) auch, dass das Passieren eines Filters durch eine Alternative nicht ausschließt, dass ihre Fortentwicklung in eine Sackgasse führt. Will man das Problem nicht gänzlich aufgeben, muss an einen früheren Problempunkt zurückgekehrt und eine andere Alternative aufgegriffen werden.

Wie dargestellt kann die Ausarbeitung einer Idee auf unterschiedliche Art und Weise geschehen und Büros entwickeln mit der Zeit ihre eigenen Arbeitsabläufe und Praxen. Innerhalb des iterativen Prozesses wird ein Entwurf durch das Erzeugen und Evaluieren von Varianten bewertet. Er wird dabei beginnend mit einer ersten Idee oder einer Skizze in ansteigendem Detailgrad erarbeitet und man bedient sich dazu einer Reihe von Darstellungsmitteln, anhand derer der Entwurfsstand beurteilt und sich über diesen ausgetauscht werden kann. Neben Volumenstudien, physischen Arbeitsmodellen, Detailskizzen oder Diagrammen spielen Pläne weiterhin die größte Rolle in der Darstellung einer Entwurfsidee.

3.3 Geforderte Abgabeleistungen

Je nach Art und Umfang eines Wettbewerbs werden unterschiedliche Leistungen zur Beurteilung der Entwurfsideen gewünscht und werden daher von der Ausloberin als Abgabeleistung gefordert. Dabei setzen städtebauliche Wettbewerbe einen anderen Schwerpunkt als ein Objektneubau oder als beim Bauen im Bestand. Ein Kanon an geforderten Leistungen für Architekturwettbewerbe lässt sich dennoch aus Wettbewerbspräsentationen (Hossbach, Lehnhaus and Eichelmann, 2024b) ableiten und besteht aus zwei Teilen und den folgenden Positionen. Die angegebenen Maßstäbe sind dabei gängige, jedoch nicht allgemeingültige Werte.

Planteil

Lageplan	M 1:500
Grundrisse Erdgeschoss mit Umgebung	M 1:200
Geschossgrundrisse	M 1:200
Schnitte	M 1:200
Ansichten	M 1:200
Fassadenschnitt mit Teilansicht	M 1:50
Diagramme, Skizzen, Piktogramme	Ohne Maßstab
Textliche Entwurfsbeschreibung	

Modell

Einsatzmodell - M 1:500, ggf. M 1:200

Nach Hossbach et al. (2024) kann das Preisgericht die Entwürfe in ihrer räumlichen Wirkung am besten anhand der Modelle bewerten. Damit auch der räumliche Kontext einbezogen wird, „ist es üblich ein Umgebungsmodell zu erstellen“, das die Topografie und die Bebauung der Nachbarschaft darstellt. Darin wird für das den Wettbewerb betreffende Grundstück eine Öffnung belassen, „in die von den Teilnehmenden eingereichten Modelle (Einsatzmodelle) passgenau eingefügt werden.“



Abb. 12: Wettbewerbsplakat
Bernardo Bader,
Bundeskammer der
ZiviltechnikerInnen | Arch+Ing

In Abbildung 12 dargestellt ist das Wettbewerbsplakat des Beitrags zum Neubau der Volksschule in Forach (Vorarlberg) des Büros Bernardo Bader. Das Plakat zeigt die geforderten Darstellungen des Planteils und stellt zudem ein Foto des eingereichten Modells dar. Da im Wettbewerb die Kommunikation zwischen teilnehmenden Büros und der bewertenden Jury nur indirekt über Plakate und Modell stattfindet, spielt sowohl die Aussagekraft der dreidimensionalen Modelle als auch die Qualität und Art der zweidimensionalen Darstellung, die Plangrafik, eine entscheidende Rolle. Je überzeugender sich ein Projekt auf den Darstellungen und in Modellen präsentiert, desto höher die Chancen für ein positives Ergebnis.

3.4 Abschluss Wettbewerb

Abgabe der Wettbewerbsarbeiten

Die beiden Teile der Abgabeleistung müssen zur Einreichfrist bei der Verfahrensorganisation eingelangt sein. Gängige Praxis war es bisher, die gedruckten Plakate und erstellten Modelle physisch abzugeben. Mittlerweile empfiehlt die Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten (2022) in ihren Wettbewerbsstandards nach

den Bestimmungen des Bundesvergabegesetzes (2018), die elektronische Abgabe der Wettbewerbsarbeiten. „Davon ausgenommen ist lediglich die Einreichung von Modellen, die im Architekturwettbewerb weiterhin physisch zu übermitteln sind.“ Die Frage, ob statt einem physischen nicht auch ein digitales Modell abgegeben werden kann, beantwortet Hossbach et al. (2024) wie folgt: „Die Abgabe digitaler 3D-Modelle ist bislang hingegen ein Ausnahmefall, bei dem sich erst noch zeigen muss, inwiefern sich diese Modelle in Wettbewerben als Standard etablieren können.“

Vorprüfung

In der Vorprüfung, die von geeigneten externen, unabhängigen Fachleuten durchgeführt werden muss, werden faktische Kriterien beurteilt, um die weitere Zulassung einer Einreichung zum Wettbewerbsverfahren zu überprüfen. Die Kriterien dazu werden in den Auslobungsunterlagen eines jeden Wettbewerbs festgelegt. Laut den Unterlagen eines Wettbewerbes der Stadt Graz (2018) umfassen sie:

- Einhaltung der fristgerechten Abgabe,
- Einhaltung der Auslobungsbedingungen,
- Wahrung der Anonymität,
- Überprüfung der Vollständigkeit der geforderten Leistungen und Unterlagen,
- Einhaltung der Rahmenbedingungen und der Vorgaben aus dem Raum- und Funktionsprogramm,
- Barrierefreie Ausführung,
- Einhaltung städtebaulicher, bebauungs- und baurechtlicher Vorschriften,
- Rechnerische Überprüfung der Flächen- und Kubaturermittlung

Weiterhin können folgende Kriterien überprüft werden:

- Kosten,
- Energieeffizienz,
- Nachhaltigkeit und Klimaschutz

Die Ergebnisse werden im Vorprüfbericht zusammengefasst, der „allen Mitgliedern des Preisgerichts zu Beginn der Preisgerichtssitzung in gedruckter Form“ vorgelegt wird. Der Bericht „beinhaltet alle Ergebnisse der Vorprüfung und dient einerseits dem Preisgericht als Arbeitsgrundlage bei der Bewertung, andererseits stellt sie eine Dokumentation der eingereichten Entwürfe dar“ (Hossbach et al., 2024a).

Sitzung des Preisgerichts – Sitzung der Jury

Der Wettbewerbsstandard Architektur (WSA) legt fest, dass „das Preisgericht [...] ein Fach- und ein Sachpreisgericht [umfasst], wobei die Mitglieder des Fachpreisgerichts die Mehrheit des Gremiums stellen müssen“ (§ 3 Abs. 9). Beide Parteien besitzen ein Stimmrecht in der Entscheidung des Preisgerichts. Weiterhin legt er fest, dass „das Preisgericht [...] nur aus Personen bestehen [darf], die gegenüber den Architekturschaffenden, die am Wettbewerb teilnehmen, unabhängig sind“ (§ 3 Abs. 2). Somit soll eine unvoreingenommene Bewertung der Beiträge gewährleistet werden. Da die Zusammensetzung des Preisgerichts mit der Auslobung bekannt ist, schreiben Franke & Kümmerle (2006), dass erfahrene Wettbewerbsteilnehmer:innen die Gewinnchancen auch nach der Zusammensetzung des Preisgerichts einschätzen. Nach WSA § 4 Abs. 4 fällt dem Preisgericht eine bedeutende Rolle zu, es „entscheidet in allen Fach- und Ermessensfragen, die sich aus den Beurteilungskriterien herleiten, insbesondere bei der Wahl des erstgereihten Projekts, der zu prämiierenden Wettbewerbsarbeiten und der nachrückenden Projekte, unabhängig und endgültig.“

Bekanntgabe Ergebnis und Veröffentlichung

Unter § 21 sieht der Wettbewerbsstandard Architektur Regeln für die Bekanntgabe des Ergebnisses vor. Nach Abs. 1 ist „das Preisgericht [...] verpflichtet, die/den Gewinner:in, alle weiteren Preisträger:innen sowie die kooperierende Bundes- oder Länderkammer nach Vorliegen des Preisgerichtsentscheids unverzüglich zu benachrichtigen. Alle weiteren Projektbeteiligten werden kurzfristig von der Verfahrensorganisation über das Ergebnis des Wettbewerbs in Kenntnis gesetzt.“ Erst hier wird die im Wettbewerb streng aufrechterhaltene Anonymität aufgehoben.

Weiterhin sind „die eingereichten Wettbewerbsarbeiten [...] zur öffentlichen Einsicht zugänglich zu machen“ (§21 Abs. 2). Sie werden in Form der eingereichten Plakate und Modelle ausgestellt. Zur Bedeutung des Modells schreibt Hossbach et al., (2024a): „Neben seiner Funktion in der Sitzung des Preisgerichts dient das Umgebungsmodell mit dem eingesetzten Modell des siegreichen Entwurfs der Vermittlung des Projekts in der Öffentlichkeit, insbesondere in der Ausstellung der Wettbewerbsarbeiten oder im Rahmen einer Pressekonferenz.“

Mit der Veröffentlichung der Ergebnisse ist der Wettbewerb abgeschlossen und der Planungsprozess geht damit in die zweite Stufe. Nun schließen sich bei einem Realisierungswettbewerb wie in Abbildung 10 dargestellt, das Verhandlungsverfahren mit Eignungsprüfung und Zuschlagsentscheidung an.

3.5 Einsatz von BIM im Wettbewerb

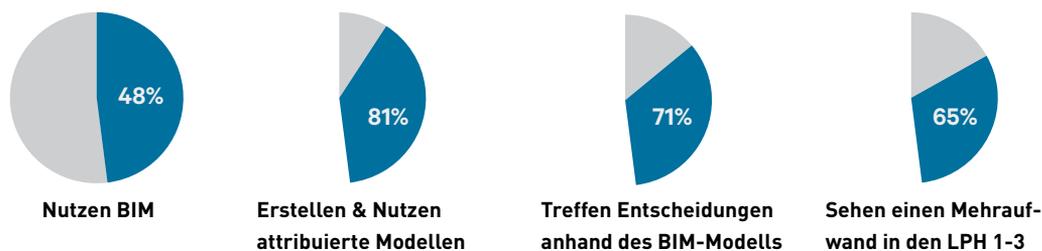
Regelwerke zu BIM im Wettbewerb

Laut der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die öffentliche Auftragsvergabe vom 26. Februar 2014 können die Mitgliedstaaten für öffentliche Bauaufträge und Wettbewerbe die Nutzung spezifischer elektronischer Instrumente wie etwa Werkzeuge zur Gebäudedatenmodellierung vorschreiben. Dieser Vorschlag war nicht verpflichtend, führte aber dazu, dass die Mitgliedsstaaten sich mit dem Thema der Gebäudedatenmodellierung auseinandergesetzt haben. In Österreich wurde 2015 die ÖNORM A 6241 in zwei Teilen veröffentlicht. Im ersten Teil definiert sie die zentralen Begriffe, Strukturen und Darstellungsgrundlagen für den Datentransfer zweidimensionaler CAD-Dateien und für das Building Information Modeling. Der zweite Teil der ÖNORM A 6241-2:2015 legt die technische Umsetzung eines einheitlichen, strukturierten, mehrdimensionalen Datenmodells für Bauwerke des Hochbaus sowie verwandte raumbildende Konstruktionen des Tiefbaus fest.

Stand der Einführung von BIM in Deutschland

In der bereits vorgestellten berufspolitischen Befragung der deutschen Architektenkammern (2023) gaben die befragten Architekturbüros an, dass nur knapp die Hälfte aller Büros BIM einsetzt. 4 von 5 Büros die BIM verwenden, nutzen es zur Erstellung attributierter 3D-Modelle. Dabei sehen Architekt:innen in der Anwendung der BIM-Methode in späteren Leistungsphasen Vorteile. BIM bringe eine höhere Planungsqualität mit sich, Erfahrung mit BIM biete einen Wettbewerbsvorteil und sie seien auf zukünftige Anforderungen von Auftraggeber:innen vorbereitet. Weiterhin bemerken besonders kleine Büros mit weniger als 10 Personen eine effizientere und kostengünstigere, aber mit höherer Qualität versehene Planung. Dem gegenüber steht, dass laut der Befragung 65 % der BIM-Nutzer:innen der Ansicht sind, dass die Erbringung der Leistungsphasen 1–3 durch die BIM-Nutzung aufwendiger wird.

Abb. 13: Umfrageergebnis zum Einsatz von BIM, Bundesarchitektenkammer Deutschland, 2023



Digitale Wettbewerbe – BIM als Abgabeleistung

Wettbewerbe werden bislang in einer hybriden Form abgehalten: Pläne werden von den Teilnehmenden digital erstellt und eingereicht, aber zur Wettbewerbspräsentation als gedruckte Plakate ausgestellt. Arbeits- und Präsentationsmodelle werden vermehrt mit digitalen Fertigungsmethoden erzeugt, sind aber dennoch physische Objekte und werden als solche zur Wettbewerbsabgabe eingesendet.

Im Angesicht dieser hybriden Form wird im architektonischen Diskurs die Idee erörtert, Architekturwettbewerbe rein digital abzuhalten. In der Schweiz wurde 2021 als Pilotprojekt der Wettbewerb für den Neu- und Umbau des Fachhochschulzentrums Graubünden in digitaler Form durchgeführt (Fachhochschulzentrum Graubünden - Wettbewerbsprogramm, 2021, S. 6). Dabei wurde neben den ohnehin digital einzureichenden Plänen auch von einem physischen Modell abgesehen und dieses durch digitale 3D-Modelle ersetzt. Den Teilnehmenden wurde dafür ein virtuelles Kontextmodell inklusive aller baurechtlicher Rahmenbedingungen als Entwurfsgrundlage zur Verfügung gestellt. Zur Abgabe erarbeiteten sie je ein 3D-Architekturmodell, 3D-Raummodell und 3D-Freiraummodell (Fachhochschulzentrum Graubünden - Wettbewerbsprogramm, 2021, S. 47).

Einerseits versprach man sich eine vereinfachte Vorprüfung, da alle Angaben zu Volumen, Flächen und Konstruktionen aus dem Modell entnommen und darauf basierend belastbare Vergleiche zwischen den Kennwerten der Modelle getroffen werden können (Sauer, 2022a). Andererseits war die Idee eines in den frühen Entwurfsphase erzeugten BIM-Modells, das nach einem Wettbewerbsentscheid weitergenutzt werden kann.

In der Rezeption dieser Durchführungsart waren die Beteiligten geteilter Meinung. Im Interview in der schweizerischen Bauzeitung (Sauer, 2022b) teilen Erika Fries, Jurymitglied und Claude Büechi, der für die Firma Raumgleiter (Halter AG) den Wettbewerb in den digitalen Prozessen unterstützt hat, ihre Einschätzungen. Fries ist der Ansicht, dass die digitale Präsentation der Projekte sowie das Nachvollziehen spezifischer Ansichten anhand der digitalen Gebäudemodelle gut funktioniert haben. Allerdings habe sie beim Vergleich verschiedener Entwürfe das physische Modell vermisst, da es einfacher sei, gemeinsam um ein Modell zu stehen und zu diskutieren, anstatt die Entwürfe nacheinander über VR-Brillen zu betrachten. Büechi mahnt an, offen für die Akzeptanz und Adaption der Technologien zu sein und die auf Hochtouren laufende Digitalisierung der Branche nicht zu verpassen. Außerdem warnt er vor hybriden Verfahren, in denen durch parallel laufende Prozesse, doppelter Aufwand und doppelte Kosten entstehen würden. Er plädiert für ein volldigitales Verfahren mit dem Abgabebereich „ein 3D-Modell“. Bei entsprechenden Standards könne damit der immense Aufwand, den die Planungsteams betreiben, minimiert werden.

Die Anwendung von BIM-Modellen in den ersten Leistungsphasen ist nur wenig dokumentiert und die Frage, ob sich ein Einsatz lohnt, nicht abschließend beantwortet. Hossbach et al. (2024a) schreibt dazu, dass sein Büro als Wettbewerbsorganisator in Berlin 2017 ein erstes Pilotprojekt durchgeführt habe. Dabei habe sich gezeigt, dass, wenn BIM im Rahmen des Wettbewerbs gefordert wird, die „engen Vorgaben für das Anlegen der BIM-Daten in der frühen Planungsphase des Wettbewerbs zu einschränkend für die vielfältigen Entwurfs- und Arbeitsmethoden der Teilnehmenden“ sind.

Zusammenfassung

Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt, hat sich das Wettbewerbswesen über Jahrhunderte entwickelt und die im 19. Jahrhundert festgelegten Regularien prägen bis heute die weltweit gültigen Grundprinzipien. In einem iterativen Prozess entsteht dabei aus einer Vielfalt von Ideen eine Reihe eingereicher Entwurfsvorschläge, aus denen ein gewinnendes Projekt ernannt wird. Trotz der Zurückhaltung vieler Architekturbüros gegenüber Wettbewerben und den Bemühungen zur Reformierung des Wettbewerbswesens haben sich die zuvor genannten Durchführungsweisen etabliert. Weiterhin sind Wettbewerbe hybride Prozesse aus analogen und digitalen Abgabeleistungen, in denen digitale Planungstools an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz von BIM hat sich bisher jedoch nicht mehrheitlich in Büros durchgesetzt und in der Anwendung im Wettbewerb wird die Methode als ein Mehraufwand gesehen.

4 Methodik

Angesichts des von Planungsbüros wahrgenommenen Mehraufwands bei der Nutzung von BIM in frühen Leistungsphasen und der Vorteile der Verknüpfung digitaler Planungstools durch die Realtime-API-Bridge der Grasshopper-Archicad Live Connection wird im Folgenden ein Arbeitsablauf untersucht, der digitale Entwurfsstudien automatisiert in BIM-Modelle überführt (Abb. 14). Diese Modelle ermöglichen die effiziente Erstellung der für die Bewertung einer Entwurfsstudie erforderlichen Pläne.

Ziel ist es, die Dauer eines Iterationszyklus zu verkürzen, indem das BIM-Modell nicht manuell erstellt, sondern algorithmisch aus der Entwurfsstudie generiert wird.

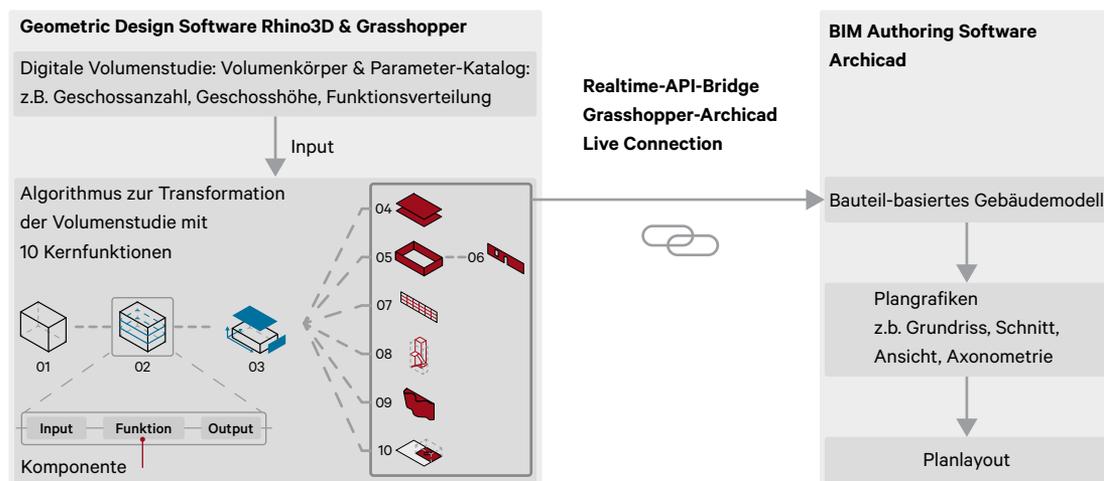


Abb. 14: Transformation einer Volumenstudie in ein BIM-Modell

Für die Anforderungsanalyse werden grundlegende Parameter des Entwurfsprozesses untersucht, aus denen die Eingabeparameter und Kernfunktionen des zu entwickelnden Algorithmus bestimmt werden. Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Kernfunktionen und ihrer Komponenten.

Als Fallstudie für die Anwendung des erarbeiteten Arbeitsablaufs dient der Wettbewerb zur Erweiterung des Wien Museums am Karlsplatz, der aufgrund der Vielzahl eingereicher Beiträge und der großen Bandbreite an Entwurfsideen gewählt wurde. Auf Basis ihrer geometrischen Eigenschaften wurden drei Entwürfe ausgewählt und gemeinsam mit dem Bestandsgebäude in der Geometric Design Software Rhino3D mithilfe vereinfachter Volumenkörper als digitale Entwurfsstudien nachgebildet.

Zunächst erfolgt die Übertragung des Bestandsgebäudes mithilfe des Algorithmus in ein BIM-Modell, das als Grundlage für die weiteren Entwurfsstudien dient. Anschließend wird die erste Entwurfsstudie algorithmisch in das BIM-Modell überführt.

Zur Validierung wird der Algorithmus auf zwei weitere Entwurfsstudien angewendet, die nach dem gleichen Prinzip in eigene BIM-Modelle transferiert werden. Die aus den drei BIM-Modellen generierten Planlayouts ermöglichen eine vergleichende Bewertung der übertragenen Entwurfsstudien im Entwurfsprozess. Zur Evaluation des entwickelten Arbeitsablaufs werden die BIM-Modelle und die erstellten Algorithmen herangezogen. Dies geschieht durch einen Vergleich der generierten BIM-Modelle mit der ursprünglichen Entwurfsstudie hinsichtlich Vollständigkeit der übertragenen Elemente und der korrekten Zuordnung von Eigenschaften wie Geschoss- und Materialinformationen. Die Algorithmen werden hinsichtlich ihrer Flexibilität untersucht, indem das numerische Verhältnis zwischen wiederverwendbaren Kernfunktionen und entwurfsspezifisch ergänzten Komponenten analysiert wird.

5 Transformation digitaler Volumenstudien in bauteil-basierte Modelle

5.1 Parameter-Katalog

Bei der Erstellung von Entwurfsstudien werden verschiedene Entwurfsansätze untersucht und miteinander verglichen. Auch wenn die Ansätze häufig sehr unterschiedliche Gestaltung aufweisen, lassen sich allgemeine Prinzipien bei der Erstellung von Entwürfen identifizieren. Diese Prinzipien werden im Folgenden erörtert und in einem Parameter-Katalog zusammengefasst.

Volumetrische Eigenschaften eines Entwurfes

Beginnt eine Entwurfsaufgabe ohne Bestandsstrukturen, bestimmen Additionsvolumen den Entwurf. Beginnt sie dagegen mit einer bestehenden Gebäudestruktur, kann diese als Grundlage einer Ergänzung dienen. Es liegt nahe, die Entwurfsstudie zunächst mit einfachen, regelmäßigen geometrischen Körpern zu beginnen.

So zeigt die Abbildung 15 („Additionsvolumen“) ein Beispiel, in dem das Bestandsvolumen durch zwei Additionsvolumen, eine quaderförmige Aufstockung und einen ebenfalls quaderförmigen Vorbau ergänzt wird.

In der Ausarbeitung einer Entwurfsidee werden die Volumen detaillierter und ihre Komplexität erhöht sich. So können gezielte Einschnitte in den Körpern durch Subtraktionsvolumen definiert werden. In der Abbildung 15 („Subtraktionsvolumen“) wird das Volumen des Bestandsgebäudes durch Additionsvolumen ergänzt, von denen Subtraktionsvolumen abgezogen werden.

Neben geometrischen Grundkörpern sind freie und organische Formen ebenfalls Bestandteil von Entwurfsideen. Dabei kann der gesamte Entwurf durch eine einzige freie Form gestaltet werden oder wie in Abbildung 15 aus einer Kombination von geometrischen Grundkörpern und der Ergänzung durch gekrümmte Flächen bestehen. Im Beispiel ist das Volumen des Bestandsgebäudes um ein Additionsvolumen erweitert und durch eine freigeformte Fassade ergänzt.

Alle diese Körper beschreiben die Hülle der Entwurfsidee. Für die überzeugende Darstellung der Konzeptidee spielt die Erschließung der Körper eine bedeutende Rolle. Sie zeigt die Benutzbarkeit der angedachten Idee und stellt die Funktionalität des Körpers dar. Im frühen Entwurfsstadium werden dafür Erschließungsvolumen definiert. Sie beinhalten entweder Treppen oder Aufzüge oder vereinen beide zu einem Erschließungskern.

Aus der vorangegangenen Entwurfsaufgabe lassen sich fünf Basisvolumen ableiten, die als Volumenkörper in den Parameter-Katalog aufgenommen werden (Abb. 15):

Bestandsvolumen, Additionsvolumen, Subtraktionsvolumen, Freie Formen, Erschließungsvolumen

Analyse eines Entwurfes hinsichtlich weiterer Parameter

Die Basisvolumen definieren die Körper, die ins BIM-Modell überführt werden sollen. Eine tiefere Betrachtung bringt weitere Eigenschaften zum Vorschein, die als Parameter diese Körper beschreiben. So wie sich einer Entwurfsaufgabe über die Umgebung angenähert wird, so bestimmend ist die Lage und Ausrichtung des Entwurfskörpers am Grundstück und zum Bestandsgebäude. Seine Verortung definiert die Beziehung zu den umgebenden Gebäuden, formt Sichtachsen und beschreibt Wege.

Über die Positionen der Eingänge wird die Zugänglichkeit des Gebäudes definiert. Sie bestimmen die Richtung und den Ort des ersten Kontakts der Benutzenden mit dem Entwurf. Bei mehr als einem Eingang wird gleichzeitig eine Hierarchie zwischen den Eingängen etabliert. Wird zwischen Haupt- und Nebeneingängen unterschieden, lässt die Position der Eingänge auf die Nutzung des Gebäudes schließen.

Ist die Verortung bestimmt, wird die grundlegende vertikale Struktur des Körpers durch die Geschossanzahl in Verbindung mit der Geschosshöhe beschrieben. Erstere wird als ganzzahlige Angabe und letztere als numerischer Wert in Metern definiert. In Verbindung mit dem Bestandsgebäude sind dabei die bestehenden Geschosshöhen zu beachten, da diese bei Aufstockungen und Erweiterungen übernommen werden können.

Sind Konstruktionsachsen eines Bestandsgebäudes auszumachen, kann sich ein Entwurf daran orientieren. Dabei können Maße des Rasters übernommen oder die Tragwerksstruktur daran ausgerichtet werden. Daneben kann dem Entwurfskörper eine eigene, sich vom Bestand unterscheidende Struktur zugrunde liegen.

Ein wesentlicher Aspekt der Konzeptdarstellung ist neben der äußeren Form des Körpers die räumliche Verortung der angestrebten Funktionen. Dazu werden die benötigten Flächen aus dem Raumbuch entnommen und für jeden Entwurf individuell innerhalb des Entwurfes angeordnet. Zur ersten Visualisierung der Funktionen können entweder Kurven auf den Geschossen gezeichnet oder Raumvolumen erstellt werden. Beide Geometriearten dienen im BIM-Modell zur Generierung von Raumzonen.

Für eine klare Darstellung der Konzeptidee ist es von Bedeutung, die Blickbeziehungen zwischen den Räumen sowie zum Außenraum aufzuzeigen. Dabei spielt die Differenzierung zwischen einer monolithischen und einer aufgelösten Wandstruktur eine zentrale Rolle und wird im folgenden Kapitel in die Entwicklung der Algorithmen einbezogen.

Der begonnene Katalog wird um damit um folgende Parameter erweitert (Abb. 16):

Lage und Ausrichtung am Grundstück und zum Bestand, Position der Eingänge, Geschossanzahl &-höhe, Raster, Verortung der Funktionen, Struktur eines Bauteils: Massiv / Transluzent

Abb. 15: Inhalte des
Parameter-Katalogs:
Volumetrische Eigenschaften

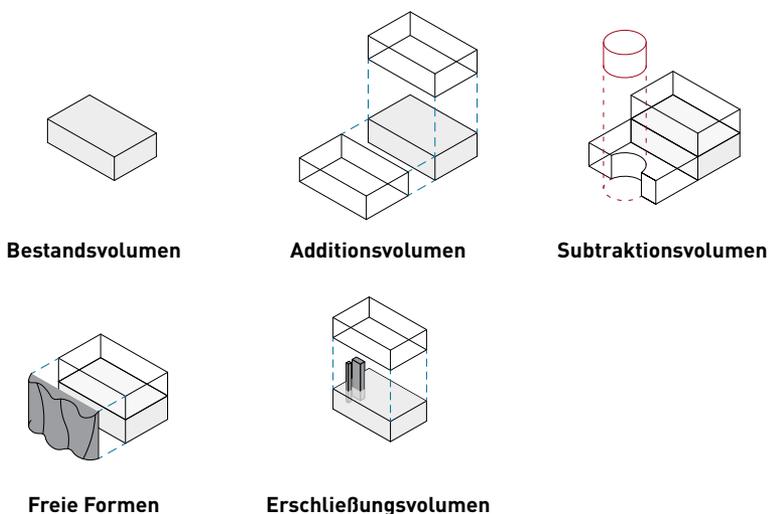
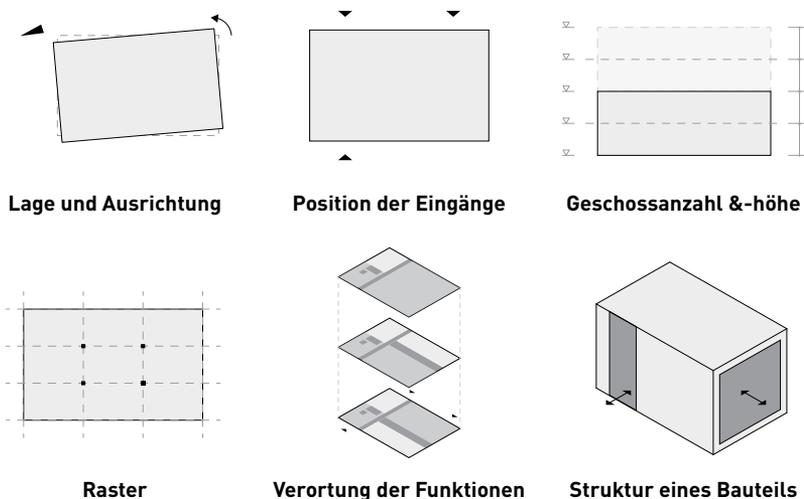


Abb. 16: Inhalte des
Parameter-Katalogs:
Weitere Eigenschaften



5.2 Kernfunktionen des Algorithmus

Der Algorithmus dient dazu, die Input-Parameter des beschriebenen Katalogs so zu transformieren, dass sie in der BIM Authoring Software Archicad automatisch in ein BIM-Modell übersetzt werden können. Dafür werden zunächst die dem Prozess zugrunde liegenden Kernfunktionen analysiert, die als strukturelle Grundlage der Algorithmen dienen. Diese werden anschließend aufgelistet und detailliert beschrieben.

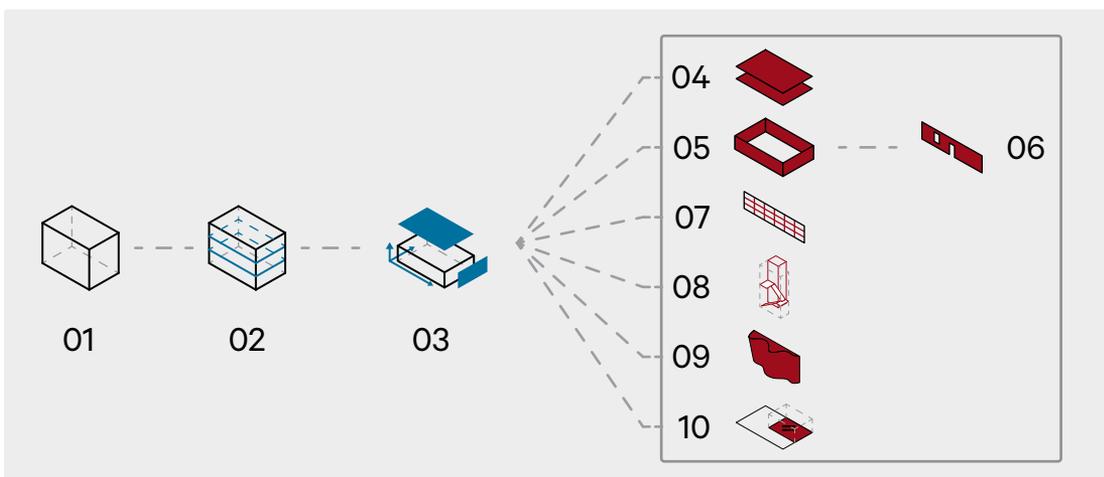
Funktionen zur Datengewinnung

- 01 Referenzieren der Volumenkörper
- 02 Unterteilung des Körpers in Geschosse
- 03 Zerlegung eines Körpers in seine geometrischen Bestandteile

Funktionen zur Bauteilerzeugung

- 04 Erstellung der Decken
- 05 Erstellung der Wände
- 06 Erstellung der Fenster und Türen
- 07 Erstellung der Fassaden
- 08 Erstellung der Erschließung
- 09 Erstellung von Morphs
- 10 Erstellung der Raumflächen und -stempel

Abb. 17: Grafische Repräsentation der Kernfunktionen und ihrer Reihenfolge



Die in der Abbildung 17 dargestellten Piktogramme 01 bis 10 werden nach Ausubel (1968) im Sinne eines Advanced Organizers in den folgenden Beschreibungen der Kernfunktionen aufgegriffen. Da sie keinen eigenständigen Informationsgehalt über den Kapitelinhalt hinaus vermitteln und primär eine navigationsunterstützende Funktion haben, wird auf eine separate Abbildungsbezeichnung verzichtet.



01 Referenzieren der Volumenkörper & Eingabe der Geschosshöhen

In Rhino3D werden Volumenkörper modelliert, wodurch „Closed Solid Polysurfaces“ entsteht. Die Geometrien werden in Grasshopper mithilfe der Komponente „Geometry Pipeline“ referenziert und dort als „Boundary Representation“ (Brep) bezeichnet (Abb. 18). Ebenso werden die Geschosshöhen numerisch angegeben (Abb.19).

Abb. 18: Schema Referenzieren der Volumenkörper

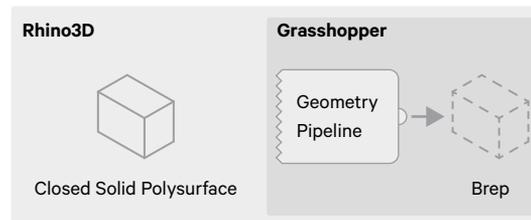
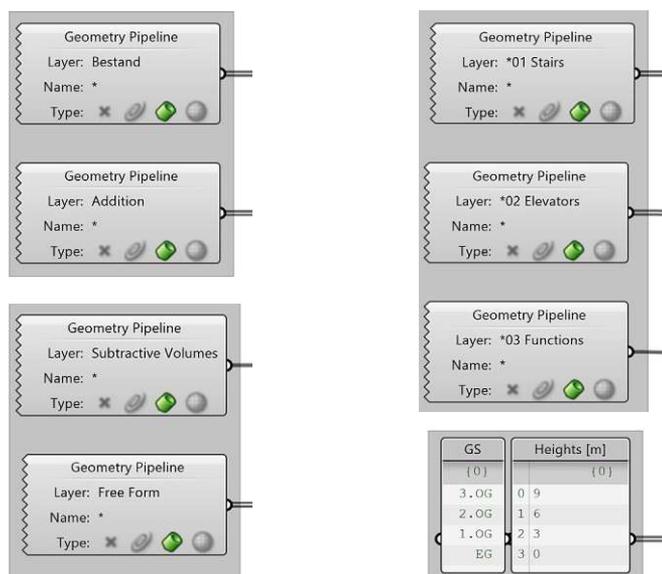


Abb. 19: Nodes zum Referenzieren der Volumenkörper und der Geschosshöhen

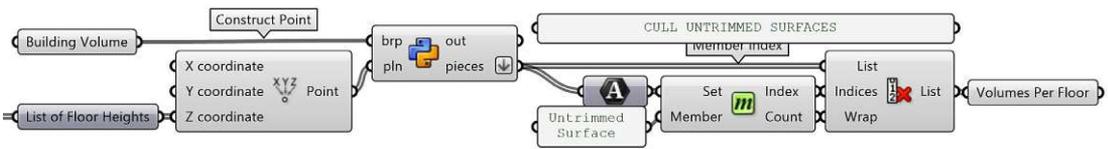




02 Unterteilung des Körpers in Geschosse

Im zweiten Schritt wird das erstellte Volumen des Entwurfes entlang der zuvor definierten Geschosshöhen unterteilt, sodass für jedes Geschoss ein separates Volumen entsteht. Dies erfolgt mithilfe eines von Arie-Willem de Jongh (2016) entwickelten Python-Scripts, das als Input ein Brep sowie die gewünschten Ebenen erhält und als Output die entsprechenden Teilvolumen generiert.

Abb. 20: Algorithmus zur Unterteilung des Körpers in Geschosse



03 Zerlegung des Körpers in seine geometrischen Bestandteile

Um die in einem Volumenkörper hinterlegten geometrischen Informationen im weiteren Verlauf des Algorithmus nutzen zu können, wird der Körper in seine geometrischen Bestandteile, Flächen, Kanten und Eckpunkte zerlegt. Diese dienen als Referenzdaten für die weitere Erstellung von Bauteilen.



Brep



Flächen



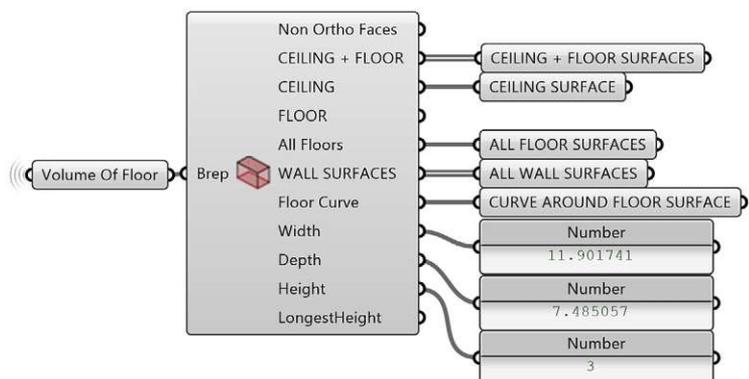
Kanten



Eckpunkte

Abb. 21: Zerlegung eines Breps

Abb. 22: Algorithmus zur Zerlegung des Körpers in seine geometrischen Bestandteile



Da aus den Volumen nachfolgend unterschiedliche Bauteile erstellt werden sollen, kommt eine Reihe von Funktionen zum Einsatz, um die je nach Anforderung des zu erstellenden Bauteils benötigten Daten zu ermitteln. Aus einem Brep als Input werden zunächst die Flächen extrahiert und anhand der Ausrichtung, speziell der Ausrichtung ihrer Normalenvektoren, sortiert. Dadurch lassen sie sich als Wand-, Decken- und Bodenflächen klassifizieren, wobei auch nicht orthogonale Flächen, wie etwa Dachflächen berücksichtigt werden. Zusätzlich wird die Kante der untersten horizontalen Fläche extrahiert und als Kurve bereitgestellt. Darüber hinaus werden die Dimensionen des Input-Breps in allen drei Achsen als numerische Outputs „Breite“, „Tiefe“ und „Höhe“ ausgegeben.

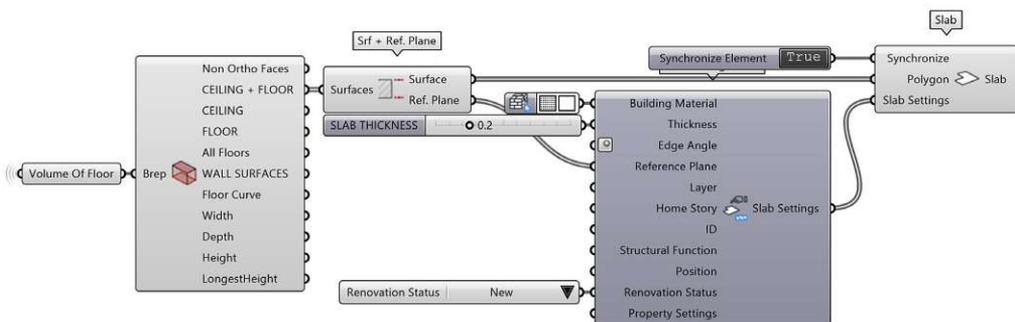
Die verwendeten Funktionen kommen an mehreren Stellen im Algorithmus wiederholt zum Einsatz und werden daher in einer eigenen Komponente, einem sog. Cluster, zusammengefasst. Durch die Bündelung bleibt die visuelle Arbeitsoberfläche der GAE übersichtlich und Änderungen am Cluster werden auf alle Instanzen des Clusters angewendet. Dies hilft, spätere Modifikationen effizient im gesamten Algorithmus einpflegen zu können. Das Speichern des Clusters als benutzerdefiniertes Objekt, einem sog. Custom Component, ermöglicht das Anlegen einer eigenen Komponenten-Bibliothek, in der wiederholbare Module hinterlegt werden.

04 Erstellung der Decken

Als erste Bauteile werden für den Körper eine Boden- und Deckenscheibe (engl. „slab“) erzeugt. Die Design-Node „Slab“ benötigt als Input-Geometrie mindestens die Polylinie oder Oberfläche, in der die Deckenscheibe erstellt werden soll. Aus der vorher entwickelten Komponente zur Zerlegung eines Körpers werden hierfür die Boden- und Deckenfläche verwendet.

Um mehr Kontrolle über die Generierung zu haben, wird eine „Slab-Setting“-Node verwendet. In ihr können unter anderem das Baumaterial, die Deckenstärke sowie die Referenzseite, aber auch die in Archicad zugeordnete Ebene, das Geschoss und der Umbau-Status angegeben werden. Dies ist im Sinne der Anschlussfähigkeit des Algorithmus für nachfolgende Level of Details im Entwurfsprozess förderlich.

Abb. 23: Algorithmus zur Erstellung der Decke



Die Relevanz der Referenzseite wird im Folgenden hervorgehoben, denn wenn die aus dem Volumen abgeleiteten Flächen des Bodens und der Decke in die Design-Node „Slab“ überführt werden, werden die beiden Scheiben auf der gleichen Seite unterhalb der Input-Geometrie erzeugt. Liegt die Decke damit innerhalb des Volumens, befindet sich die Bodenscheibe unterhalb der Volumenunterkante. (Abb. 24) Dieser Umstand wird behoben, indem als Referenzseite, die Ober- oder Unterkante angegeben wird. Ein weiterer entwickelter Custom Component ermittelt die Referenzseite der Fläche über ihren Normalenvektor, denn die Scheibe wird auf der dem Normalenvektor entgegengesetzten Seite erzeugt. Durch Einsatz der entwickelten Komponente werden die Scheiben auf der gewünschten Seite erzeugt und befinden sich innerhalb des angedachten Volumens (Abb. 25).

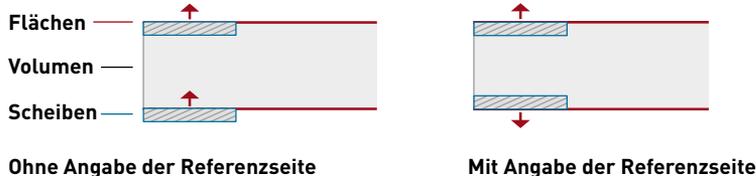


Abb. 24: Erzeugung von Decken ohne Angabe der Referenzseite

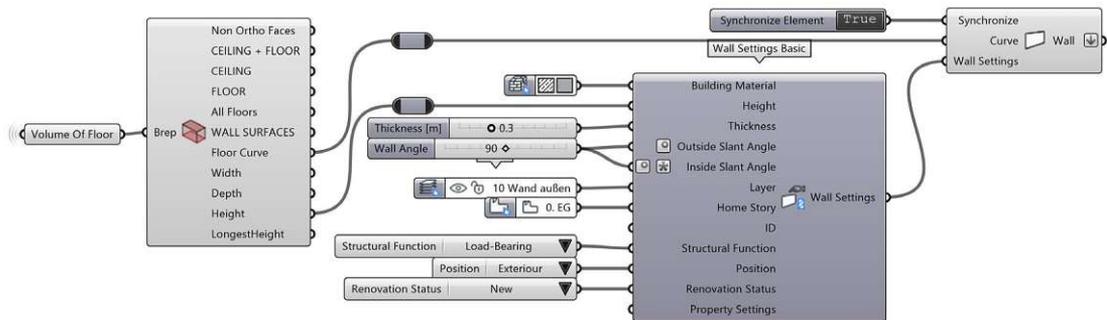
Abb. 25: Erzeugung von Decken innerhalb des Volumens



05 Erstellung der Wände

Zur Erstellung der Wände wird die Kurve der untersten horizontalen Fläche verwendet. Diese wird, wie im vorherigen Abschnitt mit der Komponente zur Zerlegung einer Geometrie ermittelt. Als Input werden die Kurve und die Einstellungen der Wand in die Design-Node „Wall“ überführt. Auch in dieser „Wall-Settings“-Node können eine Reihe Parameter definiert werden. Für die Erstellung der Wände ist besonders ihre Wandstärke und die Höhe der Wände von Bedeutung. Im Beispiel werden die Wandstärke definiert und der numerische Wert der Wandhöhe ebenfalls aus der Komponente zur Zerlegung einer Geometrie entnommen.

Abb. 26: Algorithmus zur Erstellung der Wand



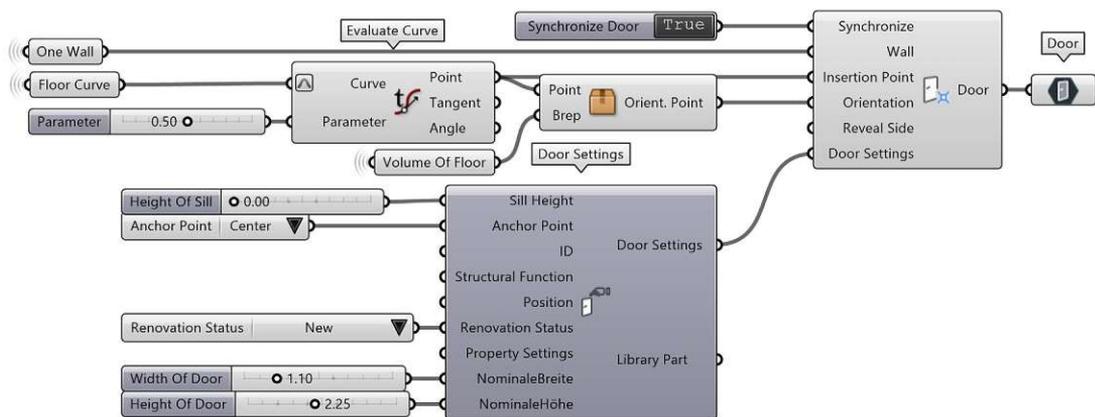
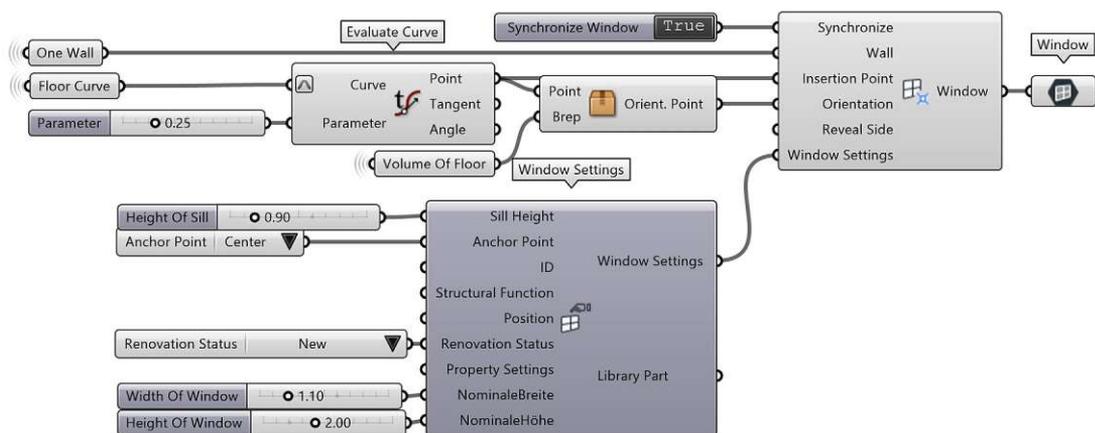
06 Erstellung der Fenster und Türen

Für die Erstellung der Fenster und Türen werden Archicad Bibliotheksobjekte verwendet. Diese Bauteile sind textbasierte parametrische Objekte, die im Format der Programmiersprache Geometric Description Language (GDL) vorliegen. Zwar können GDL-Objekte über die Einstellungs-Komponenten ausgewählt und platziert werden, jedoch lassen sich ihre Parameter auf diese Weise nicht direkt ändern. Um Parameter in Grasshopper steuern zu können, müssen die Objekte in Archicad entsprechend modifiziert werden. Laut dem von Graphisoft (2023) veröffentlichten Benutzerhandbuch erfolgt dies durch das Hinzufügen eines spezifischen Parameters im GDL-Objekt.

Die modifizierten Bibliotheksobjekte werden mit der Design-Node in einer Wand platziert. Diese Komponente erfordert neben der Wand einen Einfügepunkt sowie einen Orientierungspunkt des Objekts und spezifische Einstellungen zum Bibliotheksobjekt. Zur Platzierung von Fenstern und Türen müssen die zuvor erstellten Wandobjekte im Algorithmus referenziert werden, da beide Objekte nur in Wänden positioniert werden können. Der Einfügepunkt ist ein Punkt auf der Grundlinie der Wand, der Orientierungspunkt muss außerhalb dieser Grundlinie liegen und definiert die Ausrichtung des Objektes in der Wand. Als wichtige Einstellungen sind die Brüstungshöhe, der Ankerpunkt (links, mittig, rechts) sowie die durch die Modifizierung ansteuerbare nominale Breite und nominale Höhe des Objektes zu nennen.

▼ Abb. 27: Algorithmus zur Erstellung des Fensters

▼ Abb. 28: Algorithmus zur Erstellung der Tür





07 Erstellung der Fassade

Soll statt einer massiven Wand eine Pfosten-Riegel-Fassade generiert werden, kann sie in Archicad als Fassadensystem erstellt werden. Im Gegensatz zu den bisherigen Bauteilen erfordert die Erstellung einer Pfosten-Riegel-Fassade eine höhere Anzahl an Parametern. Die Design-Node „Curtain Wall“ benötigt als Inputs eine Kurve, eine numerische Domain zur Festlegung der Höhe der Fassade, einen Punkt zur Definition der Außenseite sowie die Einstellungen zum Fassadensystem. Einige Einstellungen wie die Tragwerksfunktion oder der Umbau-Status entsprechen denen der bereits beschriebenen Bauteile. Als zentraler Bestandteil kommt „Scheme Settings“ hinzu, das die Einstellungen des Fassadensystems enthält.

07.1 Grundlinie und Wandhöhe

Wie in den vorherigen Abschnitten kommt auch hier die Komponente zur Zerlegung einer Geometrie zum Einsatz, um die Kante der Bodenfläche des Volumens auszulesen. Zudem wird die Höhe des Volumens als Fassadenhöhe übernommen. In diesem Beispiel wird exemplarisch nur eine der vier Wandflächen des Volumens als Fassadensystem generiert. Dazu wird die Kante der Bodenfläche in ihre Segmente unterteilt, wobei ein Segment für die weitere Verwendung ausgewählt wird.

07.2 Aufteilung des Fassadensystems

Die geometrische Aufteilung des Fassadensystems in Zeilen und Spalten wird über numerische Werte definiert. Der Input-Parameter „Number Of Columns“ unterteilt die Länge der Grundkurve und bestimmt dadurch die Breite der Spalten. Der Parameter „Number Of Rows“ teilt die Höhe der Fassade und legt somit die Höhe der Zeilen fest.

07.3 Einstellungen der Profile und Paneele

Für die verwendeten Fassadenprofile sowie für die dazwischenliegenden Paneele werden GDL-Objekte verwendet. Diese werden in der Archicad Objektbibliothek referenziert, die Einstellungen mit einem Namen „Class Name“ versehen und ihre Maße in der Komponente gesteuert. Im Beispiel werden auf diese Weise für die horizontalen und die vertikalen Profile unterschiedliche Maße angelegt.

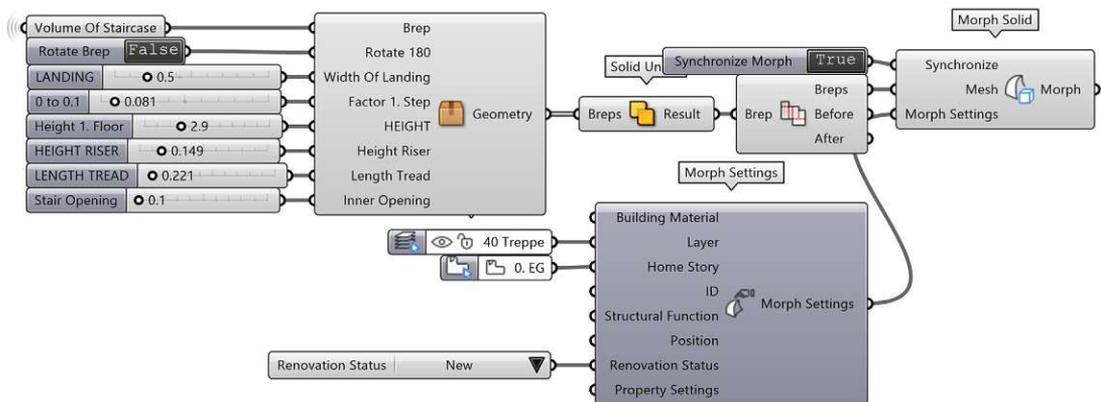


Abb. 30: Algorithmus zur Erstellung der Treppe

08.1 Parameter der Treppe

Zur Erstellung der Treppengeometrie ist eine Reihe Parameter erforderlich. Neben dem Erschließungsvolumen werden die relevanten Geschosshöhen referenziert, die Höhe der Setzstufe, die Tiefe der Trittstufe und des Podests, die Breite des Treppenauges sowie ein Punkt für den Antritt des ersten Laufes definiert.

08.2 Generierung der Treppengeometrie

Im Custom Component wird auf Basis dieser Parameter eine zweiläufige, gegenläufige Treppe mit Zwischenpodest generiert, deren Brep als Output ausgegeben wird. Mit der booleschen Operation „Solid Union“ werden die Breps der Treppengeometrie vereint und anschließend die planaren Flächen verbunden.

08.3 Einstellungen des Morphs

In den Einstellungen zum „Morph Solid“ ist die Ebenenzuordnung hervorzuheben. Damit wird der Körper der Ebene zugeordnet, auf der native Treppen in Archicad hinterlegt werden.

08.4 Erstellung des Treppenkörpers als Morph

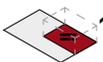
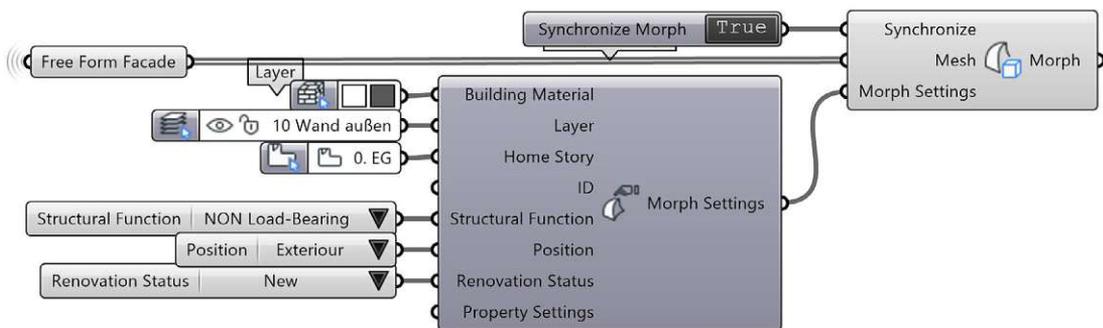
Zuletzt wird die Geometrie als Morph Solid erzeugt und in die BIM-Software übertragen.



09 Erstellung von Morphs

Die frei geformte Fassade des Beispiels im Parameter Katalog soll ins BIM-Modell übertragen werden. Dazu wird die Design-Node „Morph Solid“ verwendet, die als Input die zu erzeugende Geometrie und Einstellungen annimmt. Die Einstellungen entsprechen denen der meisten anderen erzeugten Bauteile. Als Geometrie wird das Brep der Fassade in die Design-Node überführt und dadurch ins BIM-Modell transferiert. Die dort erzeugte Oberfläche entspricht dem modellierten Open Polysurface in Rhino3D, wobei die Oberfläche über ein Polygonnetz approximiert wird.

Abb. 31: Algorithmus zur Erstellung von Morphs



10 Erstellung der Raumflächen und -stempel

Die Verteilung der Funktionen innerhalb eines Entwurfs wird in der BIM-Software über Raumflächen „Zones“ und deren Beschriftung, den Raumstempeln, dargestellt. Im Parameter-Katalog werden die Funktionen als auf den Geschossen erstellte Volumen hinterlegt. Anhand der im BIM-Modell hinterlegten Funktionsarten, den sog. Raumkategorien, können diese im Algorithmus transformiert werden und in der BIM-Software in Raumflächen und -stempel übersetzt werden.

10.1 Referenzieren eines Raumes:

Ein im Parameter-Katalog hinterlegter Raum wird referenziert und mithilfe von der bereits genannten Komponente zur Zerlegung einer Geometrie die Kante der Bodenfläche bestimmt. Aus dieser Kurve wird der Mittelpunkt abgeleitet, der als Ankerpunkt der Beschriftung des Raumes dient.

10.2 Referenzieren der Kategorien

Die Funktion eines Raumes wird in der BIM-Software als Raumkategorie bezeichnet. Die Kategorien werden im BIM-Modell festgelegt und beinhalten Einstellungen zur farblichen Darstellung einer Raumfläche sowie zu dem verwendeten Raumstempel, der Informationen der Raumfläche, wie Größe und Bezeichnung, darstellt. Die Raumkategorien des BIM-Modells werden über die Input-Node im Algorithmus zur Verfügung gestellt.

10.3 Referenzieren der Geschosse

In ähnlicher Weise werden die im BIM-Modell eingestellten Geschosse über eine Input-Node referenziert. Sie sorgen dafür, dass die Geometrien auf den Geschossen und in der richtigen Höhe im Modell angeordnet werden.

10.4 Einstellungen der Räume

Neben den Raumkategorien und den Geschossen können eine Ebenenzuordnung und ein Parameter zur Höhe der Raumfläche eingegeben werden. Letzterer sorgt bei einem numerischen Wert über 0 für eine Darstellung der Raumfläche als Raumkörper.

10.5 Erstellung der Räume

Für die Erstellung der Räume wird die im Parameter-Katalog hinterlegte Geometrie, ein Einfügepunkt des zu erstellenden Raumstempels und die gerade beschriebenen Einstellungen an die Design-Node überführt. Der Einfügepunkt des Raumstempels wurde in diesem Algorithmus aus dem Mittelpunkt der Geometrien abgeleitet, was bei L- oder C-förmigen Geometrien dazu führen kann, dass er außerhalb der Geometrie platziert wird. Für komplexere Darstellungsanwendungen kann der Einfügepunkt anders erstellt werden.

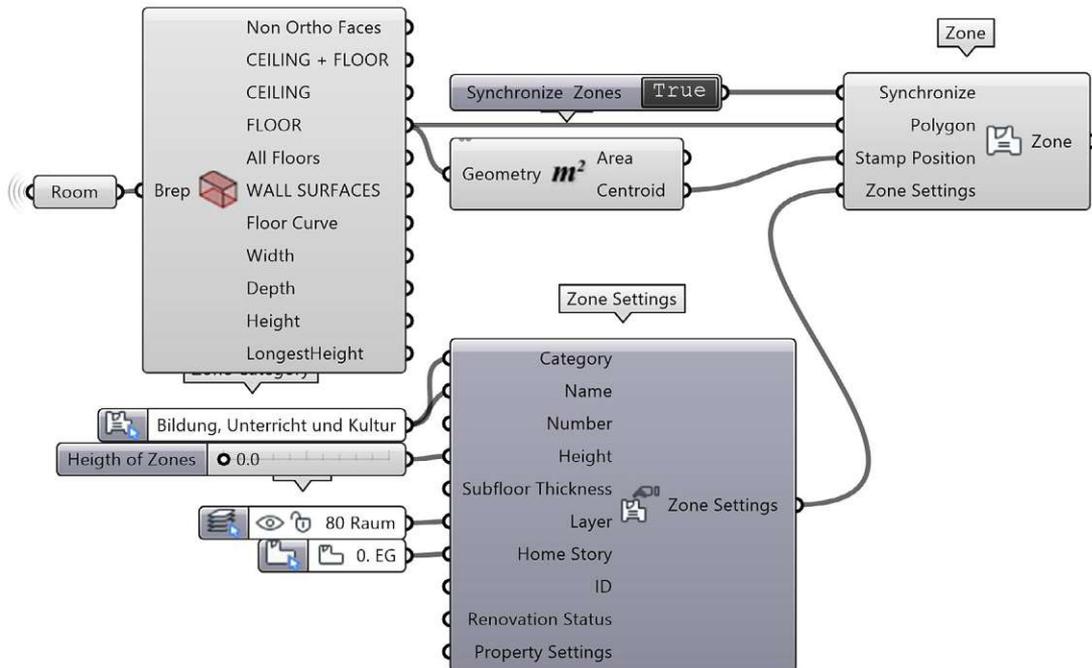


Abb. 32: Algorithmus zur Erstellung der Raumfläche

Zusammenfassung

Die Kernfunktionen des Algorithmus beschreiben die grundlegenden Prozesse, mit denen im Entwurfsprozess eine Entwurfsstudie in ein BIM-Modell überführt und dort aus objektbasierten Bauteilen erstellt wird. Zur Strukturierung und erleichterten Wiederverwendung werden spezifische Funktionen in Custom Components zusammengefasst. Da die Kernfunktionen weitgehend unabhängig voneinander sind, können sie parallel ausgeführt werden. Dies ermöglicht eine gezielte Auswahl der erforderlichen Funktionen entsprechend den Anforderungen der Entwurfsstudie, während nicht benötigte Funktionen ausgelassen werden können. Ein Gegenbeispiel zur parallelen Ausführbarkeit ist die Erstellung von Fenstern und Türen, da diese für ihre Platzierung auf das vorher erstellte Bauteil der Wand angewiesen sind. In diesem Fall baut die zweite Kernfunktion auf der ersten auf und kann erst nach deren Ausführung angewendet werden.



Abb. 33: Wien Museum am
Karlsplatz

6 Fallstudie Wettbewerb Wien Museum Neu

Für die nachfolgende Anwendung der erarbeiteten Kernfunktionen wurde der 2015 durchgeführte offene Wettbewerb zur Erweiterung des Wien Museums am Karlsplatz ausgewählt. Die Vielzahl an Einreichungen mit einer breiten Palette an Entwurfsideen und Darstellungsformen eignet sich für die Erprobung der Kernfunktionen an unterschiedlichen Entwurfsstudien.

Der Wettbewerb wurde von der Wien Museum Projekt GmbH initiiert und gemäß der EU-weiten Wettbewerbsbekanntmachung aus dem Jahr 2015 als offener, zweistufiger, anonymer Realisierungswettbewerb mit städtebaulichem Ideenteil ausgeschrieben, der anschließend in ein Verhandlungsverfahren im Oberschwellenbereich gemäß BVerGG 2006 i.d.g.F. überging. In der ersten Wettbewerbsstufe wurden anhand von Vorentwurfskonzepten mit städtebaulichem Schwerpunkt 10-14 Teilnehmer:innen vom Preisgericht für die zweite Stufe des Wettbewerbs ausgewählt. Dort erfolgte eine vertiefte Weiterbearbeitung der Vorentwurfskonzepte der ersten Stufe, aus denen die Preisträger ermittelt wurden. Laut der Informationsbroschüre zur Präsentation der Wettbewerbsergebnisse (2015) bestand das Ziel des Wettbewerbes darin, einen zukunftsweisenden Neubau unter Einbeziehung des von Oswald Haerdtl entworfenen zweistöckigen

Museumsgebäudes zu errichten und die bestehende Nutzfläche von 6.900 m² auf 12.000 m² zu erweitern.

Im durchgeführten Wettbewerb wurden 274 Einreichungen in der ersten Stufe eingereicht und aus ihnen 14 Projekte für die zweite Stufe gewählt. Aus diesen Projekten wurden drei Einreichungen prämiert und drei Anerkennungspreise ausgezeichnet.

Laut der Projektbeschreibung des Organisationsbüros (Phase1, 2023) waren für die Bearbeitung der ersten Stufe acht Wochen vorgesehen, während für die zweite Stufe elf Wochen veranschlagt wurden. Der österreichische Wettbewerbsstandard der Bundeskammer der ZiviltechnikerInnen (2022) gibt für einen zweistufigen, offenen Wettbewerb keine Anzahl an Wochen zur Bearbeitung vor, jedoch deutet die Übersichtsgrafik (Abb. 10) darauf hin, dass für die erste Stufe in der Regel mehr Zeit vorgesehen ist als für die zweite. Dies war im genannten Wettbewerb nicht der Fall, sodass die Bearbeitungszeit von acht Wochen kurz ausfiel.

6.1 Geforderte Abgabeleistungen

Im Rahmen der Auslobungsunterlagen des Wettbewerbs wurde definiert, welche Leistungen zur Beurteilung der Einreichungen gewünscht und daher von den Teilnehmenden als Abgabeleistung zu erbringen waren. In den beiden Stufen des Wettbewerbes wurden unterschiedliche Ausarbeitungstiefen gefordert. In der ersten Stufe waren neben einem Arbeitsmodell M 1:500, zwei Plakate im Format DIN A0 einzureichen. Die zur zweiten Stufe des Wettbewerbes geladenen Teilnehmer:innen durften ihre Einreichungen überarbeiten und wurden gebeten, ein Modell M 1:500 und acht Plakate im Format DIN A0 abzugeben.

In der hier folgenden Untersuchung wurden die Modelle nicht weiter betrachtet, sondern der Fokus auf die eingereichten Plakate gelegt. Durch das Sichten einer Vielzahl der in der ersten Stufe eingereichten Plakate wurde zusammengetragen, welche Darstellungen gefordert waren. Die Maßstäbe der geforderten Darstellungen konnten nicht ermittelt werden.

Geforderte Darstellungen

01 Lageplan

Gibt eine Übersicht des Karlsplatzes, der Umgebungsgebäude und der Vegetation.

02 Schwarzplan

Dient der Verortung des Gebäudes im städtischen Kontext

03 Grundriss Erdgeschoss

Stellt das Erdgeschoss des Gebäudes in seiner Umgebung dar

04 Geschossgrundrisse

Alle Grundrisse der weiteren Geschosse

05 Schnitte

Es werden so viele Schnitte wie nötig angefertigt, um die Entwurfsidee darstellen zu können.

06 Ansicht Karlsplatz

Eine Abwicklung der Fassaden entlang des Karlsplatzes. Zeigt die Eingliederung des Entwurfes in die umgebenden Fassaden

07 Ansicht Entwurf

Es werden so viele Ansichten wie nötig angefertigt, um die Entwurfsidee darstellen zu können.

08 Diagramme & Piktogramme

Erläuternde Informationsgrafiken wie z. B. eine Axonometrie zur Verteilung von Funktionen nach Räumen und Geschossen

09 Visualisierung

Vermitteln einen Eindruck des Gebäudes oder bestimmter Räume. Werden als Bildliche Darstellung, Renderings oder Collagen angefertigt

Gestaltung der Plakate

Trotz inhaltlicher Vorgaben haben die Teilnehmenden Spielraum bei der Gestaltung der Plakate. Das Verhältnis zwischen Plänen und Visualisierungen sowie die Anordnung der Elemente sind frei wählbar, was sich in der großen Bandbreite der eingereichten Dokumente widerspiegelt.

6.2 Ausgewählte Entwürfe

Die Auswahl der drei zu untersuchenden Entwürfe erfolgte gezielt anhand ihrer unterschiedlichen geometrischen Formen sowie der eingereichten Plakate, die in verschiedenen Darstellungsweisen den Kanon der geforderten Darstellungen abdecken. Zwei der Entwürfe waren im Wettbewerb erfolgreich und überzeugten sowohl konzeptionell als auch in ihrer Darstellung. Der dritte Entwurf wurde ergänzt, um die Bandbreite der geometrischen Ansätze zu erweitern. Die ausgewählten Entwürfe werden auf den folgenden Seiten anhand der eingereichten Wettbewerbsplakate und der Modellfotos vorgestellt.

1. Entwurf:

Architektur:

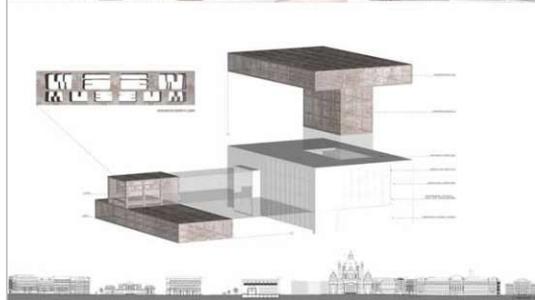
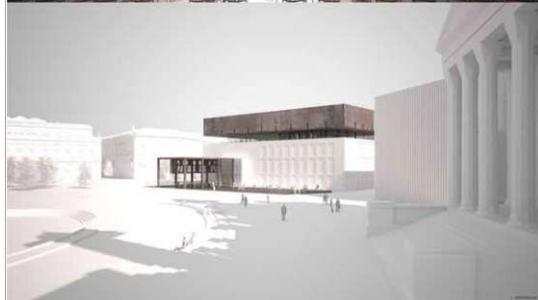
Winkler + Ruck Architekten mit
Architekt Ferdinand Certov

Landschaftsarchitektur:

Winkler Landschaftsarchitektur

Beschreibung:

1. Preis im Wettbewerb. Zweigeschossige Aufstockung auf dem Bestandsgebäude sowie eine Erweiterung vor dessen Eingang. Quaderförmige Volumen wurden auf dem und vor das Bestandsgebäude platziert.



► Abb. 34: Wettbewerbsplakat 01

Winkler + Ruck, Phase 1

▲ Abb. 35: Wettbewerbsplakat 02

Winkler + Ruck, Phase 1

◀ Abb. 36: Modellfoto

Winkler + Ruck, Phase 1

2. Entwurf:

Architektur:

Kim Nalleweg Architekten GbR

Landschaftsarchitektur:

TDB Landschaftsarchitektur

Beschreibung:

2. Preis im Wettbewerb. Ein solitär vor dem Bestandsgebäude stehender Brückenkörper ist über einen im ersten Untergeschoss befindlichen Ausstellungsraum mit dem Bestandsgebäude und einer Ergänzung in dessen Innenhof verbunden. Der aus Prismen und Quadern geformte Brückenkörper weist große, runde Öffnungen auf, eine weitere in der Decke zum Untergeschoss sorgt für dessen Belichtung.

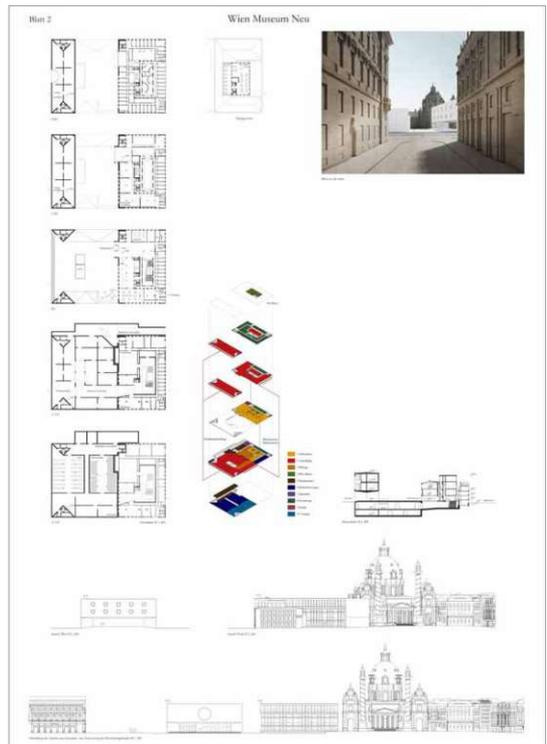


Abb.37: Wettbewerbsplakat 01 ▲

Kim + Nalleweg, Phase 1

Abb.38: Wettbewerbsplakat 02 ▼

Kim + Nalleweg, Phase 1

Abb.39: Modellfoto ▶

Kim + Nalleweg, Phase 1

3. Entwurf:

Architektur:

Pichler + Taupmann mit Mario Gasser

Landschaftsarchitektur:

k.A.

Beschreibung:

Erweiterung des Bestandsgebäudes durch zwei Volumen auf der vorderen und der linken Seite. Das linke Volumen ist über einen Sockel, der von einer gekrümmten Fassade umgebenen ist vom Erdboden abgehoben. Auf der dem Karlsplatz zugewandten Seite werden beiden Volumen durch eine weitere gekrümmte Fassade miteinander verbunden.



▼ Abb. 40: Wettbewerbsplakat 01

Pichler + Taupmann, Phase1

▲ Abb. 41: Wettbewerbsplakat 02

Pichler + Taupmann, Phase1

◀ Abb. 42: Modellfoto

Pichler + Taupmann, Phase1

6.3 Einrichtung der Projektdatei

Bevor die Entwürfe in das BIM-Modell übertragen werden können, wird die Projektdatei in der BIM Authoring Software eingerichtet. Dazu wird die Umgebung der Entwurfsaufgabe eingeladen, die Einstellungen der Geschosse vorgenommen und das Planlayout definiert.

Erstellung der Umgebung

Das Bestandsgebäude am Karlsplatz ist von zahlreichen Bauwerken umgeben, die die Platzsituation prägen und als Bezugspunkte im Entwurfsprozess dienen können. Um diese Bezüge zu berücksichtigen, wird das Gebäude bereits in der frühen digitalen Entwurfsphase in seinen Kontext eingebettet, indem Daten verwendet werden, die die Bebauung darstellen. Für die Stadt Wien liegen öffentliche Baukörper- und Dachmodelle vor, die von der Stadtvermessung Wien (MA 41) im Rahmen der Open-Government-Initiative der Stadt Wien zur Verfügung gestellt werden. Aus den beiden Modellen werden die benötigten Daten der Umgebung verwendet und in die BIM Authoring Software eingeladen. Weiterhin könnte das Terrain über das ebenfalls von der Stadt Wien angebotene Geländemodell dargestellt werden. Im gewählten Beispiel weist das Gelände des Karlsplatzes am Bauplatz so geringe Höhenunterschiede auf, dass im Folgenden darauf verzichtet wurde.

Einstellung von Geschossanzahl & -höhen

Zu Beginn des Arbeitsprozesses werden die globalen Parameter der Geschossanzahl sowie deren Höhen festgelegt. In der BIM Authoring Software Archicad erfolgt dies über die Geschosseinstellungen, wobei die aus den Planunterlagen ersichtlichen Geschosse des Bestandsgebäudes erstellt werden. Später werden je nach Entwurfsstudie weitere Geschosse hinzugefügt.

Erstellung des Planlayouts

Basierend auf der Liste der geforderten Abgabeleistungen werden die Darstellungen erstellt und auf den in der ersten Wettbewerbsstufe geforderten zwei Plakaten im Format DIN A0 angeordnet. Dieses Planlayout dient als einheitliche Darstellungsgrundlage für die drei Entwurfsstudien.

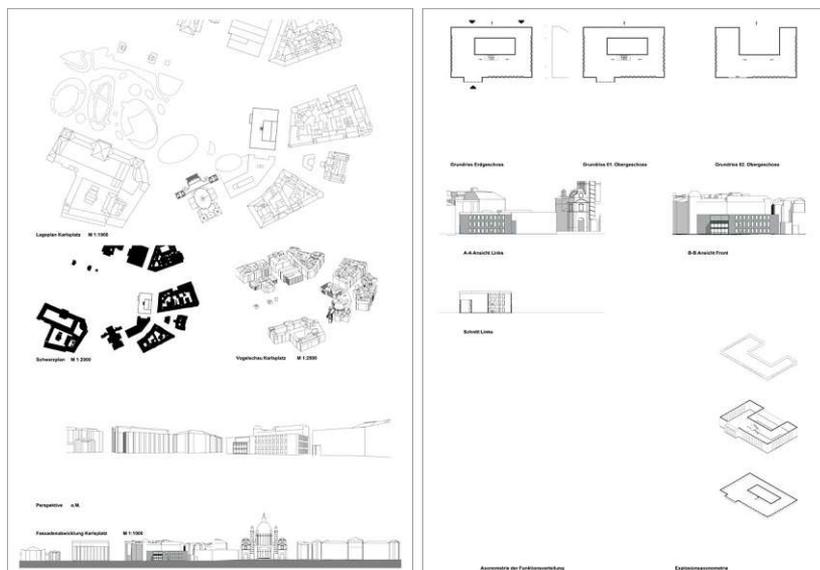
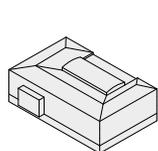


Abb.43: Eingereichtete Wettbewerbsplakate

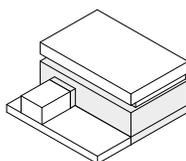
6.4 Erzeugung der Entwurfsstudien

Zur Untersuchung der Anwendung der Kernfunktionen auf Entwurfsstudien werden die drei ausgewählten Entwürfe auf Grundlage der eingereichten Wettbewerbsplakate und weiterer verfügbarer Pläne in der Geometric Design Software Rhino3D mittels Volumenkörpern als digitale Entwurfsstudien erstellt.

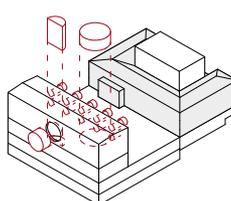
Abb.44: Erzeugte Entwurfsstudien



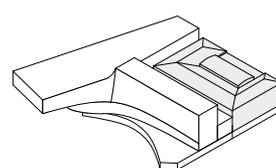
Entwurfstudie Bestand



Entwurfstudie erster Entwurf



Entwurfstudie zweiter Entwurf

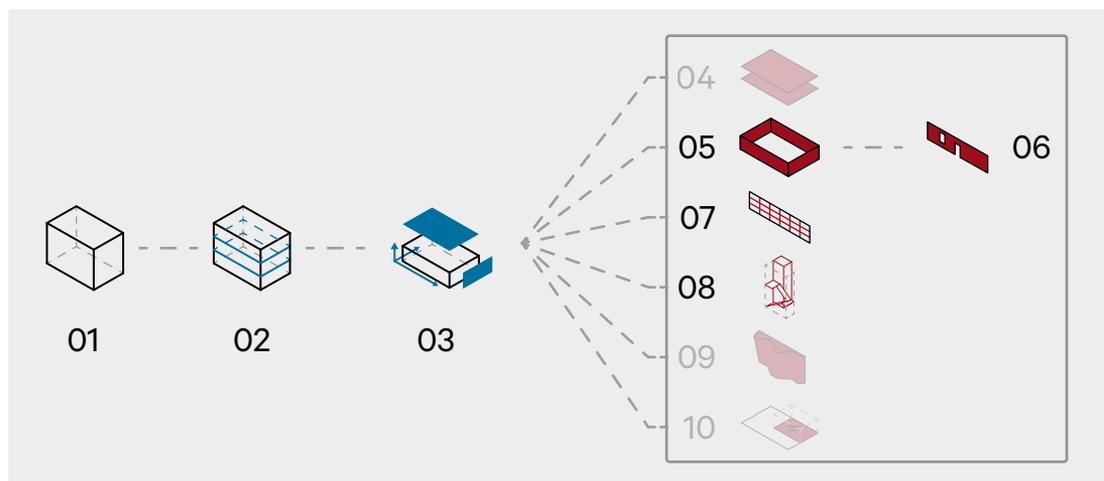


Entwurfstudie dritter Entwurf

6.5 Erstellung des Bestandsgebäudes

Im Wettbewerb der gewählten Fallstudie war der Erhalt bestimmter Teile des Bestandsgebäudes gefordert. Zur automatisierten Überführung dieser Elemente in das BIM-Modell wurde ein erster Algorithmus entwickelt. Die erhaltenen Bestandselemente – darunter die Außenwände mit Fenstern, die Eingangsfassade sowie das Bestandstreppenhaus – werden übertragen, im BIM-Modell gespeichert und dienen als einheitliche Datengrundlage für die der Entwurfsstudien. Der Algorithmus basiert auf den beschriebenen Kernfunktionen, wobei nicht alle zum Einsatz kommen. Die ungenutzten Funktionen sind in Abbildung 45 ausgegraut dargestellt.

Abb.45: Verwendete Kernfunktionen - Bestandsgebäude



Verwendete Kernfunktionen

- 01 Referenzieren der Volumenkörper
- 02 Unterteilung des Körpers in Geschosse
- 03 Zerlegung eines Körpers in seine geometrischen Bestandteile
- 04 Erstellung der Decken
- 05 Erstellung der Wände
- 06 Erstellung der Fenster und Türen
- 07 Erstellung der Fassaden
- 08 Erstellung der Erschließung
- 09 Erstellung von Morphs
- 10 Erstellung der Raumflächen und -stempel

Unter Anwendung der beschriebenen Kernfunktionen 1-3 wird der Volumenkörper des Bestandsgebäudes referenziert, daraus mittels der Geschosshöhen Teilvolumen generiert und diese in ihre geometrischen Bestandteile zerlegt.



05 Erstellung der Wände

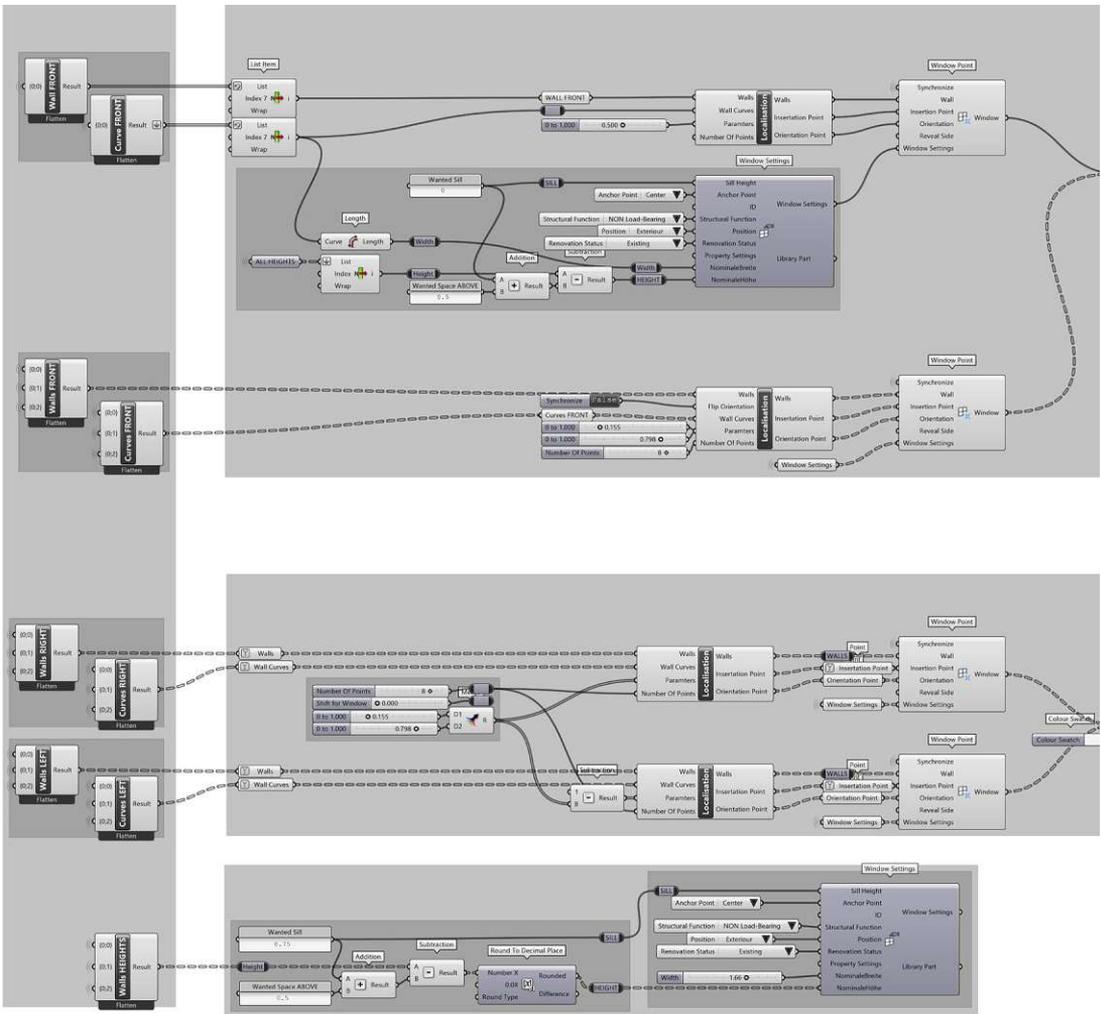
Anhand der Teilvolumen werden geschossweise die Wände des Bestandsgebäudes generiert. Die Kurven der unteren horizontalen Flächen und die Wandhöhen dienen der Erstellung als Input.



06 Erstellung der Fenster

Das Bestandsgebäude weist auf drei Seiten Fenster auf, die erhalten werden mussten und deren Generierung im Folgenden beschrieben wird.

Abb. 46: Algorithmus zur Erstellung der Fenster des Bestandsgebäudes



06.1 Auswahl und Gruppierung der Wände

Vom Bestandsgebäude werden die erstellten Wände ausgewählt, in denen Fenster platziert werden sollen. Diese werden über die Geschosse hinweg nach der Ausrichtung der Fassade zusammengefasst und mit den entsprechenden Grundlinien der Wände gruppiert.

06.2 Verortung der Fenster

Die Bestandswände enthalten eine Fensterreihe, die nicht über die gesamte Wandlänge verteilt ist, sondern sich in einem Bereich der Wand befindet. Ein Custom Component wurde erstellt, der auf der Grundlinie der Wand den Bereich festlegt, in dem die Fenster entstehen sollen. Dieser Bereich wird durch die Anzahl der zu erstellenden Fenstern unterteilt. Diese Teilungspunkte sind die Einfügekpunkte der einzelnen Fenster.

Die Orientierungspunkte werden aus der Grundlinie und den Einfügekpunkten erstellt. Die Punkte werden mittels Vektoren entlang der Wand verschoben und rotiert, sodass sie auf der Außenseite der Wand liegen.



07 Erstellung der Fassade

Das Bestandsgebäude weist an seiner Eingangsseite eine Pfosten-Riegel-Fassade auf (Abb. 47), die mit der beschriebenen Kernfunktion als Fassadensystem erstellt wird.

Abb. 47: Wien Museum vor dem Umbau - Fassade am Eingang, Phase 1



07.1 Auslesen der Grundlinie und Wandhöhen

Die Fassade erstreckt sich vom Erdgeschoss in das erste Obergeschoss. Daher werden die Kurven der beiden sich dort befindlichen Seiten des Volumenkörpers referenziert. Die Fassade verläuft nicht über die gesamte Länge der Kurve, sondern nur über das lichte Maß zwischen den beiden Schmalseiten des Vorbaus. Zu Ermittlung des lichten Maßes wird die Wandstärke der Schmalseiten hinzugezogen, um die die Länge der Kurve reduziert wird. Die Wandhöhen des Erd- und Obergeschosses dienen als Input für die numerische Domain zur Festlegung der Höhe der Fassade.

07.2 Aufteilung des Fassadensystems

Wie in Abbildung 47 dargestellt, weisen die Spalten der Eingangsfassade eine einheitliche Breite auf, während die Zeilen in ihrer Höhe variieren. Daher wird die in der Kernfunktion beschriebene Aufteilung des Fassadensystems verändert. Der numerische Input-Parameter „Number Of Parts“ wird verwendet, der die Gesamthöhe in gleichmäßige Abschnitte unterteilt und so die kleinste Zeilenhöhe bestimmt. Durch die Nutzung eines Vielfachen dieses Wertes können Zeilen im Höhenverhältnis 3:1 erzeugt werden.

07.3 Bündeln der Parameter

Um die Einstellungen zu bündeln, wird ein weiterer Custom Component erstellt, in den die vorher genannten Parameter einfließen. Dieser erzeugt die Höhe der Fassade und definiert, vergleichbar mit den Lokalisationseinstellungen zur Orientierung eines Fensters in einer Wand einen Punkt, der die Außenseite der Fassade festlegt. Weiterhin wird die Kurve, über der die Fassade erzeugt wird, generiert und die „Scheme Settings“ erstellt.

07.4 Einstellungen des Fassadensystems

Die „Scheme Settings“ werden an die Einstellungen des Fassadensystems übergeben. Weiterhin werden ähnlich den bereits verwendeten Einstellungen zum Fenster Parameter wie die Tragwerksfunktion oder der Umbau-Status festgelegt.

07.5 Generieren der Fassade

Aus den referenzierten Kurven, dem Output des Custom Component und den Einstellungen wird anschließend die Fassade generiert.

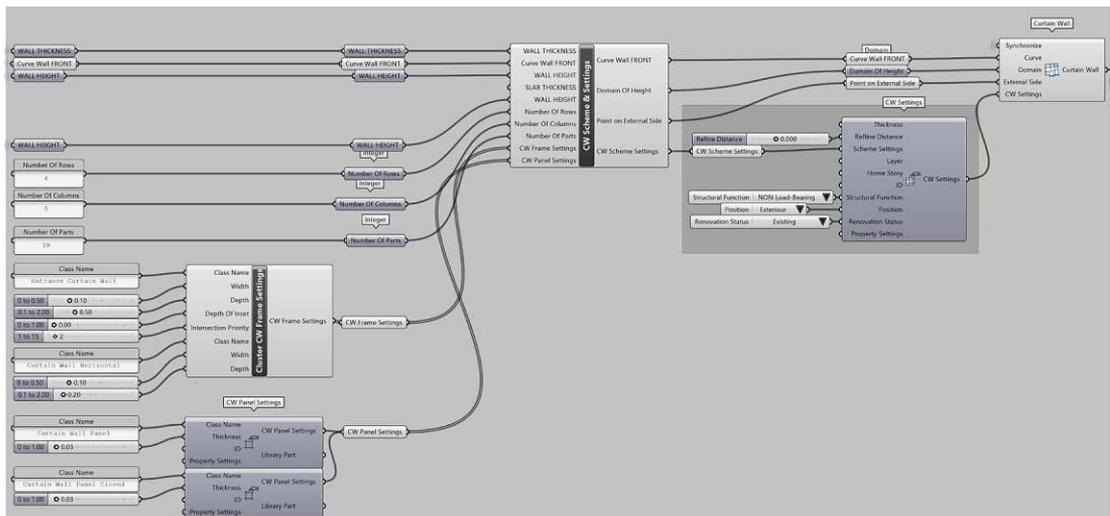


Abb. 48: Algorithmus zur Erstellung der Fassade des Bestandsgebäudes



08 Erstellung der Bestandstreppe

Mit der dargelegten Kernfunktion und einer Reihe Parameter wird die erhaltene Treppe des Bestandsgebäudes innerhalb des modellierten Erschließungsvolumens des Parameter-Katalogs erzeugt und erstreckt sich vom Erdgeschoss bis ins zweite Obergeschoss.

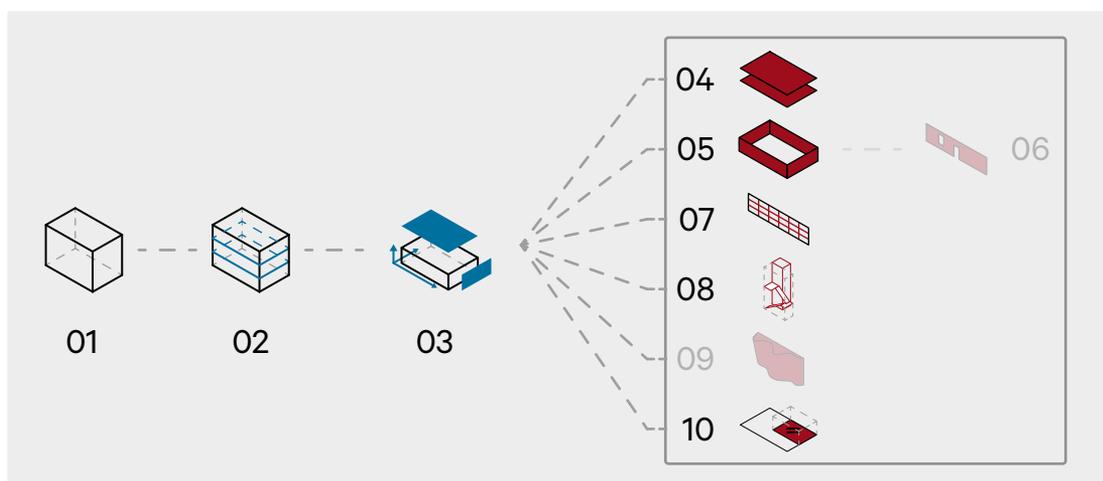
Zusammenfassung

Der Algorithmus zur Bestandserzeugung generiert die in allen Entwürfen erhaltenen Bauteile des Bestandsgebäudes und setzt sich aus den notwendigen Kernfunktionen zusammen. Wie in der Beschreibung der Kernfunktionen werden zur Strukturierung und Wiederverwendung bestimmter Funktionen Custom Components genutzt.

6.6 Anwendung auf ersten Entwurf

Nachdem mit dem ersten Algorithmus die erhaltenen Elemente des Bestandsgebäudes erzeugt wurden, widmet sich der zweite Algorithmus der Erstellung des ersten Entwurfes. Dieser übersetzt den Parameter-Katalog der Entwurfsstudie in ein BIM-Modell. Auch in diesem Algorithmus kommen die beschriebenen Kernfunktionen, sofern benötigt, zum Einsatz.

Abb. 49: Verwendete Kernfunktionen - Erster Entwurf



Verwendete Kernfunktionen

- 01 Referenzieren der Volumenkörper
- 02 Unterteilung des Körpers in Geschosse
- 03 Zerlegung eines Körpers in seine geometrischen Bestandteile
- 04 Erstellung der Decken
- 05 Erstellung der Wände
- 06 Erstellung der Fenster und Türen
- 07 Erstellung der Fassaden
- 08 Erstellung der Erschließung
- 09 Erstellung von Morphs
- 10 Erstellung der Raumflächen und -stempel



01 Referenzieren der Volumenkörper

Die Volumen der Entwurfsstudie wurden in Rhino3D so organisiert, dass sie sich auf thematisch geordneten Layern befinden. Die Layer werden in Grasshopper referenziert und die sich darauf befindlichen Geometrien verfügbar gemacht.



02 Unterteilung des Körpers in Geschosse

Wie im Algorithmus zur Erstellung des erhaltenen Bestands werden die Volumen auf Basis der Höhenkoten in geschossweise separierte Volumen unterteilt. Im Gegensatz zum ersten Algorithmus werden im Anschluss an die Teilung die Erschließungsvolumen von den Teilvolumen abgezogen, um später Decken erzeugen zu können, aus denen die Erschließungsvolumen ausgenommen sind.



03 Zerlegung eines Körpers in seine geometrischen Bestandteile

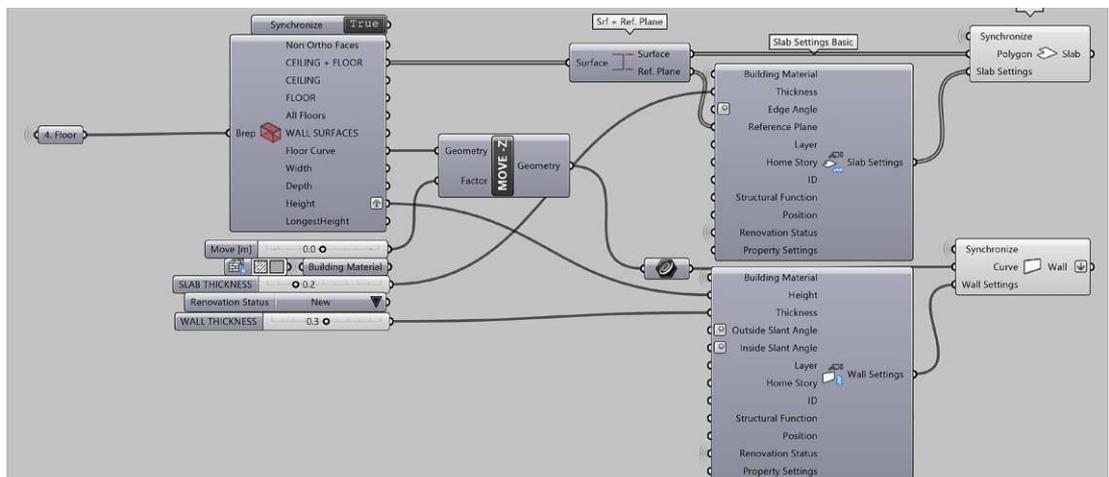
Die beschriebene Kernfunktion zur Zerlegung eines Körpers in seine geometrischen Bestandteile findet auch in diesem Algorithmus mehrfache Verwendung. Sie kommt immer dann zum Einsatz, wenn die Flächen und Dimensionen eines Volumens benötigt werden – etwa zur Erstellung von Wänden und Decken auf Grundlage des Volumens.



04 Erstellung der Decken

Mit den Kernfunktion werden für die Volumen der Aufstockung, des Untergeschosses und der Ergänzung am Eingang des Bestandsgebäudes Decken erstellt. Die benötigten Parameter werden aus den Volumen abgeleitet und für die Erstellung verwendet. Weiterhin werden die Decken im Bestandsgebäude erzeugt. Wie in oben beschrieben, wurden von den Teilvolumen die Erschließungsvolumen subtrahiert, sodass in den erstellten Decken Erschließungs-Öffnungen verbleiben.

Abb. 50: Algorithmus zur Erstellung von Decken und Wänden des ersten Entwurfs



Dabei wird festgestellt, dass die Krümmung der Kurve nicht übernommen, sondern über eine polygonale Annäherung dargestellt wird.

Dies wird besonders in den Rundungen an den Ecken des Volumens sichtbar. Hier wird die definierte Breite der Fassadenpaneele unterschritten, um die Form der Kurve abbilden zu können (Abb. 52).

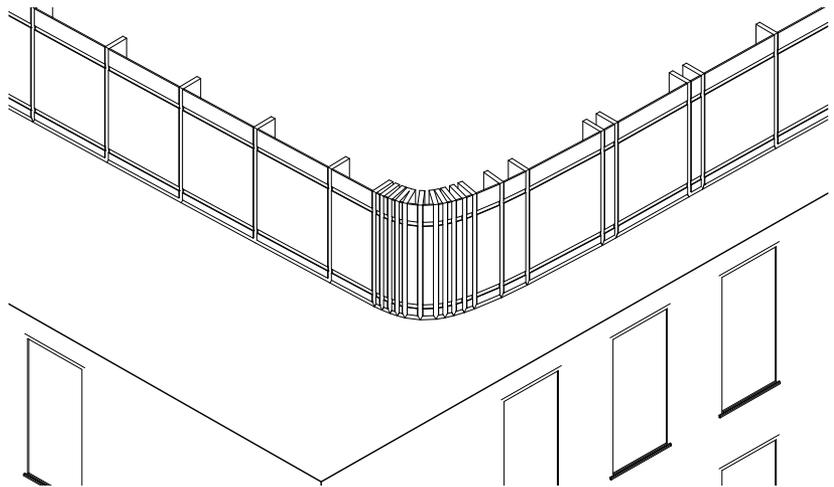


Abb. 52: BIM-Modell Erster Entwurf - Detail Approximation Fassade



08 Erstellung der Erschließung: Treppe & Aufzug

Im Entwurf finden sich neben der erzeugten Bestandstreppe weitere Treppenhäuser und eine Reihe Aufzüge. Für die Darstellung der Aufzüge wurde die Erstellung über das entsprechende Archicad Bibliotheksobjekt untersucht. Ähnlich wie bei einem Fenster kann aus der Objektbibliothek ein Aufzug gewählt werden, dessen Erzeugung im Algorithmus gesteuert werden kann. Hier ist es möglich, einen Aufzugsschacht und weiterhin die Kabine sowie die Schachttüren zu erzeugen. Ein Vorteil dieses Ansatzes ist die detailliertere Darstellung in den Plänen. Im untersuchten Fall ist eine hohe Anzahl an Parametern erforderlich, um die Erstellung für die unterschiedlichen Erschließungsvolumen ermöglichen zu können. Für bestimmte Parameter wie die Ausrichtung der Schachttöfnungen sowie die Einstellungen der anzufahrenden Geschosse wurde keine Lösung erarbeitet, die eine Anwendung auf alle Erschließungsvolumen ermöglicht. In diesem Algorithmus werden für die Aufzüge die Aufzugsschächte aus den Erschließungsvolumen generiert. Dies bietet einen einfachen Ansatz, die Erschließung in der frühen Entwurfsphase darzustellen. Bei der Darstellung der Treppen sind zwei als prägnant hervorzuheben.

Im Innenhof des Bestandsgebäudes führen zwei Treppen vom Erdgeschoss ins zweite Obergeschoss. Diese zweiläufigen geraden Treppen mit Zwischenpodest werden ähnlich der Bestandstreppe als Morphkörper erzeugt und basieren auf den Erschließungsvolumen des Parameter-Katalogs. Die Kernfunktion zur Erstellung einer Treppe wird auf die hier auftretenden Anforderungen angepasst.

08.1 Parameter der Treppe

Als Parameter werden hierbei die Anzahl der vertikalen Stufen zur Überwindung der Gesamthöhe sowie die gewünschte Länge des Podests als Multiplikator der Stufenlänge angegeben.

08.2 Generierung der Treppengeometrie

Auf den angegebenen Parametern sowie der Höhe und den Kanten der Grundfläche des jeweiligen Erschließungsvolumens basierend, wird die Höhe der Tritt- und Länge der Setzstufe ermittelt. Diese wird über Vektoren entlang der Laufrichtung der Treppe so vervielfältigt, dass die Treppengeometrie erzeugt wird. Aus einzelnen Stufen bestehend, wird anschließend eine boolesche Operation ausgeführt, die als Output einen zusammenhängenden Treppenkörper ausgibt.

08.3 Einstellungen des Morphs

Wurde bei der Bestandstreppe die Ebenenzuordnung hervorgehoben, sind in den Einstellungen dieser Morphs die Geschosszuordnung zu beachten. In diesem Beispiel wird die untere Treppe dem Erdgeschoss und die darüberliegende dem ersten Obergeschoss zugeordnet. Dies führt dazu, dass die Treppen in den Grundrissen der jeweiligen Geschosse angezeigt werden.

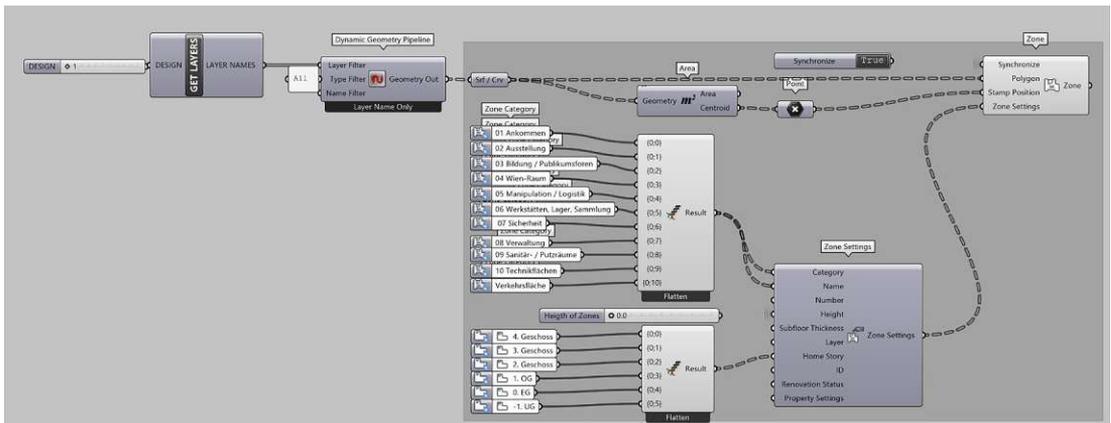
08.4 Erstellung des Treppenkörpers als Morph

Zuletzt wird die Geometrie als Morph Solid erzeugt und in die BIM-Software übertragen.

10 Erstellung der Raumflächen und -stempel

Abb.53: Algorithmus zur Erstellung von Raumflächen des ersten Entwurfes

Mit der Kernfunktion zur Erstellung von Raumflächen und -stempeln werden die angedachten Funktionsverteilungen in das BIM-Modell übertragen. Die modellierten Raumvolumen werden zusammen mit der Raumkategorie und den Geschossen zur Erstellung der Raumflächen verwendet.



Zusammenfassung

Der Algorithmus ergänzt die Bestandselemente um jene des ersten Entwurfs. Die einzelnen Schritte basieren auf den entwickelten Kernfunktionen und werden um entwurfsspezifische Komponenten erweitert. Für die zwei hervorgehobenen Treppen wurde die Kernfunktion adaptiert und für die Darstellung der Aufzüge zwei Ansätze untersucht: die Abbildung auf Basis des Bibliotheksobjekts oder als Schacht. Die Entwurfsstudie wurde algorithmisch-gestützt in das BIM-Modell übertragen und auf den eingerichteten Planlayouts, Abbildungen 54 und 55, dargestellt.

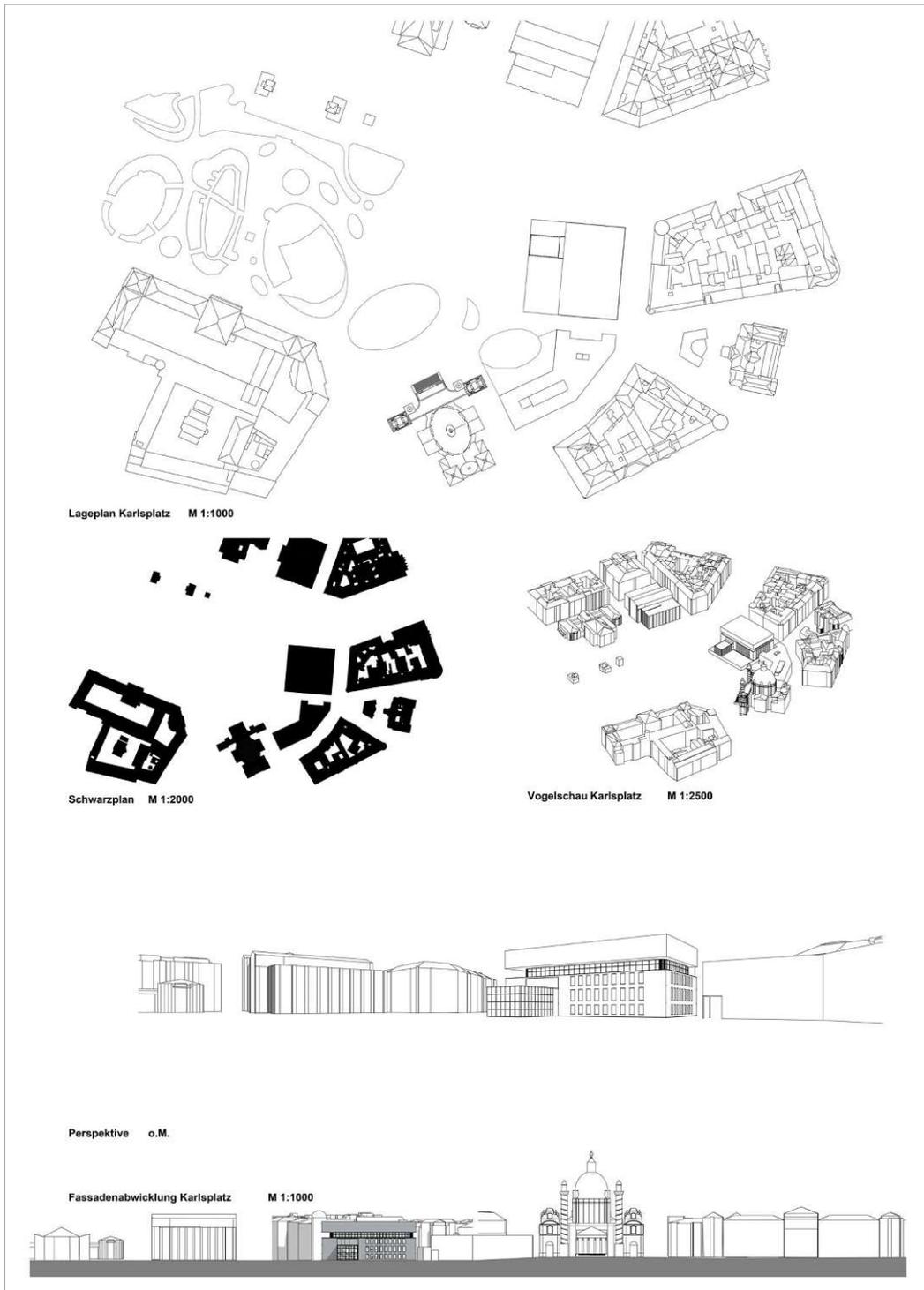


Abb. 54: Wettbewerbsplakat 01 zum ersten Entwurf

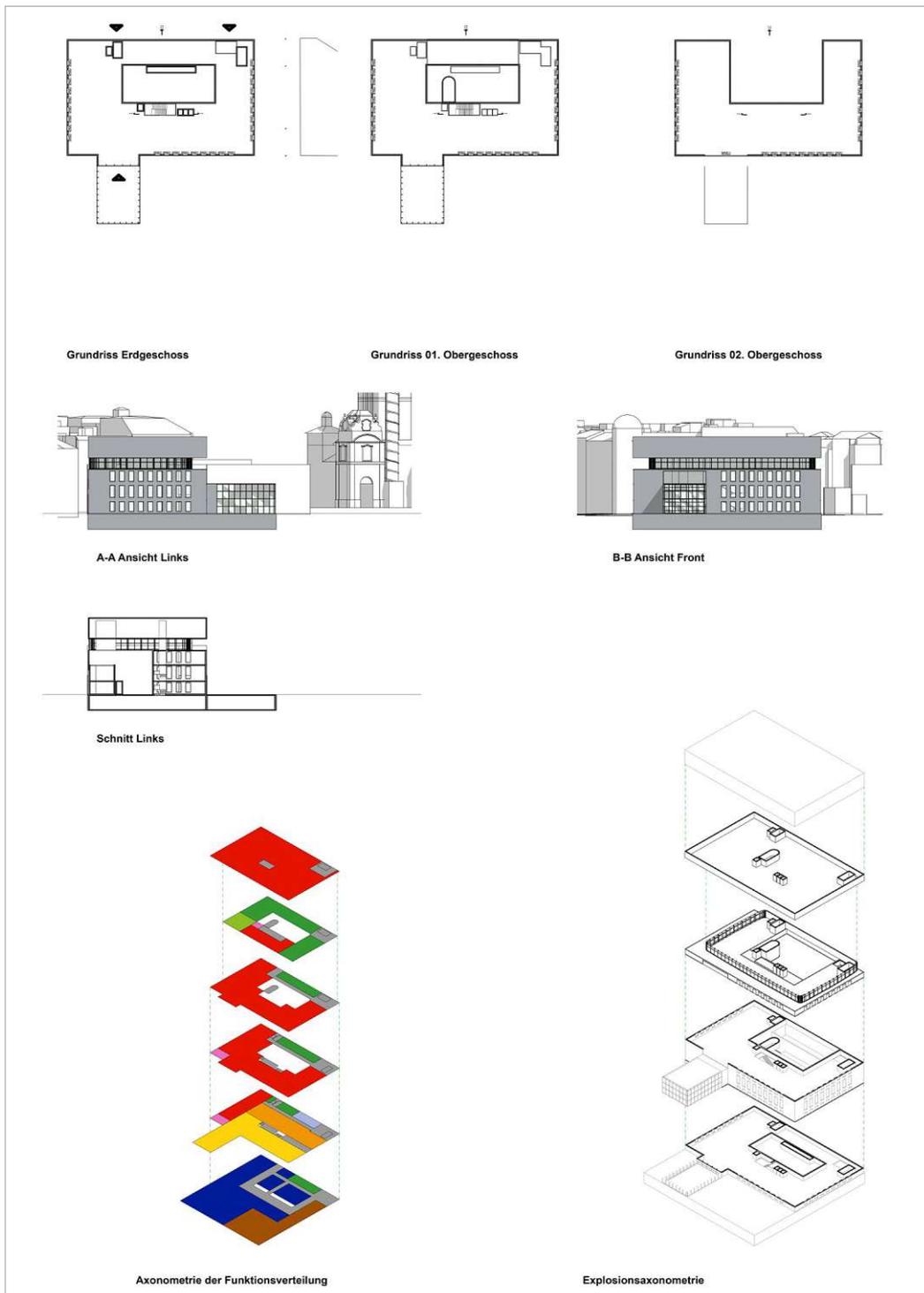
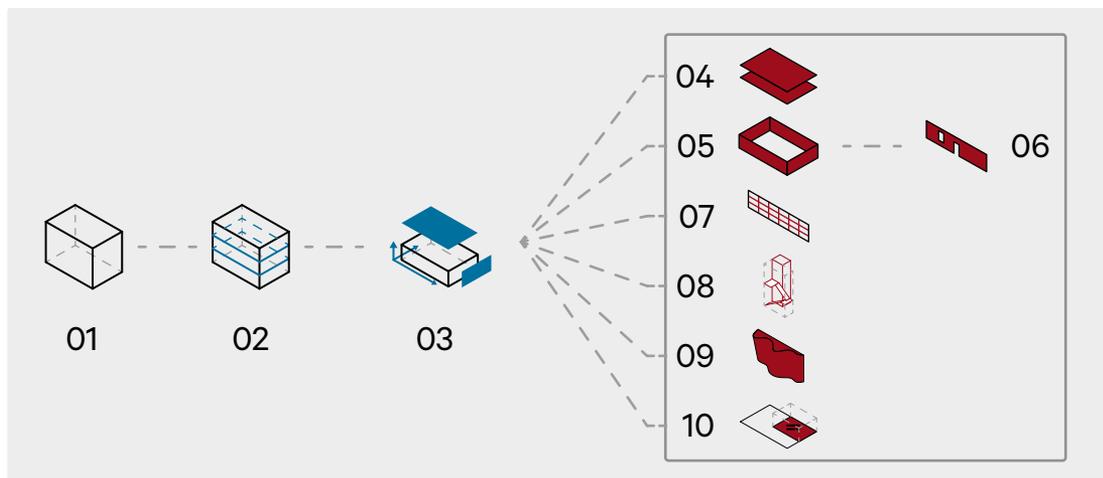


Abb. 55: Wettbewerbsplakat 02 zum ersten Entwurf

6.7 Validierung durch zweiten Entwurf



Verwendete Kernfunktionen

Abb. 56: Verwendete Kernfunktionen - Zweiter Entwurf

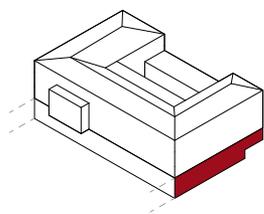
- 01 Referenzieren der Volumenkörper
- 02 Unterteilung des Körpers in Geschosse
- 03 Zerlegung eines Körpers in seine geometrischen Bestandteile
- 04 Erstellung der Decken
- 05 Erstellung der Wände
- 06 Erstellung der Fenster und Türen
- 07 Erstellung der Fassaden
- 08 Erstellung der Erschließung
- 09 Erstellung von Morphs
- 10 Erstellung der Raumflächen und -stempel

Zur Validierung der erarbeiteten Kernfunktionen werden diese auf den zweiten Entwurf angewendet. Die grundlegenden Schritte – das Referenzieren der Volumenkörper, die Unterteilung in Geschosse, die Zerlegung in geometrische Bestandteile sowie die Erstellung von Decken, Raumflächen und -stempeln – greifen auf zuvor entwickelte Abschnitte zurück und werden daher nicht weiter ausgeführt. Bei diesem Entwurf stehen insbesondere fünf Kernfunktionen im Fokus:

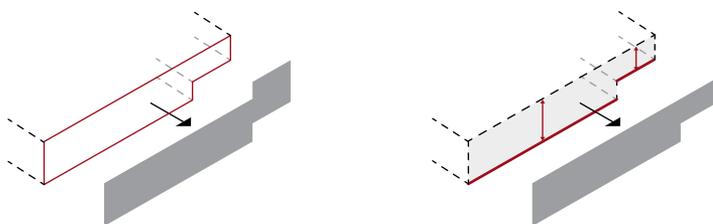
05 Erstellung der Wände im Untergeschoss

Das Untergeschoss unterhalb des Bestandsgebäudes besteht aus zwei Teilen, deren Böden auf unterschiedlichen Höhenkoten liegen.

Abb. 57: Piktogramme zur Erzeugung von Wänden im Untergeschoss



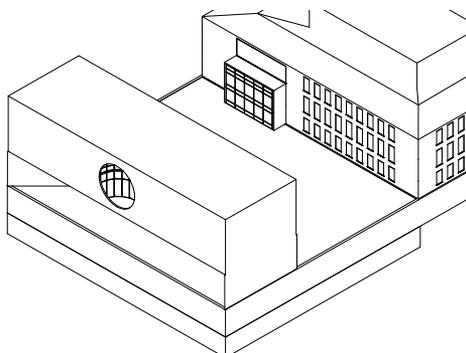
Hier kann der vorher entwickelte Custom Component nicht zum Einsatz kommen, da er als Wandhöhe die Ausmaße des Körpers in z-Achse verwendet. Im betreffenden Untergeschoss führte die Verwendung des Components zu übermäßig hohen Wänden (Abb. 57). Abhilfe wurde durch die Veränderung des Components geschaffen. Aus dem Brep werden die unteren horizontalen Flächen ermittelt und deren Kanten als Grundlinie der zu erstellenden Wände verwendet. Anschließend wird für jedes Segment der Grundlinie die Wandhöhe aus der daran anliegenden vertikalen Oberfläche des Körpers ermittelt. Dies hat zur Folge, dass jeder Wandabschnitt mit der richtigen Höhe erstellt wird. Dieser Anwendungsfall soll aufzeigen, dass für auftretende Komplikationen und unterschiedliche und im Algorithmus jeweils Lösungen erarbeitet werden müssen.



06 Erstellung der Fenster

Abb. 58: Ausschnitt BIM-Modell: Wandöffnung aus Subtraktionsvolumen im Brückenkörper

Die im Entwurf prominenten Öffnungen im Brückenkörper werden durch das Einsetzen von runden Fensteröffnungen in die entsprechenden Wände erzeugt. Wie in der Kernfunktion beschrieben und zur Erzeugung der Fenster des Bestandsgebäudes angewandt, sind die hier verwendeten Fensteröffnungen Archicad Bibliotheksobjekte, deren Maße als Parameter innerhalb des Algorithmus definiert werden. Aus den referenzierten Subtraktionsvolumen des Parameterkatalogs werden die Maße der Fensterobjekte sowie ihr Einsatzpunkt und ihre Orientierung abgeleitet.





07 Erstellung der Fassade im Brückenkörper

Hinter der runden Öffnung innerhalb des Brückenkörpers befindet sich eine halbkreisförmige Glasfassade, die wie im Algorithmus des ersten Entwurfs erzeugt wird. Hierbei wird die Form des Halbkreises durch eine polygonale Annäherung dargestellt.

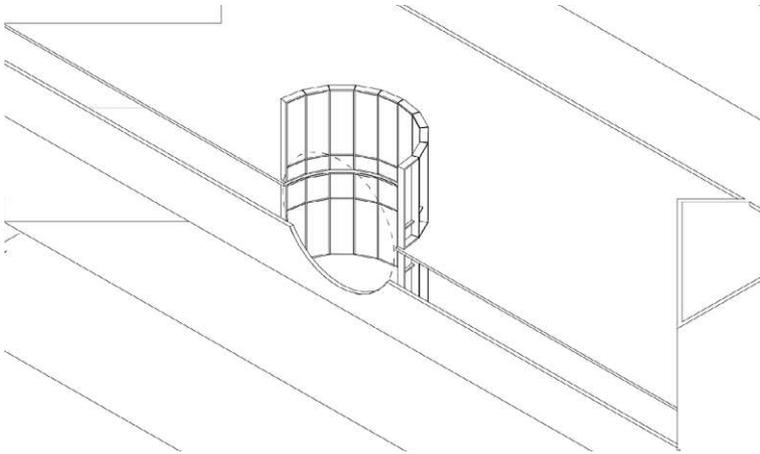


Abb. 59: Ausschnitt BIM-Modell:
Fassade im Brückenkörper



08 Erstellung der Erschließung: Dreiecksförmige Treppe

In diesem Entwurf ist eine Treppe wegen ihrer Form hervorzuheben. Im rechten prismenförmigen Pfeiler des Brückenkörpers verläuft eine Treppe vom zweiten Untergeschoss bis ins zweite Obergeschoss. Sie folgt der äußeren Form des Pfeilers und windet sich um ein dreiecksförmiges Treppenauge. Sie wird als dreiläufige, gewendete Treppe mit Zwischenpodesten ähnlich der Bestandtreppe als Morphkörper erzeugt und basiert auf den Erschließungsvolumen des Parameter-Katalogs sowie den Geschossdecken, die sie erreichen soll.

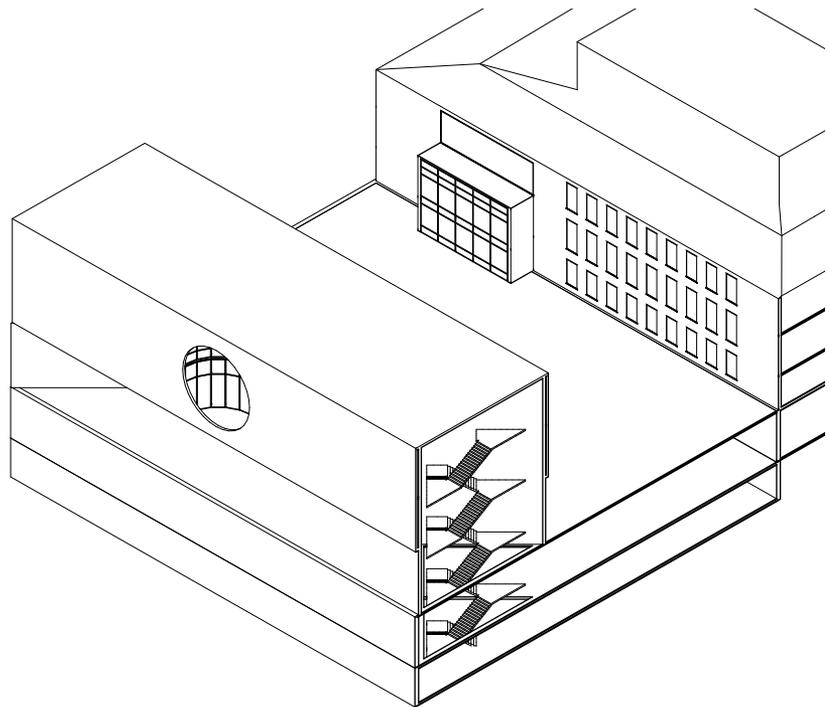


Abb. 60: Ausschnitt BIM-Modell:
Treppenhaus



09 Erstellung von Morphs

In diesem Entwurf werden neben der Treppe weitere Morphkörper erzeugt. Einerseits wird im Entwurf das Dach des Bestandsgebäudes erhalten, andererseits weist auch der Brückenkörper ein geneigtes Dach auf und auch seine Unterseite besteht aus zwei geneigten Flächen. Alle diese Geometrien werden mittels der Design-Node „Morph Solid“ in das BIM-Modell überführt.

Zusammenfassung

Die Anwendung des Algorithmus auf die zweite Entwurfsstudie bestätigt die Anwendbarkeit der entwickelten Kernfunktionen. Auch hier werden die Elemente des Bestandsgebäudes um die spezifischen Bauteile der Entwurfsstudie ergänzt. Alle Kernfunktionen kommen zum Einsatz und können dank ihrer Flexibilität an die veränderten Anforderungen angepasst werden. Wie bereits bei der ersten Entwurfsstudie wird sie auch hier algorithmisch-gestützt in das BIM-Modell übertragen und auf den eingerichteten Planlayouts, Abbildungen 61 und 62, dargestellt

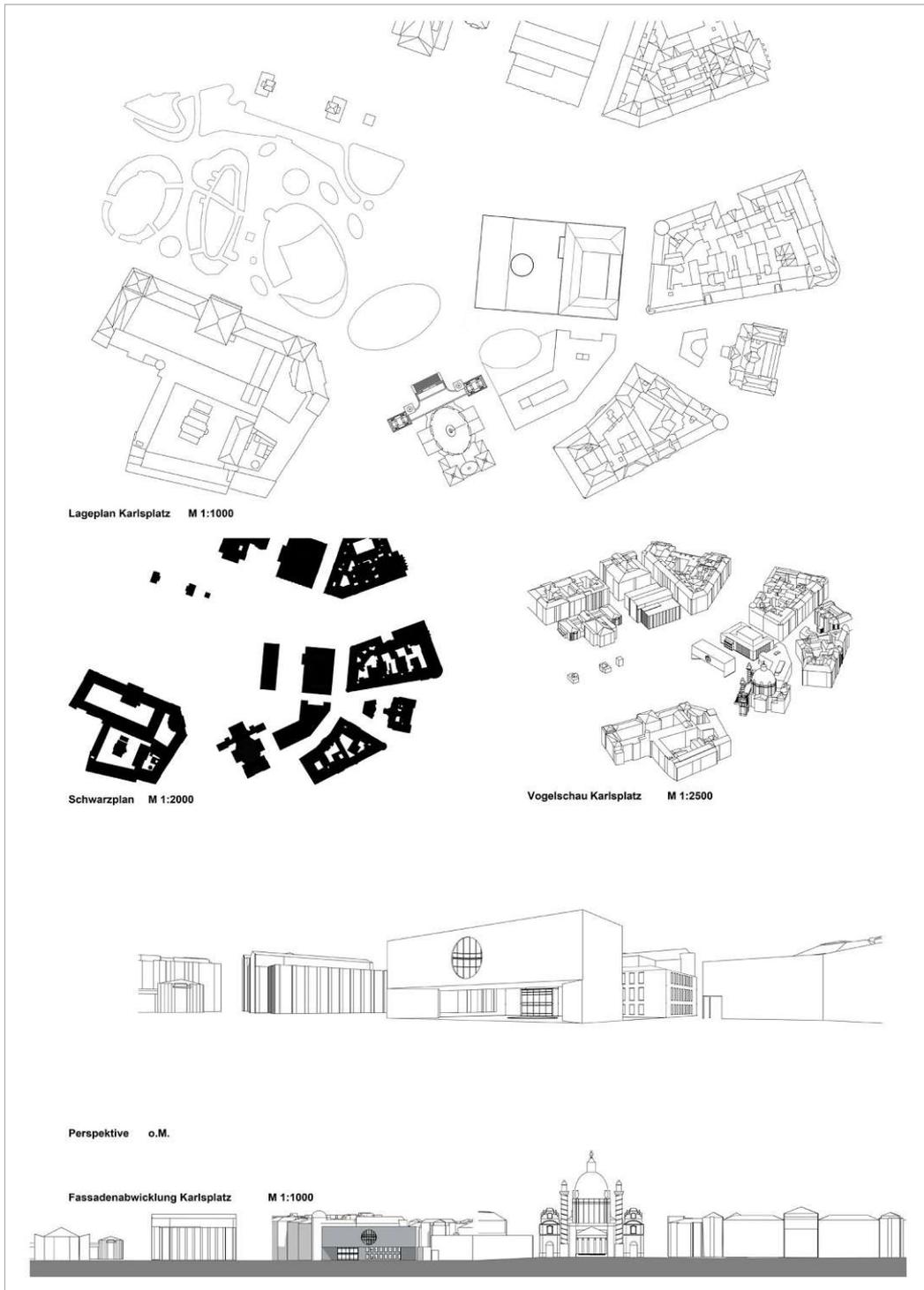


Abb. 61: Wettbewerbsplakat 01 zum zweiten Entwurf

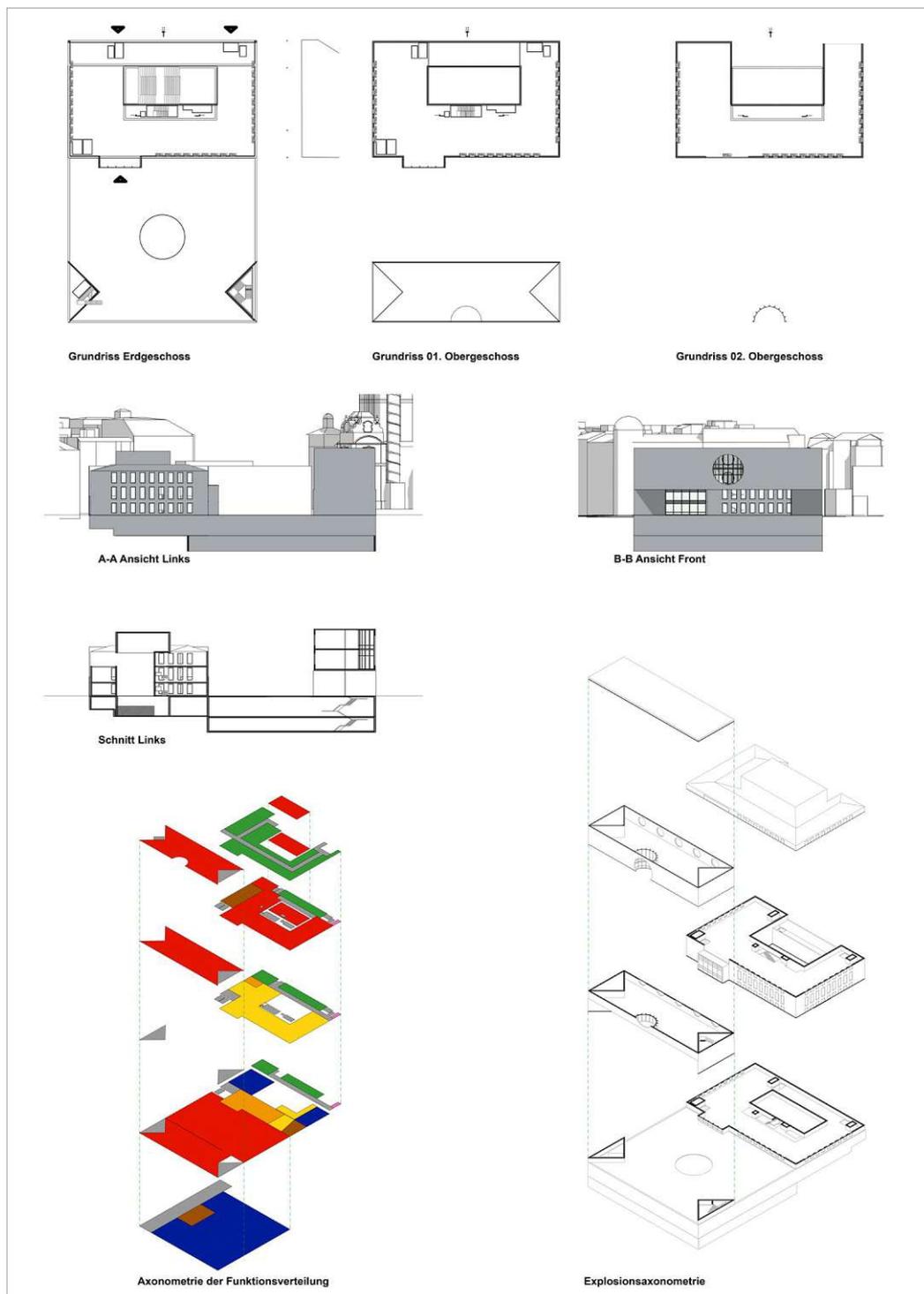
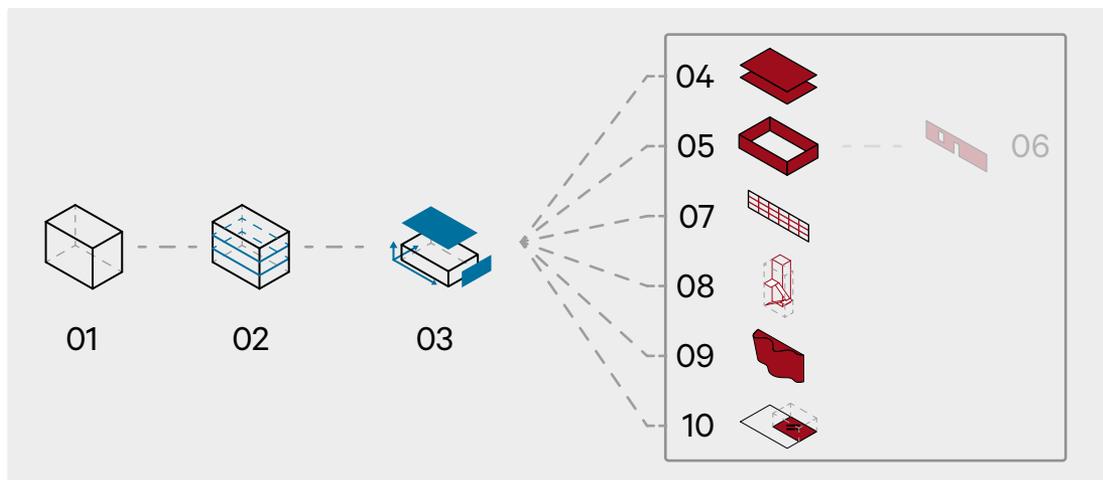


Abb. 62: Wettbewerbsplakat 02 zum zweiten Entwurf

6.8 Validierung durch dritten Entwurf



Verwendete Kernfunktionen

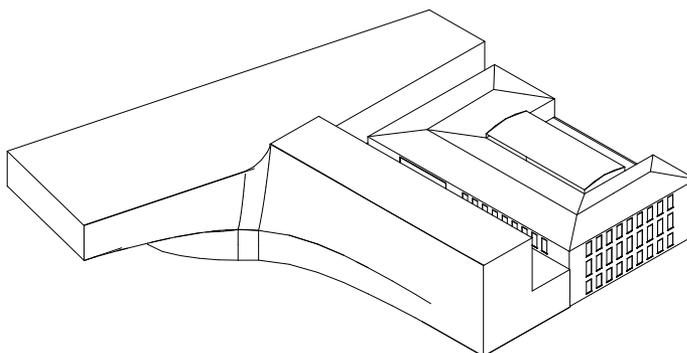
Abb. 63: Verwendete Kernfunktionen - Dritter Entwurf

- 01 Referenzieren der Volumenkörper
- 02 Unterteilung des Körpers in Geschosse
- 03 Zerlegung eines Körpers in seine geometrischen Bestandteile
- 04 Erstellung der Decken
- 05 Erstellung der Wände
- 06 Erstellung der Fenster und Türen
- 07 Erstellung der Fassaden
- 08 Erstellung der Erschließung
- 09 Erstellung von Morphs
- 10 Erstellung der Raumflächen und -stempel

Für die weitere Validierung der entwickelten Kernfunktionen werden sie auf den dritten Entwurf angewendet. Bis auf die Erstellung von Fenstern kommen alle Funktionen zum Einsatz und übertragen die Entwurfsstudie ohne Komplikationen in das BIM-Modell, weshalb sie nicht weiter ausgeführt werden. Der dritte Entwurf wird zur näheren Untersuchung ausgewählt, da einige Fassaden gekrümmte Flächen aufweisen und die Transformation dieser Geometrien untersucht werden soll.

Die Geometrien der gekrümmten Fassaden wurden in Rhino3D als Flächen modelliert, wodurch „Open Polysurfaces“ erzeugt wurde. In Grasshopper referenziert liegen sie als „Boundary Representation“ (Brep) vor.

Abb. 64: Freigeformte Fassade -
Dritter Entwurf, in GDS



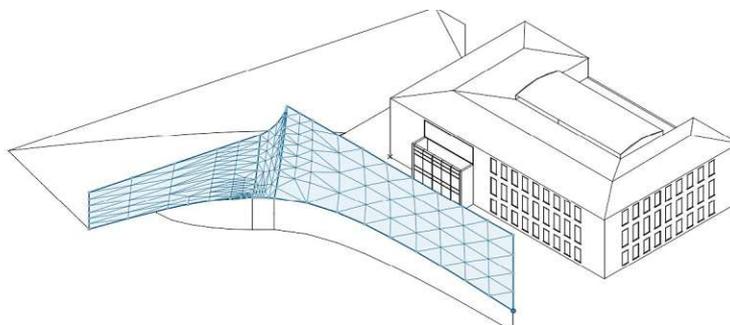
Erster Versuch: Schalen-Werkzeug

Für die Erstellung von geschwungenen oder gekrümmten Bauteilen bietet Archicad das Schalenwerkzeug an. Dieses ist über die Live Connection Palette auch in Grasshopper verfügbar. Beim Versuch, die modellierten Fassaden damit zu transformieren, wurden die Grenzen dieses Werkzeugs aufgezeigt. Die Design-Node der linienbezogenen Schale „Ruled Shell“ nimmt zwei Kurven als Geometrien auf, die aus dem referenzierten Brep abgeleitet werden können. Allerdings müssen für eine erfolgreiche Erzeugung die Kurven eben sein, was bei der zu erzeugenden Fassade nicht der Fall ist, sodass sie nicht mit diesem Werkzeug generiert werden kann.

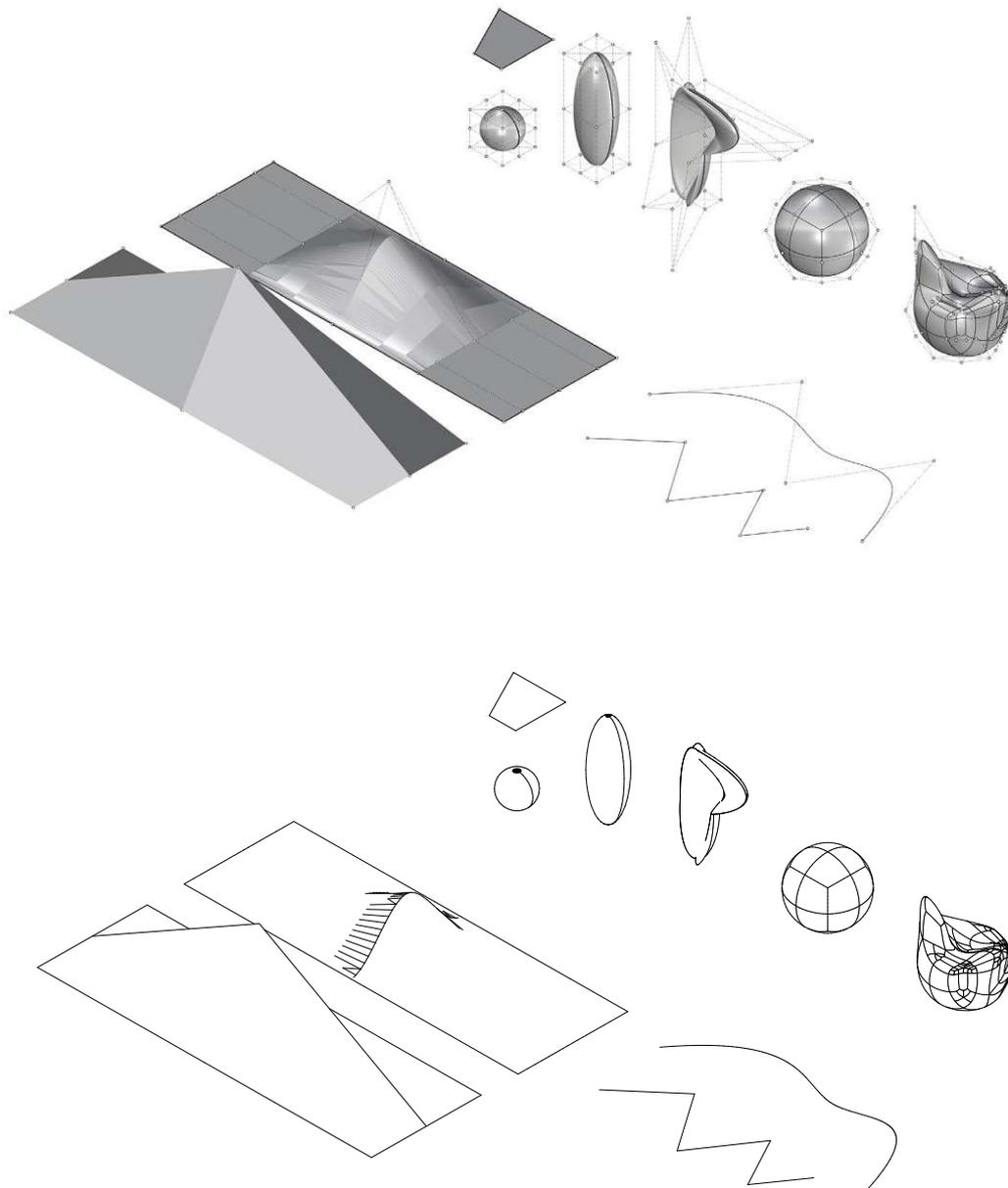
Zweiter Versuch: Morph-Werkzeug

Das verfügbare Morph-Werkzeug wurde in den vorangegangenen Algorithmen mehrfach zur Erzeugung von Treppen oder Dächern verwendet, da es eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Erzeugung von Geometrien bietet. Zur Generierung der Fassade wurde das Brep in die Design-Node „Morph Solid“ überführt und konnte dadurch im BIM-Modell erstellt werden. Die erzeugte Oberfläche entspricht dem modellierten Open Polysurface in Rhino3D, wobei die Oberfläche über ein Polygonnetz approximiert wird.

Abb. 65: Freigeformte Fassade -
Dritter Entwurf im BIM-Modell



Untersuchung weiterer Geometrien



▲▲ Abb. 66: Körper aller verfügbaren Geometriearten in Rhino3D

▲ Abb. 67: Übertragene Körper in Archicad

Neben den gekrümmten Flächen bestehen die Entwürfe überwiegend aus offenen und geschlossenen Flächenverbänden („Polysurfaces“). Dies deckt nur einen Teil der in Rhino3D verfügbaren Geometriearten ab. Zur Untersuchung der Transformation weiterer Arten wurde unabhängig zu den ausgewählten Entwürfen eine Reihe unterschiedlicher Geometrien modelliert (Abb. 66) und mittels der Live Connection nach Archicad übertragen (Abb. 67). Zwei Design-Nodes machen die Übertragung aller modellierten Geometrien möglich. Mit „Morph Curve“ können Polylinien und NURBS-Kurven und mit „Morph Solid“ NURBS-Flächen, Polysurfaces, Polygonnetze (Meshs), sowie SubD-Geometrien (Freiformobjekte) übertragen werden. In der BIM-Software werden alle Geometriearten über Polygonnetze approximiert.

Zusammenfassung

Die Anwendung des Algorithmus auf die dritte Entwurfsstudie bestätigt erneut die Anwendbarkeit der entwickelten Kernfunktionen, da alle Elemente der Entwurfsstudie erfolgreich in das BIM-Modell übertragen und die Elemente des Bestandsgebäudes um die spezifischen Bauteile der Entwurfsstudie ergänzt werden. Die Untersuchung aller in der Geometric Design Software verfügbaren Geometriearten ergibt, dass die Übertragung möglich ist, auch wenn dabei eine Approximation stattfindet. Wie bei den beiden vorausgegangenen Entwurfsstudien wird sie auch hier algorithmisch-gestützt in das BIM-Modell übertragen und auf den eingerichteten Planlayouts, Abbildungen 68 und 69, dargestellt.

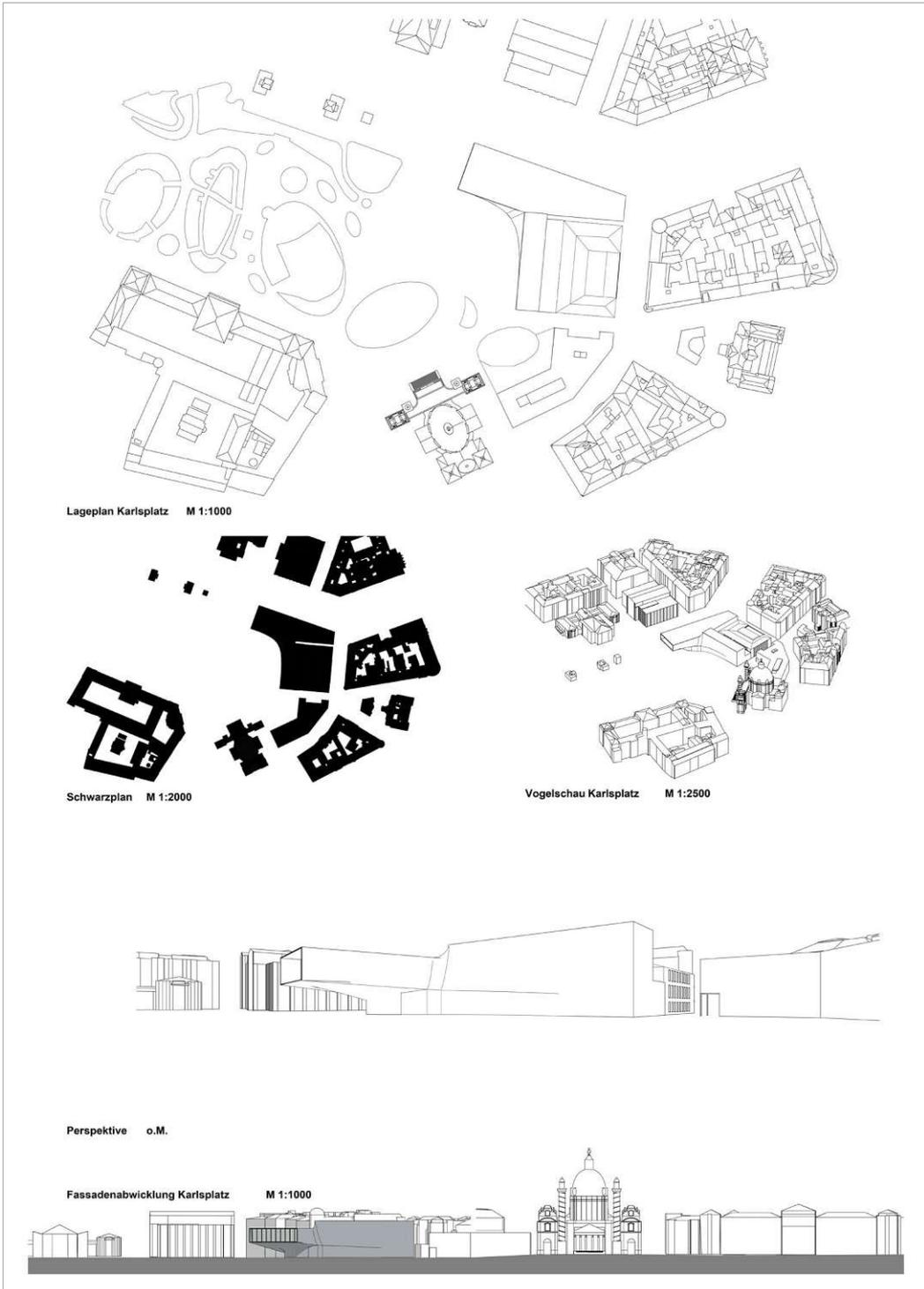


Abb. 68: Wettbewerbsplakat 01 zum dritten Entwurf

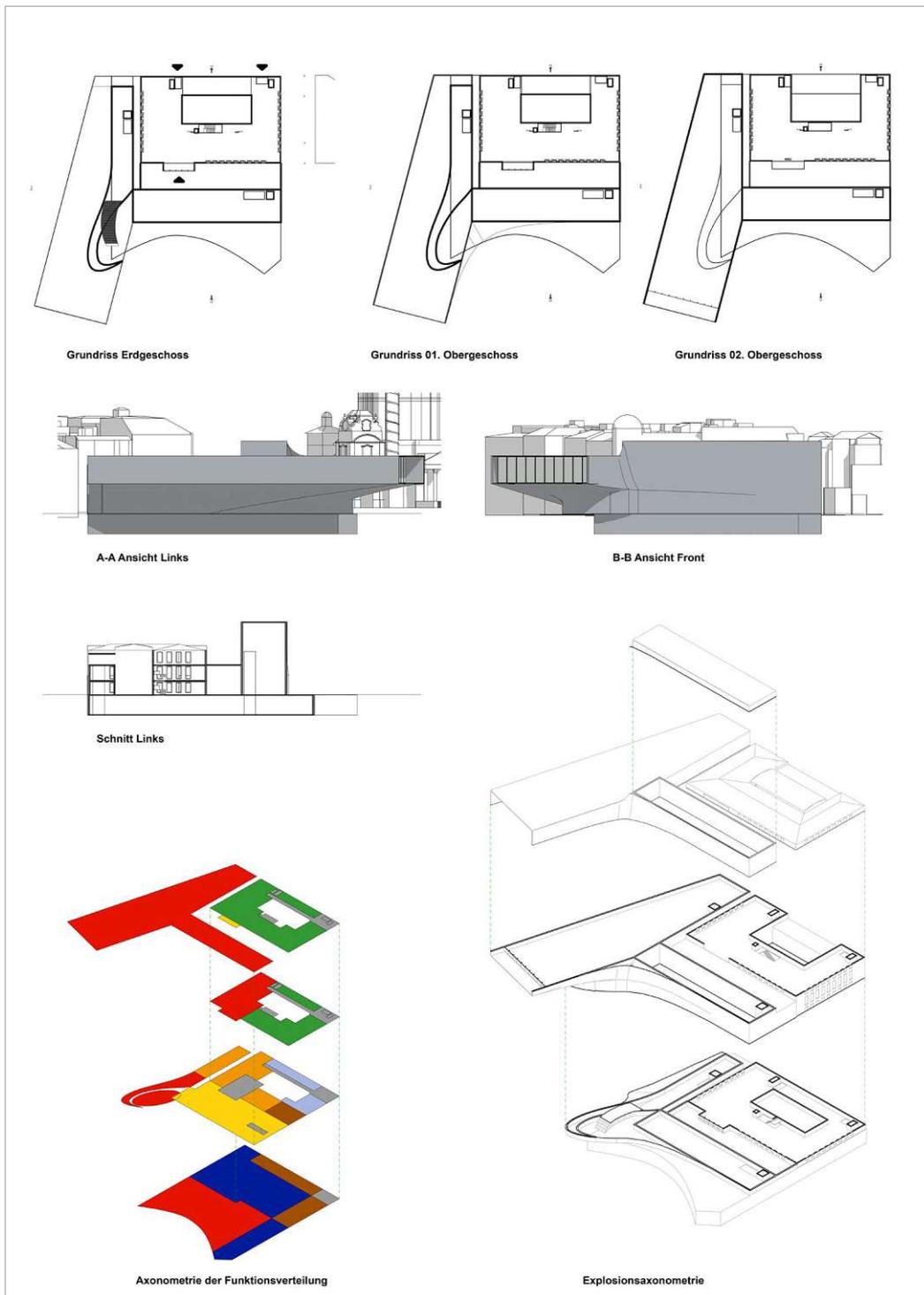


Abb. 69: Wettbewerbsplakat 02 zum dritten Entwurf

7 Evaluation

7.1 Resultate

Um im folgenden Abschnitt die Diskussion führen zu können, werden zunächst die ermittelten Resultate genannt. Die Übertragung der Entwurfsstudien wird anhand nachfolgender Kriterien evaluiert und die Resultate nachfolgend visuell dargestellt.

Anzahl verwendeter Kernfunktionen

Die Transformation des ersten Entwurfs nutzt 8 von 10 definierten Kernfunktionen. Die Funktionen der Erstellung von Fenstern und von Morphs werden nicht verwendet. Die des zweiten Entwurfs hingegen nutzt alle zehn Kernfunktionen und bei der Transformation des dritten werden neun verwendet, wobei die Funktion der Erstellung von Fenstern ausgelassen wird.

Anzahl der allgemeinen und spezifischen Komponenten

Die Algorithmen wurden dahingehend untersucht, ob die Kernfunktionen unverändert genutzt oder an spezifische Anforderungen angepasst wurden. Unveränderte Funktionen werden als allgemeine und angepasste als spezifische Komponenten bezeichnet. Festzuhalten ist, dass für die Übertragung aller Entwurfsstudien Kernfunktionen adaptiert wurden.

Der zweite Entwurf weist mit insgesamt 30 die meisten Komponenten auf, wobei 11 davon spezifisch angepasst wurden. Der erste und der dritte Entwurf nutzen hingegen bei einer insgesamt geringeren Anzahl an Komponenten deutlich weniger spezifische Anpassungen. Dies zeigt einen hohen Adaptionsbedarf des zweiten Entwurfs, was auf komplexe, nicht in den Kernfunktionen verfügbaren Funktionen hinweist.

Anzahl verwendeter Nodes

Aus dem Algorithmus wird die Anzahl der verwendeten Nodes ausgelesen. Der erste Entwurf nutzt 131 Nodes, der zweite 180 und der dritte 105. Die Anzahl der verwendeten Kernfunktionen korreliert mit der Anzahl verwendeter Nodes.

Größe der Modelle nach Anzahl der Elemente

Die unterschiedlichen Gestaltungsansätze der Entwürfe spiegeln sich in der Anzahl der verwendeten geometrischen Körper wider und führen zu einer variierenden Anzahl übertragener Elemente. Zur Analyse wird die Anzahl der im BIM-Modell erstellten objekt-basierten Bauteile ermittelt und in Relation zur Anzahl der verwendeten Nodes gesetzt. Die grafische Darstellung der Ergebnisse zeigt, dass bei den ersten beiden Entwürfen ein vergleichbares Verhältnis zwischen der Anzahl der erstellten Bauteile und der eingesetzten Nodes besteht. Der dritte Entwurf hingegen erreicht mit einer deutlich geringeren Anzahl an Nodes eine ähnliche Anzahl an objektbasierten Bauteilen.

Übertragungszeit

Gemessen wird die Zeit in Sekunden, die für die Modellübertragung und die Synchronisierung von Aktualisierungen benötigt wird. Für die Zeit der Modellübertragung wird nach abgeschlossener Erstellung des Algorithmus der Zeitraum zwischen erstmaligem Öffnen der Schnittstelle in Grasshopper bis zur abgeschlossenen Erzeugung des BIM-Modells gemessen. Für die Messung der Übertragungszeit von Aktualisierungen wird bei offener Schnittstelle ein Volumenkörper in Rhino3D um den Faktor 1.5 in seiner Größe skaliert und die Zeit gemessen, bis die Veränderung im BIM-Modell vollständig aktualisiert ist.

Sowohl die Übertragungs- als auch die Aktualisierungsdauer ist beim zweiten Entwurf am längsten, gefolgt vom ersten Entwurf, der zwar etwas schneller ist, jedoch weisen die Kennwerte beider Entwürfe ein vergleichbares Verhältnis auf. Im Gegensatz dazu verläuft die Übertragung und Aktualisierung beim dritten Entwurf doppelt so schnell. Dies deutet auf eine geringere geometrische Komplexität oder eine reduzierte Anzahl an zu übertragenden Eigenschaften wie Geschoss- und Ebenenzuordnungen hin.

Dateigröße

Gemessen werden die Dateigrößen (KB) des Algorithmus und des BIM-Modells. Der Algorithmus liegt als Grasshopper-Datei im Dateiformat .gh und das BIM-Modell als Archicad-Projekt im Dateiformat .pln vor.

Die Dateigrößen der erstellten Modelle für die drei Entwurfsstudien sowie den Bestandsbau zeigen, dass die Archicad-Dateien erheblich größer sind als die zugehörigen Grasshopper-Dateien. Die kleinste Archicad-Datei ist die des Bestandsgebäudes und diente als Grundlagendatei für die drei übertragenen Entwurfsstudien.

Die Dateien der Entwurfsstudien beinhalten die erzeugten Bauteile und weisen daher eine höhere Datenmenge auf, was sich in der Dateigröße widerspiegelt.

Der zweite Entwurf weist die größte Grasshopper-Datei (Abb. 71) auf, was mit der hohen Anzahl verwendeter Nodes, siehe Abbildung 73 korreliert. Im Vergleich dazu zeigt der dritte Entwurf die kleinste Grasshopper-Dateigröße, was ebenfalls mit der geringeren Anzahl verwendeter Nodes korreliert.

Arten der erzeugten Bauteile

Alle in der Schnittstelle angebotenen Bauteile können erzeugt werden. Jedoch decken die angebotenen Bauteile nicht das Spektrum aller benötigten Bauteile ab, da beispielsweise keine Treppen generiert werden können.

Angestrebter Detailgrad

Die Schnittstelle erfüllt den angestrebten Detailgrad des LOD 100 und LOD 200, indem alle für die frühe Entwurfsphase benötigten Attribute, wie beispielsweise Material oder Umbau-Status, den Bauteilen zugewiesen werden können.

Erstellte Darstellungen

Änderungen der Entwurfsidee werden durch die Werkzeugkette in alle Grundrisse, Schnitte, Ansichten und Vogelschauen sowie Schwarz- und Lagepläne übertragen. Aufgrund der zwischen den Entwürfen variierenden Geschosshöhen benötigen die Axonometrien je Entwurf in der Einrichtung händischen Aufwand und übernehmen anschließend die Veränderungen der Entwurfsidee automatisch. Visualisierungen wurden in Form von perspektivischen Linienzeichnungen erstellt, fotorealistische Renderings wurden keine erzeugt.

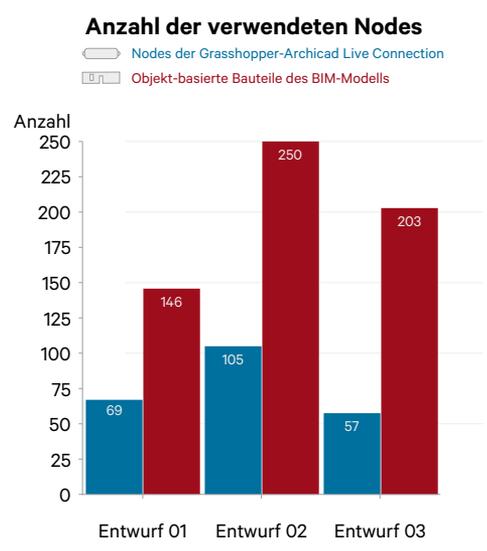
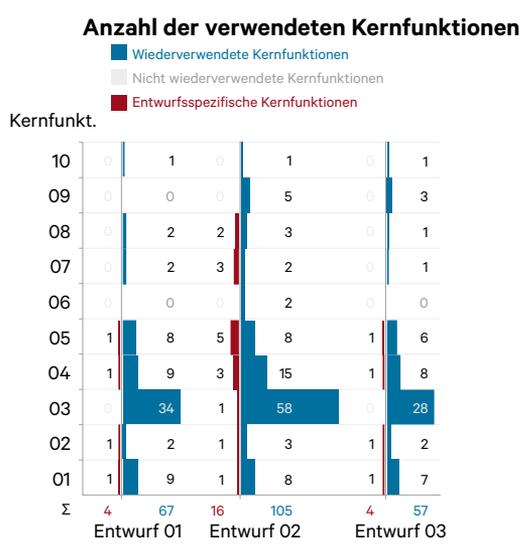
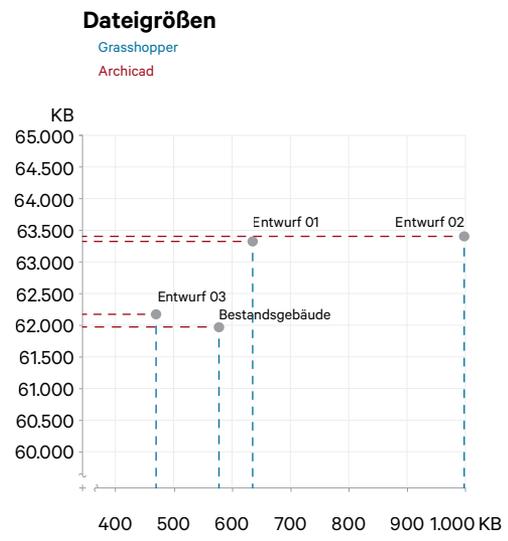
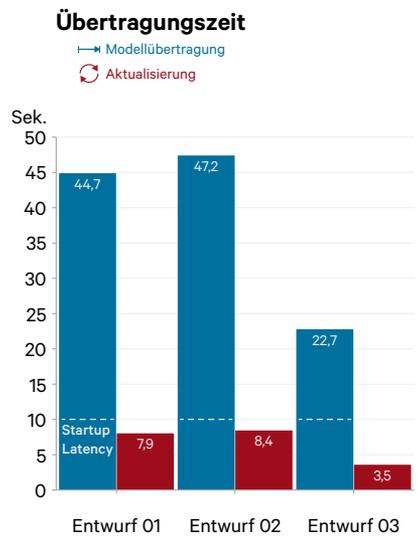
Die benötigten Darstellungen zur Erfüllung der geforderten Darstellungen wurden erfolgreich erzeugt.

Transformation von Geometriearten

Die Transformation der Entwurfsstudien anhand der Algorithmen stellt eine Art dar, aus den Geometrien des Parameter-Katalogs bauteil-basierte Modelle zu generieren. Nur selten wird dabei die anfängliche Geometrie direkt in das BIM-Modell übertragen, sondern häufig die in den Geometrien enthaltenen geometrischen Eigenschaften zur

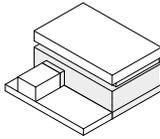
- Abb. 70: Übertragungszeit ▼
- Abb. 71: Dateigrößen ▲
- Abb. 72: Anzahl verwendeter Kernfunktionen ▼▼
- Abb. 73: Anzahl verwendeter Nodes ▼▲

Erstellung der Bauteile verwendet. In den Algorithmen konnten mit den zur Verfügung gestellten Werkzeugen bis auf eine Ausnahme alle benötigten Bauteile erstellt werden. Die Ausnahme sind Treppen, für deren Erstellung kein Werkzeug vorliegt. In diesen Anwendungsfällen wurde die Geometrie direkt ins BIM-Modell übertragen.

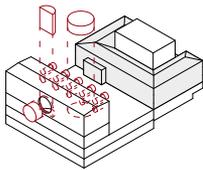
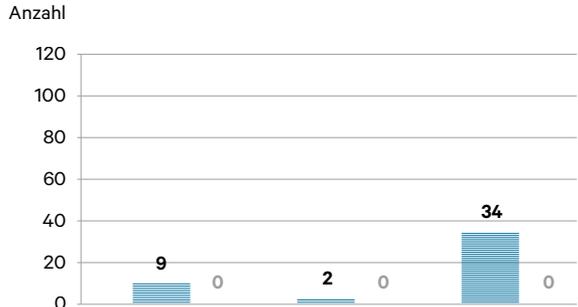


Anzahl der verwendeten Nodes nach Kernfunktionen aufgeschlüsselt

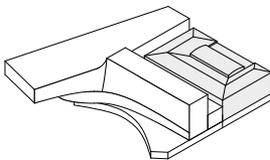
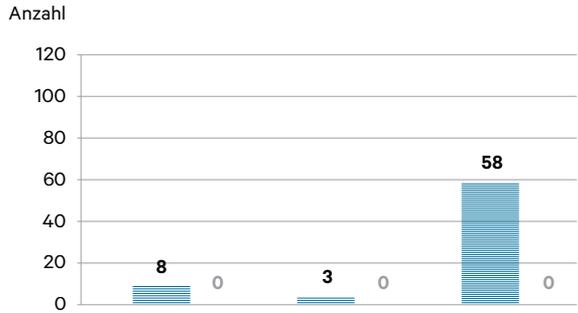
 Nodes der Grasshopper-Archicad Live Connection
 Objekt-basierte Bauteile des BIM-Modells



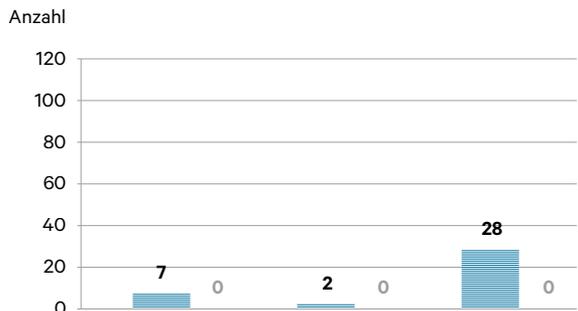
Entwurf 01



Entwurf 02



Entwurf 03



01



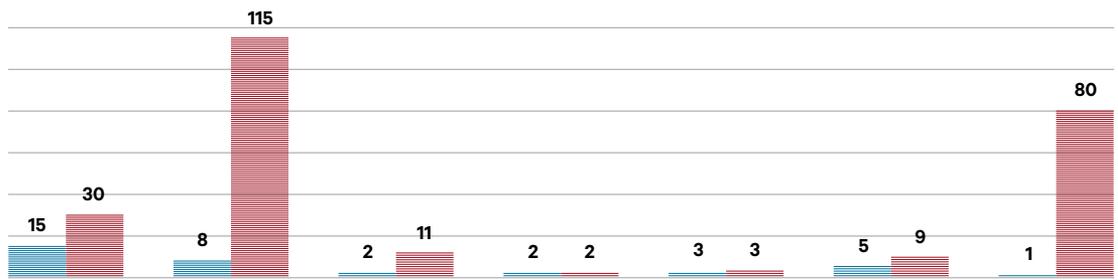
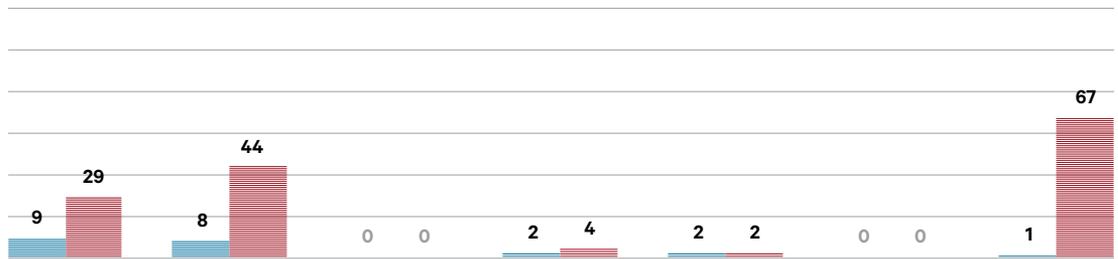
02



03

Kernfunktion des Algorithmus:

Abb. 74: Anzahl verwendeter Nodes nach Kernfunktion aufgeschlüsselt



04



05



06



07



08



09



10

7.2 Diskussion

Das Ziel, durch die Verknüpfung einer Geometric Design Software mit einer BIM Authoring Software wiederkehrende manuelle Arbeitsschritte vom Entwurf bis zur Erstellung von Plangrafiken zu automatisieren, wurde erfüllt. Der untersuchte Arbeitsablauf erwies sich für die gewählten Entwürfe und deren unterschiedliche geometrische Anforderungen als zuverlässig und zufriedenstellend. Sämtliche Entwürfe konnten erfolgreich aus den Volumenstudien in BIM-Modelle überführt und die für einen Wettbewerb geforderten Darstellungen automatisiert generiert werden.

Die entwickelten Kernfunktionen ermöglichten die Transformation der Entwurfsstudien und konnten an spezifische Anforderungen angepasst werden, wobei ein Großteil der Kernfunktionen in allen drei Entwurfsstudien ohne Anpassung wiederverwendet werden konnte. Entwurfsspezifische Adaptionen beschränkten sich auf das Referenzieren und Anpassen der Eingabedaten, um auf spezifische Anforderungen der Entwürfe einzugehen, während die Generierung von Bauteilen unverändert blieb.

Die erste und die dritte Entwurfsstudie erforderten die gleiche Anzahl und Art von Anpassungen, da die Kernfunktionen die Transformation geometrisch regelmäßiger Körper vollständig abdecken. Die zweite Entwurfsstudie hingegen enthielt eine größere Anzahl spezifischer Elemente, sodass mehr Anpassungen erforderlich waren.

Obwohl die entwickelten Kernfunktionen die grundlegenden Prozesse weitgehend abdecken, zeigte die Anwendung auf die erste Entwurfsstudie eine fehlende Funktion, die daraufhin ergänzt wurde. Diese konnte in den Algorithmen für die zweite und dritte Entwurfsstudie wiederverwendet werden, was die Kompatibilität der Komponenten zwischen den Algorithmen bestätigt.

Wie in Abbildung 72 ersichtlich, nutzen die drei Algorithmen nicht alle verfügbaren Kernfunktionen. Dennoch konnten erfolgreich BIM-Modelle erstellt werden, da die meisten Funktionen nicht aufeinander aufbauen. Lediglich die Erstellung von Wandöffnungen setzt zuvor generierte Wände voraus, während alle anderen Funktionen ausschließlich auf den Eingabeparametern der Volumenkörper basieren und parallel ausgeführt werden können. Dies unterstreicht die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des entwickelten Arbeitsablaufs.

Die anfängliche Modellübertragung stellt mit einer durchschnittlichen Dauer von 38 Sekunden eine deutliche Verzögerung im Arbeitsprozess dar. Im Gegensatz dazu fällt die Aktualisierungszeit mit 6,6 Sekunden so gering aus, dass sie den Arbeitsprozess kaum beeinträchtigt. Die niedrige Aktualisierungszeit unterstützt das Testen von Varianten, wie sie als Leistung im Wettbewerb gefordert sind.

Durch die schnelle Übertragung lassen sich in der gleichen Zeit mehr Varianten untersuchen als durch das langsamere, manuelle Erstellen des BIM-Modells. Eine Optimierung der initialen Übertragungsdauer könnte die Effizienz der Schnittstelle steigern.

Die geringe Dateigröße des Algorithmus steht im Gegensatz zur großen Datenmenge des erzeugten BIM-Modells und lässt sich darauf zurückführen, dass Archicad die BIM-Modelle mit umfangreichen Bauteil- und Metadaten speichert, während Grasshopper in erster Linie geometrische und algorithmische Parameter verwaltet. Vorteilhaft ist, dass zur Verwendung des erarbeiteten Arbeitsablaufs neben den bestehenden BIM-Modellen keine zusätzlichen großen Dateien benötigt werden.

Das BIM-Modell erfüllt die Anforderungen der Detailstufen LOD 100 und LOD 200, sodass der für die frühe Entwurfsphase entwickelte Arbeitsablauf geeignet ist. Die Platzierung von Bibliotheksobjekten, wie beispielsweise Fenstern unterstützt die Erfüllung der Anforderungen der frühen Entwurfsphase.

Obwohl alle Geometriearten aus der Geometric Design Software in die BIM Authoring Software übertragen werden können, ist es noch nicht möglich, alle erforderlichen Bauteile des BIM-Modells zu erzeugen. Insbesondere das Fehlen eines Treppenwerkzeugs bietet Potenzial zur Verbesserung der Anwendung.

Die Analyse der verwendeten Nodes (Abbildung 74) zeigt, dass die ersten drei Kernfunktionen keine Bauteile erzeugen, wobei ist ihre Anzahl im Algorithmus deutlich höher als die der Nodes zur Bauteilgeneration. Dieses Muster zeigt sich unabhängig von der Komplexität der Entwurfsstudien und der Gesamtzahl der erstellten Bauteile. Dies verdeutlicht, dass die Datenverarbeitung eine wesentlich größere Rolle spielt als die eigentliche Erzeugung der Bauteile.

Zudem wird ersichtlich, dass für die Datenverarbeitung fundiertes Wissen auf fortgeschrittenem Niveau erforderlich ist. Eine umfassende Kenntnis der Geometriearten in der Geometric Design Software, der parametrischen Datenmanipulation sowie des Building Information Modeling ist dabei unerlässlich für die erfolgreiche Anwendung des Arbeitsablaufs. Gleichzeitig könnte das erforderliche Vorwissen eine Hürde bei der Integration des Arbeitsablaufs in bestehende Entwurfsprozesse darstellen.

8 Ausblick

Der untersuchte Arbeitsablauf wurde am Beispiel des Planungswettbewerbs erarbeitet, ist aber nicht auf die Anwendung in diesem Kontext beschränkt. Auch für die frühen Entwurfsphasen anderer Planungsprojekte kann er helfen BIM-Modelle zu erzeugen, aus denen automatisiert Pläne und Darstellungen generiert werden können.

Eine Alternative zu dem verwendeten Archicad ist die BIM Authoring Software Revit des Herstellers Autodesk. Sie wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt, aber eine Übertragung des Arbeitsablaufes auf diese Software ist möglich, da mit „Rhino.Inside.Revit“ von (Robert McNeel & Associates, 2025b) eine Erweiterung zur Verfügung steht, die die Geometric Design Software Rhino3D in Revit zur Anwendung bringt. Das Potenzial liegt darin, den entwickelten Arbeitsablauf in einer zweiten im deutschsprachigen Raum verbreiteten BIM Authoring Software anwenden zu können.

Die Ausrichtung des erarbeiteten Arbeitsablaufs auf die Erleichterung der Vorprüfung unter dem Aspekt einer automatisierten Flächenberechnung zur Überprüfung der Erfüllung von im Wettbewerb geforderten Nutzflächen oder die detaillierte Ausarbeitung der Entwürfe durch raumtrennende Wände, Türen und weiterer Objekte wie Einrichtungsgegenstände sind in den Algorithmus implementierbar und könnten im Rahmen einer weiteren Bearbeitung des vorliegenden Themas erfolgen.

Literaturverzeichnis

- Aish, R., (2013). 'First Build Your Tools', In: *Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design*, S. 36–49. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1002/9781118653074.ch2>.
- de Jongh, A.-W., (2016). 'Brep Plane Split Component'. Verfügbar unter: <https://www.grasshopper3d.com/forum/topics/brep-plane-split-component> [Abgerufen am 15. März 2025].
- Austrian Standards Institute, (2015a). ÖNORM A 6241-1:2015. Wien.
- Austrian Standards Institute, (2015b). ÖNORM A 6241-2:2015. Wien.
- Ausubel, D.P. (1968) *Educational psychology: a cognitive view.*, *Educational psychology: a cognitive view*. Holt, Rinehart und Winston: New York.
- Barkhofen, Dr.E.-M., (2016). 'Schatzkammer der Architektur', In: *Wettbewerbspräsentationen : Handbuch und Planungshilfe*. DOM Publishers, S. 14–21.
- Bund Deutscher Architektinnen und Architekten BDA, (2011). 'Mehr Qualität im Wettbewerb der Ideen'. Verfügbar unter: https://www.bda-bund.de/wp-content/uploads/2016/02/Positionspapier_Wettbewerb-1.pdf [Abgerufen am 15. März 2025].
- Bundesarchitektenkammer, (2023) *Berufspolitische Befragung 2023 - Architektenwettbewerbe*. Verfügbar unter: https://bak.de/wp-content/uploads/2023/10/2023_BAK_Berufspolitische-Befragung_Bericht-09_Architektenwettbewerbe_FINAL.pdf [Abgerufen am 15. März 2025].
- Bundeskammer der ZiviltechnikerInnen (2022). *Wettbewerbsstandard Architektur - WSA 2010 Neuauflage 2022*. Wien. BIK-Verlags-Ges.m.b.H. Verfügbar unter: https://www.arching.at/fileadmin/user_upload/redakteure/Wettberwerbe/zt_Wettbewerbsstandard_Architektur_WSA_2022.pdf [Abgerufen am 15. März 2025].
- Österreichisches Parlament, (2018). Bundesvergabegesetz 2018 [online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20010295> [Abgerufen am 15. März 2025].
- Eichler, C.C. et al., (2024). *BIMcert Handbuch: Grundlagenwissen open-BIM*. Ausgabe 2024. Mironde-Verlag. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.34726/5384>.

- Europäisches Parlament und Rat, (2014). Richtlinie 2014/24/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die öffentliche Auftragsvergabe und zur Aufhebung der Richtlinie 2004/18/EG [online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2014/24/oj/deu> [Abgerufen am 15. März 2025].
- Hochbauamt Graubünden, (2021). *Fachhochschulzentrum Graubünden - Wettbewerbsprogramm. Graubünden*. Verfügbar unter: https://www.fhgr.ch/fileadmin/news/fhgr/2021/Wettbewerbsprogramm_Fachhochschulzentrum.pdf [Abgerufen am 15. März 2025].
- Feist, S., (2016.). *A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modeling*. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25863.09120>.
- Franke, U. und Kümmerle, K., (2006). *Thema: Architektenwettbewerb : Strategien, Wirtschaftlichkeit, Erfolg*. Basel: Birkhäuser.
- Graphisoft, (2023). *Grasshopper-Archicad Live Connection User Guide*. Verfügbar unter: <https://help.graphisoft.com/AC/27/INT/GC.pdf> [Abgerufen am 15. März 2025].
- Haagsma, I. und Haan, H. de, (1988). *Architekten-Wettbewerbe : internationale Konkurrenzen der letzten 200 Jahre*. Stuttgart: Dt. Verl.-Anst.
- Hemmerling, M. und Bähre, B., (2020). *Informierte Architektur: Building Information Modelling Für Die Architekturpraxis*. de Gruyter GmbH, Walter.
- Hossbach, B., Lehmhaus, C. und Eichelmann, C., (2024a). *Grundlagen des Wettbewerbsmanagements : Vorbereitung und Durchführung von Planungswettbewerben*. Berlin: DOM publishers.
- Hossbach, B., Lehmhaus, C. und Eichelmann, C. (2024b). *Planungswettbewerbe : Handbuch und Beispielsammlung*. Berlin: DOM publishers
- Humppi, H. und Österlund, T., (2016). 'Algorithm-Aided BIM', in *Complexity & Simplicity - Proceedings of the 34th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (Volume 2)*, S. 601–609. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.52842/conf.eacaade.2016.2.601>.
- Lechner, H. und Hofstadler, C., (2023). *LM.VM. 2023; Ein Vorschlag für Leistungsmodelle und Vergütungsmodelle für Bauplanungen*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz.

Phase1 [2023] *Verfahren Wien Museum Neu - Termine*. Verfügbar unter: https://www.phase1.de/projects_wienmuseumneu_home.htm [Abgerufen am 15. März 2025].

Rittel, H.W.J., Reuter, W. and Jonas, W., (2013). *Thinking design : transdisziplinäre Konzepte für Planer und Entwerfer*. Basel: Birkhäuser.

Robert McNeel & Associates, (2025a). Rhino3D [online]. Verfügbar unter: <https://www.rhino3d.com/features/> [Abgerufen am 15. März 2025].

Robert McNeel & Associates (2025b). Rhino.Inside.Revit [online]. Verfügbar unter: <https://www.rhino3d.com/en/inside/revit/1.0/> [Abgerufen am 15. März 2025].

Sacks, R. et al., (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1002/9781119287568>.

Sauer, M., (2022a). 'Information wächst, Aufwand explodiert', In: *TEC 21 - Schweizerische Bauzeitung [Preprint], (TEC21 2022 21-22)*. Verfügbar unter: <https://www.espazium.ch/de/aktuelles/fh-graubuenden-bim-wettbewerb> [Abgerufen am 15. März 2025].

Sauer, M., (2022b). 'Zwei Perspektiven zum BIM-Wettbewerb', In: *TEC 21 - Schweizerische Bauzeitung [Preprint], (TEC21 2022 21-22)*. Verfügbar unter: <https://www.espazium.ch/de/aktuelles/bim-wettbewerb-fries-buechi> [Abgerufen am 15. März 2025].

Stadt Graz - Stadtbaudirektion / Referat Hochbau, (2018). 'Auslobung Wettbewerb SchloßbergMuseum Graz'. Graz. Verfügbar unter: <https://gat.news/sites/default/files/auslobungwbschloflbergmuseum.pdf> [Abgerufen am 15. März 2025].

Stadtvermessung Wien (MA 41), (2025). Geodatenviewer der Stadtvermessung Wien. Verfügbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/viewer/index.html> [Abgerufen am 15. März 2025].

Tedeschi, A. and Wirz, F., (2014). *AAD_algorithms-aided design : parametric strategies using Grasshopper*. Brienza: Le Penseur Publ.

Wien Museum Projekt GmbH, (2015). *Informationsbroschüre Präsentation der Ergebnisse*. Verfügbar unter: <https://www.architekturwettbewerb.at/document/20428/1448877507.pdf> [Abgerufen am 15. März 2025].

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Arten von Komponenten	11
Abb. 02: Node einer Standard-Komponente	11
Abb. 03: Algorithmus aus verbindenden Nodes	11
Abb. 04: Rhino3D & Grasshopper-Fenster	12
Abb. 05: Level of Geometry, BIMpedia Verfügbar unter: https://www.bimpedia.eu/static/nodes/1005/LOG.png [Abgerufen am 15. März 2025]	15
Abb. 06: Schema der Softwareverknüpfung	17
Abb. 07: AktiveRealtime-API-Bridge	17
Abb. 08: Funktionen im Live Connection Tab	18
Abb. 09: Umfrageergebnis zur Wettbewerbsteilnahme, Bundesarchitektenkammer Deutschland, 2023	20
Abb. 10: Übersichtsgrafik offener und geladener Wettbewerb, In Anlehnung an WSA (2022, S. 72)	23
Abb. 11: Vier Strategien des Entwurfsprozesses, In Anlehnung an Rittel (2013, S. 74-76)	24
Abb. 12: Wettbewerbsplakat Bernardo Bader, Bundeskammer derZiviltechnikerInnen Arch+Ing Verfügbar unter: https://www.architekturwettbewerb.at/document/36709/1646389211.pdf/ [Abgerufen am 15. März 2025]	27
Abb. 13: Umfrageergebnis zum Einsatz von BIM, Bundesarchitektenkammer Deutschland, 2023	30
Abb. 14: Transformation einer Volumenstudie in ein BIM-Modell	33
Abb. 15: Inhalte des Parameter-Katalogs: Volumetrische Eigenschaften	37
Abb. 16: Inhalte des Parameter-Katalogs: Weitere Eigenschaften	37
Abb. 17: Grafische Repräsentation der Kernfunktionen und ihrer Reihenfolge	38
Abb. 18: Schema Referenzieren der Volumenkörper	39
Abb. 19: Nodes zum Referenzieren der Volumenkörper und der Geschosshöhen	39
Abb. 20: Algorithmus zur Unterteilung des Körpers in Geschosse	40
Abb. 21: Zerlegung eines Breps	40
Abb. 22: Algorithmus zur Zerlegung des Körpers in seine geometrischen Bestandteile	41
Abb. 23: Algorithmus zur Erstellung der Decke	42
Abb. 24: Erzeugung von Decken ohne Angabe der Referenzseite	42
Abb. 25: Erzeugung von Decken innerhalb des Volumens	42
Abb. 26: Algorithmus zur Erstellung der Wand	43
Abb. 27: Algorithmus zur Erstellung des Fensters	44
Abb. 28: Algorithmus zur Erstellung der Tür	44
Abb. 29: Algorithmus zur Erstellung der Fassade	46
Abb. 30: Algorithmus zur Erstellung der Treppe	47

Abb. 31: Algorithmus zur Erstellung von Morphs	48
Abb. 32: Algorithmus zur Erstellung der Raumfläche	50
Abb. 33: Wien Museum am Karlsplatz	51
Abb. 34: Wettbewerbsplakat 01 Winkler + Ruck, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1174_2_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	54
Abb. 35: Wettbewerbsplakat 02 Winkler + Ruck, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1174_3_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	54
Abb. 36: Modellfoto Winkler + Ruck, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1174_1_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	54
Abb. 37: Wettbewerbsplakat 01 Kim + Nalleweg, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1260_2_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	55
Abb. 38: Wettbewerbsplakat 02 Kim + Nalleweg, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1260_3_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	55
Abb. 39: Modellfoto Kim + Nalleweg, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1260_1_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	55
Abb. 40: Wettbewerbsplakat 01 Pichler + Taupmann, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1071_2_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	56
Abb. 41: Wettbewerbsplakat 02 Pichler + Taupmann, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1071_3_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	56
Abb. 42: Modellfoto Pichler + Taupmann, Phase 1 Verfügbar unter: https://www.phase1.de/content/cms/wien-museumneu/images/ergebnis/WMN_1071_1_G.jpg [Abgerufen am 15. März 2025]	56
Abb. 43: Eingerichtete Wettbewerbsplakate	58
Abb. 44: Erzeugte Entwurfsstudien	58
Abb. 45: Verwendete Kernfunktionen - Bestandsgebäude	59
Abb. 46: Algorithmus zur Erstellung der Fenster des Bestandsgebäudes	60
Abb. 47: Wien Museum vor dem Umbau Fassade am Eingang, Phase 1	61

Abb. 48: Algorithmus zur Erstellung einer Fassade des Bestandsgebäudes	63
Abb. 49: Verwendete Kernfunktionen - Erster Entwurf	64
Abb. 50: Algorithmus zur Erstellung von Decken und Wänden des ersten Entwurfes	65
Abb. 51: Algorithmus zur Erstellung von Fassaden am Vorbau des ersten Entwurfes	66
Abb. 52: BIM-Modell Erster Entwurf - Detail Approximation Fassade	67
Abb. 53: Algorithmus zur Erstellung von Raumflächen des ersten Entwurfes	69
Abb. 54: Wettbewerbsplakat 01 zum ersten Entwurf	70
Abb. 55: Wettbewerbsplakat 02 zum ersten Entwurf	71
Abb. 56: Verwendete Kernfunktionen - Zweiter Entwurf	72
Abb. 57: Piktogramme zur Erzeugung von Wänden im Untergeschoss	73
Abb. 58: Ausschnitt BIM-Modell: Wandöffnung aus Subtraktionsvolumen im Brückenkörper	73
Abb. 59: Ausschnitt BIM-Modell: Fassade im Brückenkörper	74
Abb. 60: Ausschnitt BIM-Modell: Treppenhaus	75
Abb. 61: Wettbewerbsplakat 01 zum zweiten Entwurf	76
Abb. 62: Wettbewerbsplakat 02 zum zweiten Entwurf	77
Abb. 63: Verwendete Kernfunktionen - Dritter Entwurf	78
Abb. 64: Freigeformte Fassade - Dritter Entwurf, in GDS	79
Abb. 65: Freigeformte Fassade - Dritter Entwurf im BIM-Modell	79
Abb. 66: Körper aller verfügbaren Geometriearten in Rhino3D	80
Abb. 67: Übertragene Körper in Archicad	80
Abb. 68: Wettbewerbsplakat 01 zum dritten Entwurf	82
Abb. 69: Wettbewerbsplakat 02 zum dritten Entwurf	83
Abb. 70: Übertragungszeit	87
Abb. 71: Dateigrößen	87
Abb. 72: Anzahl verwendeter Kernfunktionen	87
Abb. 73: Anzahl verwendeter Nodes	87
Abb. 74: Anzahl verwendeter Nodes nach Kernfunktion aufgeschlüsselt	88

Alle Abbildungen ohne Quellenangabe sind eigene Darstellungen
oder Aufnahmen.

Anhang

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis „Code of Conduct“ an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, am 17. März 2025

Danksagung

Ich danke besonders Ao.Univ.Prof. Dipl.-Arch. Dr. phil. Georg Suter für die Möglichkeit, meine Diplomarbeit an seinem Forschungsbereich schreiben zu dürfen, für wertvolle Gespräche und Anregungen sowie die Unterstützung im Entstehungsprozess dieser Arbeit.

Ich möchte mich bei meinen Studien-Kolleg:innen und Freund:innen bedanken, die mich auf dem Weg durchs Studium begleitet und durch kritische Diskussionen und freundschaftlichen Austausch immer wieder angeregt haben.

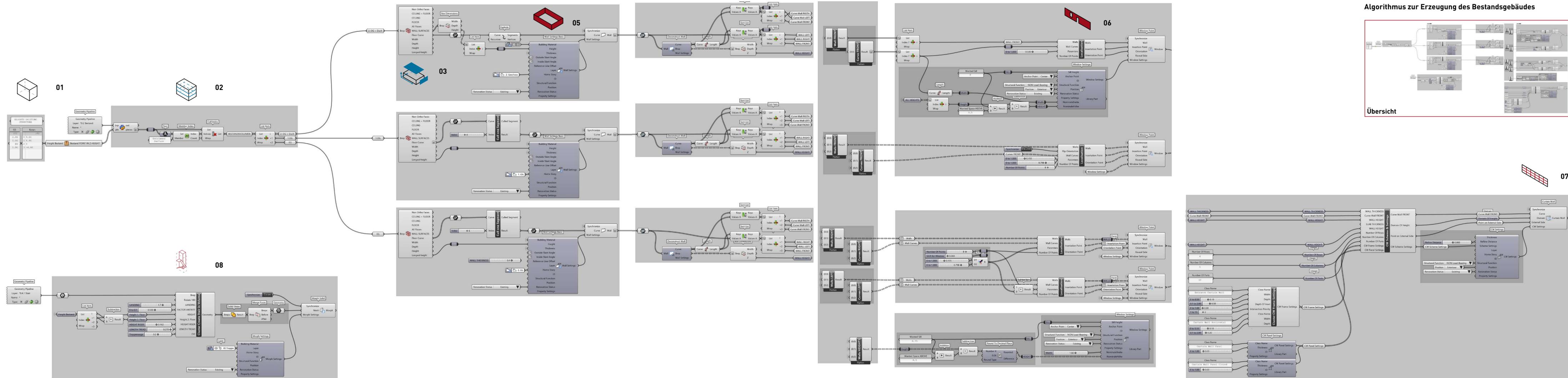
Mein aufrichtiger Dank gilt meiner Familie, die es mir ermöglicht hat, mich auf das Studium zu konzentrieren und die mich durch Halt und Unterstützung bestärkt haben.

Schließlich danke ich von ganzem Herzen Marsjola für das Vertrauen, die Kraft und die Geduld, die sie mir während der Entstehung der Arbeit und weiterhin zukommen lässt.

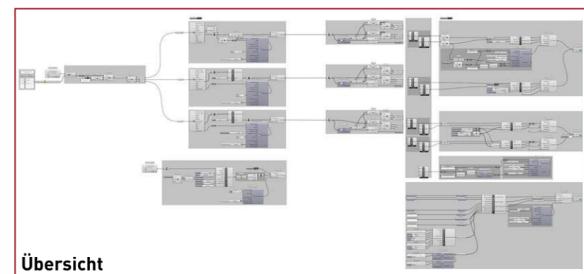
Grasshopper Algorithmen

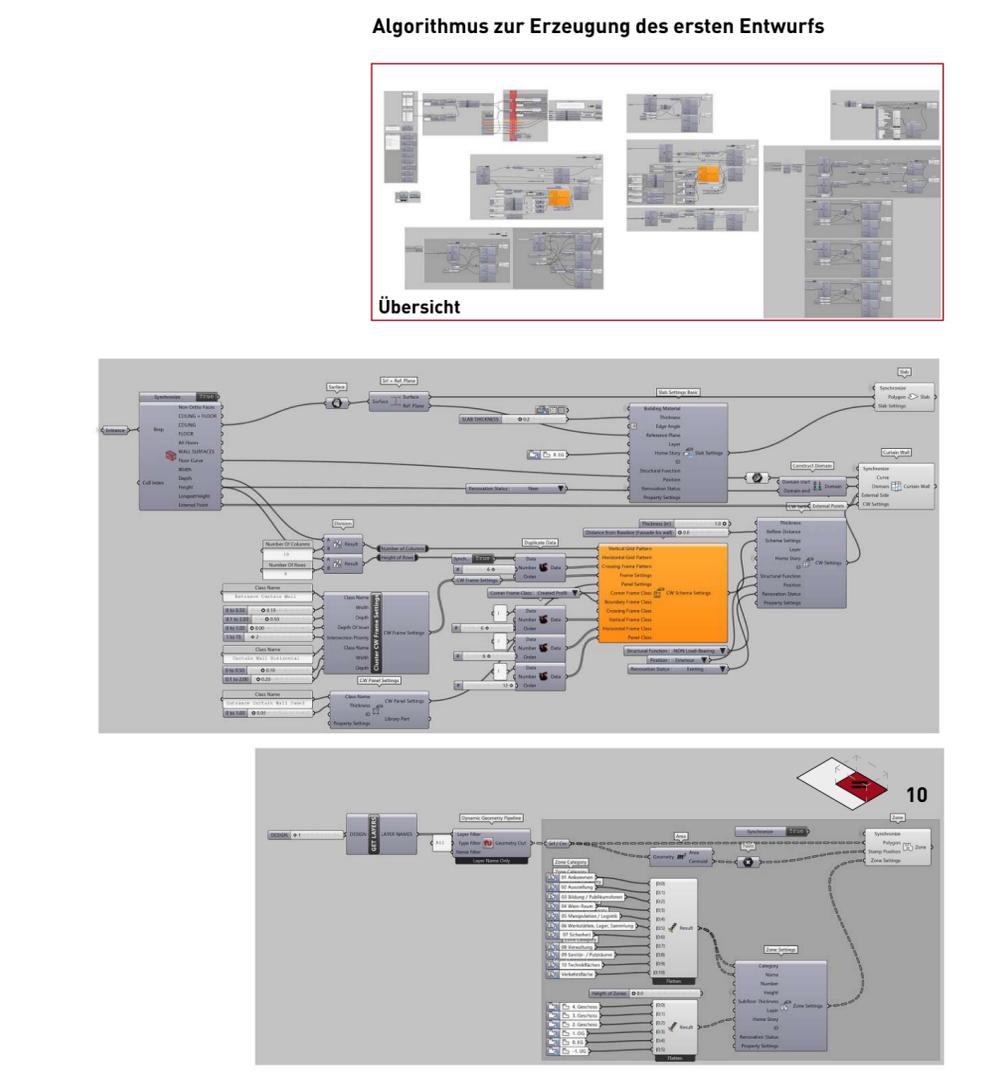
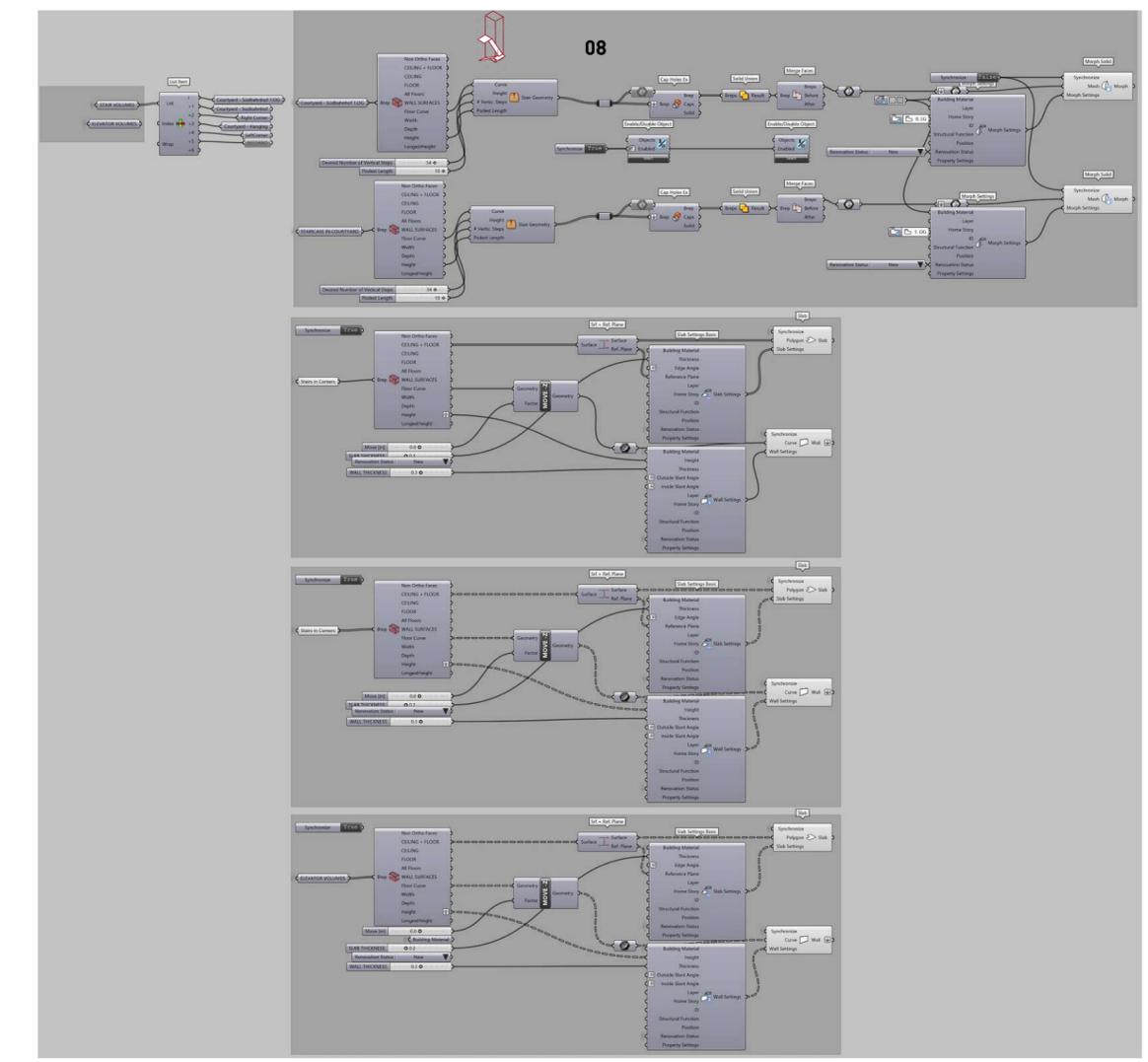
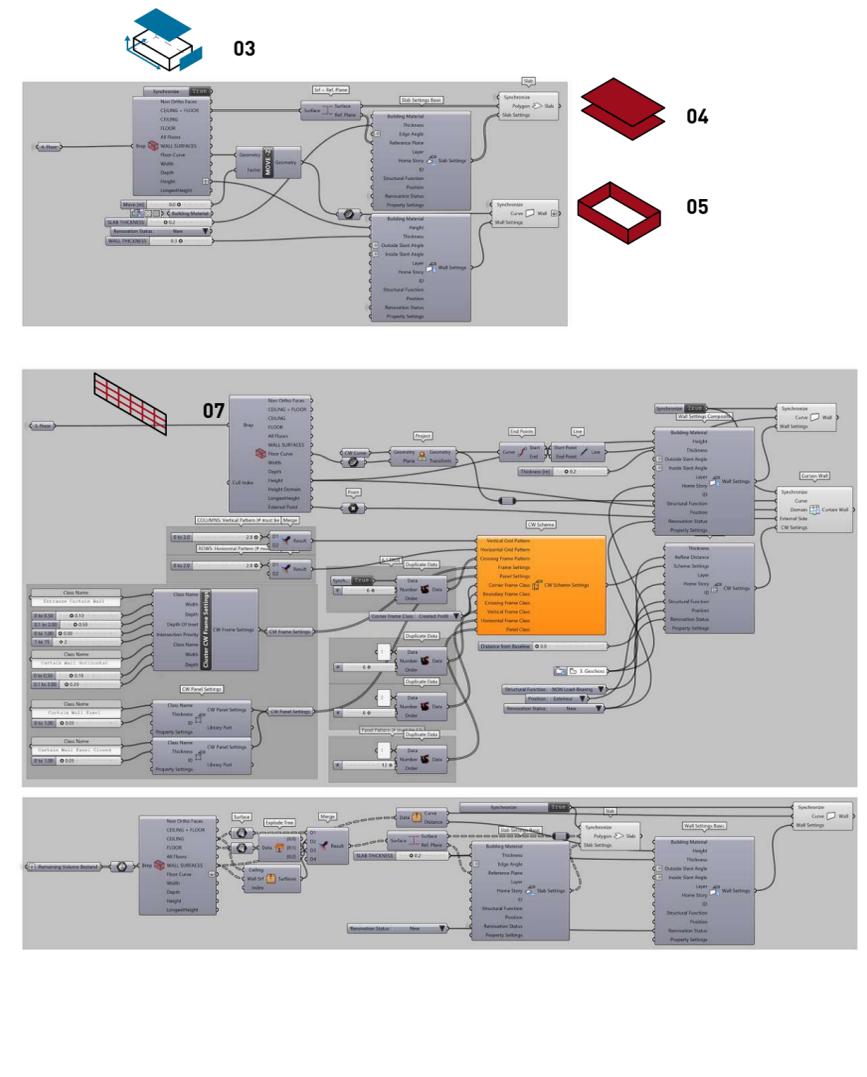
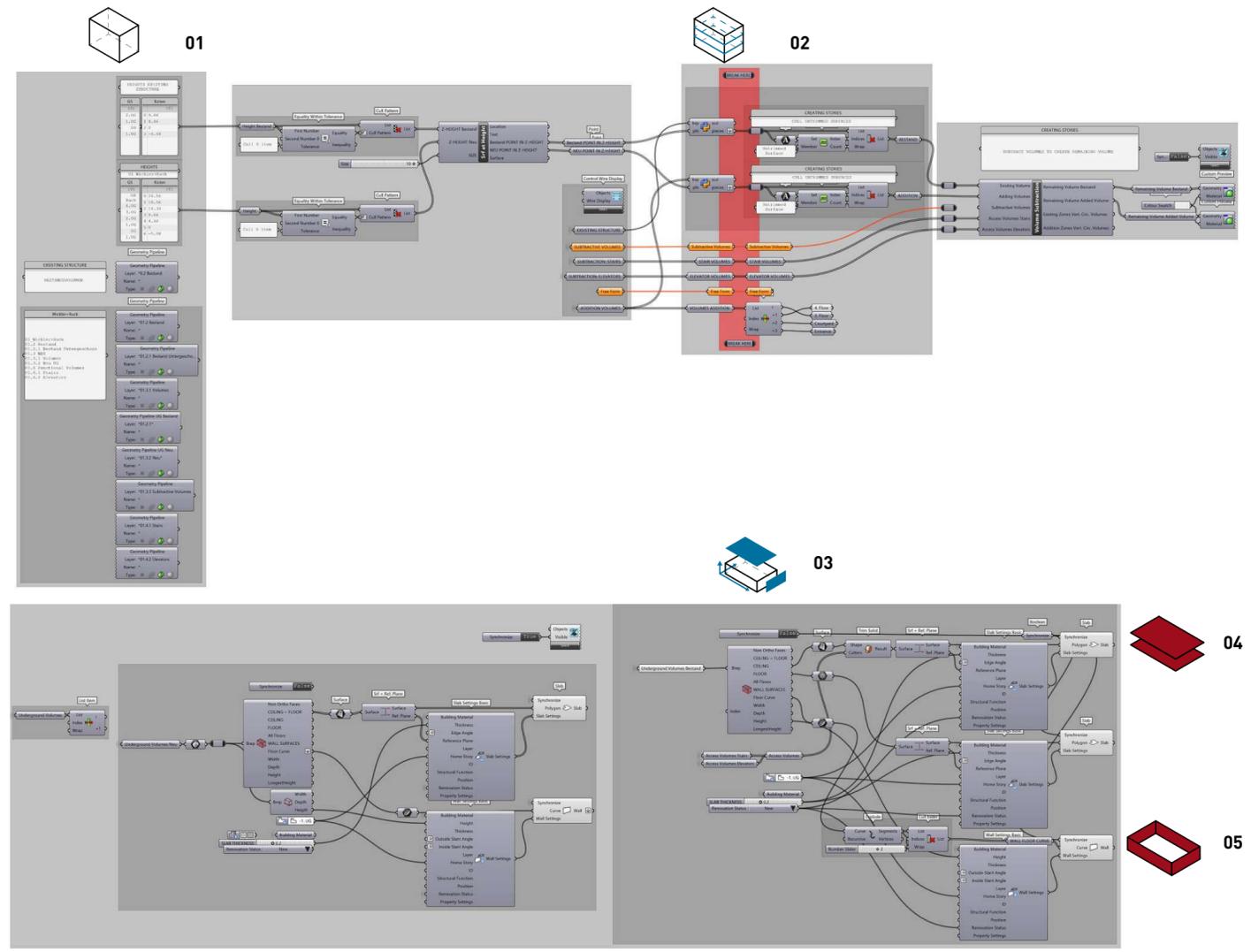
Auf den nachfolgenden Bögen befinden sich die in Grasshopper erstellten Algorithmen in großer Ansicht.

Algorithmus zur Erzeugung des Bestandsgebäudes	S.103
Algorithmus zur Erzeugung des ersten Entwurfs	S.104
Algorithmus zur Erzeugung des zweiten Entwurfs	S.105
Algorithmus zur Erzeugung des dritten Entwurfs	S.106

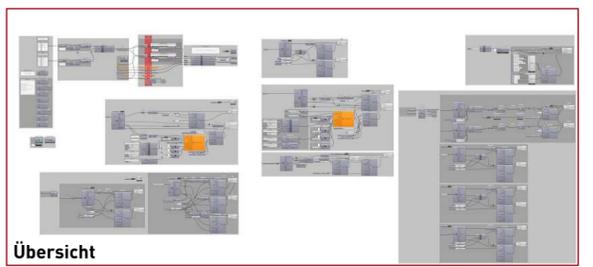


Algorithmus zur Erzeugung des Bestandsgebäudes

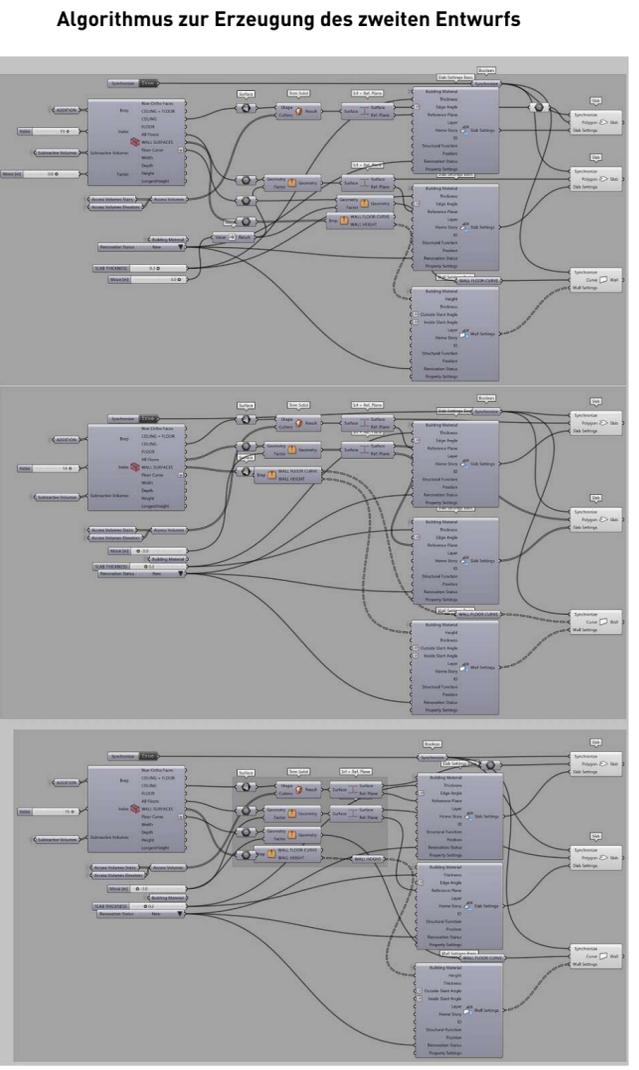
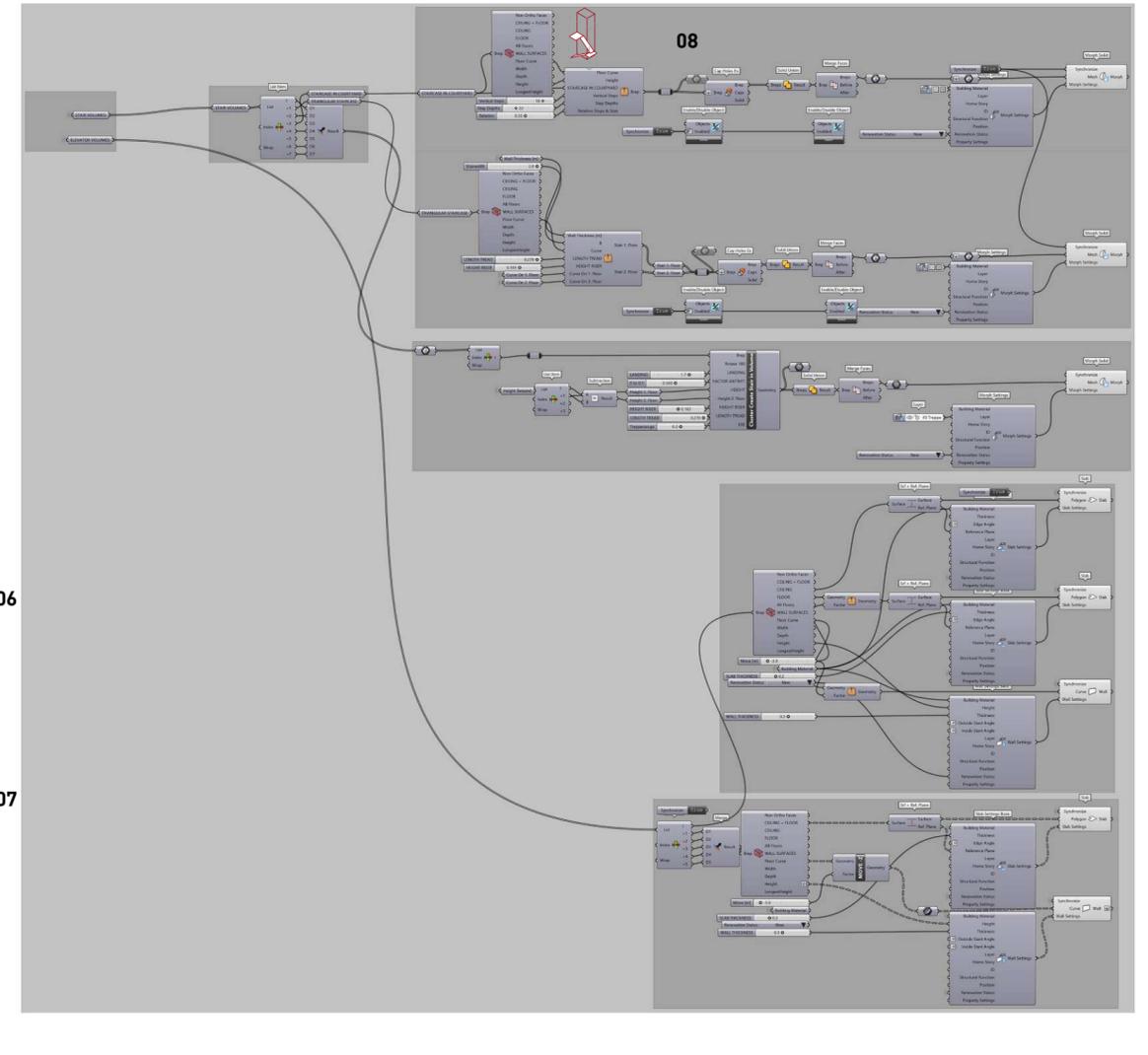
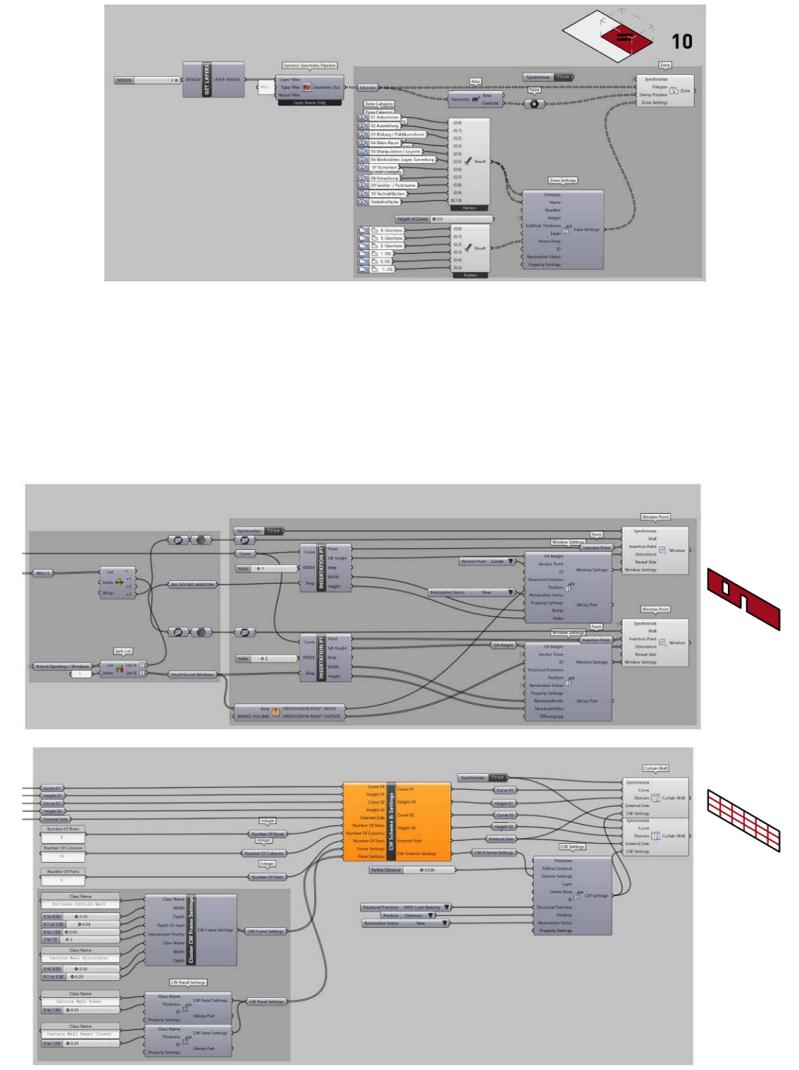
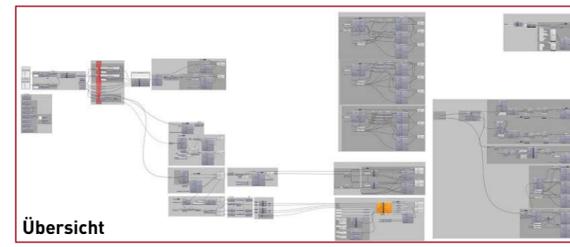
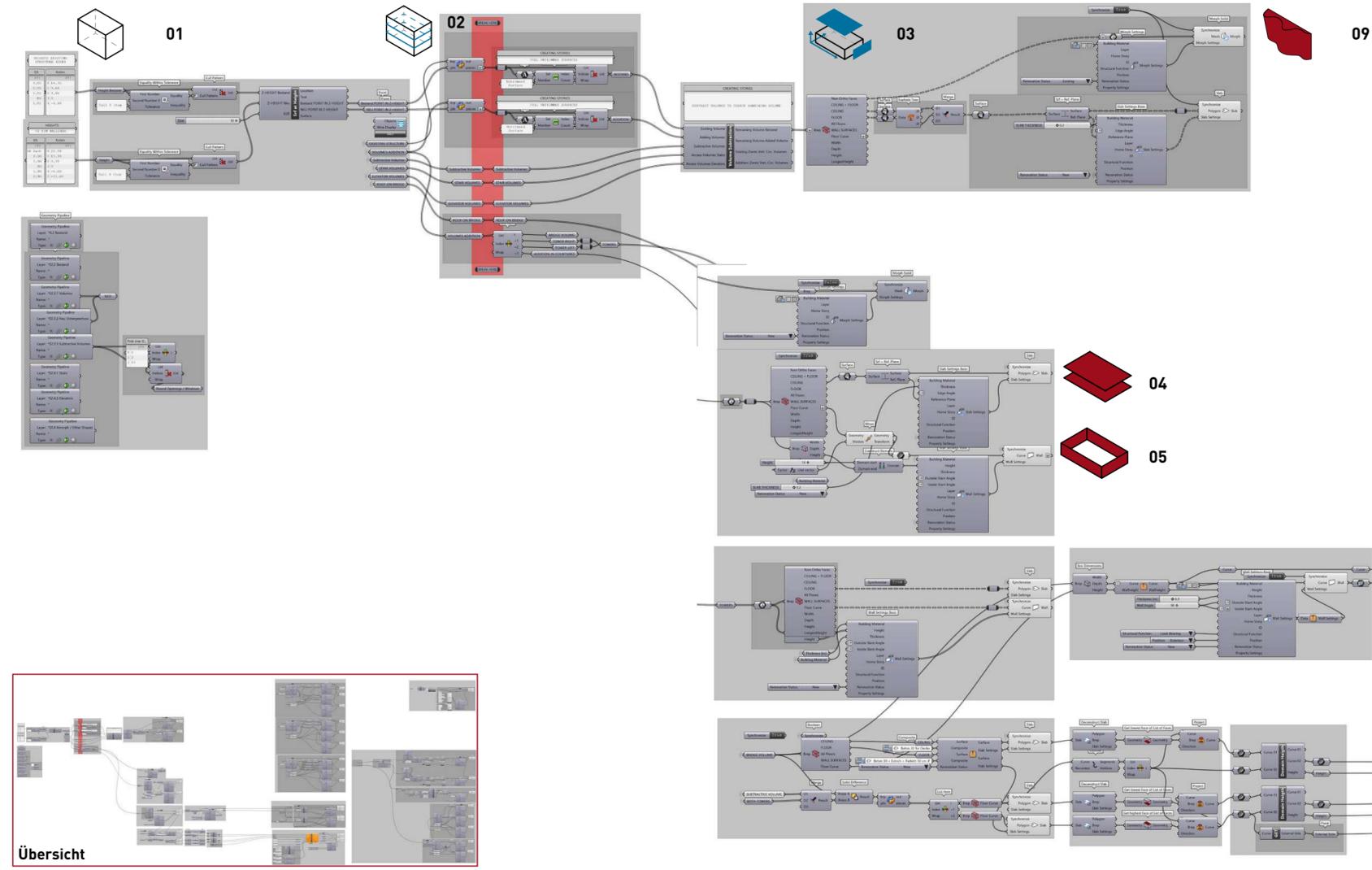


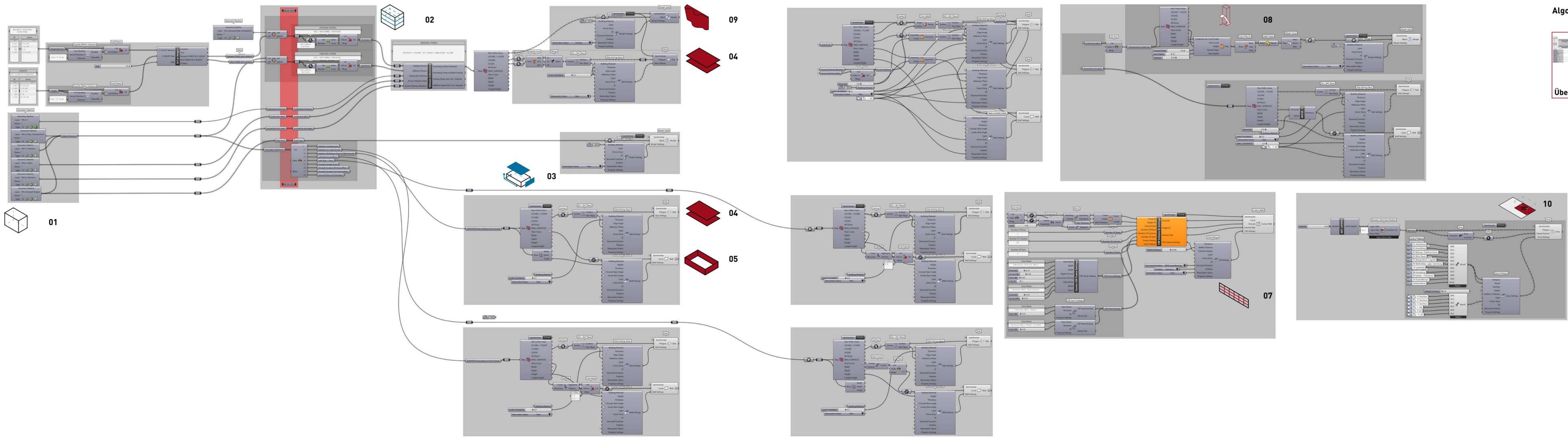


Algorithmus zur Erzeugung des ersten Entwurfs



Übersicht





Algorithmus zur Erzeugung des dritten Entwurfs

